

Sia

Ingénieurs
et architectes
suisses
14/90
116^e année
27 juin 1990



**Lausanne:
le Métro Ouest**

Sia

Ingénieurs et architectes suisses
Schweizer Ingenieur und Architekt
Ingegneri e architetti svizzeri

Bulletin technique de
la Suisse romande, fondé en 1875

Paraît tous les quinze jours

N° 14/1990 27 juin 1990 116^e année

Éditeur :
Société des éditions des associations
techniques universitaires (SEATU)

Rédaction :
En Bassenges
1024 Ecublens
Tél. 021/693 20 98 ☎
Télécopie 021/693 20 84

Couverture



Automotrice articulée du Métro Ouest

Cette automotrice de type « métro léger » Bem 4/6 est un véhicule à deux caisses et une articulation, monté sur trois bogies dont les deux d'extrémité sont monomoteurs. Elle est due à Asea Brown Boveri pour la partie électrique, aux Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey pour la partie mécanique.

Un article y est consacré en pages 294 à 298 de ce numéro.

Sommaire

Lausanne:
Métro Ouest

Le Métro Ouest: une réalité pour bientôt	243
Métro Ouest: une introduction <i>par Pierre Boskovitz</i>	244
Un métro léger dans le Sud-Ouest lausannois <i>par Philippe H. Bovy</i>	248
Le tracé du Métro Ouest: un compromis optimal <i>par Ahmad-H. Assef-Vaziri et Jürg Renz</i>	258
Les ouvrages du Métro Ouest (I)	263
Les ouvrages du Métro Ouest (II) <i>par Georges Betschen</i>	267
Les ouvrages du Métro Ouest (III)	271
Les ouvrages du Métro Ouest (IV)	277
Aménagement des infrastructures dans le secteur de l'EPFL <i>par Pierre Niggli</i>	286
Les aménagements et l'exploitation de la nouvelle ligne <i>par Claude-Alain Guignet</i>	289
Automotrices de transport urbain de type « métro léger » <i>par Pierre Guignard</i>	294
La restructuration du réseau des transports publics dans le Sud-Ouest lausannois	300
Pour une politique d'avenir des transports dans la région lausannoise	300

Concours

Sion: de nouveaux aménagements pour les piétons et les deux-roues légers	305
---	-----

SIA

Tableau des concours	B 113 - B 114
Actualité - Bibliographie	B 114 - B 118
Manifestations	B 119 - B 120

Schweizer Ingenieur und Architekt

Rédaction: Rüdigerstrasse 11, case postale 630, 8021 Zurich, tél. 01/2015536

Numéro 22/90	UVP Neue Prättigauerstrasse <i>H. U. Scherrer, Uerikon</i>	621
	Betonschäden - Betonsanierung <i>A. Romer, Beinwil am See</i>	626

Numéro 23/90	Kanton Zürich fördert Photovoltaik <i>O. Humm, F. Jehle, Zürich</i>	649
	Wasserkraftnutzung im Widerstreit der Meinungen <i>D. Vischer, Zürich</i>	655

Les nattes de drainage et de coffrage Enkadrain CK font leurs preuves dans des circonstances très dures

Drainage efficace d'une pente malgré des conditions extrêmes lors de la construction de l'autoroute de contournement N9 Brigue-Glis

Pour chaque ouvrage, l'eau constitue un problème qu'il n'est souvent possible de résoudre que par des dispositions occupant beaucoup de place. Depuis sept ans, on utilise en Suisse aussi des nattes de non-tissé comme coffrage perdu, permettant, sans perdre de place, de récupérer l'eau sur le sol et de l'évacuer: Enkadrain CK. Un exemple pratique permettra d'illustrer ici ce problème particulier et la façon de le résoudre.

Conditions difficiles sur le chantier de Gstipf

Le sol, composé de gravier sablonneux, parsemé de gros rochers et présentant une pente moyenne de 28 degrés, et l'écoulement de la nappe phréatique, avec la pression correspondante, posent de sévères exigences au mur de soutènement et au drainage. Aujourd'hui, six ans après la réalisation, il est possible d'estimer que l'épreuve a été subie avec succès.

Natte flexible de filtrage, de drainage et de coffrage : la solution idéale

Pour éviter la pression de l'eau sur le mur de soutènement, on a recours pour le

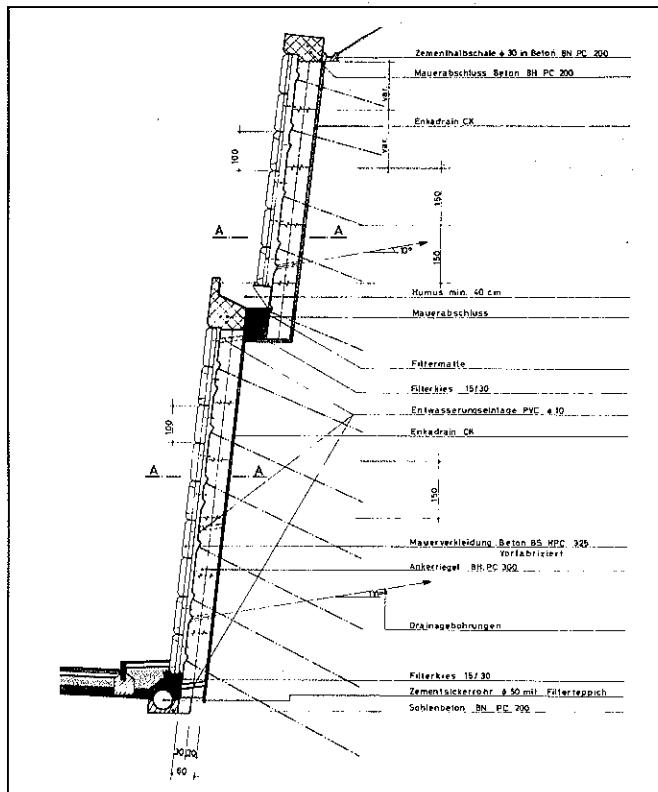
drainage à la natte à trois composants Enkadrain CK, appliquée sur la paroi de la fouille. Cette natte est composée d'une masse filtrante à structure tridimensionnelle en fibres de polyamide, sur laquelle est soudée une couche filtrante en polyester, d'un côté, et revêtue d'une couche de PVC étanche au bétonnage servant de *coffrage perdu*, de l'autre côté. La résistance à la pression de cette natte tient compte des contraintes intervenant lors du bétonnage. Même soumise à une pression de 122 kN/m², elle présente encore une capacité de drainage de 1,8 l/s/m soit une sécurité supérieure à 3 par rapport aux venues d'eau connues extrêmes de 0,5 l/s/m (la pression du béton frais se situe usuellement bien en dessous de 122 kN/m²).

Pour les murs de soutènement et les parois ancrées, on a utilisé environ 5000 m² de natte Enkadrain CK.

Murs de soutènement dans la partie du tunnel de Gstipf (215 m) réalisée à ciel ouvert.



Coupe type de la paroi ancrée.



Importants gains d'argent et de temps

L'avantage économique certain de la natte Enkadrain CK résulte d'une part du fait qu'on peut renoncer au coffrage, sans cela nécessaire, d'autre part du montage simple et rapide ainsi que de la grande capacité d'adaptation de la natte à la configuration difficile du terrain. Le matériau est imputrescible et résiste à toutes les concentrations d'acide rencontrées dans le sol.

Gamme de produits et distribution d'Enkadrain

Type CK: produit à fonction multiple (filtre, drain et coffrage perdu). Type ST: pour drainage horizontal et vertical dans le bâtiment; type TP pour drainage vertical en génie civil et drainage horizontal lors de surcharges importantes.

Conseil et vente par l'importateur général
SCHOELLKOPF SA, Schaffhauserstrasse
265, 8057 Zurich; téléphone 01/
3121616, télex 823214, télifax 01/
3121626. Tous les produits Enkadrain
sont également vendus par les mar-
chands de matériaux de construction.

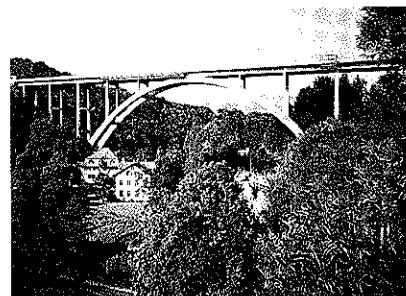


B3295

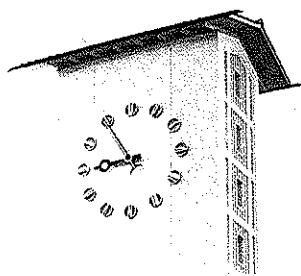
Bâtiment des
télécommunications
à Unterengstringen



Pont de Fürstenland



Eglise de Thayngen



Rampe de parking
Migros Herdern



Echec aux zombis rongeurs

Et échec aux ruines

Les zombis rongeurs, vous les connaissez. Ce sont ces esprits malfaits de la corrosion qui menacent l'intégrité des façades des bâtiments, des piliers, des balcons. SikaTravaux les combat. Avant, pendant, après la construction. C'est son métier, une de ses hautes spécialités, une compétence reconnue en Suisse et à l'étranger.

Avant construction

SikaTravaux a résolu nombre de problèmes ardus en matière d'étanchéité et de durabilité, combinant esthétique et robustesse. Ingénieurs, architectes, promoteurs, entreprises consultent SikaTravaux dès le projet, dès qu'un risque se présente: risques d'infiltrations, risques de vieillissement dûs aux intempéries ou à divers agents corrosifs et destructeurs.

Pendant et après construction

Les ingénieurs, techniciens et équipes d'intervention de SikaTravaux sont confrontés quotidiennement à l'inattendu: mesures d'urgences et de sécurité, étayages spéciaux. Les dégradations du béton imposent parfois des solutions pointues, souples, rapides, garanties par un savoir-faire, un acquis technologique hors pair et une recherche spécifique. Echec au hasard!

SikaTravaux est votre partenaire de la sécurité

Consultez avant, mais dans tous les cas, faites échec aux «zombis» de toutes sortes qui menacent la sécurité.

SikaTravaux

Votre force d'intervention

11, bd de Grancy
1006 Lausanne
Téléphone 021 / 26 54 21



Le Métro Ouest: une réalité pour bientôt

Je sais gré à la revue *Ingénieurs et architectes suisses* d'éditer un numéro spécial consacré au Métro Ouest. Non pas tellement parce que ce projet dépasse en importance tous les autres, mais parce qu'il a été pour nous un projet attachant, voire passionnant, même si son accouchement s'est aussi fait dans la douleur.

Il n'est pas possible ici de refaire toute la genèse de ce projet, ni de revendiquer la paternité absolue de ce transport public. Disons simplement que ceux qui ont pris la décision de transférer les Hautes Ecoles - EPFL et UNI-Lausanne - dans le site de Dorigny n'ont pas perçu suffisamment le problème des transports.

Il faut dire, à leur décharge, qu'ils l'ont apprécié dans un contexte très différent de celui d'aujourd'hui et que personne, à cette époque, n'aurait pu prévoir le développement de l'automobile que nous connaissons, avec son corollaire, l'engorgement de toutes les voies de circulation venant ou sortant de la capitale.

Il a fallu l'aggravation de ce paramètre, comme aussi une augmentation spectaculaire des effectifs prévus dans les Hautes Ecoles, pour que les autorités, à tous les niveaux, se rendent compte qu'un moyen de transport performant et moderne était indispensable pour desservir ce site. A défaut l'on courrait à la paralysie de toute la région.

Puis est venu le moment du choix du moyen de transport. Entourés d'experts compétents qui ont examiné sans complaisance tous les types de transport possibles, nous avons choisi, sur leurs conseils et avec leur collaboration, un moyen de transport que je qualiferais de bien vaudois, pas trop ambitieux mais performant quand même, réalisable dans des délais très courts, discret mais, et c'est là l'essentiel, réalisant un double objectif : celui de la desserte simultanée du bassin de population concerné et des utilisateurs des Hautes Ecoles.

Puis est venue l'heure des négociations, plus particulièrement financières, négociations conduites sans clé de répartition fixée dans une loi, faisant appel à la solidarité des trois niveaux - Confédération, canton, communes. Ce ne fut pas facile, je vous prie de le croire.

Mais finalement chacun a compris l'enjeu et à partir de ce moment-là, grâce à un état-major logistique extrêmement compétent et dynamique, les choses allèrent très vite. Il y eut la révision déchirante d'un budget à la hausse, il y eut l'accident du tunnel du Flon, mais il est bien normal qu'un projet de cette ampleur ne se fasse pas sans heurts.

Aujourd'hui les rendez-vous restent donnés au 24 mai 1991 pour l'inauguration officielle et au 2 juin de la même année pour la mise en service correspondant au nouvel horaire.

De cette affaire, en tant que responsable délégué du maître d'ouvrage, je tire un certain nombre de conclusions, que je donne pêle-mêle :

- Malgré les performances des moyens techniques, largement compensées par la complexité d'une procédure alourdie, les délais pour une telle réalisation doivent être dans tous les cas largement comptés.
- Il faut, pour conduire à chef une telle opération réunissant de très nombreux partenaires, une volonté politique constante d'aboutir.
- Tout naturellement, chacun souhaite participer dans la mesure du profit qu'il retire. Ce profit n'est pas toujours facile à démontrer dans la phase d'étude. Aujourd'hui, avant la mise en service du Métro Ouest, cela n'est même plus nécessaire puisque l'on ne cesse de citer des cas de mise en valeur de terrains accélérée dans la perspective du Métro Ouest.
- Le Métro Ouest n'est qu'un des maillons d'un vaste système de transports publics, qui n'apparaît peut-être pas aux yeux de chacun, mis en place petit à petit afin d'assurer au Grand Lausanne cette complémentarité des transports plus que jamais indispensable à l'horizon 2000. Les Vaudois conduisent cette opération de manière pragmatique, sans trop de fla-flas. Je leur souhaite d'aboutir.



Marcel Blanc
Conseiller d'Etat
Chef du Département des travaux publics,
de l'aménagement et des transports

Métro Ouest: une introduction

Le transport par rail

Dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, la Suisse - comme les autres pays européens - s'est dotée d'un réseau ferré qui n'a connu que peu d'extension depuis lors.

Les grandes lignes, d'importance nationale voire internationale pour certaines, reliant les villes et traversant des régions entières, ont été réunies,

PAR PIERRE BOSKOVITZ,
LAUSANNE

après le scrutin de 1898, en une seule compagnie nationale, les CFF, et ont atteint un très haut degré d'unité, d'intégration et de cohérence sur le plan technique comme sur celui des prestations.

Tel n'a pas été le cas des moyens de transport régionaux et touristiques, fruits d'initiatives indépendantes les unes des autres et présentant aujourd'hui encore une très grande diversité. Sans les lignes de tramway dont l'extension est très variable, le réseau ferré suisse compte actuellement environ 5200 km dont 2900 seulement appartiennent aux CFF. Le reste du réseau est exploité par quelque 80 sociétés privées et il compte :

- 770 km à voie normale
- 1350 km à voie étroite
- 100 km à crémaillère
- 60 km de funiculaires.

Développement, crise et renouveau du tramway

Vers la fin du XIX^e siècle, le rail paraît également fournir la solution idéale aux problèmes de transports urbains et

suburbains. C'est ainsi que de nombreuses villes suisses, dont Lausanne, ont créé leur réseau de tramways et ce moyen de transport collectif a connu son âge d'or dans les premières décennies de ce siècle. A Lausanne, le réseau de tramways atteint sa plus grande extension au début des années trente¹. Cependant, dès cette époque, les transports collectifs routiers, plus souples et se contentant d'une infrastructure plus légère, entrent en concurrence avec le tramway dont ils commencent à prendre la relève : les lignes de tramway sont remplacées par celles de trolleybus ou d'autobus. Pendant la Deuxième Guerre mondiale, la pénurie de pneumatiques freine cette évolution et laisse quelque répit au tramway.

Le développement prodigieux du trafic automobile individuel depuis le milieu de ce siècle a cependant profondément modifié les conditions des transports urbains et placé le tramway devant un défi redoutable. A l'intérieur des agglomérations, où il ne dispose pas de site propre, le tramway se trouve vite paralysé par le trafic automobile. Dans sa conception et sa forme originales, le tramway ne pouvait pas relever ce défi et il entame son déclin. Ainsi, plusieurs villes suisses ont complètement renoncé à ce moyen de transport en commun. Lausanne supprime sa dernière ligne de tramway en 1964. Toutefois, plusieurs grandes villes suisses et étrangères, principalement dans le nord de l'Europe, ont maintenu et modernisé leur réseau de tramways. Mais, dans un passé récent, le développement du trafic automobile a aussi montré le revers de la médaille (accidents, pollution, etc.) et ses limites : le réseau routier, et surtout la voirie

urbaine, n'est pas indéfiniment extensible, alors que les besoins de déplacement de la population ne cessent d'augmenter. Les villes sont menacées de saturation et le trafic urbain de paralysie. Cette dernière touche également les bus ; les voies qui leur sont réservées constituent une solution dont l'efficacité n'est que très relative. Bien que Lausanne dispose d'une autoroute de contournement qui lui épargne le trafic routier en transit, son centre est menacé de saturation (fig. 1).

Cette situation oblige à rechercher de nouvelles solutions pour les transports collectifs urbains et régionaux qui, pour être efficaces, doivent disposer d'un site propre. De leur côté, les techniques de transport par rail ont évolué et c'est ainsi qu'on assiste de nos jours, sous une forme rajeunie et modernisée, à un «retour», peut-être surprenant, du tramway, à une «revanche» du rail.

L'urbanisation des campagnes

Un des phénomènes liés à la croissance démographique et économique d'une part, au développement du trafic automobile d'autre part, consiste en la dispersion tant de l'habitat que des activités économiques. Les villes, trop exiguës, deviennent des agglomérations se transformant en nébuleuses qui se substituent au paysage traditionnel de localités distinctes et séparées les unes des autres par des campagnes. La notion même de localité tend à céder la place à celle de région. Cette évolution est génératrice de déplacements et donc d'une demande croissante de transports.

¹ «Où sont passés les tramways ? Les Lausannois témoignent», par Charles-Etienne de Gasparo et Patrick Vianin. (Article à paraître dans *Ingénieurs et architectes suisses*.)



A



B

Fig. 1. - Evolution des zones de charge critique du réseau routier du Sud-Ouest lausannois. A : Situation en 1983. B : Situation future dans l'hypothèse du non-renforcement des transports collectifs.

L'historique des transports publics lausannois

- 1856 Inauguration de la gare de Lausanne du chemin de fer Ouest-Suisse, qui fusionnera avec la Ligne d'Italie pour former le Ouest-Suisse-Simplon, puis le Jura-Simplon, enfin sera absorbé par les CFF ; Lausanne est reliée par chemin de fer à Yverdon et à Morges (1856), à Genève (1858), à Saint-Maurice (1861), à Fribourg et à Berne (1862) et à Vallorbe (1870).
- Dès 1860 Projets de création d'une ligne de chemin de fer à travers le Gros-de-Vaud; une ligne à voie normale reliant Lausanne à Payerne est envisagée.
- 1862 Genève inaugure la première ligne de tramway de Suisse.
- 1862-1901 Création des premières lignes de tramway dans les villes suisses.
- 1869-1894 Préliminaires à la création d'un réseau de tramways à Lausanne.
- 1873 Inauguration du premier chemin de fer à voie métrique de Suisse, reliant Lausanne à Cheseaux, puis, à partir de 1874, à Echallens, exploité par la société Lausanne-Echallens (LE). Le terminus de la place Chauderon à Lausanne est provisoire, en attendant le report de ce terminus à la gare du Flon afin d'établir une liaison avec le réseau ferroviaire et le port d'Ouchy, via le métro.
- 1877 Le premier funiculaire de Suisse relie Lausanne à Ouchy ; il sera remplacé en 1958 par un chemin de fer à crémaillère.
- 1879 Un funiculaire relie la place de la Gare à la vallée du Flon ; il sera remplacé par un chemin de fer à crémaillère.
- 1889 Prolongement de la ligne Lausanne-Echallens jusqu'à Bercher par le Central Vaudois.
- 1895 Constitution de la Société des Tramways lausannois, les TL.
- 1896 Début d'exploitation par les TL d'un réseau de tramways de 11 km de longueur, 25 voitures transportant 570 000 voyageurs à l'année ; le réseau s'étend jusqu'à Lutry (à l'est de Lausanne).
- 1898 Scrutin décidant la création des CFF regroupant les lignes ferroviaires d'intérêt national ; longueur du réseau : 2897 km.
- 1899 Ouverture à l'exploitation d'un funiculaire entre la place du Vallon et le Signal de Sauvabelin ; il sera supprimé en 1948.
- 1902 Le Grand Conseil du canton de Vaud adopte un décret relatif aux chemins de fer à construire dans le canton. Une ligne à voie métrique reliant Renens, Ecublens et Saint-Sulpice est prévue.
- 1902 Début d'exploitation des Chemins de fer électriques régionaux du Jorat reliant Lausanne (La Sallaz) à Moudon et par un embranchement à Savigny.
- 1903 Mise en service d'une ligne de tramway reliant Renens à Lausanne.
- 1907 Inauguration de la ligne suburbaine de Montheron (au nord de Lausanne).
- 1909 Les plans de la ligne Renens-Ecublens-Saint-Sulpice sont élaborés.
- 1910 Les TL absorbent les Chemins de fer électriques régionaux du Jorat.
- 1912 Dernière création d'une ligne de tramway à Lausanne.
- 1913 Fusion du Central Vaudois avec la LE pour constituer la Compagnie du chemin de fer Lausanne-Echallens-Bercher (LEB).
- 1914 Le projet d'une liaison ferroviaire entre Renens et Saint-Sulpice est abandonné, une liaison par bus est envisagée.
- 1926 Projet d'un port marchand de la Chamberonne sur le Léman, avec raccordement ferroviaire à la gare CFF de Renens évoluant entre des terrains à vocation industrielle (IAS 3/84, p. 41).
- 1929 Une ligne d'autobus relie Ecublens et Chavannes à Renens. L'exploitation d'une ligne d'autobus entre Saint-Sulpice et Lausanne est rétablie, elle constitue la première ligne d'autobus exploitée par les TL.
- Vers 1930 Le réseau de tramways à Lausanne atteint son extension maximale : 66,2 km.
- 1932 Première suppression d'une ligne de tramway à Lausanne ; la première ligne de trolleybus urbain de Suisse relie Ouchy à la gare CFF.
- 1942 La pénurie de pneumatiques due à la guerre impose la suppression temporaire de certaines lignes de bus et le rétablissement de certaines lignes de tramway.
- Dès 1946 Reprise de la suppression des lignes de tramway à Lausanne.
- La Confédération achète les terrains nécessaires pour la construction d'un aérodrome dans la région d'Ecublens.
- 1946 Le peuple vaudois refuse les subsides nécessaires à la réalisation de l'aérodrome d'Ecublens.
- 1948-1976 Plusieurs villes suisses mettent fin à l'exploitation des tramways.
- 1953 La liaison entre la ligne du métro et les voies CFF à la place de la Gare ayant été supprimée, on raccorde la gare du Flon à la gare de Sébeillon.
- 1958 Le funiculaire Lausanne-Ouchy, dit « La Ficelle », exploité depuis 1877, est remplacé par un chemin de fer à crémaillère ; la gare du Flon est complétée par des ascenseurs qui la relient au niveau du Grand-Pont.
- 1964 Suppression de la dernière ligne de tramway à Lausanne : le tramway Renens-Lausanne-La Rosiaz est remplacé par une ligne de trolleybus.

La ville de Lausanne se trouve aujourd'hui au centre d'une région en intense développement. Son exiguité entravait le développement de l'Université et de l'Ecole polytechnique. Leur déplacement à l'extérieur de la ville s'imposait. La création, à partir de 1970, d'un site universitaire de 162 ha à 5 km du centre de la ville, avec plus de 12 000 places de travail mais sans logements pour ceux qui y sont occupés régulièrement, a eu un effet de choc sur l'évolution de la région et créé un nouveau problème de transports.

Dans un premier temps, jusqu'au début des années quatre-vingt, on semblait hésiter. Les projets demeuraient en suspens, les décisions étaient différées. Ensuite, l'extension des services d'autobus a apporté une solution au moins momentanée. Mais la nécessité de résoudre le problème par des moyens modernes, efficaces et durables a fini par s'imposer.

A partir du moment où, vers 1982, les autorités politiques ont pris conscience de la nécessité de s'engager, le Conseil d'Etat vaudois a manifesté une volonté politique d'aboutir. Depuis, les choses sont allées bon train. Dès 1983, un expert était mandaté pour les études, de nombreuses consultations avaient lieu, les conditions légales et financières étaient réunies pour la création d'une nouvelle ligne de tramway moderne ou métro léger. Cette phase difficile aura duré cinq ans. La réalisation du projet aura nécessité trois ans supplémentaires. Le Métro Ouest sera inauguré en 1991.

Organisation du travail

Tout a été mis en œuvre afin d'éviter la création de structures nouvelles mais temporaires, sources de dépenses inutiles.

Le maître d'ouvrage est représenté par le Département des travaux publics de l'Etat de Vaud, sous l'égide duquel un comité exécutif assure la direction générale du projet.

La coordination des travaux de génie civil et d'infrastructure est assurée par le Service des autoroutes dépendant de ce département, la coordination des autres travaux et aménagements (superstructure de la voie, construction d'un dépôt-atelier, alimentation

Les transports publics dans la région lausannoise en 1988

Les TL et le Métro (LO et LG) desservent une région de 37 communes comptant 245 000 habitants et transportent près de 69 millions de voyageurs.

Un parc de 230 véhicules parcourt un réseau de 30 lignes d'une longueur totale de 240 km.

Quelques sigles et abréviations

CFF	Chemins de fer fédéraux (compagnie nationale suisse des chemins de fer)
CHUV	Centre hospitalier universitaire vaudois à Lausanne
CIURL	Commission intercommunale d'urbanisme de la région lausannoise
COH	Commission de coordination de l'aménagement de l'Ouest lausannois et des Hautes Ecoles
EPFL	Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
EPSIC	Ecole professionnelle de la Société industrielle et commerciale, Lausanne
GREF	Groupe de réflexions et d'études ferroviaires (de l'EPFL)
GTLT	Groupe technique lausannois des transports
LAVOC	Laboratoire des voies de circulation (EPFL)
LEB	Compagnie du chemin de fer Lausanne-Echallens-Bercher (à voie métrique, inaugurée en 1873). Sa gare lausannoise de la place de Chauderon n'est toujours pas reliée aux autres lignes de transport par rail de la ville - même si cela fut le cas, pendant un certain temps, grâce au tramway !
LG	Voir Métro Gare
LO	Voir Métro Ouchy
MÉSO	Métro express du Sud-Ouest lausannois (projet abandonné)
Métro	Métro Lausanne-Ouchy SA, propriétaire de deux lignes de métro exploitées par les TL: Métro Ouchy (LO) et Métro Gare (LG).
	<i>Métro Gare (LG):</i> ligne de chemin de fer funiculaire puis à crémaillère reliant depuis 1879 la place de la Gare (CFF) à la gare du Flon, au centre de la ville. La gare du Flon est reliée par ascenseurs au niveau du Grand-Pont et de la place Saint-François.
	<i>Métro Ouchy (LO):</i> ligne de chemin de fer funiculaire puis à crémaillère reliant depuis 1877 Ouchy, au bord du Léman, à la gare du Flon, au centre de la ville.
	<i>Métro Ouest:</i> nom de la nouvelle ligne reliant la station de Lausanne-Flon (contiguë à la gare du Flon des deux autres lignes de métro existantes) à la station de Renens CFF. La ligne est propriété de la société TSOL, mais elle sera exploitée, comme les deux autres lignes de métro, par les TL.
NLFA	Nouvelle ligne ferroviaire alpine
TSOL	Tramway du Sud-Ouest Lausannois SA. Société constituée en automne 1988, propriétaire de la nouvelle ligne du Métro Ouest. La société n'engage pas de personnel pour l'exploitation; celle-ci sera assurée par les TL.
TL	Société des Tramways lausannois, fondée en 1895, devenue Transports publics de la région lausannoise SA en 1963. Ses actionnaires sont le canton de Vaud et 37 communes de la région concernée.
UNIL	Université de Lausanne

électrique, installations de sécurité et préparation de l'exploitation) par les TL.

L'ensemble des travaux a été divisé en lots, attribués aux bureaux d'études et aux entreprises de la région.

La société TSOL a été constituée propriétaire de la nouvelle ligne. Toutefois, elle n'engagera pas de personnel; le Métro Ouest sera exploité par les TL, comme c'est déjà le cas pour les deux autres lignes de métro appartenant également à une société distincte.

Financement du Métro Ouest

Initialement, en 1985, le projet avait été budgétisé à 133, puis à 135 millions de francs, comprenant la construction et l'équipement de la ligne ainsi que l'acquisition du matériel roulant². Ce montant a été réparti entre la Confédération³, le canton de Vaud et les quatre communes concernées :

Confédération :

45 000 000 de francs (33,3 %)

Etat de Vaud :

58 500 000 francs (43,3 %)

Communes :

21 500 000 francs (16,0 %)

- Lausanne :

13 380 000 francs (9,9 %)

- Chavannes-près-Renens :

3 060 000 francs (2,3 %)

- Renens :

2 000 000 de francs (1,5 %)

- Ecublens :

3 060 000 francs (2,3 %)

TL (emprunt garanti par l'Etat) :

10 000 000 de francs (7,4 %)

Total :

135 000 000 de francs (valeur 1985)

On soulignera l'important engagement financier du canton.

En cours de réalisation, il a fallu réévaluer le montant des coûts et le porter à 192 millions de francs. Cette augmentation est due en grande partie à l'évolution des coûts de la construction, mais aussi à des difficultés imprévisibles, inhérentes aux travaux en milieu urbain. La différence de 57 millions de francs a pu être couverte par une contribution supplémentaire de 43 720 000 francs de l'Etat de Vaud et

² Les 12 automotrices articulées qui constituent le parc initial ont été commandées en janvier 1988 aux Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey et à ASEA Brown Boveri, Zurich, pour une somme de 36,5 millions de francs.

³ La Confédération ne disposant pas de base légale pour participer au financement de la construction d'une ligne de transport en milieu urbain, c'est au titre de propriétaire de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne et par référence à l'article 27 de la Constitution qu'elle a pu accorder sa participation de 45 millions de francs.

Vers le Métro Ouest

- 1968 L'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne (EPUL) est transférée à la Confédération et devient l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Une convention passée entre la Confédération et le canton de Vaud prévoit le déplacement, sur vingt-cinq ans, de l'EPFL et de l'Université de Lausanne (UNIL), à l'exception de sa faculté de médecine, sur les terrains situés à Ecublens et à Dorigny, à l'ouest de la ville.
- 1970 Inauguration du Collège propédeutique, le premier bâtiment universitaire construit sur le nouveau site à Dorigny.
- Oct. 1970 Mise en place par les TL de transports spéciaux par autobus reliant les Hautes Ecoles à la gare CFF et à la place du Tunnel à Lausanne.
- 1972 Dans son message sur la première phase de construction de l'EPFL à Ecublens, le Conseil fédéral suggère la construction d'un nouveau système de transports.
- 1972 La ligne d'autobus TL N° 19 relie la piscine de Renens à la place de la Gare-du-Flon à Lausanne.
- 1973 La ligne d'autobus TL N° 18 relie les communes de Chavannes et d'Ecublens, les Hautes Ecoles et le quartier de La Bourdonnette à la place de la Gare-du-Flon à Lausanne.
- 1973 Le programme prioritaire des transports en commun du Plan directeur de la région lausannoise préconise la création d'un système intégré, comprenant une ligne ferrée Ouchy-Flon-Blécherette en site propre, raccordée au LEB. Les lignes desservant le Sud-Ouest seraient également branchées à Ouchy. Le terminus des lignes d'autobus suburbaines desservant le Jorat serait déplacé de la place du Tunnel à la place de la Gare-du-Flon.
- 1979-1980 Interventions de l'Université et de l'EPFL auprès des autorités cantonales pour qu'une étude générale sur les transports publics du Sud-Ouest lausannois soit décidée.
- 1980 La direction des TL entreprend d'étudier les possibilités de développement des transports publics en direction du sud-ouest, utiles à la fois à la population des communes et aux usagers des Hautes Ecoles.
- 1981 Le syndic d'Ecublens, président de la COH, invite le Conseil d'Etat vaudois à résoudre le problème du transport des étudiants et présente un projet de liaison ferroviaire entre la gare CFF de Lausanne et le site des Hautes Ecoles.
- 1982 Une délégation de plusieurs organismes concernés effectue un voyage d'étude en France et en Allemagne pour se familiariser avec les transports urbains modernes et automatisés.
- Fév. 1983 Le rapport CIURL *Transports en commun dans le secteur sud-ouest lausannois – moyen terme* propose la restructuration des lignes d'autobus.
- Début 1983 Le Conseil d'Etat du canton de Vaud mandate le professeur Philippe H. Bovy pour une étude détaillée de la desserte par les transports publics du Sud-Ouest lausannois et des Hautes Ecoles et pour concevoir un projet qui permette d'accroître substantiellement la qualité et la capacité des transports collectifs au bénéfice conjoint de la population et des usagers des Hautes Ecoles (*IAS 3/84*, pp. 33-36).
- Sept. 1983 La capacité de la ligne d'autobus TL N° 18 est accrue grâce à l'acquisition de véhicules articulés et à l'introduction d'une fréquence de 10 minutes ; création d'une ligne d'autobus N° 10 reliant Renens à Chavannes et aux Hautes Ecoles.
- Déc. 1983 Conclusion de la première phase de l'étude du professeur Bovy : 13 variantes analysées, recouvrant les principales techniques de transport collectif classiques et non traditionnelles ; l'étude aboutit au choix de deux solutions privilégiées : une ligne de trolleybus articulés et une ligne de tramway moderne ou métro léger.
- Janvier-mars 1984 Consultation des instances concernées ; la plupart des préavis déposés sont favorables à une solution dite « de tramway moderne » aussi indépendante que possible de la circulation automobile.
- Mai 1984 Le Conseil d'Etat décide d'approfondir les études de la solution par tramway moderne et de garder la variante trolleybus en réserve.
- Avril 1985 Deuxième rapport du professeur Bovy, portant sur l'avant-projet d'un tramway moderne ; le choix d'un métro léger est confirmé ; une société anonyme indépendante deviendrait propriétaire de la nouvelle ligne dont l'exploitation serait confiée aux TL ; le projet est estimé à 133 millions de francs (valeur 1984-1985) ; la mise en service de la nouvelle ligne serait prévue pour fin 1989.
- 1985 Sous l'égide du Département des travaux publics de l'Etat de Vaud, un comité exécutif de construction est constitué pour prendre en charge les études et préparer les soumissions.
- 1985 L'Etat de Vaud accorde sa participation financière au projet.
- 1986 Mise à l'enquête technique.
- 1986 La Confédération accorde sa participation financière et la concession d'exploitation pour cinquante ans.
- 1987 L'Office fédéral des transports délivre le permis de construire.
- 1987 Les quatre communes concernées - Chavannes-près-Renens, Ecublens, Lausanne et Renens - accordent leur participation financière.
- Janv. 1988 Commande des 12 automotrices articulées.
- 1988 A l'initiative du professeur Roland Crottaz, l'EPFL lance l'étude d'une antenne « Venoge-Rail » prolongeant la future ligne du Métro Ouest jusqu'à la gare CFF de Morges, dans le but de valoriser l'investissement en améliorant la desserte du littoral (*IAS 13/88*, pp. 198-200).
- 1988 Attribution des mandats.
- Printemps 1988 Début des travaux de construction.
- Automne 1988 Constitution de la société Tramway du Sud-Ouest Lausannois SA TSOL.
- Mai 1991 Fin prévue des travaux de construction.
- Juin 1991 Mise en service prévue du Métro Ouest.

par un emprunt de 13 280 000 francs de la société TSOL.

A l'heure où nous mettons sous presse (juin 1990), les travaux n'étant pas terminés, le coût total du projet n'est pas connu définitivement.

La plus grande partie des 54 000 m² de l'emprise de la nouvelle ligne appartenant déjà à des collectivités publiques, seuls 4000 m² de terrains privés ont dû être acquis.

Les travaux de génie civil occupent une place prépondérante dans les dépenses.

Le capital-actions de la société TSOL, constituée en 1988, s'élève à 53,5 millions de francs. Les fondateurs de la société sont l'Etat de Vaud (pour 32 millions de francs) et les quatre communes (pour le montant de leur participation au projet).

Un numéro spécial d'*Ingénieurs et architectes suisses*

Dans un premier article (en deux parties), le professeur Philippe H. Bovy présente les deux phases de l'étude qui ont conduit à la conception, puis à l'avant-projet de la solution retenue. Au cours de la première phase de l'étude, non moins de 13 variantes ont été examinées, mais seulement deux d'entre elles ont été retenues pour étude ultérieure. La deuxième phase de l'étude a confirmé les conclusions de la première et a permis de pour-

suivre l'étude de l'une des deux variantes jusqu'à l'avant-projet qui a été adopté. C'est ainsi qu'est née la solution «tramway moderne ou métro léger», baptisé d'abord TSOL, puis finalement Métro Ouest, et que son tracé a été défini.

La nouvelle ligne, longue d'environ 7,8 km, est d'une implantation délicate dans sa partie urbaine. Le détail de son tracé fait l'objet d'un second article. De nombreux ouvrages d'art – un tunnel, des ponts, des tranchées couvertes, une trémie, une estacade et de nombreux murs de soutènement – jalonnent la ligne du Métro Ouest. Une série de quatre articles est consacrée à ces travaux de génie civil.

La construction du Métro Ouest a nécessité l'aménagement de certaines infrastructures dans le secteur de l'EPFL. Ces travaux ne font pas partie du projet mais y sont néanmoins étroitement liés. Un article leur est consacré.

Une ligne de métro n'est pas seulement constituée d'une succession d'ouvrages de génie civil. L'aménagement de la voie et des stations, la construction d'un dépôt-atelier, l'alimentation électrique et les installations de sécurité, ainsi que l'exploitation de la future ligne, sont présentés par Claude-Alain Guignet, ingénieur responsable du projet aux TL.

Le matériel roulant, conçu spécialement pour le Métro Ouest, est présenté

par Pierre Guignard, ingénieur aux Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, fournisseur des douze automotrices articulées qui constituent le parc initial du Métro Ouest.

L'implantation du Métro Ouest nécessite d'adapter l'offre de transports publics dans le secteur. Les modifications prévues dans ce domaine sont décrites dans un bref article préparé sur la base des informations fournies par les TL.

Dans l'article qui conclut ce numéro spécial d'*Ingénieurs et architectes suisses*, le professeur Philippe H. Bovy, l'un des principaux artisans du Métro Ouest lausannois, replace la réalisation de ce projet dans une perspective régionale et ouverte sur l'avenir.

L'ouvrage sera achevé et le Métro Ouest mis en service en 1991. Ses futurs usagers l'attendent avec impatience. Souhaitons qu'il vérifie les hypothèses de ses concepteurs et réponde pleinement à l'attente de la population. Dans ce cas, il aura joué avec succès son rôle de projet pilote. La rédaction d'*Ingénieurs et architectes suisses* remercie tous les auteurs d'articles comme tous ceux qui, expressément nommés ou anonymes, dans les bureaux d'études et dans l'administration, ont contribué par des informations ou par leur conseil, par le texte, le dessin ou la photographie, à la réalisation de ce numéro spécial.

Pierre Boskovitz

Un métro léger dans le Sud-Ouest lausannois

Première partie : choix d'une solution

La première phase (février à décembre 1983) de l'étude portant sur la desserte, par les transports publics, du Sud-Ouest lausannois, devait consister à

**PAR PHILIPPE H. BOVY,
LAUSANNE**

examiner l'ensemble des modalités du renforcement des transports collectifs.

Le problème et les objectifs

La région lausannoise et tout particulièrement son secteur sud-ouest connaissaient depuis une décennie une mutation fondamentale : le transfert des Hautes Ecoles lausannoises (Université de Lausanne et Ecole polytech-

nique fédérale de Lausanne) sur un site de 162 ha à 5 km du centre de la ville – le plus important transfert planifié d'institutions publiques qu'ait connu la région (fig. 1) et un regroupement qui touchera vers 1995 un effectif de 12 000 à 13 000 personnes. Les territoires voisins de Chavannes-près-Renens, Ecublens et Saint-Sulpice, ainsi que le sud-ouest de Lausanne et le sud-est de Renens, bien situés par rapport au lac Léman et aux liaisons routières et autoroutières (N1), enregistraient une accélération de leur urbanisation imputable en partie au développement des Hautes Ecoles. Parmi les problèmes d'insertion et de desserte de ces Hautes Ecoles se posait celui des transports collectifs, qui était le plus préoccupant. Le Conseil d'Etat du canton de Vaud fit alors entre-

prendre une étude dont l'objectif était : «concevoir un projet qui permette d'accroître substantiellement la qualité et la capacité des transports collectifs, cela au bénéfice conjoint de la population du Sud-Ouest lausannois et des usagers des Hautes Ecoles» [1]².

La définition de cet objectif mettait bien en évidence les deux plus importantes facettes du problème : assurer la complémentarité de service dans le temps et dans l'espace pour les deux clientèles cibles – la population des communes et les usagers des Hautes Ecoles – ; faire en sorte que le projet profite à la plus grande clientèle potentielle et améliore la desserte dans un périmètre aussi large que possible.

Nécessité de renforcer les transports collectifs

Les résultats des analyses ont montré que le renforcement des transports collectifs était une nécessité vitale non

¹ Voir IAS 3/84, pp. 33-36.

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

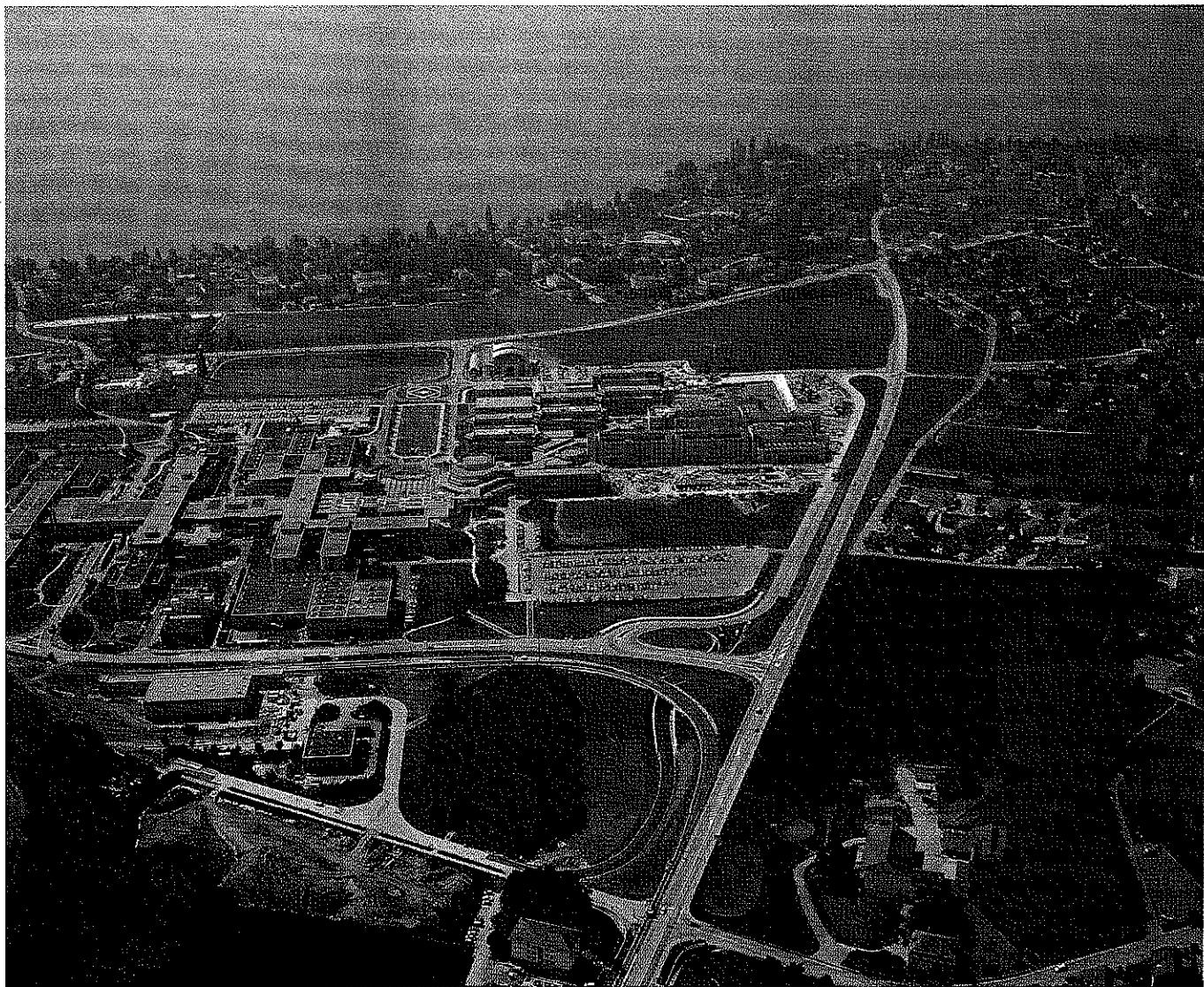


Fig. 1. - EPFL: vue aérienne, mai 1990.

(Photo Germond, Lausanne.)

seulement pour les usagers futurs de ces transports, mais aussi pour l'ensemble des usagers et tout particulièrement ceux qui utilisent les transports individuels.

En effet, le maintien du *statu quo* des transports collectifs aurait conduit à un accroissement majeur des besoins de stationnement des Hautes Ecoles et le trafic engendré aurait surchargé le réseau routier du Sud-Ouest lausannois au point d'étendre la zone de congestion caractérisée de Lausanne d'environ 3 km vers le sud-ouest, menaçant également de saturation une des liaisons, encore confortable, entre le centre ville et l'autoroute. La congestion automobile n'épargne d'ailleurs pas les transports collectifs par autobus ou trolleybus, très sensibles aux encombrements de circulation, puisqu'ils empruntent la même voirie.

L'adaptation du réseau routier semblant coûteuse et aléatoire, la mise en place d'un système de transport collectif, efficace et attrayant même pour l'automobiliste, était sans doute la seule solution valable et réaliste pour ce secteur.

Moyens de transport considérés

L'étude s'est appuyée sur une consultation systématique et intensive de l'ensemble des milieux concernés. Toutes les possibilités et propositions formulées par les milieux les plus différents ont été examinées afin de connaître et d'évaluer l'éventail complet des solutions techniquement imaginables. Les 13 solutions ainsi envisagées ont été regroupées en quatre familles (tableau 1 et fig. 2):

- les transports collectifs routiers
- les transports collectifs guidés
- les transports collectifs automatisques guidés (fig. 3)
- les transports ferroviaires.

Il est à noter que la quasi-totalité des solutions examinées s'articule sur un terminal lausannois situé à la place de la Gare-du-Flon, ce qui s'explique par la configuration de la région lausannoise et la structure de son système de transport collectif axé sur le pôle Saint-François-Bel-Air-place de la Gare-du-Flon, desservi par plus d'une douzaine

de lignes TL, par le métro Lausanne-Ouchy et ultérieurement par le chemin de fer Lausanne-Echallens-Bercher prolongé jusqu'au Flon.

Evaluation et présélection des variantes

Pour évaluer l'impact des variantes, leur étude comparée a pris en considération une vingtaine de critères regroupés en cinq domaines d'appreciation :

- aspects financiers
- fonctionnement technique et service offert à l'usager
- mobilité régionale et accessibilité
- impact sur l'aménagement du territoire, l'urbanisme et l'environnement
- modalités de réalisation et de développement.

L'évaluation technico-économique a conduit à l'élimination successive de 11 des 13 solutions envisagées initialement, pour une ou plusieurs des raisons suivantes (fig. 4):

- incompatibilité avec les objectifs fixés par le Conseil d'Etat

- coûts excessifs (investissement ou exploitation)
- accumulation de difficultés techniques
- fiabilité d'exploitation incertaine
- mauvaise qualité de desserte de la population du secteur
- problèmes majeurs d'insertion urbaine
- solution surclassée par une solution du même type.

Un intense effort d'information et de consultation

En accord avec les autorités cantonales et communales, une procédure dynamique d'information et de consultation a été engagée. Plus de 70 séances ont eu lieu durant la première phase d'étude non seulement avec les milieux officiels concernés, mais également avec les partis politiques, de nombreuses associations et groupes de citoyens intéressés par le développement du projet. Cette opération a été fructueuse, car elle a permis de prendre en compte de nombreux aspects qui échappent généralement à une démarche de caractère «technocratique». Au terme de cette première phase d'étude, le Département des travaux publics a procédé à une très ample consultation officielle dont les résultats confirment le bien-fondé des recommandations alors émises.

TABLEAU I. - Eventail des solutions examinées.

N°	Solutions examinées	Itinéraire de la principale liaison
	Transports collectifs routiers	
1	A1 Axe fort bus	Flon/Sud-Ouest
2	A2 Axe fort trolleybus	Flon/Sud-Ouest
	Transports collectifs guidés	
3	B1 Tramway (métro léger)	Flon/Ecublens
4	B2 Tramway (métro léger)	Flon/Sud-Ouest/Renens
	Transports automatiques guidés	
5	C1 Métro aérien suspendu (H-Bahn)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
6	C2 Métro aérien à SM ¹ (M-Bahn)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
7	C21 Métro aérien à SM ¹ (M-Bahn)	Flon/Ecublens
8	C22 Métro aérien à SM ¹ (M-Bahn)	Flon/Sud-Ouest/Renens
9	C3 Métro aérien (monorail)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
10	C4 Métro aérien suspendu (aérobus)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
	Transports utilisant le réseau CFF	
11	D1 Navette ferroviaire	Lausanne CFF/Hautes écoles
12	D2 Navette ferroviaire + système hybride ³	Flon/Renens
13	D3 Navette ferroviaire + réseau bus	Flon/Renens

¹ SM : sustentation magnétique.

² TT : tronçon-test choisi pour l'étude de préqualification.

³ Hybride : petits véhicules électriques «automatiquement recyclés».

Les solutions retenues et la solution dite «préférentielle»

Les deux solutions retenues, dont l'ossature est constituée par une ligne nouvelle, satisfont toutes deux aux objectifs visés :

- l'axe fort trolleybus (A2) et
- le tramway (métro léger) (B2) (fig. 5 et tableau 2).

L'avis des milieux consultés était favorable à la proposition d'une ligne de tramway ou métro léger. Cette solution demande certes un investissement environ quatre fois plus élevé que celui nécessaire pour la mise en service d'un axe fort trolleybus. En revanche, les coûts d'exploitation du tramway sont nettement inférieurs à ceux du trolleybus. En outre, une ligne de tramway ou de métro léger aménagée essentiellement en site propre offre des garanties solides et durables de fiabilité de fonctionnement, alors que les transports collectifs routiers par autobus ou trolleybus restent très fragiles en raison d'une congestion routière dont l'aggravation est manifeste.

Deuxième partie: avant-projet d'un tramway moderne ou métro léger

En mai 1984, le Conseil d'Etat du canton de Vaud décidait d'approfondir l'examen de la solution dite «préférentielle» : le tramway moderne ou métro léger.

Résultats de la consultation officielle

La première phase d'étude étant achevée en décembre 1983, le Département des travaux publics lançait alors une large information officielle et une consultation auprès des :

- instances communales et régionales : 12 préavis
- administrations et entreprises de transports publics : 5 préavis
- associations économiques et d'usagers : 14 préavis

Trois des questions posées se prêtent à une classification des réponses selon les catégories suivantes :

- préavis favorable : OUI
- préavis comportant des réserves mineures : OUI-MAIS
- préavis partiellement défavorable : NON-MAIS
- préavis défavorable : NON

Question N° 1: Pensez-vous qu'il est économiquement et socialement justifié de vouloir développer le système des transports publics dans le Sud-Ouest afin d'assurer une meilleure répartition des trafics entre les transports publics et les transports individuels ?

Question N° 2: Est-ce que le premier rapport d'étude constitue une base suf-

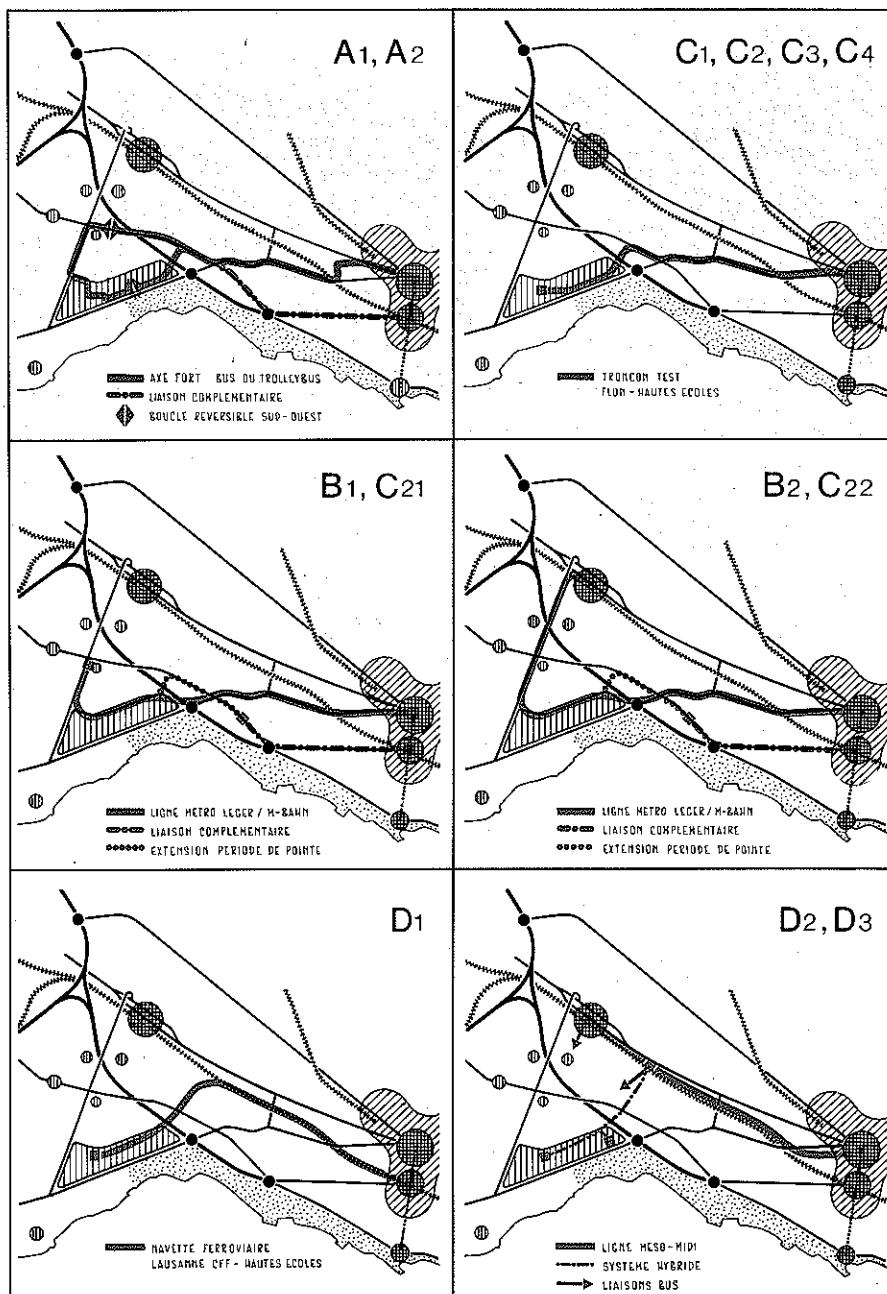


Fig. 2. – Schéma des solutions examinées.

fisante pour écarter les systèmes de transport public autres que les solutions «axe fort trolleybus» ou «tramway moderne en site propre»?

Question N° 3 : Partagez-vous l'opinion de l'expert, selon laquelle la solution «tramway moderne» constitue la meilleure variante et que son étude doit être poursuivie au niveau de l'avant-projet? (Tableau 3.)

Outre l'intérêt manifeste témoigné pour la solution «tramway moderne» essentiellement en site propre (assurant le maximum d'indépendance par rapport au réseau routier déjà très chargé), la consultation met en évidence une quasi-unanimité en faveur d'un tracé allant de Lausanne à la gare CFF de Renens ainsi qu'en ce qui concerne la répartition des stations desservant les communes (11 stations) et les Hautes Ecoles (4 stations).

Parmi les nombreuses remarques et suggestions faites, relevons celles qui apparaissent dans plusieurs préavis :

- obtenir que certains trains directs s'arrêtent à Renens pour améliorer les liaisons avec La Côte et Genève ainsi qu'avec le Nord vaudois et Neuchâtel
- assurer une liaison optimale entre la gare du Flon et la gare CFF de Lausanne
- améliorer le tracé des lignes complémentaires de bus
- examiner la possibilité de créer des parkings de dissuasion aux abords de certaines stations
- étudier en détail les passages à niveau
- revoir les plans d'affectation du sol en fonction du projet

- permettre l'extension éventuelle du système de «tramway moderne» pour un horizon plus lointain
 - effectuer une étude globale des transports publics lausannois.
- Enfin, la plupart des organismes et associations consultés insistent sur les points suivants :

- régler rapidement le problème du financement
- assurer immédiatement la protection du tracé du «tramway moderne»
- poursuivre avec célérité l'étude du projet ainsi que l'information des instances concernées.

L'effort d'information et de consultation a été poursuivi durant toute l'étude d'avant-projet ainsi que durant la longue phase de négociation du financement qui a suivi. Plus de 60 séances d'information et de consultation ont été conduites durant la seconde phase d'étude pour améliorer le projet, expliquer ses orientations et caractéristiques ainsi que pour assurer sa promotion et son succès.

La seconde phase d'étude : l'élaboration de l'avant-projet général

Les analyses réalisées au cours de la seconde phase de l'étude ont permis de :

- établir l'avant-projet général
- approfondir et améliorer la proposition initiale en assurant sa fiabilité technique
- élaborer trois pronostics de trafic afin de déterminer les recettes probables du système proposé
- consolider l'étude économique du projet: devis d'investissement et compte prévisionnel d'exploitation
- procéder à l'étude d'impact du projet sur l'environnement
- proposer les modalités d'organisation et de réalisation, ainsi qu'un calendrier général.

Les avantages du tramway moderne

Pour être efficace, un transport collectif doit disposer de sa propre infrastructure afin d'éviter les perturbations liées à la circulation routière urbaine. Compte tenu de la topographie favorable du Sud-Ouest lausannois et de l'exceptionnelle disponibilité de terrains en possession des pouvoirs publics dans ce secteur, le tramway moderne s'imposait comme la solution la mieux adaptée et techniquement la plus fiable. Ce moyen de transport présente en effet plusieurs avantages.

Vitesse

Le tramway moderne peut atteindre une vitesse de pointe allant jusqu'à

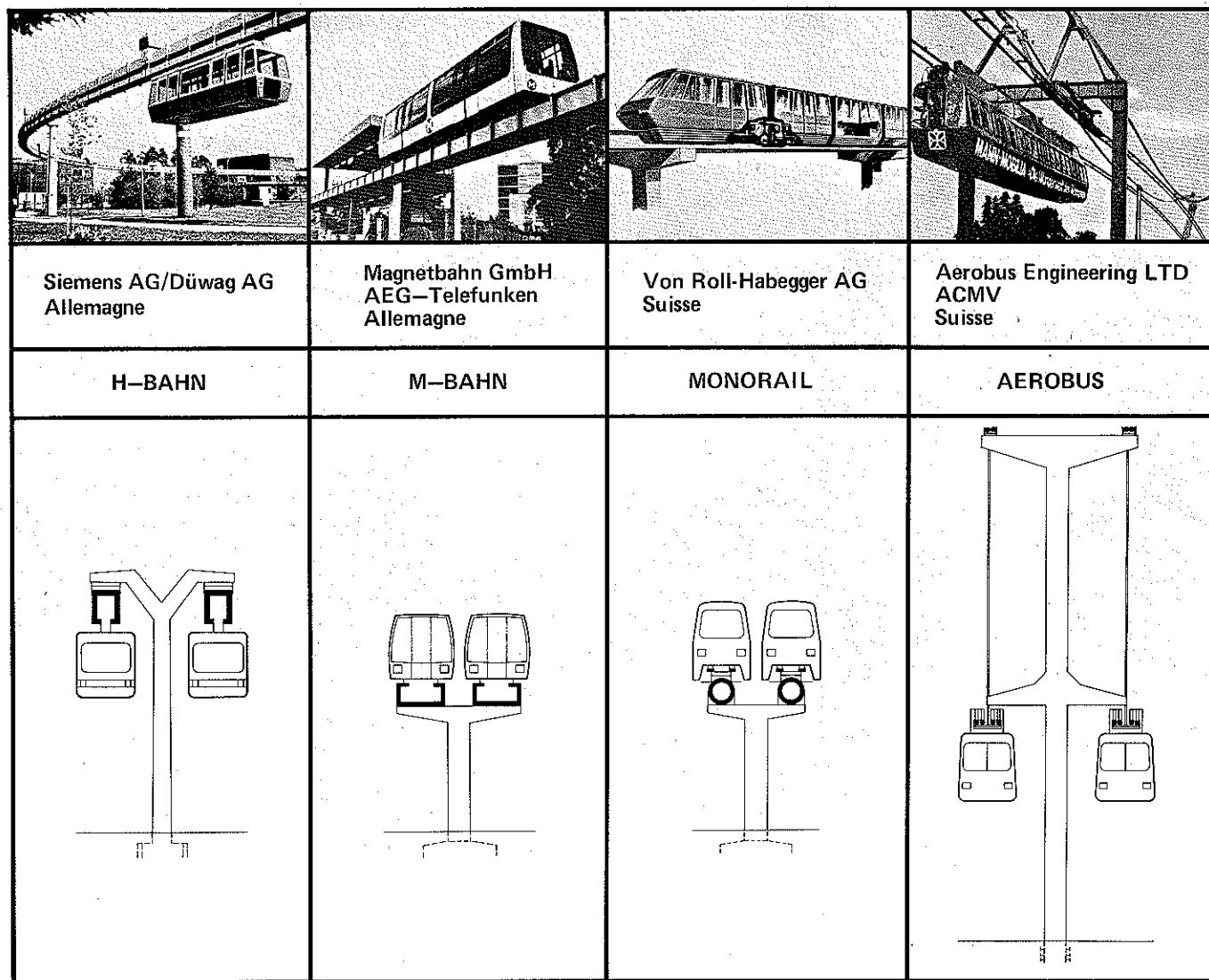


Fig. 3. – Quatre systèmes de transports automatiques guidés, examinés pendant la première phase de l'étude et non retenus (voir encadré).

60 km/h. Sa vitesse commerciale moyenne est de 26 km/h, c'est-à-dire de 60 à 70% supérieure à celle enregistrée sur des lignes urbaines de bus ou de trolleybus. La durée du trajet complet de la place de la Gare-du-Flon à la gare de Renens est de 18 minutes. L'Université se trouve à 9 minutes de la place de la Gare-du-Flon, l'EPFL à 12 minutes. Pour atteindre la gare de Renens, il faut 9 minutes depuis l'Université, 6 minutes depuis l'EPFL.

Régularité

La régularité du service est assurée grâce au site propre permettant une exploitation ferroviaire optimale de la ligne, non soumise aux perturbations et encombrements de la circulation routière.

Capacité des convois

L'utilisation de véhicules articulés offrant environ 235 places, circulant en rames doubles de 470 places durant les périodes de forte affluence, assure une capacité de transport élevée, adaptable et environ quatre fois supérieure à celle de bus ou trolleybus articulés.

Cadence et capacité de la ligne

La ligne est conçue pour une cadence d'un convoi toutes les 10 minutes, offrant une capacité de transport de 2800 voyageurs par heure et par direction, soit le double de la capacité du service de bus actuel. Un renforcement ultérieur d'un tiers de la performance de transport de la ligne - cadence d'un convoi toutes les 7 minutes et demie pour une capacité de 3750 voyageurs par heure et par sens - nécessite un

Transports automatiques guidés

Durant la première phase de l'étude, on a examiné quatre systèmes de transports automatiques guidés, pour ensuite y renoncer. Les systèmes H-Bahn et aérobus ont entre-temps aussi été abandonnés par leurs promoteurs.

Le monorail est une solution intéressante pour des parcs d'attractions et des sites touristiques, mais il ne connaît aucune application réellement urbaine, compte tenu des difficultés d'insertion urbanistique, de sa capacité relativement faible et du manque de fiabilité de son exploitation.

Seul le système M-Bahn (sustentation et propulsion magnétiques) présente un potentiel pour le futur. Toutefois, sa mise au point par l'industrie allemande a été beaucoup plus lente que prévu et aucun système de ce genre n'a été véritablement éprouvé dans une application urbaine d'envergure.

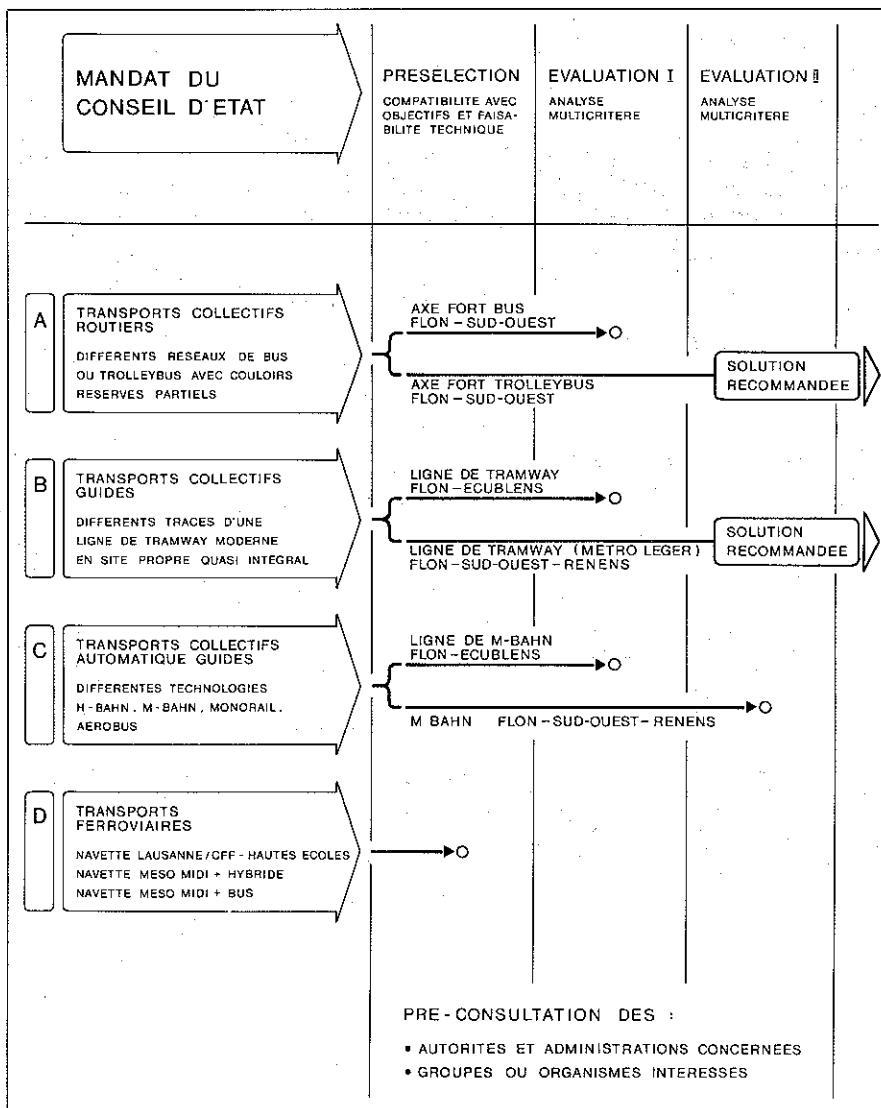


Fig. 4. – Séquences de présélection et d'évaluation des variantes.

investissement supplémentaire de 4% et entraîne un accroissement des frais d'exploitation de 7% seulement.

Confort

Le tramway moderne assure à l'usager un confort élevé en raison d'une géométrie favorable de la ligne prévue et des qualités intrinsèques de la technique ferroviaire actuelle. En plus, les quais des stations sont situés au même niveau que le plancher des rames, selon la conception des métros.

Cette disposition relativement onéreuse vise à offrir le meilleur confort d'accès possible aux usagers du tramway (fig. 6).

Productivité

La productivité de ce moyen de transport est nettement supérieure à celle d'un système de bus ou de trolleybus, en raison de la rotation rapide du matériel roulant sur la ligne et de la capacité élevée des convois. Toujours en comparaison avec un système de bus, la capacité de transport par conducteur est six fois plus élevée.

Sécurité

La sécurité est garantie par un bloc de ligne automatique comprenant des détecteurs de passage et des dispositifs d'arrêt automatique des rames en cas de non-respect de la signalisation. En outre, l'ensemble des croisements avec la circulation routière est contrôlé par une signalisation adéquate commandée de façon prioritaire par le tramway.

Tracé de la ligne et ouvrages d'art

La ligne projetée, de la place de la Gare-du-Flon à la gare de Renens, en passant par les secteurs de Montelly, Provence, La Bourdonnette, Hautes Ecoles et les communes d'Ecublens et de Chavannes, a une longueur de 7,8 km (fig. 7). Hormis un tronçon de 600 m (8% de l'ensemble) dans le secteur Tivoli-Sévelin, la ligne longe sur 6650 m (83%) des routes existantes et se trouve en souterrain sur 880 m (11%), évitant ainsi de créer de nouvelles coupures du territoire.

Le tracé proposé prévoit l'accès à la région du Flon par un tunnel de 405 m aboutissant à une station située immédiatement à l'ouest de la gare du métro Lausanne-Gare et Lausanne-Ouchy, au même niveau que les quais existants.

Outre ce tunnel sous la colline de Montbenon, six autres ouvrages d'art jalonnent le tracé de la ligne :

- une tranchée couverte de 340 m sous le carrefour de Malley
- cinq ponts de 80 à 225 m de longueur, notamment pour le franchissement de l'autoroute et des voies CFF.

Le tracé aboutit à la station terminale de Renens qui occupe une situation privilégiée à proximité immédiate de la gare CFF.

La ligne est à simple voie. Douze stations de croisement permettent de garantir la fiabilité du fonctionnement pour la cadence retenue.

L'emprise foncière totale du projet, y compris le dépôt-atelier, est de 54 000 m² dont 50 000 font partie du patrimoine foncier des collectivités publiques. Seuls 4 000 m² de terrains privés sont nécessaires. Il s'agit d'ailleurs pour 60% de terrains grevés d'alignements routiers et pour 40% de terrains occupés par deux stations susceptibles d'accueillir des bâtiments en superstructure.

Les stations et les interconnexions de transport

De la place de la Gare-du-Flon à la gare CFF de Renens, la ligne comporte 15 stations, dont 11 pour la desserte des communes et 4 pour celle des Hautes Ecoles. Distantes de 555 m en moyenne, ces stations offrent une desserte généreuse et attrayante du Sud-Ouest lausannois. En effet, la zone d'attraction primaire, d'un rayon de 400 m autour des stations, concerne 33 000 habitants, 32 000 postes de travail, ainsi que 12 000 à 13 000 usagers des Hautes Ecoles.

Onze des 15 stations sont implantées au niveau du sol, à proximité immédiate de cheminements piétonniers existants. Trois autres (Lausanne-Flon, La Vigie et Malley) sont en souterrain. (Les deux premières seront reliées par ascenseurs au niveau de Montbenon, Bel-Air et Saint-François et à celui du pont Chauderon.) La dernière, Montelly, est en pont.

Le tracé de la ligne du métro a été conçu de façon à offrir les meilleures possibilités d'interconnexion avec les autres transports publics de la région lausannoise : TL, Lausanne-Ouchy, Lausanne-Gare, CFF, LEB. Sept des 15 stations permettent ces correspondances. Les 3 stations offrant les possibilités de liaison les plus nombreuses sont :

- Lausanne-Flon avec les 2 lignes de métro, 11 lignes urbaines des TL et le futur terminus du chemin de fer Lausanne-Echallens-Bercher
- La Vigie avec 5 lignes urbaines des TL
- Renens-CFF avec les lignes CFF, 2 lignes urbaines des TL et 1 ligne suburbaine.

Le potentiel de transport

En 1984, 6,4 millions de voyageurs empruntaient les 7 lignes des TL desservant le Sud-Ouest lausannois et les transports spéciaux des Hautes Ecoles. Les performances de vitesse, de régularité et de confort du tramway

moderne et les nouvelles possibilités de déplacement offertes dans le secteur auront un effet direct sur le volume de trafic futur et son potentiel de croissance. Deux hypothèses extrêmes de développement ont été émises: l'une minimale, fondée sur un prolongement des tendances actuelles, et l'autre maximale, tenant compte du gain d'attrait du nouveau moyen de transport, d'effets d'incitation du projet sur le développement urbanistique du secteur et de la volonté des CFF d'accroître le trafic sur leur réseau en développant la qualité du service voyageurs de la gare de Renens. Un pronostic moyen dit «de référence» a aussi été étudié comme l'indique le tableau 4.

La ligne de tramway proposée permettra le transport de 25 500 à 33 500 personnes par jour durant les périodes de cours universitaires. Compte tenu de la capacité élevée des convois, une cadence de 10 minutes dans chaque sens est suffisante pour supporter la charge minimale, ainsi que celle servant de référence. En revanche, le pronostic de trafic maximal requiert une cadence de 7 minutes et demie en l'absence d'un étalement des horaires de cours académiques.

Les estimations économiques

L'estimation d'investissement de l'avant-projet de tramway moderne se montait à 133 millions de francs à la fin de 1984. Ce montant inclut la réalisation complète de la ligne, la construction du dépôt-atelier, l'acquisition du matériel roulant, les frais d'études et de direction des travaux.

L'analyse des charges et des produits d'exploitation indique que la ligne ne serait déficitaire que dans un seul cas, celui où le trafic serait de 6,5 millions de voyageurs par an. Le taux de couverture (rapport entre produits et charges) minimal de 95% est nettement supérieur à celui du réseau TL urbain, qui était de l'ordre de 60% en 1984.

TABLEAU 2. - Présentation comparative des deux solutions retenues.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES	A2 – AXE FORT TROLLEYBUS	B2 – TRAMWAY (MÉTRO LÉGER)																								
LIGNE PRINCIPALE	<ul style="list-style-type: none"> • Ligne de trolleybus articulés Flon - boucle réversible Sud-Ouest (6,75 km) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ligne de tramway Flon-Sud Ouest-Renens-CFF (7,8 km) 																								
LIGNE SECONDAIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Ligne d'autobus articulés Lausanne CFF - Vidy (2,6 km) avec liaison aux Hautes Ecoles durant les périodes de pointe. 																									
PRINCIPAUX AMÉNAGEMENTS	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement de 4,5 km de couloirs réservés sur une longueur totale de ligne de 13,5 km (33 % en site propre). 	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'une ligne à simple voie (à 95 % en site propre) comportant 11 stations de croisement 																								
DISPOSITIF DE RÉGULATION	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation coordonnée transport public / trafic routier de 13 carrefours principaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation coordonnée tramway / trafic routier de 4 carrefours principaux 																								
TERMINAUX et	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement d'un terminal routier sur la Place du Flon 	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'une gare souterraine en liaison directe avec la gare Flon du Lausanne-Ouchy et aménagement d'un terminal adjacent à la gare de Renens. 																								
STATIONS DE LA LIGNE PRINCIPALE	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement de 14 stations dont 3 pour les Hautes Ecoles 	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement de 13 stations dont 3 à 4 pour les Hautes Ecoles. 																								
TRAJET Lausanne-EPFL (actuellement 15 à 25 min. selon le sens)	<ul style="list-style-type: none"> • 15 minutes • 3 et 5 min h. de pointe/ 10 min. h. creuses • 5 min. h. de pointe 10 min. h. creuses 	<ul style="list-style-type: none"> • 12 minutes • 10 min. toute la journée avec double rames en périodes de pointes • 15 min durant les périodes de pointe 																								
TRAJET RENENS-EPFL (actuellement 8 minutes)	<ul style="list-style-type: none"> • 8 minutes • 30 minutes toute la journée 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 minutes • 10 minutes toute la journée 																								
CAPACITÉ HORAIRE DE TRANSPORT (actuellement 2000 voy./sens)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Axe principal</th> <th>Axe secondaire</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>900</td> <td>2900</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>600</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>600</td> <td>1800</td> </tr> </tbody> </table>	Axe principal	Axe secondaire	Total	2000	900	2900	600	600	1200	1200	600	1800	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Axe principal</th> <th>Axe secondaire</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2400</td> <td>400</td> <td>2800</td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>—</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td>2400</td> <td>400</td> <td>2800</td> </tr> </tbody> </table>	Axe principal	Axe secondaire	Total	2400	400	2800	1200	—	1200	2400	400	2800
Axe principal	Axe secondaire	Total																								
2000	900	2900																								
600	600	1200																								
1200	600	1800																								
Axe principal	Axe secondaire	Total																								
2400	400	2800																								
1200	—	1200																								
2400	400	2800																								
INVESTISSEMENTS TOTAUX (1983)	<ul style="list-style-type: none"> • 36.2 millions de Fr. • 14.0 millions de Fr. • 4.8 millions de Fr. • 20 ans/trolleybus et 14 ans/autobus 	<ul style="list-style-type: none"> • 129.3 millions de Fr. • 29.0 millions de Fr. • 18.0 millions de Fr. • 33 ans/tramway et 14 ans/autobus 																								
– dont matériel roulant																										
– dont études, divers et imprévus																										
Durée de vie du matériel roulant																										

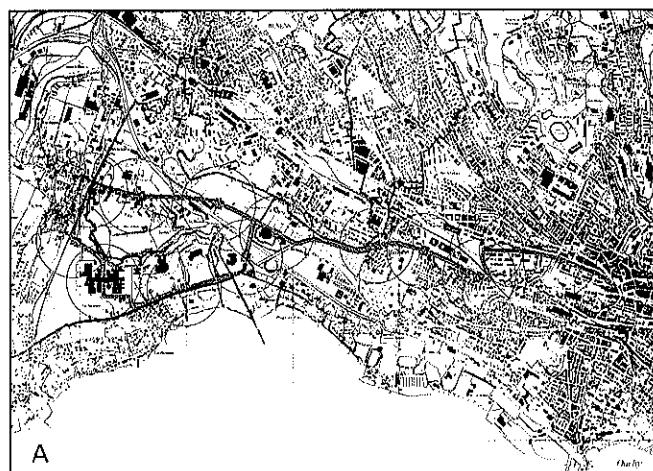


Fig. 5. – Tracé des deux solutions retenues. A : axe fort trolleybus. B : tramway (métro léger).

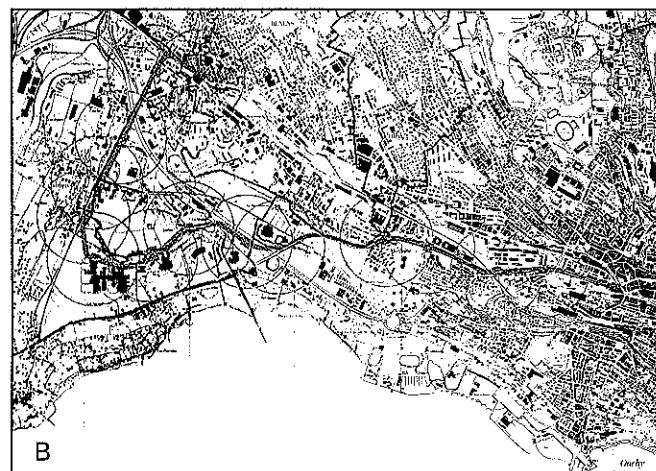


TABLEAU 3. - Répartition des préavis selon les réponses fournies à trois questions.

Préavis	Question N° 1				Question N° 2				Question N° 3			
	Oui	Oui-mais	Non-mais	Non	Oui	Oui-mais	Non-mais	Non	Oui	Oui-mais	Non-mais	Non
Instances communales et régionales	11	1	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0
Administrations	3	2	0	0	3	2	0	0	4	0	1	0
Associations	12	2	0	0	9	1	0	4	10	2	0	2
Totaux	26	5	0	0	24	3	0	4	26	2	1	2

TABLEAU 4. - Trafic actuel et pronostiqué dans le Sud-Ouest lausannois (en millions de voyageurs par année).

	Lignes TL du Sud-Ouest	Ligne de tramway	Total du réseau Sud-Ouest
Trafic actuel (1983/1984)	6,4	-	6,4
Trafic futur (1995)			
- minimal	3,0	6,5	9,5
- de référence	3,2	7,5	10,7
- maximal	3,4	8,9	12,3

La réalisation de la ligne de tramway entraîne une restructuration du réseau actuel des bus TL du Sud-Ouest lausannois. Cette restructuration, qui a pour objectif d'éviter toute duplication de service, prévoit la suppression de plusieurs lignes ainsi que la modification d'autres. Compte tenu d'une intensité de trafic nettement plus faible sur les lignes TL restantes que sur la ligne du tramway, le compte prévisionnel d'exploitation du réseau de transport collectif du Sud-Ouest lausannois indique des taux de couverture de 70 à 90 % selon les pronostics de trafic. Ces taux sont nettement plus favorables que celui du réseau TL actuel dans ce secteur, taux qui était de l'ordre de 50 % en 1984.

Toutes les hypothèses de trafic considérées montrent que les déficits d'exploitation globaux du réseau TL du Sud-Ouest lausannois complété par la nouvelle ligne de tramway seront inférieurs aux déficits du réseau TL actuel dans le même secteur.

Le métro léger d'Utrecht

Ce système de transport a, pour plusieurs raisons, influencé l'étude du Métro Ouest lausannois. Il relie des cités satellites au centre historique de la ville. Fabriqué en Suisse et acheminé aux Pays-Bas par le réseau ferré allemand, son matériel roulant offre à l'usager un confort optimal, grâce à de larges portes donnant accès à des quais situés au même niveau que le plancher des véhicules. La capacité des rames (simples ou doubles) est très semblable à celle définie par l'étude du Métro Ouest.

Bibliographie

- [1] Exposé des motifs et projet de décret accordant un crédit pour l'étude de la desserte par transports publics du Sud-Ouest lausannois et des Hautes Ecoles, Conseil d'Etat du canton de Vaud, Lausanne, février 1983.
- [2] BOVY, PHILIPPE H.: Examen d'ensemble des modalités de renforcement des transports collectifs dans le Sud-Ouest lausannois, Institut des transports et de planification ITEP-EPFL, Lausanne, Etat de Vaud, Département des travaux publics, 1983. Deux volumes.
- [3] BOVY, PHILIPPE H.: Avant-projet de tramway dans le Sud-Ouest lausannois: rapport général, Institut des transports et de planification ITEP-EPFL, Lausanne, Etat de Vaud, Département des travaux publics, 1985.

La protection de l'environnement

Moyen de transport à vocation typiquement urbaine, le tramway est fondamentalement compatible avec le milieu ambiant. La traction électrique et les progrès techniques apportés aussi bien à la voie qu'aux véhicules en font un transport adapté aux exigences essentielles de protection de l'environnement urbain.

Le bilan des impacts portant sur les aspects visuels, l'environnement naturel, ainsi que les conséquences techniques, économiques et urbanistiques du projet, révèle une image globalement positive. En effet, les impacts sont soit négligeables, soit de faible importance par rapport aux avantages manifestes découlant de ce projet.

Recommandations générales de l'étude d'avant-projet

Pour résumer, la seconde phase de l'étude a démontré qu'une ligne de tramway moderne de 8 km de longueur en site propre, comportant 15 stations, permet de desservir conjointement les communes du Sud-



Fig. 6. - Le métro léger d'Utrecht, aux Pays-Bas (voir encadré).

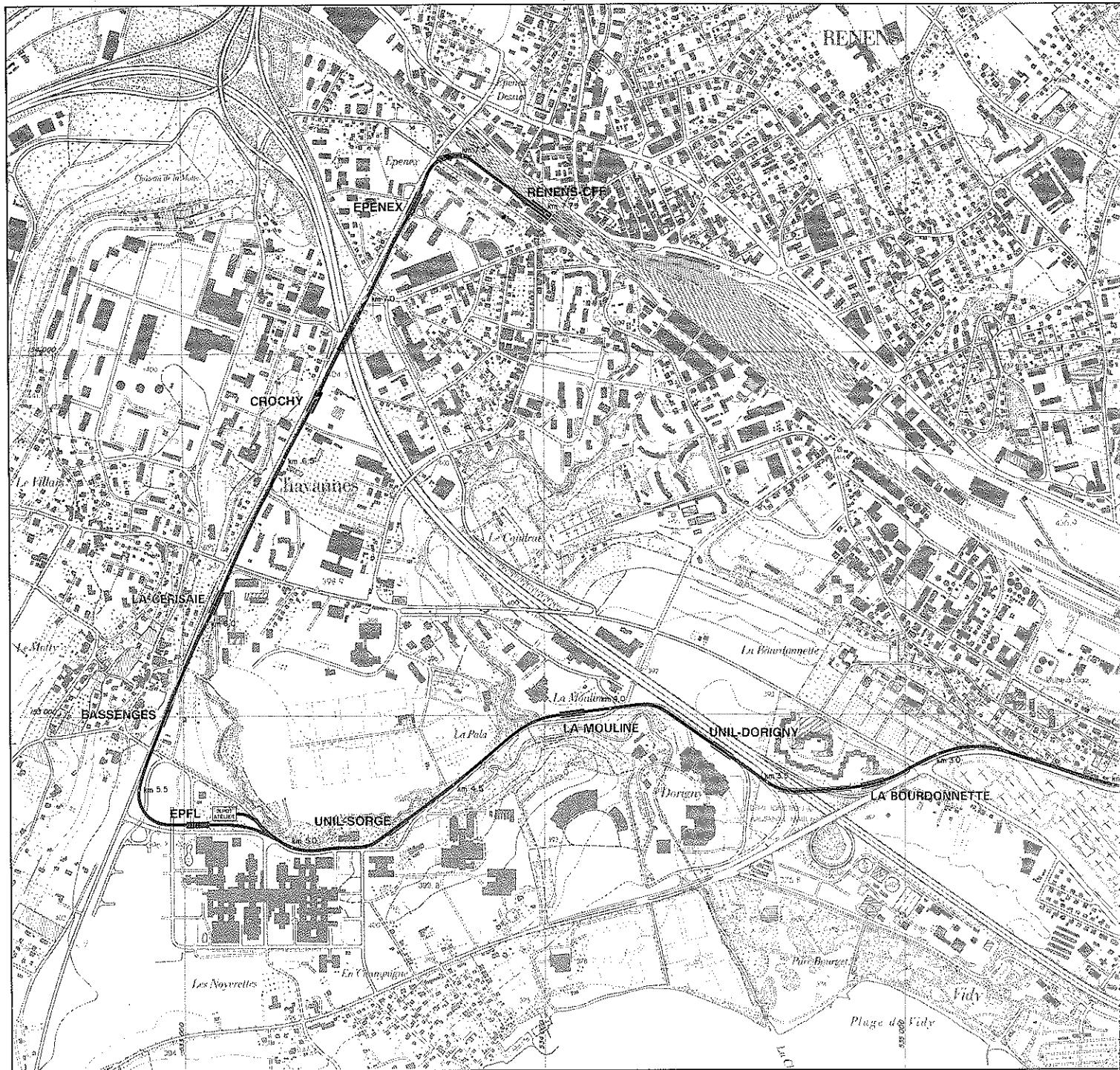


Fig. 7. – Tracé de la ligne et stations du Métro Ouest lausannois.

Ouest, l'Université de Lausanne (UNIL) et l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Avec un investissement estimé initialement (fin 1984) à 133 millions de francs, ce moyen de transport offre des performances très intéressantes de vitesse, de régularité, de capacité, de confort et de sécurité. La ligne projetée ne nécessite que peu d'achats de terrains privés et de démolitions. Elle est compatible avec les exigences de la protection de l'environnement en milieu urbain. L'expert a été en mesure de confirmer le bien-fondé des conclusions initiales. Les principaux éléments de décision, mis en consultation au printemps 1984,

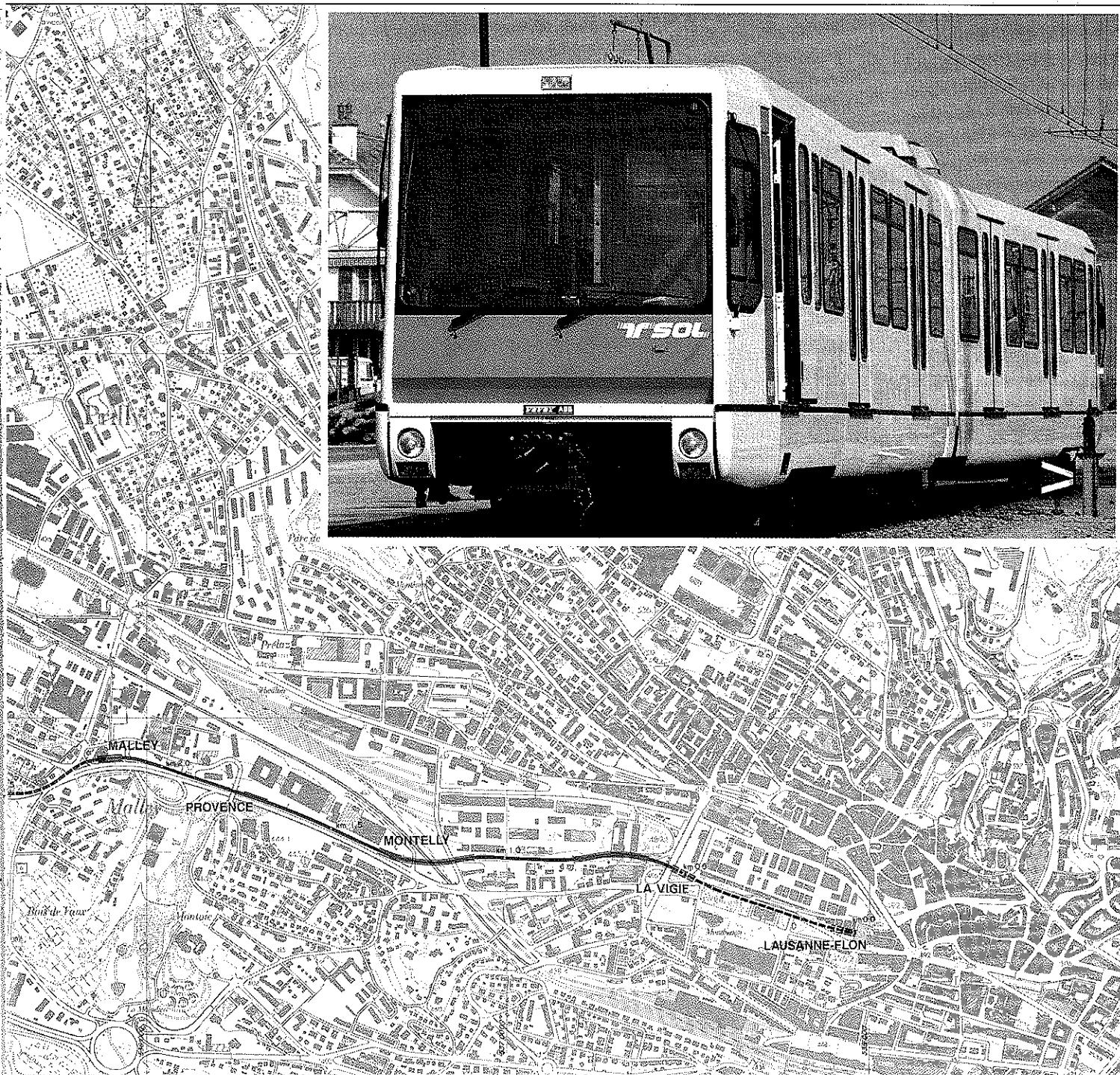
ne subissaient pas de modifications sensibles, si ce n'est des améliorations techniques et une meilleure intégration du projet dans la région. La proposition de tramway moderne ou métro léger est ainsi suffisamment élaborée pour que les négociations financières puissent se concrétiser. Dès lors, l'expert recommandait :

- d'adopter définitivement le principe de la réalisation d'une ligne de tramway moderne dans le Sud-Ouest lausannois, selon l'avant-projet général présenté ; cette solution est celle qui répond le mieux à l'objectif prioritaire d'amélioration des transports collectifs fixé par les instances can-

tonales et communales concernées, ainsi que par les Hautes Ecoles - d'engager immédiatement le processus de décision et de réalisation avec pour objectif la mise en service de la ligne pour la fin de la décennie.

Adresse de l'auteur:

Philippe H. Bovy
Professeur EPFL
Institut des transports
et de planification ITEP-EPFL
1015 Lausanne



(Plan reproduit avec l'autorisation de la Direction fédérale des mensurations, du 20 juin 1990.)

Le développement du projet Métro Ouest est le fruit d'une intense collaboration entre le pouvoir politique et les hommes de la technique. Les synergies dans l'effort des principaux acteurs ont permis le lancement de cette opération.

L'auteur tient à remercier ici tout particulièrement le conseiller d'Etat Marcel Blanc, chef du Département des travaux publics, de l'aménagement et des transports, pour sa confiance et sa détermination, ainsi que M. Vincent Krayenbühl, chef du Service des transports et du tourisme, qui a piloté cette opération de A à Z.

Le tracé du Métro Ouest: un compromis optimal

L'établissement d'un projet de voie de circulation est conditionné par des facteurs qu'on peut définir comme étant l'ensemble des éléments – les objectifs et les contraintes – qui influencent le

**PAR A.-H. ASSEF-VAZIRI
ET JÜRG RENZ, LAUSANNE**

projet. La recherche d'un tracé optimal doit s'appuyer sur ces objectifs et ces contraintes. Souvent aussi, il arrive que les objectifs soient antagonistes ; il s'agira alors de trouver le bon compromis.

Pour le Métro Ouest, moyen de transport urbain en site propre, les objectifs étaient les suivants :

- offrir les conditions nécessaires au fonctionnement optimal – performance, sécurité, etc. – d'un mode de transport de haute qualité et respecter les normes techniques relatives à ce mode de transport
- l'intégrer au mieux dans la topographie et le paysage
- permettre l'implantation de stations attrayantes pour les usagers
- limiter les conflits avec d'autres voies de circulation
- maintenir entre des limites raisonnables les coûts de la construction et de l'exploitation.

En s'intégrant au mieux dans la topographie urbaine, le tracé de la voie doit garantir un parcours sans problème d'une station à une autre (accélération normale – vitesse normale – freinage normal), un confort maximal en même temps qu'une usure minimale des voies et du matériel roulant.

Pour atteindre les objectifs ci-dessus, il fallait, dans plusieurs cas, tenir compte de diverses contraintes, qui étaient par exemple :

- les bâtiments et constructions existants
- la conservation des accès et des routes
- les conduites et canalisations
- des emprises minimales sur les fonds privés
- à certaines stations, la proximité du réseau routier
- le profil donné du terrain
- l'influence des jonctions entre les voies et les stations
- la minimalisation de la construction d'ouvrages d'art.

Ces contraintes influent directement sur la géométrie du tracé, avec pour conséquences :

- la diminution des rayons horizontaux et verticaux
- l'augmentation des déclivités
- l'augmentation du nombre des changements de déclivité
- la limitation des dévers
- le raccorçissement des courbes de raccordement.

Ces conséquences à leur tour influencent directement les performances du matériel roulant et le confort du passager.

Pour la géométrie, il fallait trouver un compromis qui tienne compte dans différents cas de ces contraintes et des caractéristiques du matériel roulant choisi, qui pourraient avoir une influence sur le tracé, en particulier dans les zones où se superposent des couches horizontales et verticales de valeurs limites dans des secteurs à rampes de dévers.

Normes et caractéristiques techniques

Les normes et caractéristiques techniques retenues sont conformes aux dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF), édition du 1^{er} janvier 1984, du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie (DFTCE).

Profil d'espace libre

Le profil d'espace libre est déterminé en fonction du gabarit et des caractéristiques des véhicules et en tenant compte de l'encombrement cinématique et des surlargeurs de sécurité.

Pour le matériel roulant du Métro Ouest, une largeur de véhicule de 2650 mm (de 2750 mm au niveau du marchepied) est prévue, c'est-à-dire le type A du profil d'espace libre selon l'ordonnance DE-OCF, fondé sur une largeur de véhicule de 2700 mm. Toutefois, pour garantir la réglementation désirée uniforme du DFTCE, il n'est pas tenu compte de la différence de largeur de 50 mm (fig. 1).

Géométrie de la voie

Les caractéristiques du tracé de la voie à écartement normal (1435 mm) du Métro Ouest sont fondées sur les normes en vigueur pour les chemins de fer à voie étroite et ceux à voie normale (CFF). Concernant du matériel roulant et des conditions d'exploitation qui ne sont pas ceux du Métro Ouest, ces normes ont toutefois été appliquées à quelques réserves près (voir encadré).

Description du tracé

Secteur Fion-Sévelin

Le tracé part de la station Lausanne-Flon en tranchée couverte, où le niveau du quai est à la même hauteur qu'à l'actuelle gare du métro Lausanne-Gare (LG). Puis il passe sous l'avenue Jules-Gonin par le tunnel du Flon, sur une longueur de 405 m. La station de La Vigie, en tranchée couverte, se trouve à la fin du tunnel au sud du pont Chauderon. Après le passage à niveau des Imprimeries Populaires (aujourd'hui Imprimerie Héliographia), qui constitue un point fixe du profil en long, le tracé passe entre les bâtiments de l'imprimerie et de l'EPSIC par le pont de l'EPSIC, long de 194 m (fig. 2). Le profil en long est projeté de manière que la passerelle pour piétons de l'EPSIC puisse être raccordée à la hauteur existante depuis le chemin piétonnier à l'est de l'imprimerie. Passé le pont de l'EPSIC, le tracé suit à flanc de coteau le talus des Côtes-de-Tivoli, ce qui a nécessité, compte tenu de la topographie, la construction d'une escarpe et de murs de soutènement. Dans ce secteur, le chemin des Côtes-de-Tivoli sera réaménagé.

Secteur Sévelin-La Bourdonnette

L'avenue de Sévelin, les voies CFF et l'accès à la zone industrielle de Sévelin (AMAG) sont traversés par le viaduc de Sévelin (227 m) à l'ouest duquel se trouve la station de Montelly. Le franchissement de ces voies a nécessité l'utilisation des valeurs limites des éléments du profil en long (déclivité de

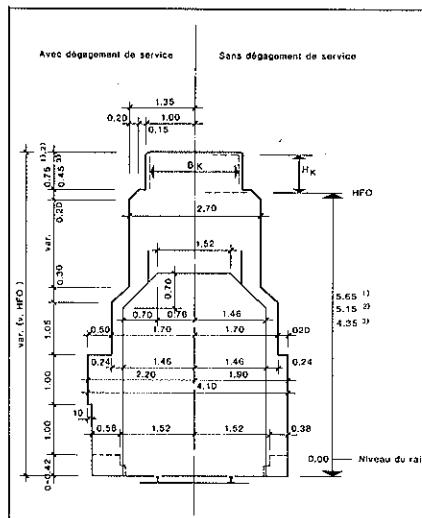


Fig. 1. – Profil d'espace libre (en alignement).

HFO: position du fil de contact soulevé

HK: hauteur de la construction de la ligne de contact

BK: largeur de la construction de la ligne de contact

1: pleine voie sur route, passages à niveau

2: pleine voie en site propre

3: tunnels et constructions existantes

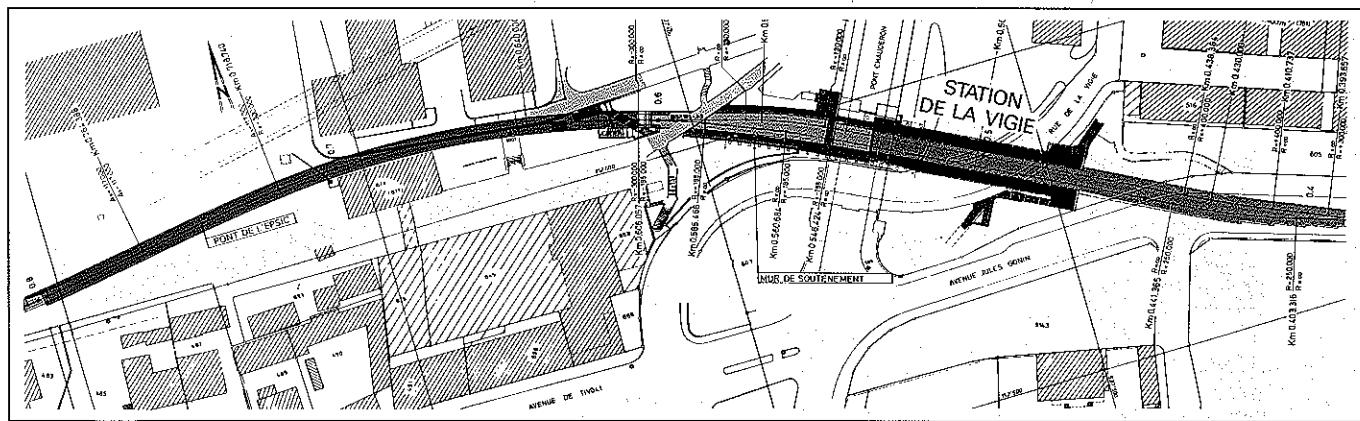


Fig. 2. – Secteur Vige-EPSIC: plan de situation.

60‰, rayon vertical de 1000 m) afin de garantir des gabarits libres, nécessaires pour ce franchissement.

Dans ce secteur, une correction de la route d'accès à la zone industrielle de Sévelin a été nécessaire. A la station Montelly, la déclivité est réduite à 47‰. Puis le tracé longe l'avenue de Provence, à niveau jusqu'au carrefour Malley-Provence en amont duquel se trouve la station à voie unique de Provence. Le long de l'avenue de Provence, la voie du Métro Ouest est située entre la route et le trottoir. La géométrie y est déterminée de façon à sauvegarder le plus possible les arbres plantés le long du trottoir.

Après le chemin de Malley, le tracé passe, avec une déclivité maximale de 60‰, par la trémie du chemin de la

Prairie (105 m), traverse à niveau le chemin de la Prairie, pour atteindre la station Malley, construite en tranchée couverte. Puis le tracé emprunte la tranchée couverte (258 m) et la trémie de Malley (135 m) pour atteindre le niveau de l'avenue du Chablais juste avant le garage du Chablais. Il longe ensuite l'avenue du Chablais jusqu'au carrefour de La Bourdonnette qui est traversé à niveau.

Depuis la sortie du garage du Chablais jusqu'au croisement avec la rue du Lac, le trottoir qui longeait l'avenue du Chablais a été déplacé au nord de la voie. Il a fallu réaménager ce secteur d'une part en construisant un mur de soutènement, d'autre part en remaniant les accès aux propriétés avoisinantes.

Au carrefour de La Bourdonnette, la géométrie est déterminée en fonction de l'emplacement des portiques de signalisation, dont les fondations sont de grandes dimensions.

Secteur La Bourdonnette-EPFL

Après le carrefour et juste avant la traversée de l'autoroute se situe la station de La Bourdonnette, au pied de laquelle sera aménagé le futur terminus de la ligne de bus TL N° 2, c'est-à-dire qu'une interface sera ainsi créée entre le Métro Ouest et le réseau TL, qui nécessite le réaménagement du secteur compris entre le carrefour de La Bourdonnette et l'accès à l'autoroute. Après la station La Bourdonnette, le tramway traverse l'autoroute par le pont de La Bourdonnette (196 m), puis dévie dans une courbe serrée ($R = 100$ m), due au fait que l'un des piliers du pont se trouve entre les voies principales et la rampe de sortie de l'autoroute.

Après un croisement à niveau avec la route de la Chamberonne, le tracé arrive à la station UNIL-Dorigny, puis longe la route de la Chamberonne. Dans ce secteur, une adaptation de la route de la Chamberonne et un déplacement du carrefour de La Mouline ont dû être effectués.

À La Mouline, c'est le talus de la Sorge qui influence le tracé. Celui-ci a une géométrie serrée ($R = 100$ m) et passe sans mur de soutènement à côté de ce point critique, avant de traverser le carrefour et arriver à la station de La Mouline. C'est juste avant cette station que se trouve le point le plus bas du tracé, qui est ensuite parallèle à la route de la Sorge jusqu'à la station à voie unique UNIL-Sorge. Après cette station, une courbe à droite avec un rayon de 100 m rétablit le tracé parallèle à la route de la Sorge. Au droit du bâtiment de physique, le passage au bord du talus a nécessité la construction d'un mur de soutènement.

Le dépôt-atelier du Métro Ouest est situé derrière la station EPFL; un embranchement de la voie permet d'y accéder. Sur ce tronçon, le profil en

Géométrie de la voie et normes appliquées

Vitesses limites

$V = 65$ km/h, matériel roulant TSOL; $V = 40$ km/h, appareil de voie R 185 (CFF).

Rayons de courbe minimaux

$R = 100$ m en ligne; $R = 80$ m exceptionnel; $R = 50$ m au dépôt.

Dévers maximaux

$d = 150$ mm, règlement CFF; $d = 0$ mm en station y compris pour les appareils de voie.

Inclinaisons maximales

$N = 2\%$ cas normal, règlement CFF (voie principale).

$N = 3\%$ cas exceptionnel (BLT 3%) exception: CFF 3% voies secondaires, 4% constr.

Accélération maximale non compensée

$a_{nc} = 0,65 \text{ m/s}^2$, appareils de voie, règlement CFF; $a_{nc} = 0,80 \text{ m/s}^2$, tronçons libres, règlement CFF; $a_{nc} = 0,85 \text{ m/s}^2$, exceptionnel, règlement CFF.

Ces valeurs sont très restrictives et les vitesses maximales seront à déterminer lors des essais de roulement.

Variation maximale de l'accélération non compensée (choc)

$1,2 \text{ m/s}^3$, appareils de voie, règlement CFF; $0,26 \text{ m/s}^3$, tronçons libres (CFF 0,236); $0,298 \text{ m/s}^3$, exceptionnel, règlement CFF; $1,08 \text{ m/s}^3$, exception pour les deux extrémités des stations à la fin des courbes sans cloître où la valeur est plus faible que la valeur admissible pour les appareils de voie.

Déclivités

$P = 60\%$.

Changements de déclivité minimaux

$R_v = 1000$ m, hors des zones de variation du dévers, BLT.

$R_v = 1600$ m = $\frac{V^2}{2,5}$, zones de variation du dévers, CFF: $\frac{V^2}{2,5}$, $R_{v \min} = 5000$.

$R_v = 1000$ m, exceptionnel, $V_{v \max} = \frac{V^2}{4}$, $R_{v \min} = 1000$.

$R_v = 1000$ m, appareils de voie en raccordement concave, $V_{v \max}$.

$R_v = 5000$ m, appareils de voie en raccordement convexe, $V_{v \max}$.

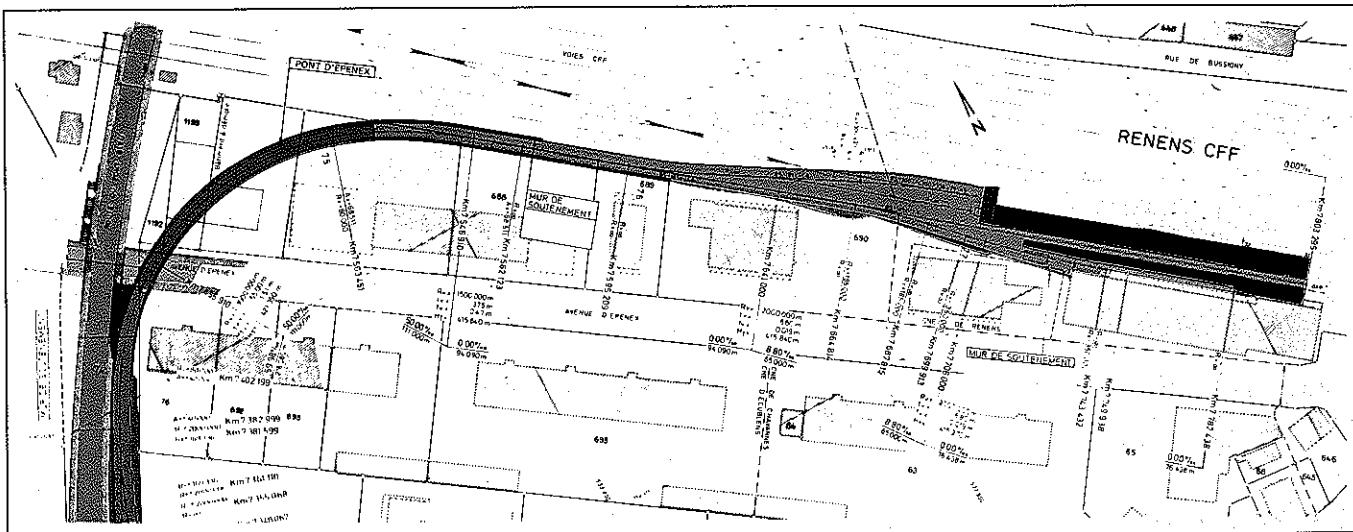


Fig. 3. – Secteur Epenex–Renens CFF: plan de situation.

long de la voie a été déterminé en fonction des niveaux de la route de la Sorge et du dépôt.

Dans ce secteur, la route de la Sorge est modifiée sur le tronçon allée Marguet-avenue du Tir-Fédéral (RC 82), dans le cadre de l'aménagement de l'EPFL.

Secteur EPFL-Brenens CFF

Après la station EPFL, le tracé est dévié vers le nord. Ce virage est l'une des deux courbes les plus serrées du tracé, avec un rayon de 80 m pour la voie nord. Grâce à cela, on a pu insérer le tracé entre la nouvelle route de la Sorge et l'avenue du Tir-Fédéral. De Bassenges à Epenex, le tracé longe la RC 82 par l'est. Le profil en long y est fonction d'une part du profil en long de la route cantonale, d'autre part des niveaux des carrefours traversés. Sur ce tronçon, plusieurs accès, dévestis, et chemins piétonniers ont été adaptés, en particulier l'accès à la zone commerciale du Pontet, qui a nécessité un réaménagement complet de la route de desserte et un prolongement du voûtage de la Sorge.

Les stations Bassenges (voie unique), La Cerisaie, Crochy et Epenex sont situées le long de ce tronçon.

Les carrefours du Pontet et de La Concorde sont traversés à niveau. Au carrefour du Pontet, comme à celui de La Bourdonnette, l'emplacement des portiques a influencé la géométrie du tracé. Il fallait en outre y garantir une largeur suffisante pour la route cantonale à l'approche du carrefour en même temps que pour la route de desserte, compte tenu de l'emplacement de la station La Cerisaie.

Après la traversée de l'autoroute par le pont du Tir-Fédéral (108 m), le tracé atteint la station Epenex. Après cette station, il emprunte un couloir étroit entre la route du Pont-Bleu et des bâtiments existants, avant de franchir l'avenue d'Epenex par le pont du même nom (90 m), suivant la seconde

des courbes les plus serrées du tracé ($R = 80$), pour se trouver dans l'axe de la voie 60 des CFF (fig. 3).

La différence des niveaux entre la voie et le terrain a exigé qu'on édifie des murs de soutènement de part et d'autre du pont d'Epenex.

La station Renens CFF du Métro Ouest est située à l'ouest du bâtiment principal de la gare de Renens.

principal de la gare de Renens. Le profil en long du tronçon Epenex-Renens CFF est déterminé en fonction des niveaux de l'avenue d'Epenex et du quai de la gare de Renens. Ce qui serait utilisé à la fois par les passagers du Métro Ouest et par ceux des CFF. Compte tenu de ces contraintes, au point de vue de la géométrie, le passage de l'avenue d'Epenex constitue l'endroit le plus critique du tracé puisque les éléments géométriques des valeurs limites de situation et du profil en long y sont superposés, et cela dans un secteur à rampes de dévers. Ceux-ci sont toutefois compatibles avec les conditions d'exploitation du matériel roulant choisi.

Superstructure et infrastructure

La superstructure et l'infrastructure du Métro Ouest ont été conçues en fonction des facteurs suivants :

- effets du trafic (charge, fréquence, vitesse, accélération, freinage)
 - confort de roulement
 - nuisances sonores
 - usure de la voie
 - répartition des contraintes sur l'infrastructure
 - portance du sol
 - conditions hydrologiques (présence de la nappe phréatique).

La superstructure et l'infrastructure proposées s'alignent sur celles des voies principales de la catégorie VP2 des CFF, adaptées selon les caractéristiques du matériel roulant et des conditions du trafic et de l'exploitation du Métro Ouest.

Pour garantir un confort de roulement optimal, une diminution du bruit et une minimalisation de l'usure des rails, une superstructure «lourde» (rail CFF I, 46 kg/m, traverses monobloc en béton, 288 kg) a été adoptée, avec rails soudés. A la gare de Renens en revanche, afin d'assurer une bonne isolation de la voie du Métro Ouest et préserver l'homogénéité avec les voies CFF, ce sont des traverses en bois (chêne) qui sont utilisées. On a également préféré les traverses en bois au dépôt de l'EPFL vu l'importance de l'emprise du faisceau des voies, en raison aussi de la mauvaise qualité du sol. Sous les traverses, une épaisseur minimale de ballast de 25 cm est nécessaire pour permettre une répartition uniforme des contraintes sur l'infrastructure et pour que les opérations de bourrage puissent s'effectuer dans de

Pour l'infrastructure, trois profils types ont été déterminés, en fonction de la portance au niveau de la forme (fig. 4).

Aménagements des bordures de la voie

Ces aménagements sont conçus en tenant compte des éléments suivants:

- situation et niveau de la plate-forme de la voie dans le secteur traversé et par rapport aux voies adjacentes existantes (trottoirs, routes)
 - assainissement de la plate-forme et des voies adjacentes
 - nette séparation entre la plate-forme et ses environs
 - entretien et maintenance de la voie
 - position du caniveau pour câbles
 - possibilité de construction par étapes

Pour une bonne intégration de la voie dans le site et en tenant compte des éléments ci-dessus pour l'ensemble du tracé, une quarantaine de détails pour les aménagements des bordures de la voie ont été conçus (fig. 5).

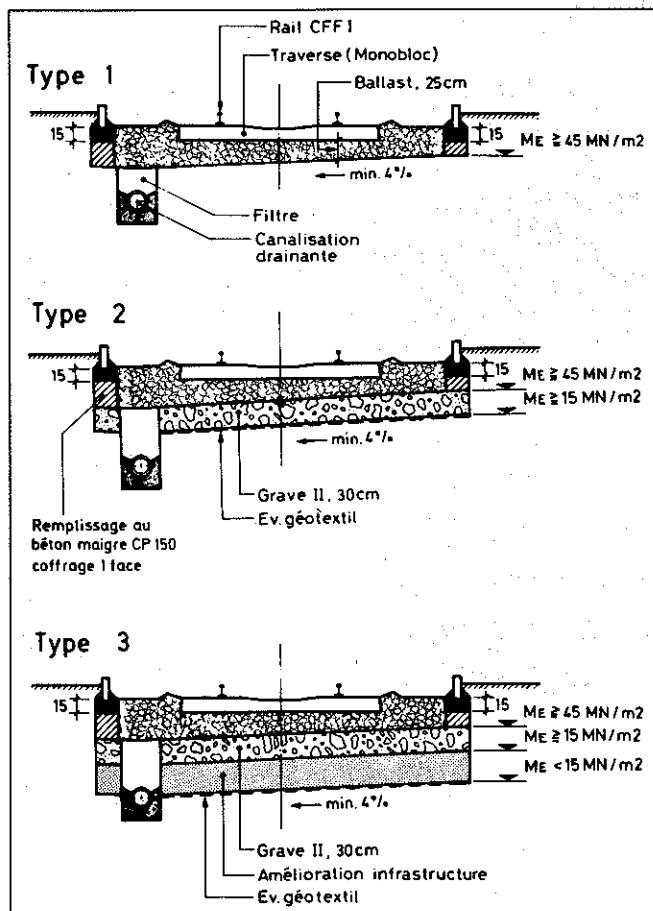


Fig. 4. - Profils types d'infrastructure.

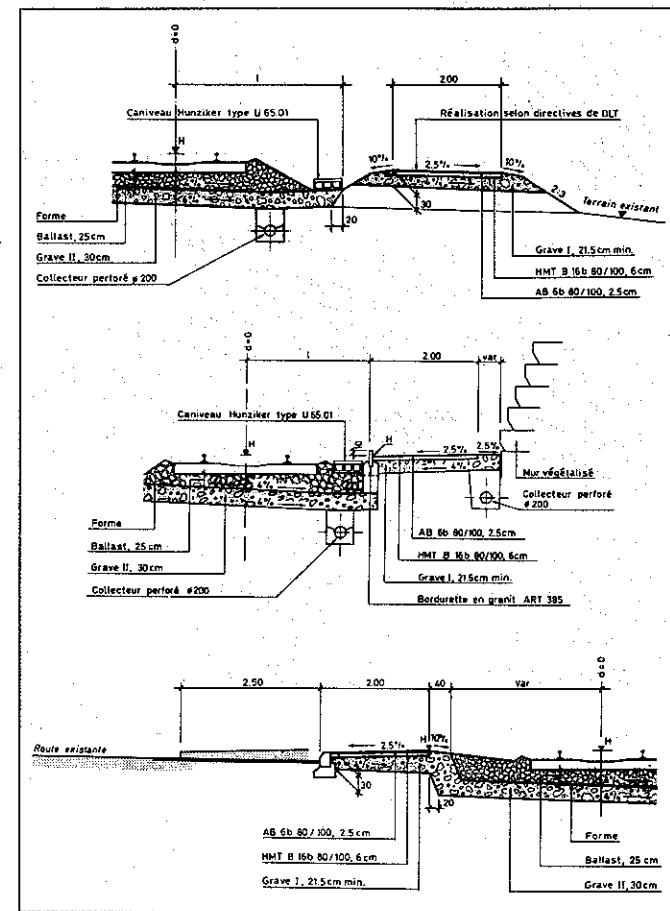


Fig. 5. - Bordures de la voie: trois exemples.

Assainissement

Sauf dans des secteurs en remblai et dans quelques cas particuliers (traversées de certaines chaussées ou ouvrages d'art), la plate-forme de la voie du Métro Ouest est équipée d'un système de drainage longitudinal situé sous la fondation. Ce drainage permet d'assainir la plate-forme et la fondation des eaux de surface, et d'évacuer les eaux souterraines tout en protégeant du gel le sol d'infrastructure. Une vingtaine de détails types ont ainsi été conçus pour l'assainissement selon les conditions locales et selon les aménagements des bordures de la voie (fig. 6).

Coupures du territoire et impacts fonciers

Le tracé du Métro Ouest est en majeure partie accolé à des routes ou chemins existants. La seule nouvelle coupure du territoire est celle provoquée par le passage du tram dans le secteur EPSIC-Côtes-de-Tivoli, entre le pont Chauderon et l'avenue de Sévelin.

L'emprise du tracé (environ 41 000 m²) touche essentiellement le patrimoine des collectivités publiques (environ 34 500 m²). Le solde, c'est-à-dire quelque 6500 m², porte sur des parcelles privées qui, en très grande majorité, ne sont que marginalement touchées. Seuls deux bâtiments (dont un à l'inté-

rieur de l'alignement routier de l'Etat de Vaud) ont dû être démolis.

Impact visuel

Sur environ 80% de sa longueur, le tracé longe des routes existantes. Les risques d'altération du paysage sont donc limités et concentrés au voisinage des franchissements d'obstacles physiques.

Les franchissements supérieurs d'obstacles représentent environ 10% de la longueur du tracé. Des cinq grands ponts et viaducs, trois doublent des ouvrages existants. En revanche les deux autres, les ponts de l'EPSIC et de Sévelin, constitueront de nouvelles intrusions visuelles.

Hormis les ponts et les stations, la longueur cumulée des murs de soutènement

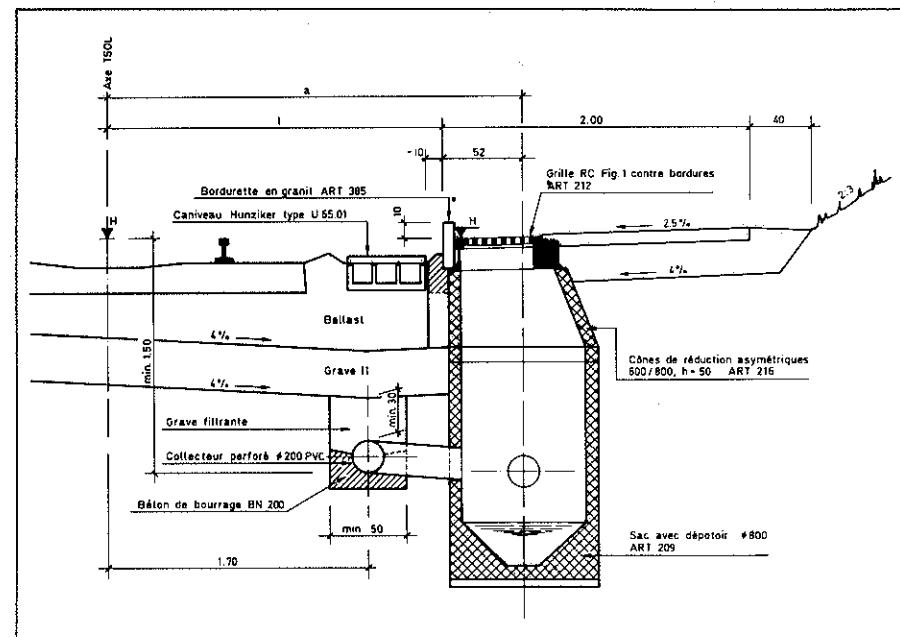
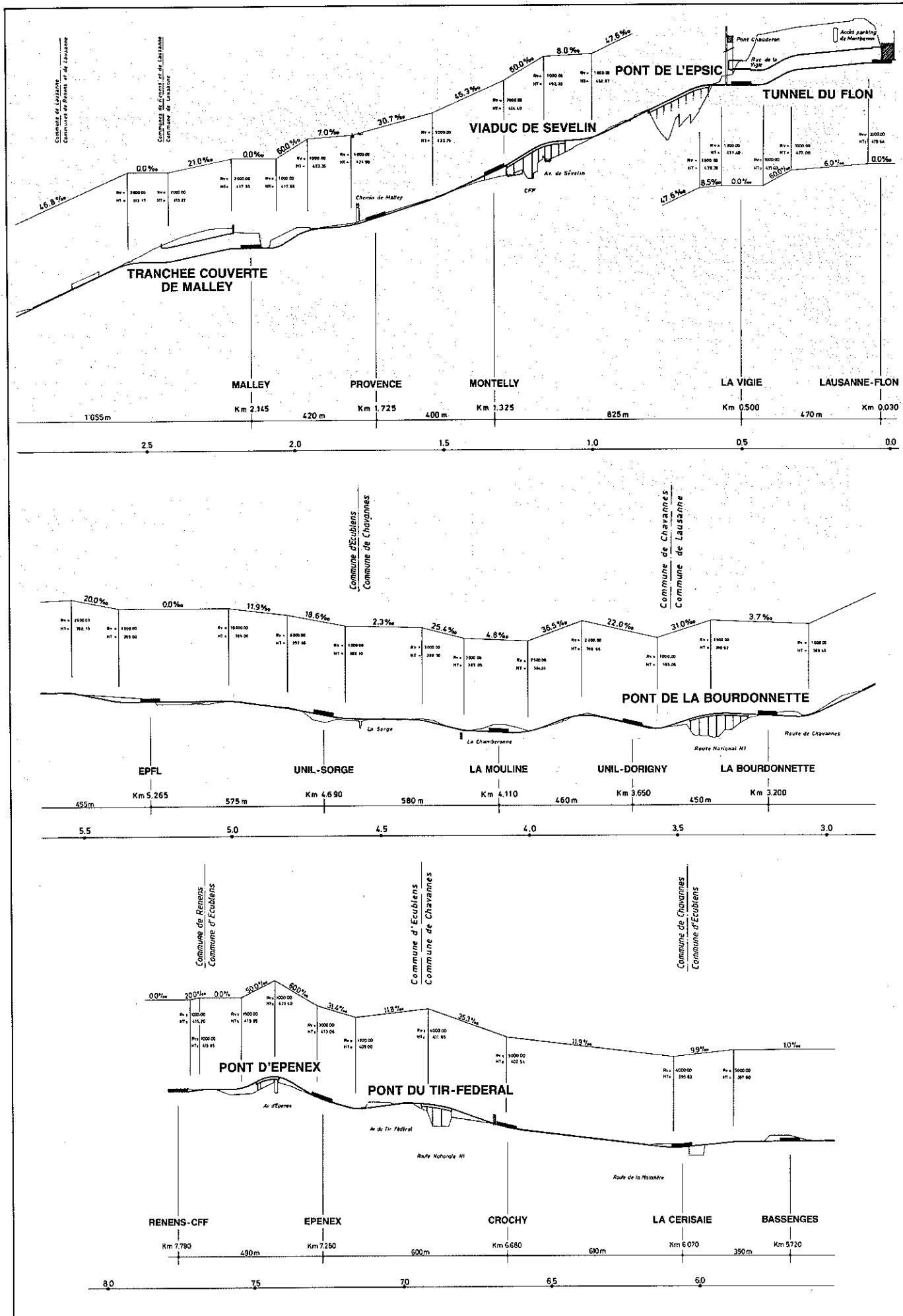


Fig. 6. - Assainissement: exemple d'un détail.



Caractéristiques du tracé

Ecartement de la voie (voie normale)	1435 mm
Longueur	7803 m
Rayon horizontal minimal:	
- en station	350 m
- hors station	80 m
- appareil de voie	185 m
Paramètre minimal de la courbe de raccordement (clothoïde)	40 m
Déclivité maximale	60‰
Rayon vertical minimal	1000 m
Dévers maximal:	
- en ligne	150 mm
- en station	0 mm
- appareil de voie	0 mm
Altitude du point le plus haut	478,64 m
Altitude du point le plus bas	384,80 m

ment est d'environ 1300 m. Dans certains cas, il s'agit de murs existants mais déplacés - comme à l'avenue du Chablais - et de murs végétalisés - deux murs en bordure de la RC 82. Les nouveaux murs les plus en vue sont ceux de Chauderon, de Montelly et d'Epenex.

Impact sur l'environnement naturel

Cours d'eau

Le vaste cours de la Sorge, et son prolongement au voisinage de la station La Cerisaie, constitue l'intervention la plus importante touchant un cours d'eau. Mais il a fallu aussi remanier les

deux passages au-dessus de la Mèbre et de la Sorge - cela sur la route de la Sorge.

Nappe phréatique

Le recours à la traction électrique, d'une part, l'absence de tout transport de marchandises (carburants et autres), d'autre part, éliminent tout risque d'atteinte à la nappe phréatique.

Arborisation

Comme l'essentiel du tracé emprunte des terrains publics, les possibilités d'intégration dans le paysage sont nettement plus nombreuses que lorsque l'on a affaire à des propriétés privées. La direction des travaux du Métro Ouest a examiné conjointement avec les services publics concernés chaque cas de déboisement, envisageant systématiquement toutes les occasions de le compenser par de nouvelles plantations et l'aménagement de surfaces vertes.

Impact sur les réseaux souterrains

La construction de la ligne a entraîné de nombreuses adaptations des réseaux souterrains, particulièrement denses et enchevêtrés aux abords des axes routiers et carrefours empruntés par le tracé du Métro Ouest. Le déplacement et l'adaptation des conduites et canalisations ont fait l'objet d'études détaillées par les différentes instances compétentes afin de régler les problèmes de compatibilité de la ligne du Métro Ouest avec les réseaux souterrains.

Impact sur la circulation routière

Les croisements les plus importants entre le Métro Ouest et la circulation routière se situent au niveau de quatre grands carrefours: La Bourdonnette, La Mouline, Le Pontet et La Concorde. Les études préliminaires de la régulation de ces carrefours ont montré que, compte tenu de la configuration de la ligne du Métro Ouest, et par la mise en application de programmes appropriés de régulation, le fonctionnement de ces carrefours peut être assuré avec un niveau de service supérieur, ou au moins équivalent, à l'état actuel.

Conclusion

Etant donné le contexte urbain du projet, considérant aussi les contraintes rencontrées, on peut dire du tracé proposé qu'il est dans la plupart des cas bien adapté aux problèmes locaux et qu'il permet d'atteindre les objectifs principaux définis au début de l'étude (fig. 7).

Adresse des auteurs:

A.-H. Assef-Vaziri
ing. civil dipl. EPFL/SIA
Jürg Renz, ing. dipl. ETS
Robert-Grandpierre et Rapp SA
ingénieurs-conseils
Rue du Simplon 8
1006 Lausanne

Les ouvrages du Métro Ouest (I)

Aperçu

L'implantation de la nouvelle ligne, compte tenu du relief, de l'environnement construit et du réseau existant des voies de communication (routes, carrefours, autoroutes et lignes de chemin de fer), a nécessité la construction d'un nombre relativement élevé d'ouvrages d'art.

La voie est souterraine sur 880 m, soit 11,3% de la longueur totale de la ligne. Un tunnel de plus de 400 m de long a dû être percé; il est complété par des tranchées couvertes.

D'autre part, six ponts d'une longueur totale de près de 900 m (11,5% de la ligne) ont été construits. Trois de ces ouvrages ont été préfabriqués et réalisés sur la base d'une conception commune.

Le Métro Ouest est, naturellement, le résultat d'un travail collectif. Les travaux d'infrastructure ont été divisés en

lots. Ces lots ont été attribués à des bureaux d'ingénieurs de la place pour l'étude et à des consortiums d'entreprises de la région pour l'exécution.

Le tableau 1 donne une vue d'ensemble des principaux ouvrages d'art que l'on rencontre le long de la ligne. Le lecteur y trouvera :

- la position de l'ouvrage, soit la distance en kilomètres depuis le début de la ligne, à la station de Lausanne-Flon (km 0), jusqu'au début de l'ouvrage
- la longueur de l'ouvrage en mètres
- le nom de l'ouvrage suivi d'un bref descriptif
- le nom du bureau d'études
- le nom des entreprises concernées, regroupées en consortiums.

Les ouvrages mentionnés dans ce tableau sont décrits plus en détail dans les trois articles qui suivent cet aperçu. Le premier de ces articles est consacré au tronçon qui s'étend de la gare du

Flon au pont Chauderon. C'est aussi la partie la plus délicate du projet, puisque ce lot comprend le percement, dans des conditions géologiques difficiles, d'un tunnel à géométrie complexe et la construction de deux des trois tranchées couvertes de la ligne, complétés par un mur de soutènement. La couverture de la station de Lausanne-Flon, faisant partie d'un lot différent, est décrite plus loin.

L'article suivant est consacré aux trois ponts de conception commune. Enfin, le dernier des articles de la série traite des autres ouvrages de la ligne, dans l'ordre de leur position.

Dans le cas de tous ces ouvrages, les constructeurs ont dû compter avec un sol hétéroclite et peu résistant, constitué souvent de remblais - quand il ne s'agit pas d'une décharge -, ce qui les a obligés à recourir à des fondations profondes. A ces difficultés s'ajoute l'omniprésence, dans le sous-sol urbain, de conduites diverses qu'il faut repérer, éviter ou déplacer.

Les descriptions fournies par les bureaux d'études concernés ont été réunies par la rédaction.

TABLEAU 1 - Principaux ouvrages d'art du Métro Ouest.

Position (km)	Longueur (m)	Nom et descriptif	Bureaux d'études	Entreprises
(0,000)	74 m	Station couverte de Lausanne-Flon Construction contiguë au bâtiment actuel de la gare du métro; quais anciens et nouveaux au même niveau	Bonnard & Gardel ingénieurs-conseils SA, Lausanne Couverture de la station Lausanne-Flon : Monod ingénieurs conseils SA, Epalinges	Consortium du Flon : Dénériaz SA, Lausanne Losinger SA, Crissier Locher & Cie SA, Zurich Rothpletz + Lienhard & Cie SA, Aarau
0,065	405 m	Tunnel du Flon Tunnel à l'axe sinueux en plan et en coupe et à profil variable, percé en sol meuble		
0,470	65 m	Station couverte de La Vigie Station souterraine à deux voies, réalisée en deux parties selon des méthodes différentes		
0,535	58 m	Mur ancré de Chauderon Mur de soutènement à contre-forts ancrés		
0,603	194 m	Pont de l'EPSIC Ouvrage à sept travées, implanté dans un environnement construit dense	Realini + Bader et Associés ingénieurs-conseils SA, Epalinges	Consortium : Entreprise Oyex-Chessex & Cie SA, Lausanne Riva SA, Lausanne Bertholet & Mathis SA, Lausanne
0,837	69 m	Estacade des Côtes-de-Tivoli Ouvrage proche du sol, fondé sur pieux réalisés par jetting		
1,068	227 m	Viaduc de Sévelin Ouvrage à géométrie complexe; pont à huit travées, fondé sur pieux	Perret-Gentil + Rey & Associés SA, Lausanne	Consortium : Ed. Züblin + Cie SA, Lausanne Luini SA, Tolochenaz Reymond SA, Nyon Berti & Ambrosetti SA, Lausanne
1,297	81 m	Station en pont de Montelly Station à deux voies en courbe; pont à cinq travées, fondé sur pieux	B. Janin + T. Girard ingénieurs civils, Lausanne	Consortium « SMEC » : Stuag Entreprise suisse de construction de routes et travaux publics SA, Lausanne Laurent Membrez, Bussigny Entraro SA, Lausanne Cuénod & Payot SA, Lausanne
1,948	105 m	Trémie du chemin de la Prairie Ouvrage en forme d'auge asymétrique	JPC SA Jean-Paul Cruchon ingénieur civil, Lausanne	
2,114	81 m	Station couverte de Malley Station souterraine à deux voies en courbe	Stucky ingénieurs-conseils SA, Lausanne	Consortium : Franel & Pasquier SA, Lausanne Schmalz H. R. SA, Lausanne Marti SA Lausanne, Lausanne Frutiger SA, Yvonand R. Ambrosetti SA, Genève
2,195	258 m	Tranchée couverte de Malley Réalisée en deux parties selon deux méthodes différentes		
2,453	135 m	Trémie de Malley Ouvrage à parois moulées		
2,600	166 m	Mur du Chablais Mur de soutènement érigé à l'abri d'un rideau de palplanches	Schopfer & Karakas SA, Lausanne	Consortium « SMEC » : Stuag Entreprise suisse de construction de routes et travaux publics SA, Lausanne Laurent Membrez, Bussigny Entraro SA, Lausanne Cuénod & Payot SA, Lausanne
3,167	65 m	Station de La Bourdonnette Station à quai élevé, aménagée en interface avec futur terminus de trolleybus	B. Janin + T. Girard ingénieurs civils, Lausanne	
3,260	196 m	Pont de La Bourdonnette Ouvrage préfabriqué à neuf travées au-dessus de l'autoroute, fondé sur pieux	Frey & Associés, Lausanne.	Consortium : Ed. Züblin + Cie SA, Lausanne Luini SA, Tolochenaz Reymond SA, Nyon Berti & Ambrosetti SA, Lausanne

TABLEAU 1 – Principaux ouvrages d'art du Métro Ouest (*suite*).

Position (km)	Longueur (m)	Nom et descriptif	Bureaux d'études	Entreprises
4,940	50 m	Mur de soutènement EPFL-Sorge Mur fondé sur pieux et ancré dans le sol	JPC SA Jean-Paul Cruchon ingénieur civil, Lausanne	Consortium : Jean Piasio SA, Lausanne René May SA, Lausanne Walo Bertschinger SA, Saint-Sulpice Charles Gasser SA, Aigle
6,838	108 m	Pont du Tir-Fédéral Ouvrage préfabriqué à cinq travées, passant en biais au-dessus de l'autoroute, fondé sur pieux	Piguet + Associés ingénieurs-conseils SA, Lausanne	Consortium : Ed. Züblin + Cie SA, Lausanne Luini SA, Tolochenaz Reymond SA, Nyon Berti & Ambrosetti SA, Lausanne
7,428	90 m	Pont d'Epenex Ouvrage à cinq travées en forte courbe	Boss ingénieurs civils SA, Renens.	Dénériaz SA, Lausanne

Le premier tableau est complété par un second (tableau 2), pour mentionner les travaux répartis sur toute la ligne. Ainsi, le bureau responsable du tracé général de la ligne l'est également pour l'aménagement de l'infrastructure en dehors des ouvrages d'art. Ces travaux ont été décrits dans l'article consacré au tracé.

L'aménagement des voies de communication dans le secteur de la station EPFL ne fait pas partie des travaux proprement dits du Métro Ouest, mais complète utilement ceux-ci. Leur des-

cription suit la série d'articles consacrée aux ouvrages d'art de la ligne.

Les stations en surface

Des quinze stations que compte la ligne, trois sont souterraines (Lausanne-Flon, La Vigie et Malley) et l'une est en pont (Montelly). Les onze autres stations sont en surface et conçues de la même façon.

Pour faciliter et accélérer l'accès aux véhicules, tous les quais sont aménagés à la hauteur du plancher de ceux-ci,

c'est-à-dire à 95 cm au-dessus du niveau des rails. De ce fait, les quais sont surélevés par rapport au terrain naturel.

Tous les quais ont une longueur minimale de 65 m, ce qui correspond à la longueur d'un convoi composé de deux automotrices accouplées. Ils sont généralement précédés et suivis de rampes d'accès de pente et de longueur variables selon la configuration du terrain. La largeur des quais varie entre 2,00 et 3,50 m selon le gabarit disponible. Les quais et les rampes sont réa-

TABLEAU 2 – Aménagements du Métro Ouest.

Nom et descriptif	Bureaux d'études	Entreprises
Infrastructure générale Aménagement de l'infrastructure sur toute la ligne en dehors des grands ouvrages d'art	Robert-Grandpierre et Rapp SA, Lausanne	Consortiums : Stuag Entreprise suisse de construction de routes et travaux publics SA, Lausanne Laurent Membrez, Bussigny Entraro SA, Lausanne Cuénod & Payot SA, Lausanne Jean Piasio SA, Lausanne René May SA, Lausanne Walo Bertschinger SA, Saint-Sulpice Charles Gasser SA, Aigle Camandon SA, Crissier Finger SA, Pully Getra SA, Puidoux Rusconi M. & Cie SA, Renens SATEG SA, Lausanne
Stations en surface Quais et rampes pour onze stations	B. Janin + T. Girard ingénieurs civils, Lausanne	
Dépôt-atelier Halles d'entretien, de lavage et de visite journalière avec divers locaux techniques	Architectes : Atelier Cube, Lausanne Ingénieurs : Monod ingénieurs conseils SA, Epalinges	Losinger SA, Crissier Forme Constructions SA, Lausanne J.M. Stadlin SA, Morges L. Membrez, Aclens
Aménagement des infrastructures dans le secteur de l'EPFL Modification du tracé de la route de la Sorge, nouvelle route de liaison avec passages inférieurs	Schopfer & Karakas SA, Lausanne	Jean Piasio SA, Lausanne René May SA, Lausanne Walo Bertschinger SA, Saint-Sulpice Charles Gasser SA, Aigle Rusconi M. & Cie SA, Renens Forasol SA, Lausanne
Maître d'ouvrage : Office fédéral des constructions, bureau de construction EPFL, Lausanne		

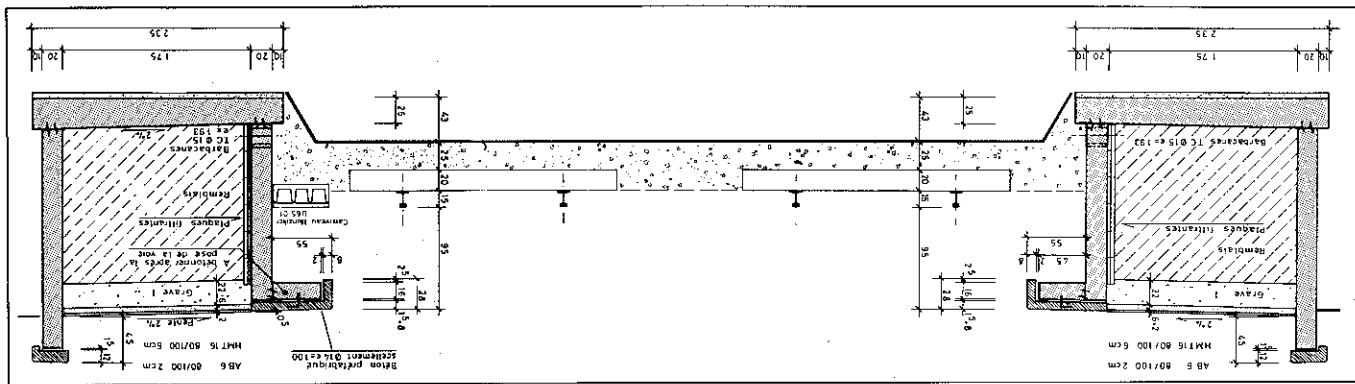


Fig. 1. – Station à double voie: coupe type.

lisés en forme d'auge en béton armé coulé sur place (fig. 1).

Bureau d'études : B. Janin + T. Girard ingénieurs civils, Lausanne.

Ascenseurs

La station de La Vigie étant située quasiment sous le pont Chauderon, il est apparu nécessaire de les relier par un moyen mécanique accessible également aux handicapés en fauteuil roulant. Pour permettre au public de franchir cette importante différence de niveaux, une batterie de deux ascenseurs sera construite à proximité du premier pilier ouest du pont.

Chacune des nacelles pourra transporter 13 personnes à la fois et la capacité horaire des ascenseurs est estimée à environ 1200 personnes par heure dans chaque sens.

Les tours d'ascenseurs et les passerelles les reliant au tablier du pont d'une part, au niveau intermédiaire de la rue de la Vigie d'autre part, sont conçues en ossature métallique dont la transparence contrastera avec les volumes massifs du pont. Les éléments mobiles laissés délibérément apparents auront aussi la fonction d'un signal facile à repérer de loin (fig. 2).

Architectes : Atelier Cube, Lausanne.

L'implantation de la nouvelle ligne dans le secteur des Côtes-de-Tivoli a également rendu nécessaire la suppression d'une passerelle (fig. 3) et son remplacement par un monte-chARGE pour donner accès au niveau supérieur d'un immeuble abritant des ateliers artisanaux (fig. 4).

Architectes : D. Démétriacès & D. Papadaniel, Lausanne.

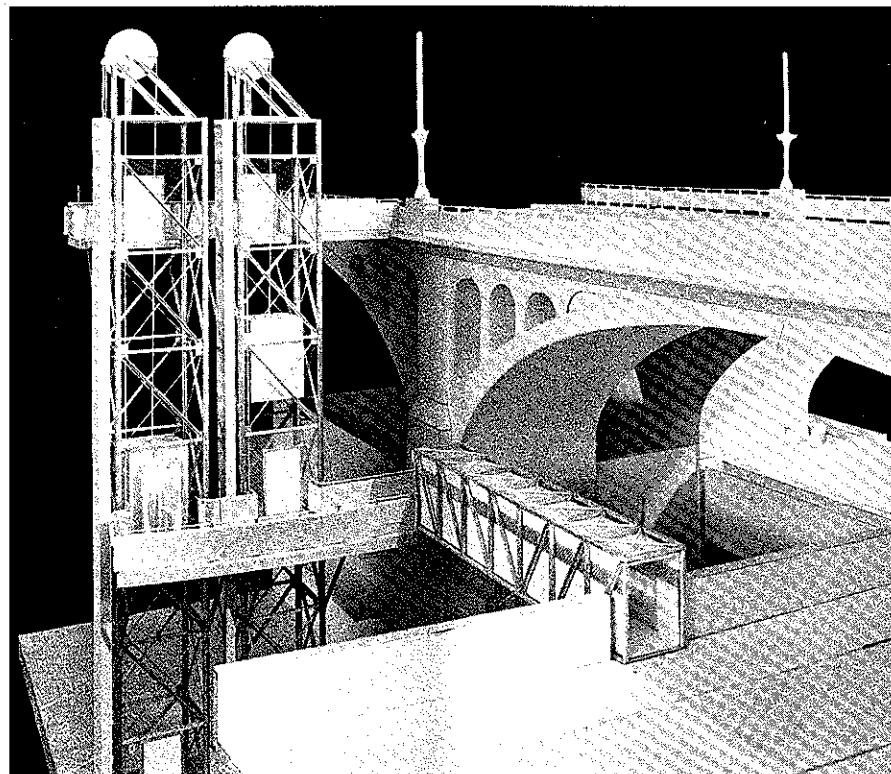


Fig. 2. – Ascenseurs reliant la station de La Vigie au niveau du pont Chauderon.
(Photo de maquette.)



Fig. 3. – La passerelle supprimée près des Côtes-de-Tivoli.

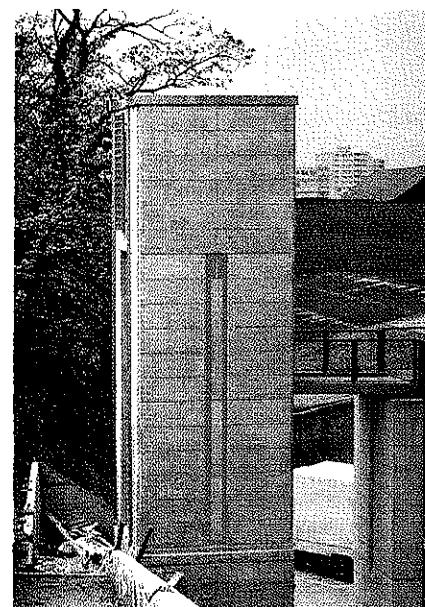


Fig. 4. – Monte-chARGE construit en remplacement de la passerelle.

Les ouvrages du Métro Ouest (II)

Tronçon gare du Flon–pont Chauderon

Entre la gare du Flon et le pont Chauderon, le tracé de la ligne du Métro Ouest est situé en majeure partie en

**PAR GEORGES BETSCHEN,
LAUSANNE**

souterrain, dans les moraines de la colline de Montbenon, sous l'avenue Jules-Gonin.

La construction de la ligne sur ce tronçon comprend les ouvrages suivants :

- la station de Lausanne-Flon
- le tunnel du Flon
- la station de La Vigie
- le mur ancré de Chauderon.

Géologie

Hormis les remblais superficiels, par endroits très épais, l'ensemble des terrains meubles constituant la colline de Montbenon est d'origine glaciaire.

On distingue une moraine de fond et une moraine supérieure, de caractéris-

tiques très différentes, en raison principalement de leur mode de dépôt.

La moraine de fond, essentiellement limono-argileuse, est la plus ancienne. Il s'agit d'un matériau très compact et relativement uniforme à grande échelle.

La moraine supérieure, en l'occurrence moraine latérale, s'est déposée sous forme de vallums lors de la fonte du glacier. Elle n'a pas subi de compactage et les matériaux qui la constituent sont très hétérogènes.

Du point de vue géologique, cette moraine supérieure peut se scinder en :

- moraine sablo-graveleuse (partie supérieure)
- moraine sableuse, finement graveleuse (partie inférieure).

Au sein de cette moraine supérieure, on relève des niveaux ou lentilles de limon finement sableux, localement argileux, souvent gorgés d'eau.

Abstraction faite des lentilles ou niveaux limono-argileux et argileux

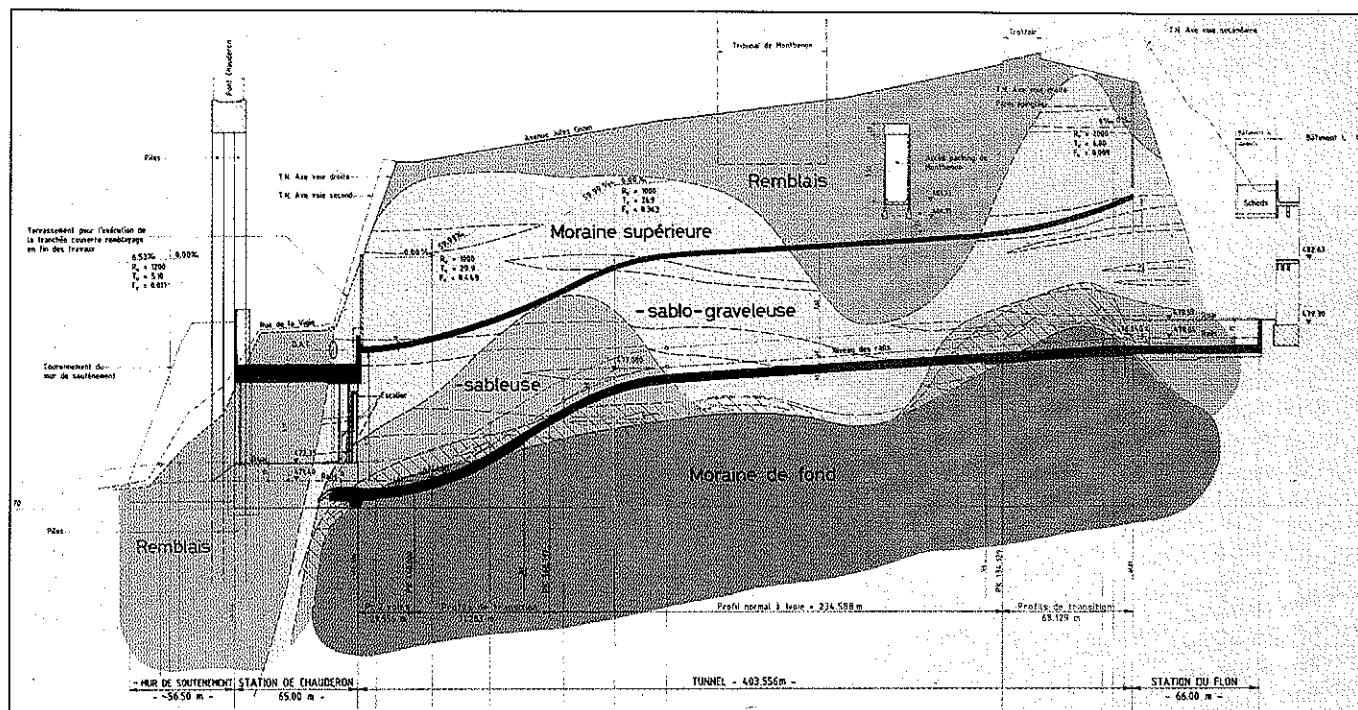
intercalés dans la moraine supérieure, on a affaire à une succession de terrains dont la perméabilité va décroissant avec la profondeur. Ils sont le siège d'une nappe d'eau à écoulement libre située à la base de cette moraine et soutenue par la moraine de fond qui offre un plancher étanche (fig. 1 et 2).

Station de Lausanne-Flon

La station de Lausanne-Flon est une station à deux voies. D'une longueur de 74,00 m, elle est entièrement construite à ciel ouvert puis recouverte d'une dalle dont une partie est remblayée pour reconstituer le talus arborisé de la colline de Montbenon. Afin de permettre l'excavation de la station à partir de l'avenue Jules-Gonin, des ouvrages de soutènement doivent être réalisés tant au sud qu'à l'ouest.

Au sud, le soutènement est constitué d'une paroi berlinoise ancrée, d'une hauteur maximale de 18,00 m, tandis qu'à l'ouest, au droit de l'entrée du tunnel, il est exécuté sous la forme d'une paroi épinglee.

La paroi berlinoise comporte 23 pieux de 1,00 m de diamètre espacés de



3,00 m. Au fur et à mesure de l'excavation, exécutée par tranches successives de 2,00 m de hauteur, des tirants d'ancre sont mis en place sur chaque pieu (au total 106 ancrages de 700 à 1000 kN), ainsi qu'un placage en béton projeté armé qui assure la stabilité du terrain entre les pieux.

La paroi épinglee comporte deux parties distinctes. La partie supérieure, sur une hauteur de 8,00 m, est réalisée au moyen de panneaux en béton armé coulés contre le terrain puis ancrés en suivant l'excavation. La partie inférieure, sur une hauteur de 10,00 m, est réalisée au moyen de colonnes jointives, injectées à très haute pression (technique du jetting).

Cette paroi est ancrée au terrain par 15 tirants d'ancre permanents de 450 à 600 kN, 6 tirants d'ancre temporaires de 600 kN et 18 barres d'ancre Gewi de 25 mm de diamètre (fig. 3 à 6).

La couverture de la station est décrite dans un autre article de ce numéro.

Tunnel du Flon

D'une longueur totale de 404,70 m, le tunnel du Flon a un axe sinueux en plan et en profil en long. Il est percé pour l'essentiel dans la moraine supérieure sablo-graveleuse et sableuse. Situé sous l'avenue Jules-Gonin (hauteur de recouvrement : 6,00 à 9,00 m), il passe 1,00 m en dessous des fondations du tunnel d'accès au parking de Montbenon et à proximité immédiate de l'ancien Tribunal cantonal de Montbenon (axe du tunnel : 6,50 m au nord de la façade du bâtiment).

Le tunnel du Flon comporte quatre zones bien distinctes, soit :

- zone de transition Flon : longueur 69,00 m, sections d'excavation variant de 86,00 à 38,00 m²; relie la station de Lausanne-Flon à deux voies au tunnel à une voie
- zone du tunnel à une voie : longueur 234,00 m, section d'excavation 38,00 m²
- zone de transition Chauderon : longueur 70,00 m, section d'excavation variant de 38,00 à 68,00 m²; relie le tunnel à une voie au tronçon à deux voies précédent la station de La Vigie
- zone du tunnel à deux voies : longueur 31,70 m, section d'excavation 68,00 m².

Le tunnel est percé à partir de ses deux extrémités : en attaque descendante sur 69,00 m de longueur depuis la station de Lausanne-Flon et en attaque montante sur une longueur de 335,70 m depuis la station de La Vigie. Le creusement du tunnel est exécuté par étapes de 14,00 m de longueur comportant les phases de travail suivantes :

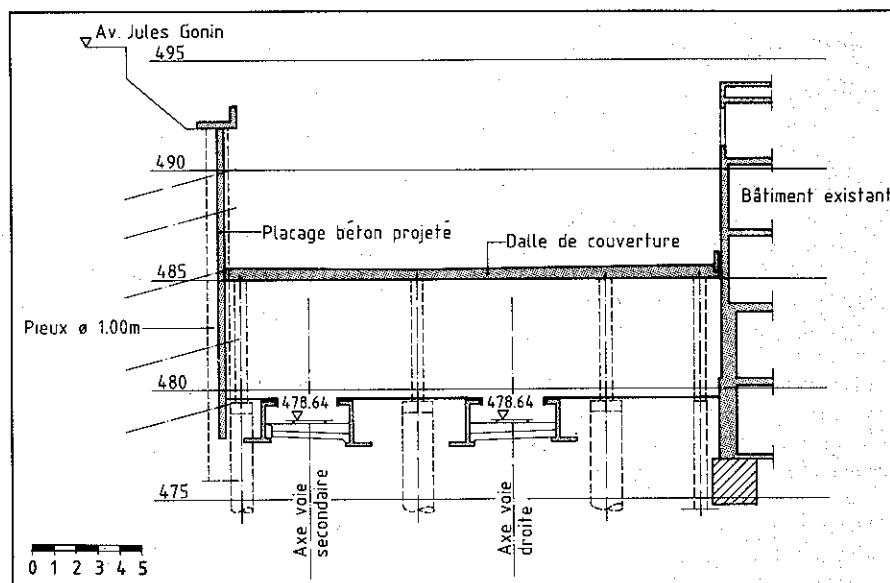


Fig. 3. – Station de Lausanne-Flon: coupe transversale.

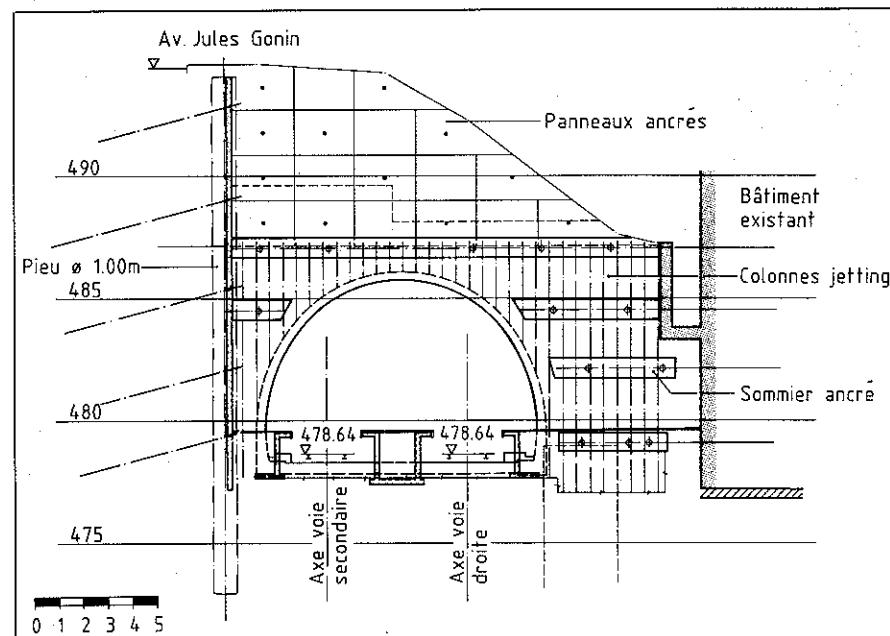


Fig. 4. – Station de Lausanne-Flon: paroi épinglee ouest.

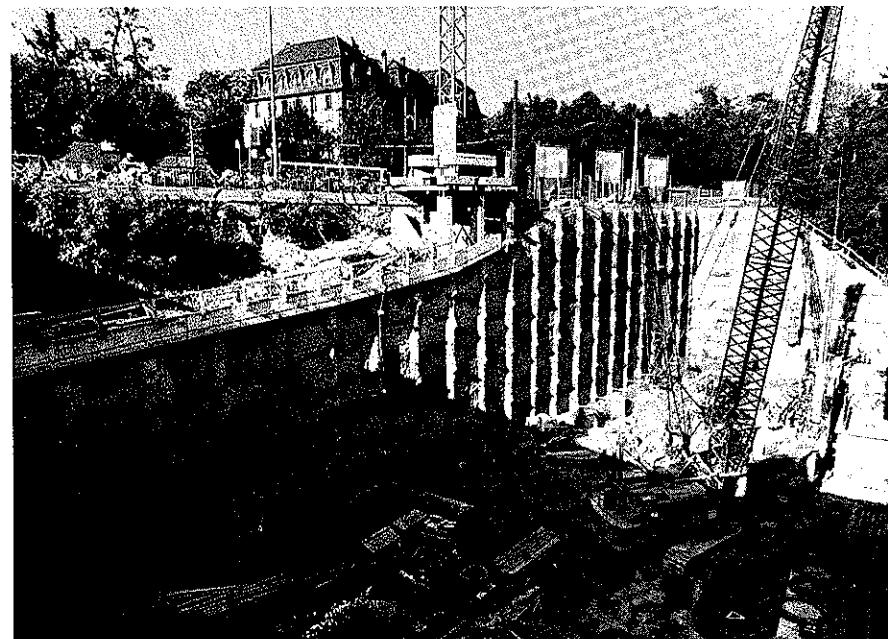


Fig. 5. – Station de Lausanne-Flon: paroi berlinoise et paroi épinglee ouest.

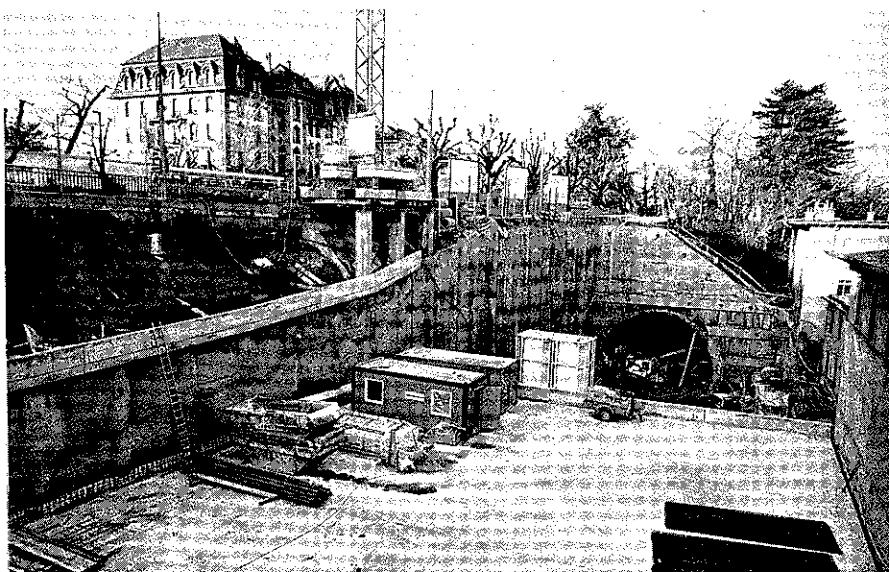


Fig. 6. – Station de Lausanne-Flon: dalle de couverture et attaque Flon du tunnel.

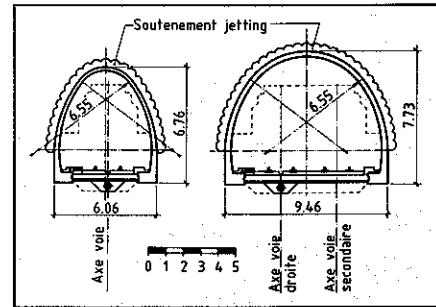


Fig. 7. – Tunnel du Flon:
a: profil à une voie
b: profil à deux voies.

1. Exécution d'une voûte parapluie et consolidation du front d'attaque sur 16,00 m de longueur au moyen de colonnes injectées à très haute pression (40 MPa) de 60 cm de diamètre (méthode dite du jetting).
2. Excavation de l'étape par passes successives de 1,00 m avec mise en place immédiate du revêtement constitué d'un cintre métallique réticulé et d'un anneau de béton projeté dont l'épaisseur finale varie de 20 à 35 cm en calotte et de 45 à 55 cm en pied de parement, selon la dimension du profil excavé. Le béton projeté est mis en place par voie humide.
3. Exécution des semelles de fondation du revêtement par reprise en sous-œuvre.
4. Exécution du radier.
5. Finition du revêtement.
6. Travaux divers: trottoirs, caniveaux à câbles, équipement, etc. (fig. 7 à 9).

Station de La Vigie

La station de La Vigie est une station souterraine située sous la rue de La Vigie et la première arche du pont Chauderon. D'une longueur totale de 65,00 m, elle comporte deux voies. Les conditions topographiques au point d'attaque du tunnel et les conditions géologiques et géotechniques du site, d'une part, et, d'autre part, les impératifs du planning des travaux et l'obligation de garantir en tout temps le passage des véhicules du Service du feu sur la rue de La Vigie ont conduit à réaliser cette station selon deux modes d'exécution différents.

Dans sa partie amont, sur 16,00 m de longueur, la station est construite à ciel ouvert, à l'abri d'une enceinte de palplanches ancrées, prolongée par une paroi épinglee en éléments préfabriqués. Puis, l'avancement du tunnel attaqué depuis cette zone ayant suffisamment progressé, un cadre fermé en béton armé et précontraint est exécuté (fig. 10).

Sur 49,00 m de longueur dans sa partie aval, une enceinte de 35 pieux de

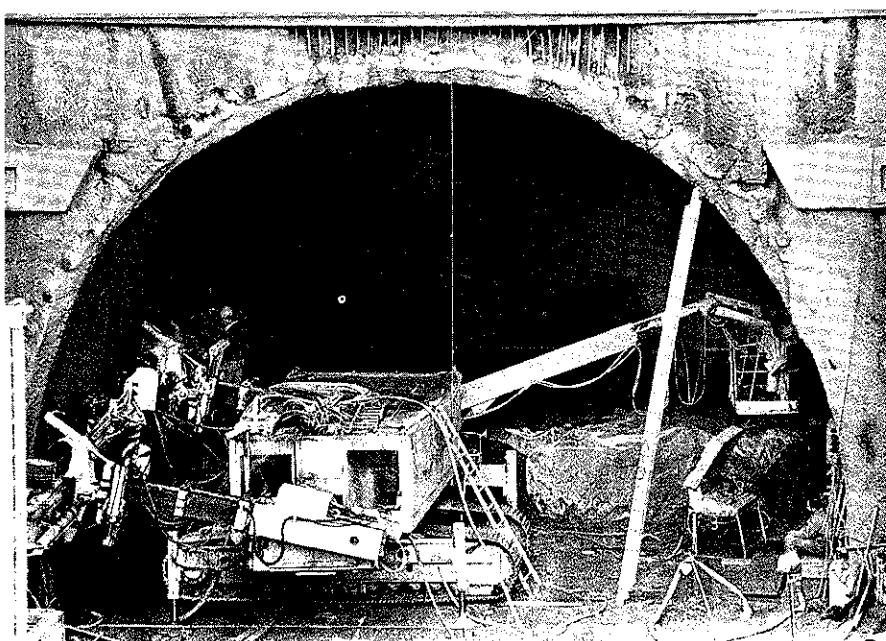


Fig. 8. – Tunnel du Flon: attaque Flon.

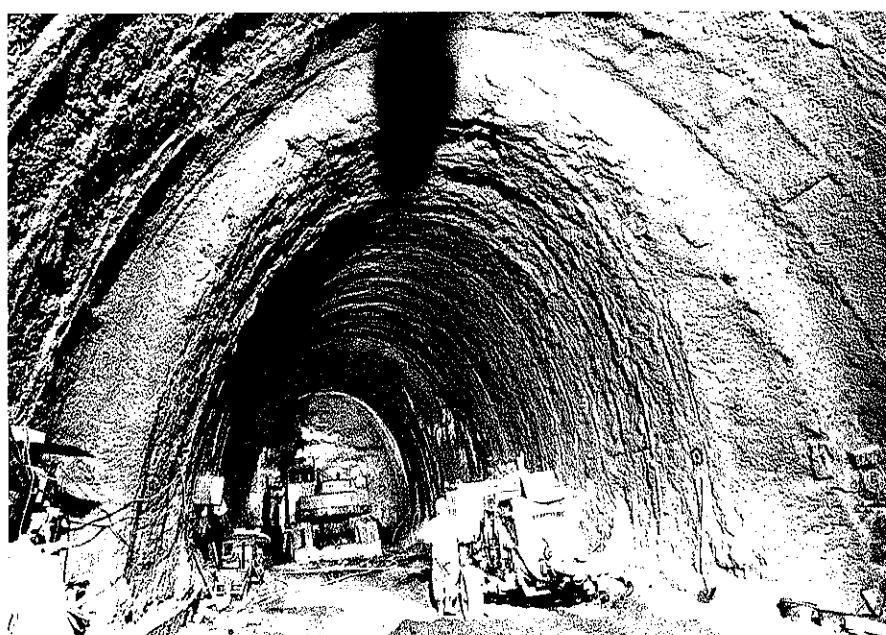


Fig. 9. – Tunnel du Flon: attaque Chauderon.

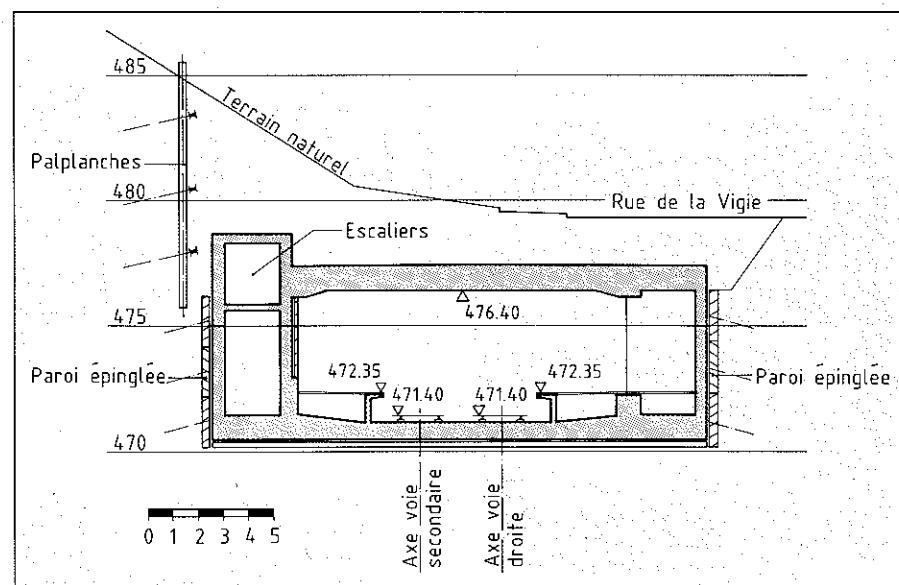


Fig. 10. - Station de La Vigie: coupe de la partie amont.

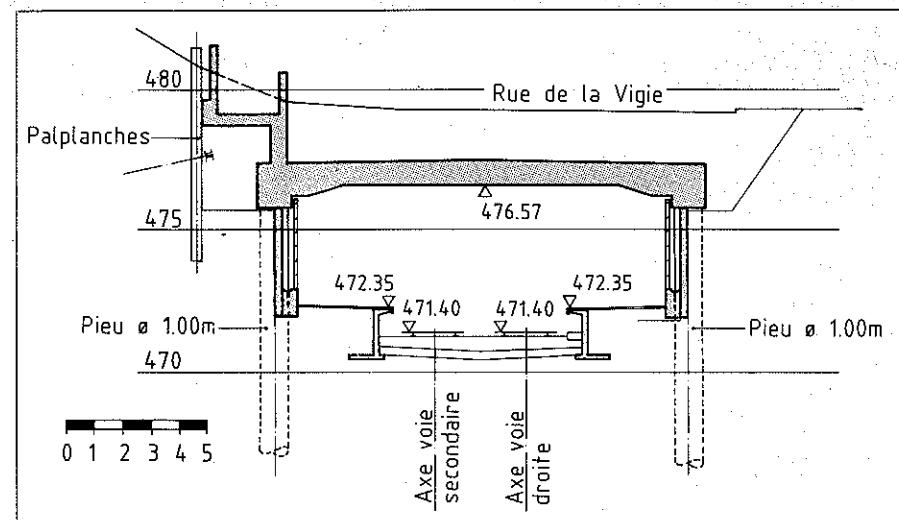


Fig. 11. - Station de La Vigie: coupe de la partie aval.

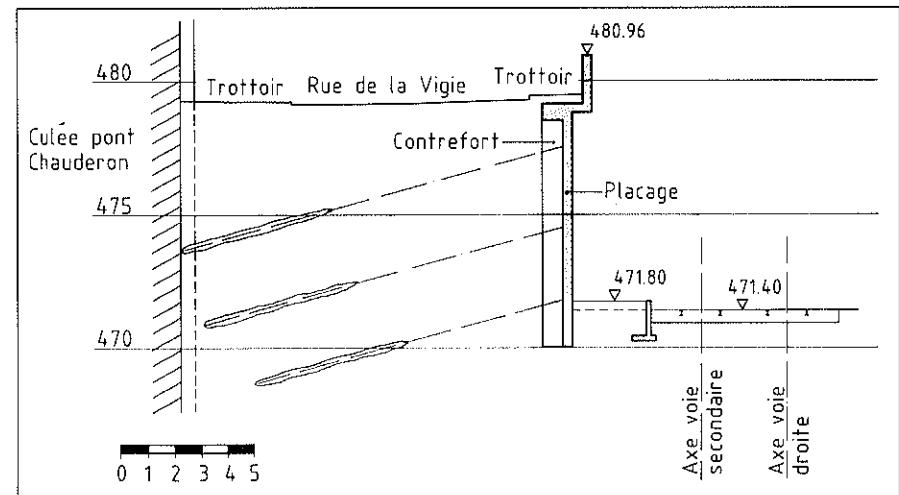


Fig. 12. - Mur ancré de Chauderon: coupe.

1,00 m de diamètre, fichés dans la moraine, est tout d'abord réalisée depuis la rue de La Vigie. Prenant appui sur ces pieux espacés de 3,00 m, une dalle précontrainte est coulée à même le sol en trois étapes. Ce travail terminé, on peut alors procéder à l'excavation de la station à l'abri des pieux et de la dalle. Le soutènement du terrain entre les pieux, sur les parements de la station, est assuré par un placage en béton projeté armé (fig. 11).

Après l'exécution des quais, le revêtement intérieur de la station sera exécuté en briques silico-calcaires.

Mur ancré de Chauderon

A l'aval de la station de La Vigie, le terrain entre la rue de La Vigie et la ligne du métro doit être soutenu. Le mur de soutènement nécessaire est réalisé conjointement avec les travaux de la station proprement dite pour en permettre l'excavation. Ce mur, d'une longueur de 58,00 m et de 9,00 m de hauteur maximale, est un mur à contreforts ancrés, recouverts d'un placage en béton armé. Il comporte 15 contreforts réalisés par éléments préfabriqués, ancrés au moyen de 54 tirants d'ancre de 450 à 600 kN. Etant donné la très mauvaise qualité des terrains à soutenir (remblais très hétérogènes), une consolidation des zones de scellement des ancrages et des assises des contreforts doit être réalisée par des techniques de jetting (fig. 12).

Déroulement des travaux

Les travaux ont débuté en juin 1988 à la station de La Vigie. Quatre mois plus tard, en octobre 1988, on attaquait la station de Lausanne-Flon, tandis que le creusement du tunnel débutait en janvier 1989 à l'attaque Chauderon et en décembre de la même année à l'attaque Flon.

Au moment où ces lignes sont rédigées (fin mars 1990), le gros œuvre de la station de La Vigie est quasiment terminé, celui de la station de Lausanne-Flon l'est à demi; quant au tunnel, il est excavé sur une longueur totale de 265 m environ (cumul des deux attaques).

L'ensemble des travaux de génie civil sur le tronçon gare du Flon-pont Chauderon sera terminé à la fin décembre 1990.

Adresse de l'auteur:

Georges Betschen,
ingénieur diplômé EPFZ/SIA
Bonnard & Gardel
ingénieurs-conseils SA
Avenue de Cour 61
Case postale 241
1001 Lausanne

Les ouvrages du Métro Ouest (III)

Trois ponts de conception commune

Trois ponts de la nouvelle ligne ont une conception identique :

- le viaduc de Sévelin (sur les voies CFF)
- le pont de La Bourdonnette (sur l'autoroute N1)
- le pont du Tir-Fédéral (sur l'autoroute N1).

Deux ouvrages de même conception ont été exécutés selon une méthode similaire en 1984 lors de la construction des passages supérieurs de l'AOMC (Aigle-Ollon-Monthey-Champéry : chemin de fer à voie métrique) sur l'autoroute N9 et les voies CFF de la ligne du Simplon à la gare de Saint-Tiphon. Ils ont servi de modèle pour les ponts préfabriqués du Métro Ouest.

Cette conception commune est caractérisée par les éléments suivants :

- le tablier en forme d'auge est composé de deux poutres reliées par une dalle de roulement inférieure supportant la voie ballastée ;
- les poutres en béton armé et précontraint sont préfabriquées avec une section constante en forme de Z ;
- la dalle est en béton coulé en place sur des dallettes préfabriquées posées sur le talon des poutres ;
- une précontrainte longitudinale mise en place après le montage des poutres assure la continuité du tablier ;
- les appuis intermédiaires en forme de marteau sont constitués par des piles circulaires surmontées d'une

entretoise en béton armé et précontraint, perpendiculaire à l'axe de l'ouvrage et intégrée au tablier.

Le choix de cette conception répond aux critères suivants :

- nécessité d'exécuter les ouvrages au-dessus de voies de circulation importantes en service (lignes de chemin de fer, autoroutes), ne permettant aucune entrave notable du trafic : pas d'interruption prolongée de la circulation, ni réduction du gabarit ;
- réalisation d'économies par le recours à des éléments préfabriqués produits en série ;
- possibilité de faire exécuter plusieurs ouvrages par un seul consortium d'entreprises ;
- avantage esthétique : aspect uniforme et caractéristique pour tous les ouvrages de la ligne.

Viaduc de Sévelin

La ligne du Métro Ouest franchit successivement la route d'accès aux Côtes-de-Tivoli, l'avenue de Sévelin, les voies CFF de Sébeillon et de la ligne Lausanne-Renens et finalement la route d'accès à la zone industrielle de Sévelin du côté de Montelly, grâce à un viaduc de 227 m de longueur et de 3,90 à 7,70 m de largeur utile (fig. 1 à 3). Le tracé en plan de l'axe de la voie est une courbe en S avec un rayon minimal de 150 m et comprend un aiguil-

lage permettant l'accès en double voie à la station Montelly attenante à la culée du viaduc. La pente longitudinale varie de 0,5 à 6% alors que le dévers est nul sur 167 m et variable de 0 à 6,4% sur 60 m. La hauteur de la voie au-dessus du sol varie de 4 à 10 m.

Données géotechniques

Les sols superficiels sont des remblais très hétérogènes, lâches à moyennement compacts et constitués de sables peu limoneux à limon sableux, avec débris en tout genre et localement des matières organiques. L'épaisseur des remblais varie de 6 m (zone CFF) à 19 m.

Dans la zone allant des voies CFF à la culée Sévelin, on rencontre ensuite des alluvions glacio-lacustres d'environ 2 à 3 m d'épaisseur et de compacité moyenne à bonne.

Ces alluvions reposent sur la molasse remaniée ou la moraine de fond de 0 à 8 m d'épaisseur qui recouvrent la molasse saine.

La base du remblai semble être le siège d'une nappe phréatique s'écoulant d'est en ouest et se déversant par-dessus la barre constituée par la moraine.

Infrastructure

Etant donné la mauvaise qualité des sols superficiels, le viaduc est entièrement fondé sur des pieux forés, sauf dans la zone des voies CFF où le faible gabarit disponible et la résistance au choc de 300 t des véhicules ferroviaires ont imposé la réalisation de deux puits de fondation.

Les pieux forés tubés ont 90 cm de diamètre et 17 à 21 m de longueur. Ils sont disposés par paires au droit de chaque pile et reliés en tête par une traverse en béton armé.

Les puits de fondation ont 2,55 m de diamètre et de 10 à 12 m de longueur. Ils ont été réalisés par havage d'anneaux préfabriqués en béton armé de 2,00 m de longueur et reliés entre eux au fur et à mesure de leur empilage. Après l'exécution du remplissage en béton armé, les puits ont été injectés en pied et sur leur pourtour à l'aide de tubes métalliques mis en place à l'intérieur de l'enceinte formée par les anneaux havés.

L'exécution du puits situé entre les voies s'est déroulée entièrement de nuit durant les intervalles de temps ménagés par les CFF. Les travaux de havage ont été particulièrement difficiles en raison de fortes venues d'eau souterraine et de la présence de terrains très fluents dont l'excavation a d'ailleurs produit un affaissement local important de la plate-forme des voies situées de part et d'autre du puits. Les piles sont centrales et circulaires de 1,00 m de diamètre.

Elles sont encastrées dans la traverse sur pieux ou dans le puits de fondation.

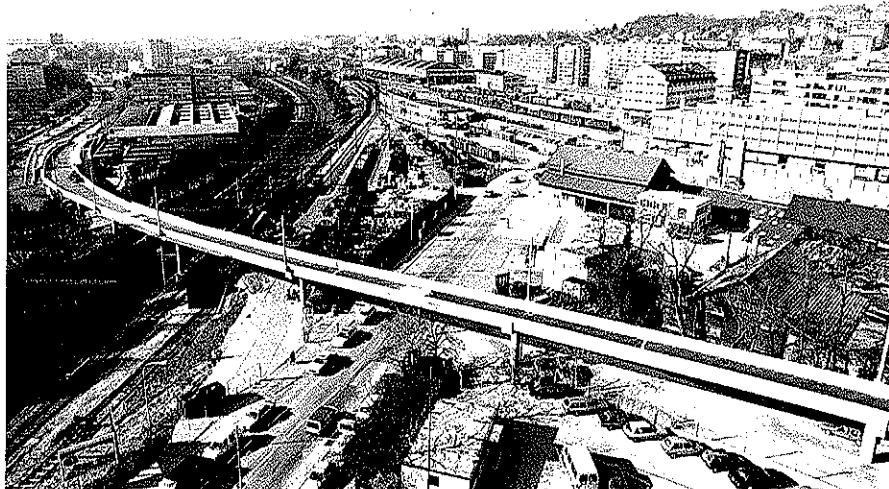


Fig. 1. - Viaduc de Sévelin: vue générale.



Fig. 2. – Viaduc de Sévelin: coffrages métalliques des piles.



Fig. 3. – Viaduc de Sévelin: piles décoffrées.

Chaque pile est surmontée d'un marteau en béton armé et précontraint par deux ou quatre câbles.

Les quatre piles de la zone médiane du pont sont encastrées dans le tablier. Sur chaque culée et sur les trois piles restantes, le tablier repose sur des appuis pots mobiles en tous sens, complétés par des goujons centraux qui sont fixes sur les piles et guidés sur les culées.

Superstructure

Le tablier en service est une poutre continue sur neuf appuis avec des portées de 18,10 à 33,50 m de longueur et

un élancement de 1:25, qui est assez élevé.

La section transversale du tablier est en forme d'auge composée de deux poutres préfabriquées de 1,32 m de hauteur et d'une dalle inférieure dont le surbéton (épaisseur de 23 cm) est coulé sur des prédalles préfabriquées posées sur le talon des poutres.

Les poutres sont précontraintes par deux câbles mis en tension et injectés en usine. Les deux câbles ont été tendus partiellement à un jour d'âge du béton pour permettre le décoffrage et le transport sur l'aire de stockage, puis définitivement à 28 jours au moins

avant le transport de la poutre au chantier.

Deux gaines de précontrainte vides ont été embétonnées dans l'âme de chaque poutre pour permettre l'enfilage sur toute la longueur du tablier de deux câbles de continuité mis en tension après bétonnage de la dalle entre poutres et des clavages sur chaque appui.

Les poutres préfabriquées ont été posées sur un étayage métallique prenant appui sur les traverses reliant les pieux ou sur les puits de fondation.

Les prédalles préfabriquées mesurent 2,50 m de largeur par 3,60 à 7,35 m de longueur. Elles ont 7 cm d'épaisseur et sont renforcées par deux nervures de 24 × 13 cm de hauteur sur dalle. Les prédalles sont armées et précontraintes par torons et fils adhérents.

Le joint transversal entre prédalles est obturé par des bandes continues d'Eternit jointoyées au mortier de façon à assurer l'étanchéité du joint pour l'exécution du surbéton. Ainsi le franchissement des voies CFF s'est effectué sans la pose d'un platelage de protection.

Compte tenu de la place disponible sur le chantier et de la qualité exigée pour le béton, la préfabrication s'est effectuée en usine.

Une partie des travaux de superstructure ont été exécutés de nuit pour limiter les perturbations du trafic ferroviaire ou routier.

Les travaux ont duré 8 mois et coûté 3,2 millions de francs (février 1988).

Bureau d'études : Perret-Gentil + Rey & Associés SA, Lausanne.

Pont de La Bourdonnette

D'une longueur totale de 196 m, le pont de La Bourdonnette (fig. 4 à 8) enjambe successivement, d'est à ouest, les voies de circulation suivantes de l'autoroute N1 :

- rampe d'accès Malley-Genève
- chaussée de l'autoroute direction Genève (2 voies)
- chaussée de l'autoroute direction La Maladière (3 voies)
- rampe de sortie UNIL.

Dimensions

Répartition des portées : $11,50 + 19,00 + 4 \times 26,00 + 30,00 + 19,25 + 11,45 = 195,20$ m.

Section du tablier : largeur hors tout : 4,90 - 5,70 m, hauteur : 1,32 m.

Infrastructure

Etant donné les mauvaises conditions géotechniques, l'ouvrage est entièrement fondé sur des pieux forés de 80 cm de diamètre qui atteignent des profondeurs allant jusqu'à 20 m, à raison de deux pieux par axe de pile. Les charges sont transmises sur les pieux

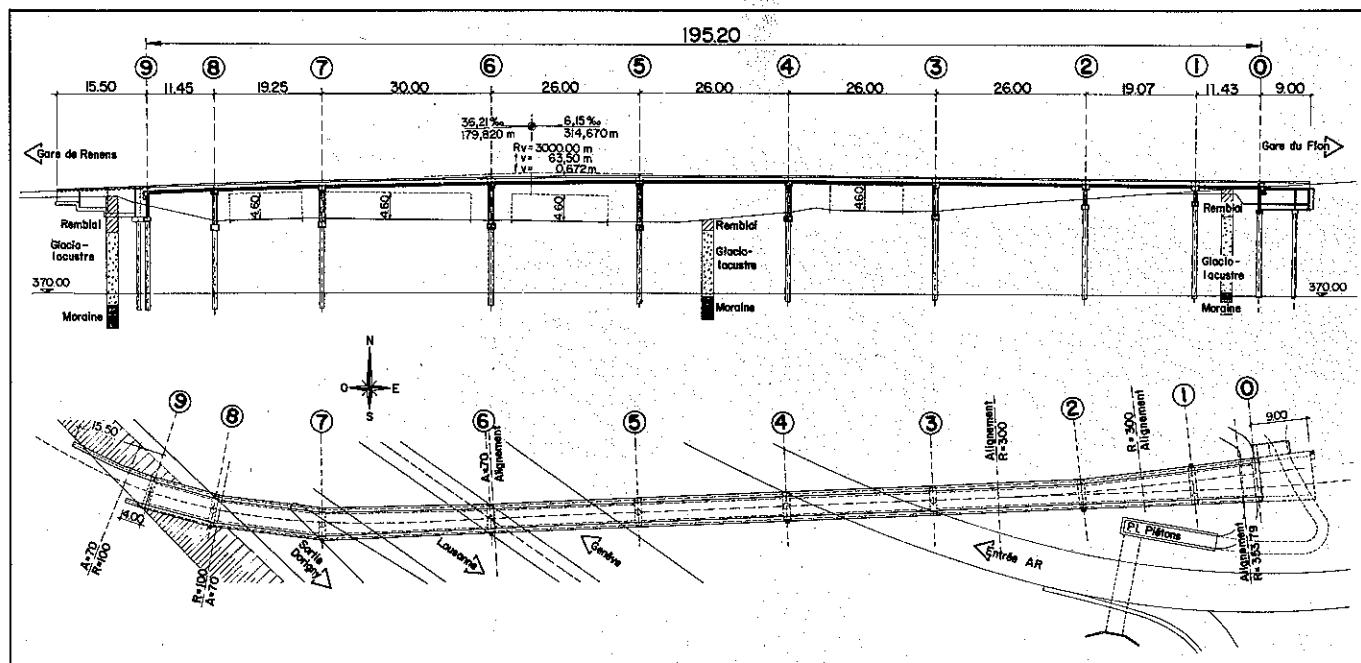


Fig. 4. - Pont de La Bourdonnette: plan et coupe en long.

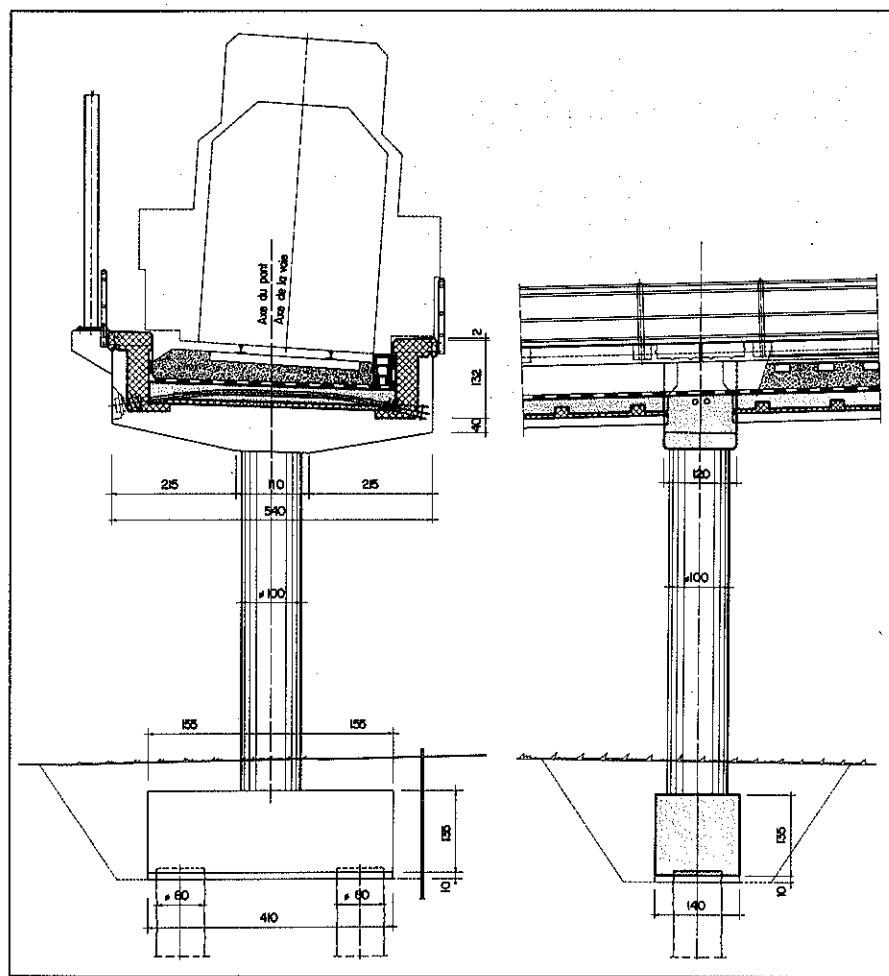


Fig. 5. - Pont de La Bourdonnette: coupe en travers et détail de la coupe en long.

par l'intermédiaire de banquettes ayant une section de 1,30 × 1,30 m. Les piles circulaires, de 1,00 m de diamètre, sont encastrées à leur base ainsi qu'à leur tête. Le pont étant conçu comme pont flottant, elles assurent sa stabilité longitudinale et transversale, alors que les deux culées sont de type

mobile. Les piles situées aux abords des voies de circulation ont été dimensionnées de manière à pouvoir encaisser un choc de véhicule de 1500 kN. La culée côté Bourdonnette est conçue comme sous-station électrique et permet d'abriter un transformateur ainsi que d'autres installations.

Superstructure

Les poutres du tablier ont une hauteur de 1,32 m, leur aile supérieure mesure 0,75 × 0,30 m, l'âme a une épaisseur de 0,38 m.

Le montage des poutres – qui a eu lieu en majeure partie de nuit, entre 20 et 3 heures – a été effectué en plusieurs étapes, en fonction des exigences du trafic autoroutier.

Les étayages des poutres au droit des piles ont été conçus de manière à servir de support pour les coffrages complémentaires des entretiennes.

Après la pose des armatures et l'enfilage de la précontrainte de continuité, la dalle de roulement et les entretiennes furent bétonnées par pompage en une seule étape de jour (environ 250 m³). La précontrainte longitudinale fut mise en tension en deux étapes, la première 3 jours et la deuxième environ 14 jours après le bétonnage.

L'étanchéité de l'auge a été réalisée par des lés bitumineux avec protection par une couche d'asphalte coulé.

La structure porteuse comporte à l'intérieur un système conducteur électrique, constitué de barres d'armature soudées, permettant de mettre à terre les courants vagabonds, avec possibilité de mesurer les éventuelles différences de potentiel.

Précontrainte

La précontrainte longitudinale des poutres a été réalisée par trois familles de câbles :

- précontrainte par torons adhérents, appliquée en usine lors du décoffrage, pour reprendre le poids propre de la poutre
- précontrainte par câbles paraboliques, tendus si nécessaire en une première étape lors du décoffrage

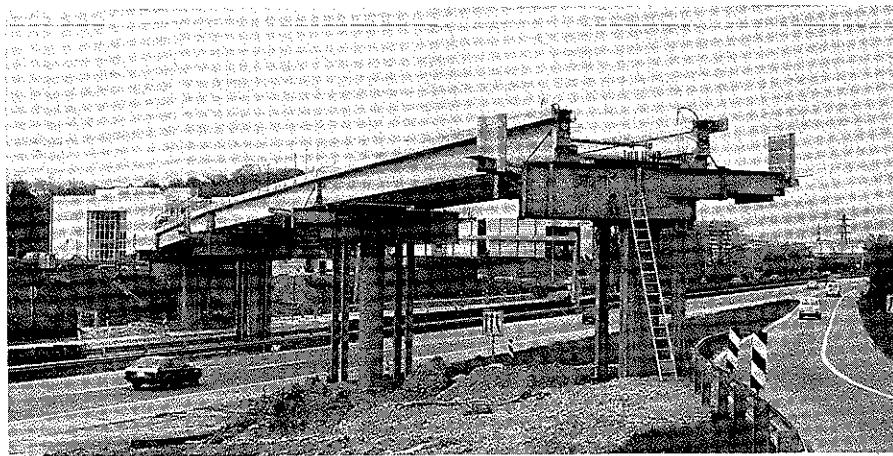


Fig. 6. – Pont de La Bourdonnette. Le trafic sur l'autoroute est maintenu pendant les travaux.

des poutres pour balancer le solde du poids propre, et, en une deuxième étape juste avant le transport sur le chantier, pour reprendre le poids de la dalle lors du bétonnage
- précontrainte de continuité par câbles paraboliques enfilés, disposés sur toute la longueur du tablier et tendus en deux étapes après durcissement du béton de la dalle et de clavage.

Les entretoises sur pile sont précontraintes transversalement par 1 ou 2 câbles curvilignes, mis en tension en une étape, en même temps que la première étape de la précontrainte de continuité.

Particularités de l'exécution

En fonction des contraintes imposées par l'important trafic routier, il était nécessaire de procéder à une planification minutieuse des diverses étapes de travail, en collaboration avec les responsables du Service d'entretien des autoroutes. Les différentes interventions ont été mises au point et coor-

données lors des séances de chantier, en particulier:

- déviation ou rabattement du trafic
- étapes de signalisation
- durée des interventions sur ou à proximité de la chaussée
- travaux de montage exécutés de nuit.

S'agissant d'un ouvrage construit en milieu urbain ou aux abords de l'autoroute, un problème particulier fut posé par la présence de divers réseaux de canalisations souterraines et a demandé les mesures suivantes:

- prise de contact avec les services industriels et autres propriétaires de conduites ou de canalisations pour l'obtention de plans
- relevé, le cas échéant contrôle du tracé exact *in situ* par un géomètre (localement)
- travaux de déplacement de câbles électriques de moyenne tension
- adaptation du projet là où cela se révélait nécessaire, en particulier concernant la position des fondations

- exécution de sondages à la main, avant la mise en place du tubage pour les pieux forés.

Dimensionnement

L'ouvrage a été dimensionné sur la base des principes des nouvelles normes SIA 160 et 162, demandant trois types de vérification:

- vérification de la sécurité structurale
- vérification de l'aptitude au service
- vérification de la sécurité à la fatigue.

Les actions ont été fixées selon le projet de la norme 160 (édition 1988), la sécurité structurale ayant été vérifiée selon la «philosophie» des situations de risque (risque prépondérant, actions concomitantes permanentes et variables). L'ouvrage devait également être dimensionné pour un convoi spécial composé d'un wagon de ballast totalisant 700 kN et d'un tracteur de 420 kN devant circuler sur la voie durant la phase de construction.

La sécurité à la fatigue a été vérifiée sur la base de la publication de J. Grob: *Ermüdung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*, EPFZ, 1977.

Bureau d'études: Frey & Associés, Lausanne.

Pont du Tir-Fédéral

Situation générale

Le pont du Tir-Fédéral (fig. 9 à 11) enjambe l'autoroute N1 avec un gabarit d'espace libre de 5,40 m selon un tracé rectiligne fortement biais par rapport à l'axe de l'autoroute et légèrement divergent de celui du pont routier de la route cantonale RC 82.

La disposition très biaise de l'ouvrage implique l'implantation de piles aux bords de l'autoroute et dans sa berme centrale, et celle des culées au voisinage de celles du pont routier. Il s'ensuit une longueur d'ouvrage de 108,40 m répartie en cinq travées de $18,00 + 2 \times 28,20 + 18,00 + 16,00$ m. Du point de vue profil en long, l'ouvrage se situe sur un cercle de raccordement de rayon vertical de 4000 m donnant des pentes variables d'environ 34,5% côté Flon à 8,5% côté Renens.

Le lot du pont du Tir-Fédéral comprend également la réalisation d'un passage à piétons sous le pont routier de la RC 82 et sous le pont-rail; cet aménagement se compose d'une rampe et d'un escalier côté ouest, d'un escalier entre les deux ponts et de l'amorce d'une rampe côté est.

Conditions géotechniques

Le pont est situé dans la vaste plaine sédimentaire comprise entre l'EPFL et Chavannes. Sous des remblais liés probablement à la construction de l'autoroute, on trouve successivement des dépôts glacio-lacustres sableux



Fig. 7. – Pont de La Bourdonnette: l'ouvrage terminé.



Fig. 8. – Pont de La Bourdonnette : vue aérienne. Le quartier de La Bourdonnette (au premier plan), l'Université de Lausanne (de l'autre côté de l'autoroute) et l'EPFL (au fond).
(Photo Germond, Lausanne.)

moyennement à non plastiques, puis des dépôts glacio-lacustres argileux très plastiques, enfin une moraine très ferme aux alentours de 20 m de profondeur.

Un seul sondage a été exécuté en complément de l'étude géotechnique réalisée en 1960 pour la construction du pont routier de la RC 82.

Du point de vue hydrologique, la nappe se trouve au voisinage du niveau du drainage de l'autoroute.

Infrastructure

Vu la nature du sous-sol et l'obligation de ne pas perturber le comportement des fondations profondes du pont routier, l'ouvrage est fondé sur pieux forés fichés dans la moraine, par conséquent d'une longueur de 20 à 25 m.

Chaque pile de section circulaire de 1,00 m de diamètre s'encastre dans un chevalet de fondation comprenant un socle-traverse lié à deux pieux forés de 90 cm de diamètre, disposés de part et d'autre de l'axe de l'ouvrage ; ce système est ainsi rigide transversalement à l'ouvrage et suffisamment souple longitudinalement pour absorber les effets de retrait et de variations thermiques.

Les piles étant liées au tablier par l'intermédiaire des entretoises, nous avons affaire statiquement à un pont cadre flottant muni d'appuis mobiles longitudinalement uniquement aux culées.

La culée côté Flon est un caisson rigide posé sur trois pieux forés dont l'intérieur tient lieu de local de service pour la sécurité ferroviaire.

La culée côté Renens est constituée d'un mur d'appui frontal lié à deux courts murs d'aile ; elle est également fondée sur trois pieux forés.

Superstructure

L'auge du tablier est liée à des entretoises d'appuis solidaires des piliers pour former des marteaux orientés perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage et donnant ainsi une longueur égale aux poutres d'une même travée.

Le dimensionnement découle du montage : les poutres reposent en première étape sur un étayage situé devant les culées ainsi que de part et d'autre des piles ; une précontrainte par adhérence constituée de 7, 9 ou 10 torons de 99 mm² selon la portée, complétée d'un câble de 12 torons de 146 mm² injecté avant la pose pour les longues poutres, leur permet de supporter en système isostatique leur poids propre et le poids de la dalle.

Après bétonnage de cette dernière et clavage des poutres au droit des appuis, la précontrainte de continuité est appliquée, réalisée par deux câbles de 12 torons de 146 mm² tendus depuis les deux extrémités.

Les forces de précontrainte ainsi mises en œuvre représentent 4830 kN à 7188 kN par poutre selon les portées. Les marteaux sont également précontraints par deux câbles de 12 torons de 146 mm² (4032 kN).

L'ouvrage est dimensionné selon les normes SIA 160 et 162 (édition 1989). Pour lutter contre les risques de corrosion due aux courants vagabonds, un système de mise à terre de l'ouvrage est prévu, impliquant la continuité par soudure d'une partie de l'armature.



Fig. 9. – Pont du Tif-Fédéral : traversée de l'autoroute en fort biais.

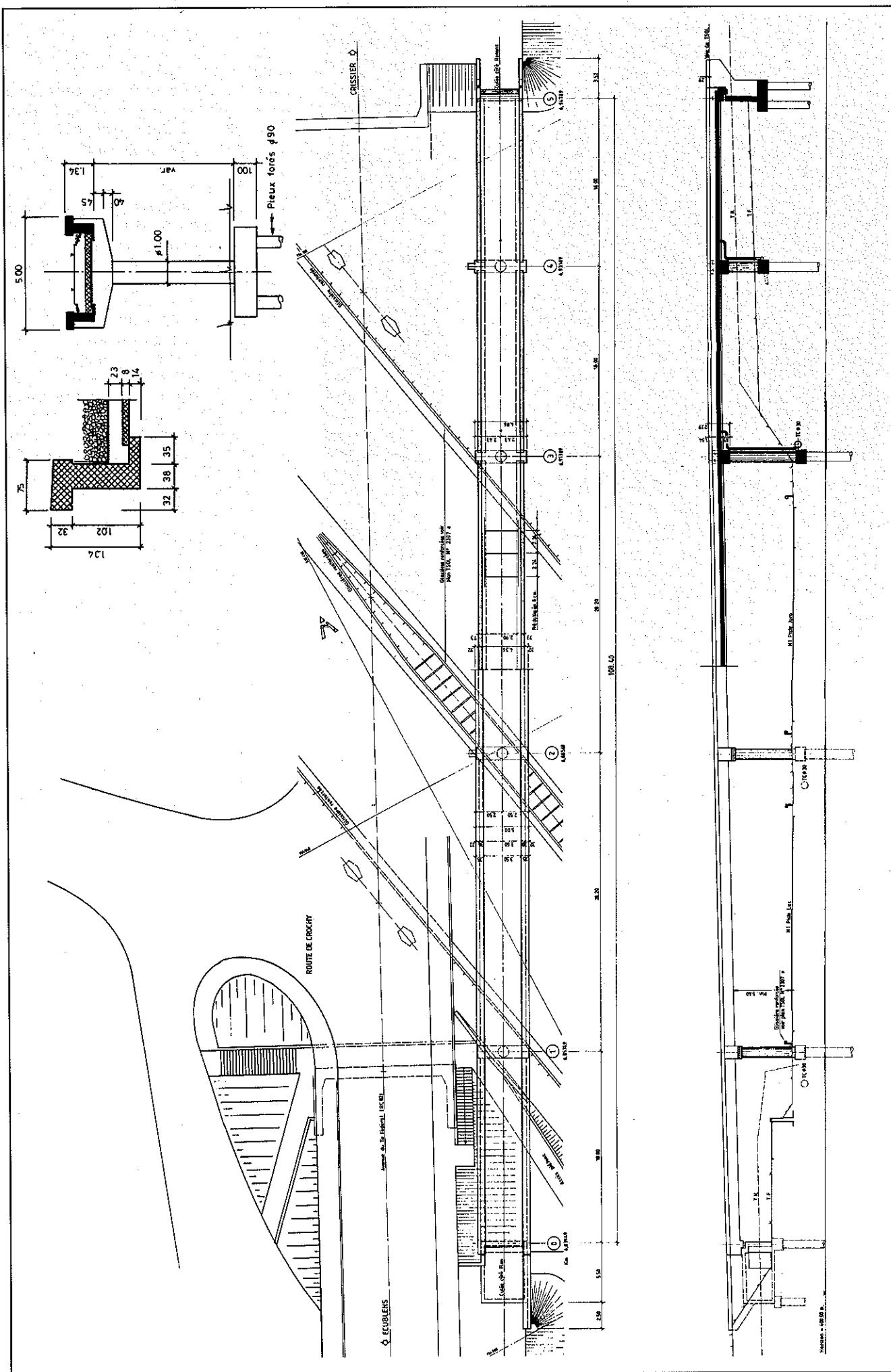


Fig. 10. - Pont du *Tir-Fédéral*: plan général.

Exécution de l'ouvrage

L'autoroute étant à trois voies dans chaque sens à l'emplacement de l'ouvrage, l'utilisation momentanée d'une voie pour le forage des pieux, l'exécution des piles et fondations, ainsi que pour le montage des étayages n'a pas posé de grands problèmes.

Restant en place jusqu'à la réalisation de la précontrainte de continuité, les étayages des diverses travées devaient impérativement se situer hors du gabarit autoroutier, ce qui a nécessité quelques adaptations dues au fort biais.

La pose des poutres préfabriquées et des prédalles s'est faite en deux nuits avec fermeture alternée des pistes autoroutières.

La dalle de solidarisation de l'auge a été exécutée par pompage du béton.

Bureau d'études: Piguet + Associés ingénieurs-conseils SA, Lausanne.

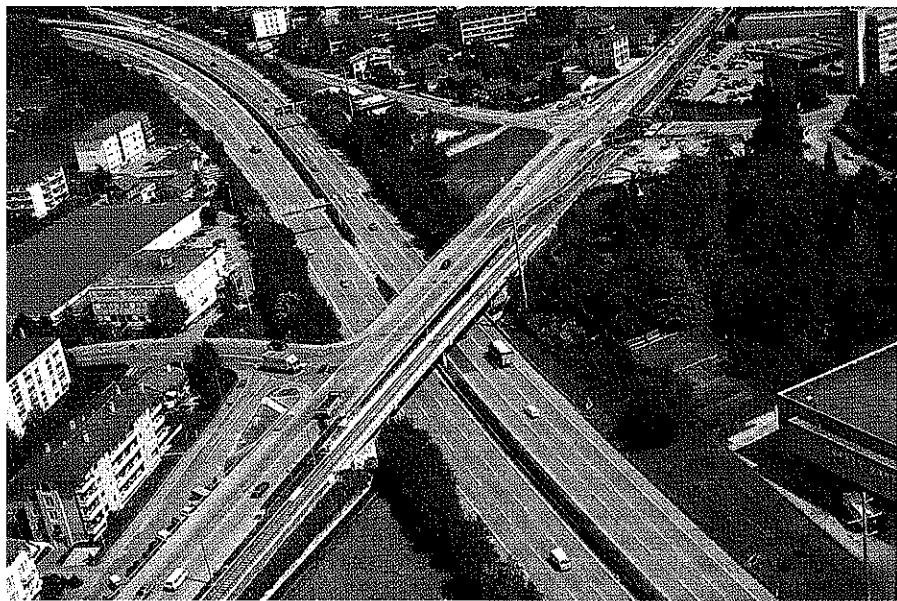


Fig. 11. – Pont du Tir-Fédéral: vue aérienne.

(Photo Germond, Lausanne.)

Les ouvrages du Métro Ouest (IV)

Autres constructions le long de la ligne

Couverture de la station de Lausanne-Flon

La station de Lausanne-Flon est située en tête de la ligne du Métro Ouest entre le bâtiment de la gare du métro Lausanne-Ouchy et Lausanne-Gare et l'entrée du tunnel du Flon.

L'ouvrage décrit ici s'élève au-dessus des quais de la station produite dans la fouille réalisée dans le cadre du tronçon Flon-Chauderon décrit dans un autre article de ce numéro.

Les terrains réservés à l'implantation de cette station appartenaient d'une part à la société Lausanne-Ouchy Immeubles SA (ancien atelier) et d'autre part à la Commune de Lausanne (colline de Montbenon).

Contraintes d'exécution

Pour préserver l'avenir, la société Lausanne-Ouchy Immeubles SA a proposé de concevoir toutes les infrastructures de la station de manière à autoriser l'exécution ultérieure d'un bâtiment de plusieurs niveaux au-dessus de la station.

Pour sa part, la Commune de Lausanne a exigé la reconstitution aussi fidèle que possible du talus de la colline de Montbenon au-dessus de la dalle-ciel de la station.

Géotechnique

La nature des terrains au droit de la station se présentait comme suit :

- une couche de remblai sablo-limoneux, peu compact, de 0 à 7 m d'épaisseur sous le niveau des quais
- une couche de limon et sable peu graveleux de 5 à 10 m d'épaisseur
- une couche de moraine sablo-graveleuse, assez compacte, d'épaisseur variable
- le toit de la molasse plus ou moins marneuse de niveau très variable.

La trame très espacée des éléments verticaux de la structure porteuse engendrait des charges sur les fondations de l'ordre de 500 jusqu'à près de 1000 t.

Au vu de la qualité du terrain immédiatement sous-jacent, un principe de fondation profonde par pieux forés a été adopté pour assurer un bon comportement de l'ouvrage à long terme. Les pieux forés, d'un fût de 15 à 20 m de long ont été encastrés dans le toit de la molasse, leur diamètre variant de 100 à 140 cm.

Description de l'ouvrage

La construction est d'une conception statique simple et fonctionnelle, parfaitement adaptée à son affectation.

Zone appartenant à la société Lausanne-Ouchy Immeubles SA

La structure porteuse de la couverture de la station est composée d'une dalle plate reposant sur des piliers préfabriqués centrifugés de 55 cm de diamètre,

disposés selon une trame variable jusqu'à $10,00 \times 10,25$ m, en fonction d'une part de la position des quais du métro et d'autre part de l'utilisation ultérieure du volume situé au-dessus de la station. La stabilité de l'ouvrage est assurée par des murs en béton armé de 40 cm d'épaisseur.

La dalle-ciel de la station a été dimensionnée pour permettre la construction future d'un bâtiment de plusieurs niveaux, sans nécessiter la pose d'étayage dans la station, ce qui perturberait le trafic ferroviaire et piétonnier.

Zone appartenant à la Commune de Lausanne

La structure porteuse de la couverture de la station dans cette zone est composée d'une dalle en escalier sur piliers préfabriqués de 55 cm de diamètre selon une trame variable jusqu'à $9,00 \times 9,40$ m (fig. 1).

La création d'une dalle en escalier avec trois marches de 1,55 m de hauteur était nécessaire pour limiter le poids des matériaux qui devaient recouvrir cet ouvrage pour reconstituer la colline de Montbenon. Malgré cet artifice, la hauteur du remblai sur la dalle varie de 1,2 à 6,2 m et est traité en remblai léger, c'est-à-dire avec une couche de terre végétale de 1,2 m d'épaisseur mise en place sur un lit de 0 à 5 m de granulats légers type Leca.

La stabilité de cette partie d'ouvrage est également assurée par des murs en béton armé de 40 cm d'épaisseur.

La couverture de la station de Lausanne-Flon est une construction simple, fonctionnelle et économique qui répond pleinement aux contraintes imposées par le maître de l'ouvrage.

Bureau d'études: Monod ingénieurs-conseils SA, Epalinges.

Le pont de l'EPSIC

Le pont de l'EPSIC est situé à l'ouest du pont Chauderon et se distingue par un environnement construit particulièrement dense sur sa première moitié. Cela a fortement influencé à la fois sa conception et son mode d'exécution (fig. 2 à 8).

Site

Le pont couvre la partie du tracé de la ligne du Métro Ouest située entre le km 0,600 et le km 0,800. Sur les 100 premiers mètres, il se faufile entre les bâtiments de l'EPSIC (Ecole professionnelle de la Société industrielle et commerciale) au nord et celui de l'imprimerie Héliographia (anciennement Imprimeries Populaires) contenant la chaufferie et les services techniques au sud. Il passe partiellement par-dessus un escalier et une ruelle étroite. Il frôle le bâtiment de l'imprimerie, laissant 30 cm d'espace libre seulement.

Sur les 100 derniers mètres il traverse, à flanc de coteau, un petit bois accroché au flanc sud de la vallée du Flon qui présente une déclivité latérale importante.

Le tracé en plan, en forme de S, se développe sur un rayon de 300 m suivi de deux clohoïdes (constante A = 117). La plus grande hauteur de l'ouvrage par rapport au terrain naturel atteint 15 m dans la traversée du petit bois. La pente longitudinale est de 4,76% avec un raccordement en début d'ouvrage sur une pente de 0,8%.

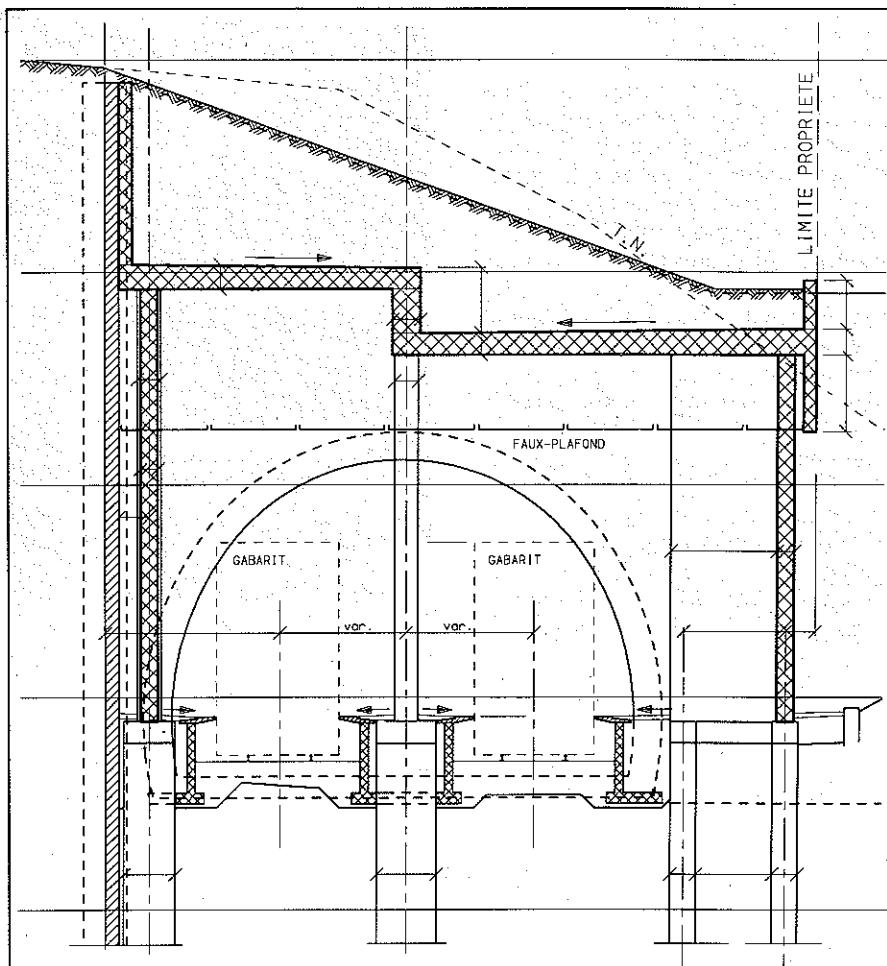


Fig. 1. – Station de Lausanne-Flon: coupe de la dalle de couverture en escalier.

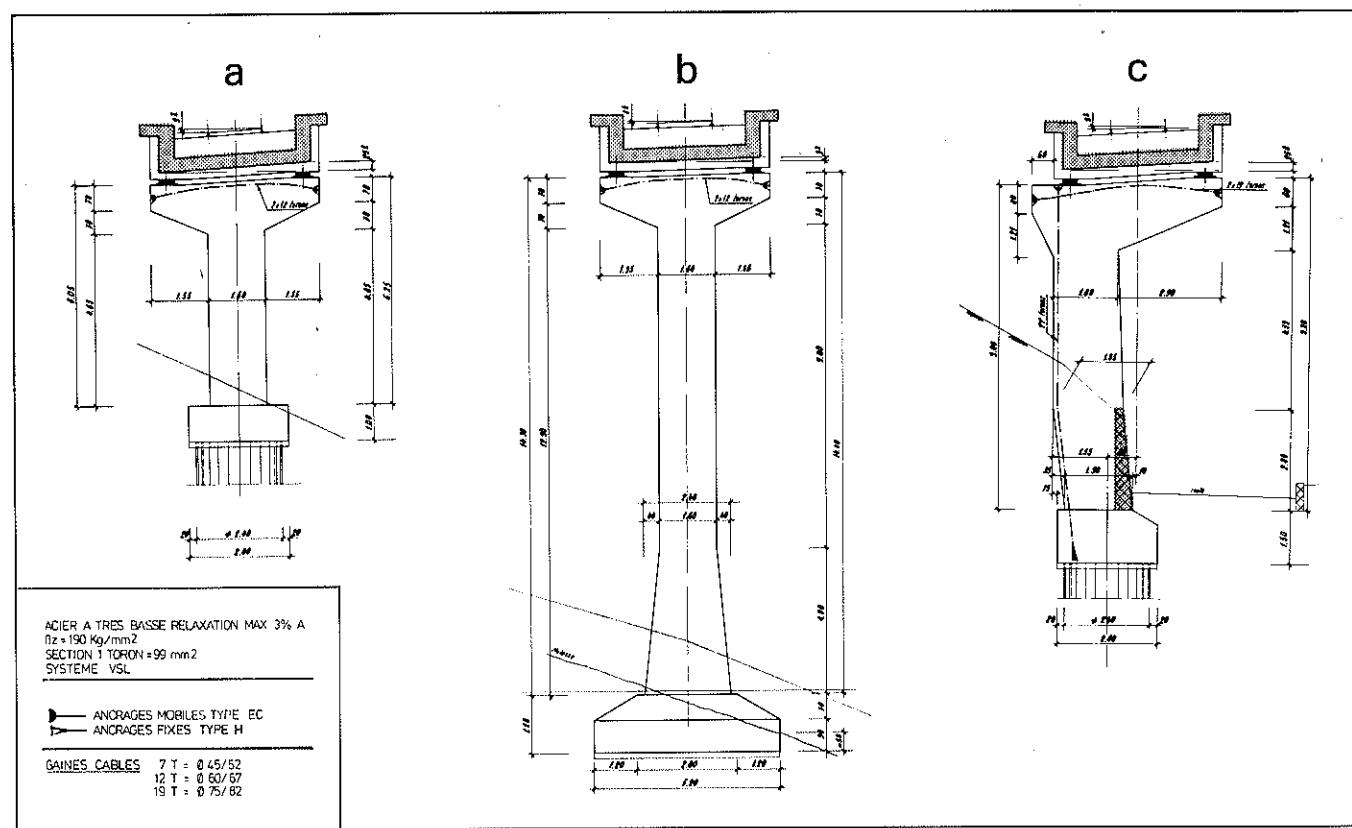


Fig. 2. – Pont de l'EPSIC; a: pile courante fondée sur puits; b: pile N° 5 fondée sur semelle; c: pile N° 2 à forte asymétrie.

Fondations

Les terrains reconnus par les sondages montraient, sur la majeure partie du tracé, la présence de remblais d'épaisseur variable atteignant un maximum de 14 m. A une profondeur légèrement supérieure, une molasse de bonne qualité est en général repérée, mais elle est surmontée d'une molasse remaniée et souvent de moraine latérale.

Lors de l'exécution, toutes les prévisions ont été confirmées, à l'exception de la seule fondation superficielle de la pile N° 5, où l'on aurait dû trouver la molasse à moins de 2 m de la surface du terrain naturel, qu'il a fallu chercher jusqu'à 5 m de profondeur.

Toutes les autres fondations ont été exécutées par la méthode du puits unique, chemisé à l'avancement, pour un diamètre extérieur de 2,20 m et un chemisage de 20 cm. L'espace de travail de 1,80 m s'est révélé suffisant. Le puits de la pile N° 2 a justifié un diamètre plus élevé du fait de son excentricité par rapport aux charges qui lui étaient appliquées.

Piles

L'implantation retenue a permis de limiter les piles spéciales à la seule pile N° 2. A part cette dernière, les piles sont en forme de T à précontrainte supérieure transversale dans la traverse. Elles supportent le tablier par l'intermédiaire d'appareils d'appui mécaniques de type 'pot'.

La pile N° 2 est fortement excentrée par rapport à l'axe du tablier et a ainsi la forme du chiffre 7. Elle a nécessité l'emploi de câbles de précontrainte verticale et une plus grande épaisseur que les piles courantes.

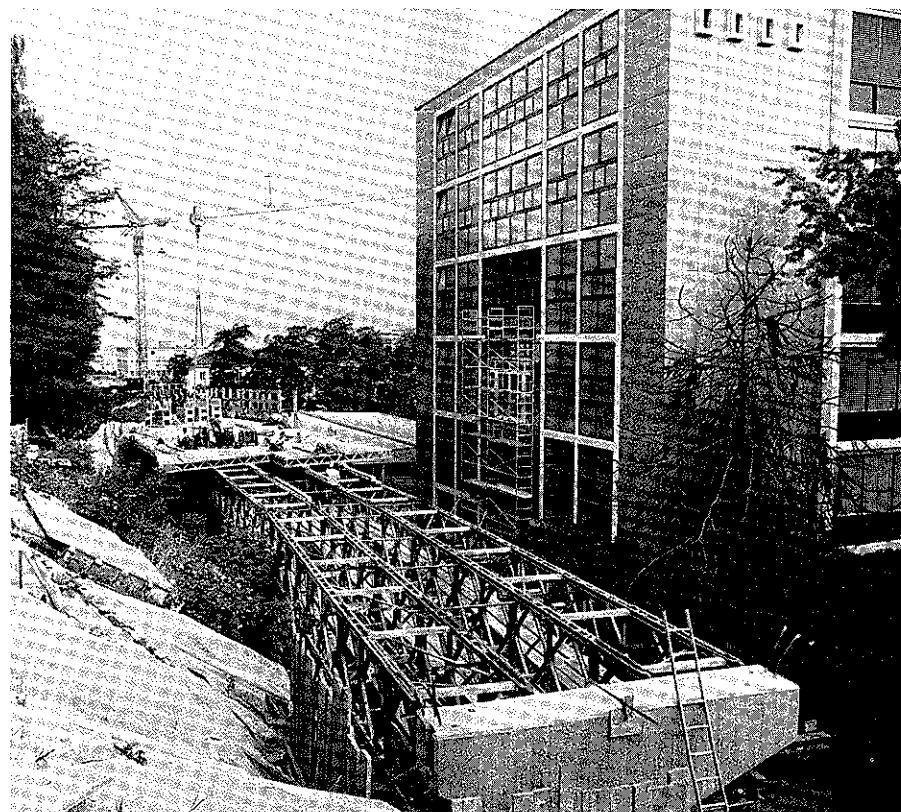


Fig. 3. – Pont de l'EPSIC: échafaudages du tablier.

Toutes les piles ont une section rectangulaire, donc une forme extrêmement sobre.

Tablier

Sa longueur totale de 194 m est répartie en cinq travées courantes de 31,60 m de portée et deux travées de rives de 18,00 m.

La section transversale du tablier est en forme d'auge de 5,20 m de largeur hors tout et de 1,32 m de hauteur. Les

deux poutres latérales comportent une table de compression sur leur face supérieure d'une largeur de 90 cm chacune.

L'exécution du tablier a été réalisée sur cintre provisoire, permettant ainsi de suivre les courbures en plan et de respecter les importantes variations de dévers. Les petits espaces disponibles pour l'accès au chantier et la forte pente de la zone boisée excluaient l'utilisation de techniques préfabriquées.

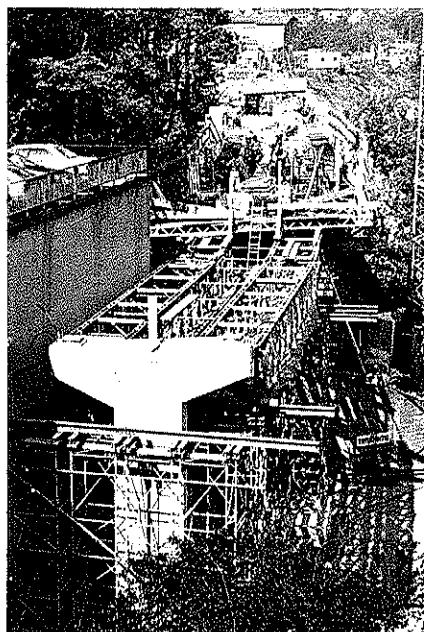


Fig. 4. – Pont de l'EPSIC: échafaudages du tablier.

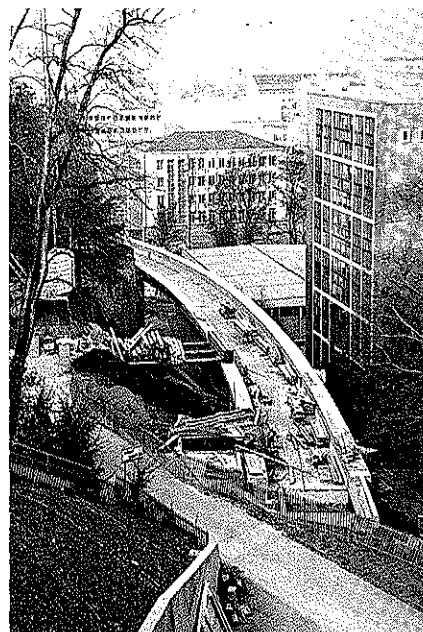


Fig. 5. – Pont de l'EPSIC: tablier terminé.

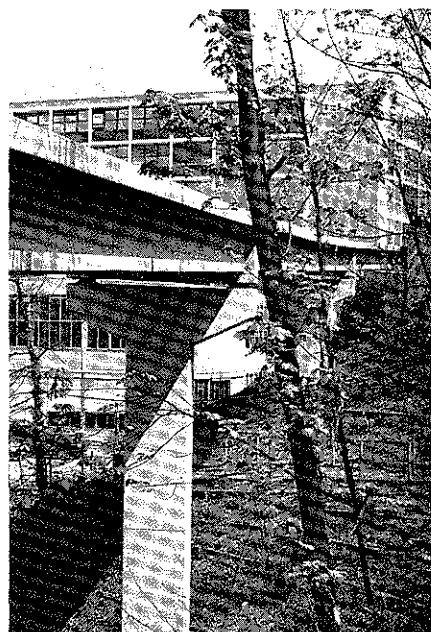


Fig. 6. – Pont de l'EPSIC: vue.

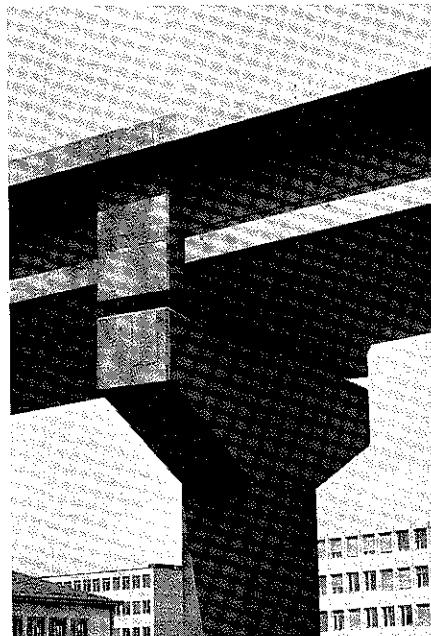


Fig. 7. - Pont de l'EPSIC: détail.

Le tablier a été bétonné en autant d'étapes qu'il comporte de travées, chaque étape comportant un porte-à-faux sur la travée suivante. Les opérations se sont déroulées d'ouest en est avec une réutilisation assez rationnelle des étayages et des coffrages.

La précontrainte, couplée à raison d'un câble sur les deux que comporte chaque poutre, est ainsi continue sur toute la longueur de l'ouvrage. Il s'y ajoute des câbles-chapeau supérieurs au droit des piles.

Bureau d'études: Realini + Bader et Associés ingénieurs-conseils SA, Epaillages.

Estacade des Côtes-de-Tivoli

Cette estacade longue de 69 m est située à l'ouest du pont de l'EPSIC. Le tracé du métro longe à cet endroit la crête d'un important talus d'environ

12 m de haut. Ce talus a été réalisé dans les premières années du siècle lors du voûtement du Flon (rappelons qu'il s'agit d'un ruisseau traversant jadis la ville à ciel ouvert) par l'apport de matériaux de qualité très variable. La solution d'estacade a été retenue à la vue de la haute compressibilité de ces sols et pour éviter une surcharge de ces remblais (fig. 9 et 10).

Fondations

Afin de satisfaire à cette situation et vu les très délicates conditions d'accès, des fondations profondes ont été réalisées par des jettings contigus et armés, portant les charges verticales et les frottements négatifs sur la molasse, atteinte à une profondeur de 15 m. Les forces horizontales sont reprises par des micropieux inclinés, fichés dans la molasse.

Cette solution a été retenue parce qu'elle ne nécessitait l'emploi que de petits engins. Elle permettait aussi de réaliser ces travaux dans un terrain traversé par des tirants permanents ou temporaires, déjà en place pour les besoins de chantiers situés en contrebas.

Tablier

Le tablier est formé de dix travées dont la portée est de 7,50 m pour les travées courantes et légèrement inférieure à cette cote pour les autres. Ces portées ont été choisies pour éviter les tirants mentionnés ci-dessus ainsi que les autres équipements techniques traversant le sol du tracé.

La faible hauteur de l'espace situé sous l'ouvrage a déterminé le choix d'une technique d'exécution du tablier par éléments préfabriqués, reliés par du sur-béton. De plus, les conditions de pose par la proximité immédiate de la route des Côtes-de-Tivoli rendaient cette méthode économiquement intéressante.

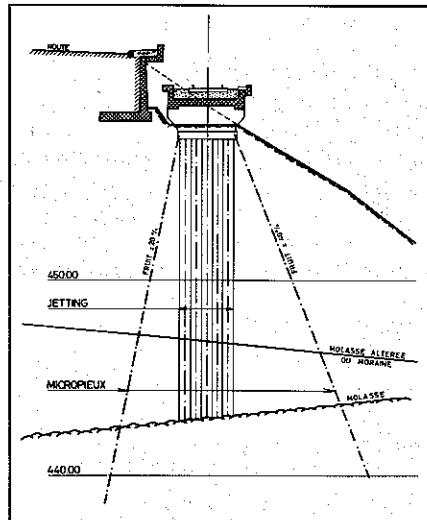


Fig. 9. - Estacade des Côtes-de-Tivoli: profil type.

Les poutres préfabriquées, d'une longueur de 7 m et d'une hauteur de 80 cm, comportent un corbeau inférieur servant d'appui aux prédalles d'une longueur d'environ 2,10 m et de 10 cm d'épaisseur. Un sur-béton de dalle de 25 cm et un sur-béton de sommier ont permis de réaliser la liaison entre les éléments préfabriqués d'une part, entre l'ensemble des travées d'autre part, rendant ainsi l'ouvrage monolithique. Les conditions d'exécution en usine ont permis de précontraindre les éléments préfabriqués par des fils adhérents. Cette précontrainte améliore la durabilité de l'ouvrage, tout en étant plus économique que l'armature passive.

Bureau d'études: Realini + Bader et Associés ingénieurs-conseils SA, Epaillages.

Station en pont de Montelly

La station de Montelly est située à la suite du viaduc de Sévelin, elle est à double voie, en courbe et en pente. Le niveau de la voie atteint ici jusqu'à 4 m au-dessus du sol, ce qui a nécessité la construction d'un pont. L'ouvrage est long de 81 m et comprend cinq travées inégalement réparties. Les voyageurs accèdent aux quais par des rampes (fig. 11 et 12).

Fondations

Le sol est constitué de l'ancienne décharge du Flon, donc inutilisable à cause des tassements importants à redouter. Le pont - piles et culées - est fondé, par conséquent, sur des pieux forés de 80 cm de diamètre et longs de 20 à 22 m.

De surcroît, l'exécution de l'ouvrage était délicate en raison de sa situation: il se trouve en effet à cheval au-dessus des voûtes du Flon datant du début du siècle et à 16-18 m de profondeur à cet endroit.

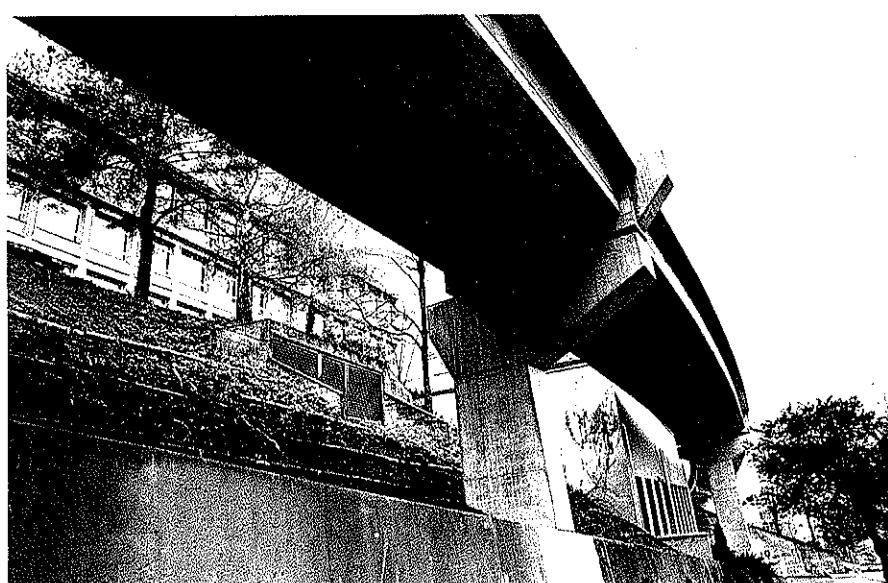


Fig. 8. - Pont de l'EPSIC: pile asymétrique.

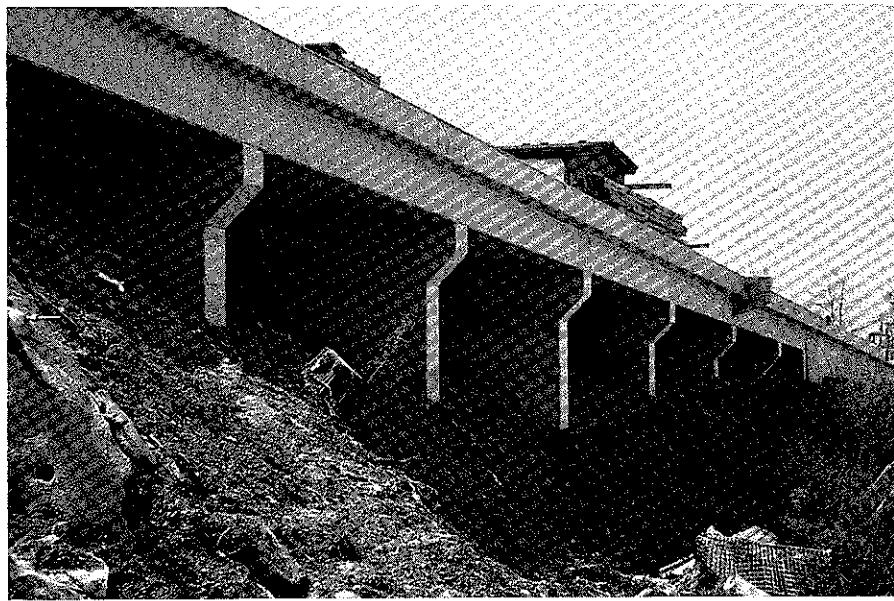


Fig. 10. - Estacade des Côtes-de-Tivoli: vue depuis le bas du talus.

Superstructure

Côté Lausanne-Flon, une culée commune est partagée avec le viaduc de Sévelin. En dehors des culées, le tablier repose, à chaque travée, sur deux piles latérales de 80 cm de dia-

mètre. Il est en forme d'auge, mesure 12 m en largeur et comprend les deux voies et les quais.

Le tablier, en béton armé précontraint longitudinalement, est réalisé en deux étapes avec précontrainte intermè-

diaire. Les rampes d'accès sont en béton armé précontraint par monotonons. L'espace situé sous le pont a pu être utilisé comme dépôt pour le Service des parcs et promenades de la Ville.

Bureau d'études: B. Janin + T. Girard ingénieurs civils, Lausanne.

Trémie du chemin de la Prairie

Entre les stations de Provence, au niveau du sol, et celle de Malley, souterraine, le niveau de la voie est graduellement abaissé et celle-ci se trouve en contrebas de l'avenue de Provence qu'elle longe. Pour assurer la stabilité des sols situés latéralement, la construction d'une trémie longue de 105 m était nécessaire (fig. 13).

L'ouvrage se situe donc le long de l'avenue de Provence entre le carrefour du chemin de Malley et le pont de Bourgogne. En coupe, il a la forme d'une auge asymétrique de hauteur variable. Du côté de l'avenue de Provence, l'ouvrage atteint une hauteur maximale de soutènement de 4,5 m. Afin de maintenir en service l'avenue de Provence durant les travaux de construction, l'ouvrage a été entrepris à l'abri d'une paroi provisoire de palplanches ancrées. La mise en œuvre des ancrages a été délicate car leurs zones de scellement se situaient dans les remblais très hétérogènes de l'avenue de Provence qui atteignent jusqu'à 15 m d'épaisseur à cet endroit. L'ouvrage lui-même a été fondé directement sur ces remblais. A la fin des travaux, les palplanches ont été retirées. L'implantation de cette trémie a nécessité le déplacement d'un important caniveau technique.

Une paroi antivue et une paroi antibruit, fixées sur le couronnement des murs, protègent les habitations situées à proximité immédiate de l'ouvrage. Bureau d'études: JPC SA Jean-Paul Cruchon ingénieur civil, Lausanne.

Station, tranchée couverte et trémie de Malley

L'ouvrage s'étend sur une longueur totale d'environ 500 m dont la moitié en tranchée couverte.

Les méthodes de réalisation du passage sous le carrefour de Malley ont été imposées par les conditions locales très contraignantes, comme l'emprise réduite du chantier, la qualité du terrain traversé, la présence de la nappe phréatique sur environ la moitié du parcours ainsi que la présence de constructions anciennes en bordure, voire sur le tracé (murs de soutènement, bâtiments).

Ce tronçon est en outre caractérisé par l'ampleur des travaux accessoires, en dehors des travaux spécifiques à la pose de la voie.

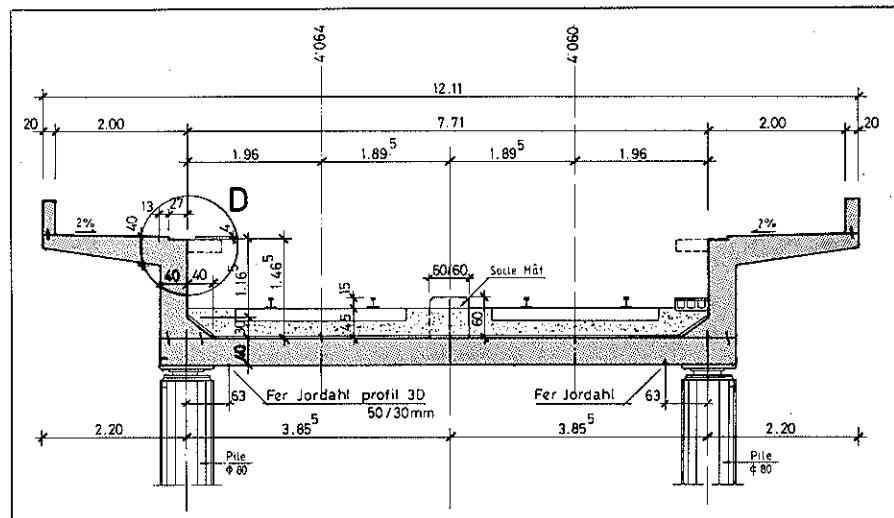


Fig. 11. - Station en pont de Montelly: coupe en travers.

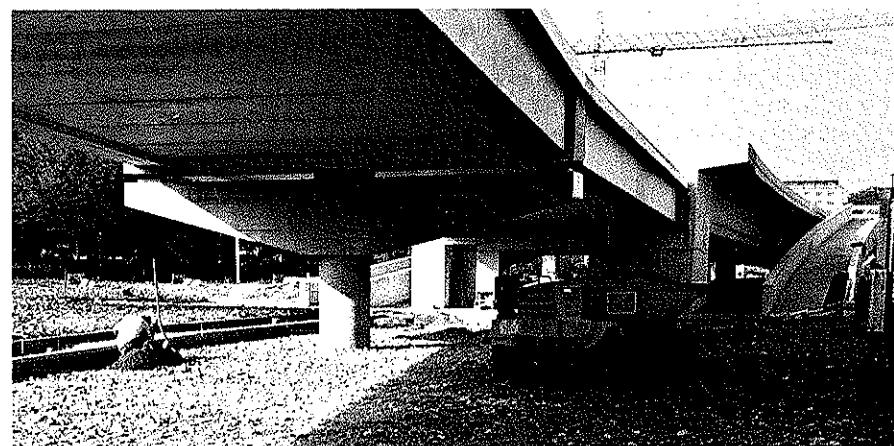


Fig. 12. - Le viaduc de Sévelin (au premier plan) et la station en pont de Montelly reposent sur une culée commune.

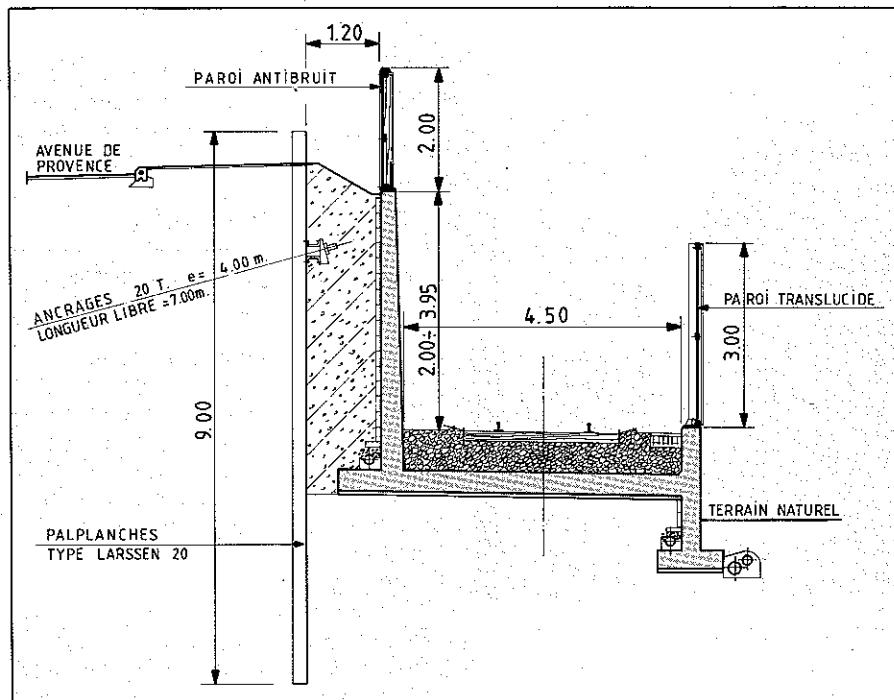


Fig. 13. – Trémie du chemin de la Prairie : coupe type. Les palplanches visibles à gauche sont provisoires et retirées à la fin des travaux.

En effet, à part les difficultés purement techniques inhérentes à l'ouvrage, les principaux problèmes à résoudre étaient :

- le maintien de la circulation, particulièrement dense à cet endroit
- d'assurer l'accès aux immeubles et aux commerces
- le maintien en exploitation des divers réseaux des services industriels.

La circulation a pu être maintenue grâce à l'exécution en deux étapes de la traversée du carrefour et en mettant en place pour chaque étape un minigiratoire. Cette solution s'est révélée très satisfaisante.

La construction de passerelles et pistes provisoires a permis l'accès ininterrompu aux bâtiments et commerces le long du tracé.

Le déplacement provisoire et la remise

en place des réseaux des services industriels ont fortement influencé le programme général des travaux. Pas loin de 10 kilomètres de tubes et conduites ont été déplacés et remis en place lors de l'ouverture des fouilles pour neuf services différents.

Méthodes d'exécution

La qualité du terrain (moraine compacte) ainsi que la proximité des constructions existantes ont d'emblée fait renoncer au battage de palplanches. Les méthodes de soutènement choisies ont été les suivantes :

- station de Malley (km 2,1 à km 2,2) : paroi berlinoise fichée et ancrée provisoirement le long de l'avenue de Provence
- tunnel en dehors de la nappe phréatique (km 2,2 à km 2,3) : deux parois berlinoises fichées (non ancrées)
- tunnel en présence de la nappe phréatique (km 2,3 à km 2,45) : deux parois moulées fichées (non ancrées)
- trémie aval en présence de la nappe phréatique (km 2,45 à km 2,6) : deux parois moulées fichées et ancrées en tête et murs de soutènement classiques
- paroi nord du tunnel, partiellement sous le mur existant (km 2,4) : pieux forés obliques de 100 cm de diamètre à 30 cm d'intervalle avec, comme fermeture entre les pieux, des colonnes injectées sous haute pression (jetting).

Station de Malley

La station couverte de Malley a été réalisée à l'abri d'une paroi berlinoise implantée en bordure de l'avenue de

Provence, entre le chemin de la Prairie et le carrefour de Malley. Les pieux forés, d'un diamètre de 80 à 110 cm, ancrés provisoirement en tête et écartés de 2,30 m, ont été réalisés à partir du terrain naturel, sur une profondeur allant jusqu'à 12 m. Le soutènement entre les pieux, constitué par des parois en béton armé, a été réalisé en plusieurs étapes, au fur et à mesure de l'approfondissement des terrassements.

Côté nord, la dalle de couverture et les quais reposent sur un mur de respectivement deux et trois étages de haut, formant séparation avec un futur bâtiment commercial, intégré partiellement dans la station. Le mur est fondé en partie sur des pieux forés traversant l'ancienne décharge de gadoues jusqu'à la moraine compacte (fig. 14 à 17).

Tunnel et trémie aval

Cette partie de l'ouvrage a été réalisée en tranchée couverte, la couverture sur la dalle du tunnel étant trop faible (30 à 150 cm) pour qu'on puisse envisager une exécution en tunnel.

L'excavation d'une fouille préliminaire d'une profondeur moyenne de 2 m a permis au préalable le déplacement ou la protection provisoire des différents services industriels (PTT, eau, gaz, collecteur, électricité, etc.). Le soutènement de la fouille en profondeur a été exécuté à partir de la fouille préliminaire dans la zone amont en parois berlinoises et, dans la zone aval en présence de la nappe phréatique, en parois moulées (fig. 18 à 20).

Etapes de réalisation de la partie à parois berlinoises

- forage des pieux, d'un diamètre de 90 cm, écartés de 2,50 m, à partir de la fouille préliminaire
- excavation entre les deux rangées de pieux sur environ 2 m de hauteur et simultanément bétonnage des parois de soutènement entre les pieux ainsi que du sommier de répartition sur la tête des pieux
- coffrage, ferraillage et bétonnage de la dalle de couverture
- soldé des excavations en tunnel avec bétonnage entre les pieux
- exécution du radier et travaux de finition.

Phases d'exécution de la partie à parois moulées

- exécution des parois moulées par panneaux alternés de 3 à 6 m et de 60 à 80 cm d'épaisseur à partir de la fouille préliminaire
- recépage des parois et exécution d'une poutre de répartition en tête formant appui de la dalle de couverture
- ferraillage et bétonnage sur terre de la dalle de couverture

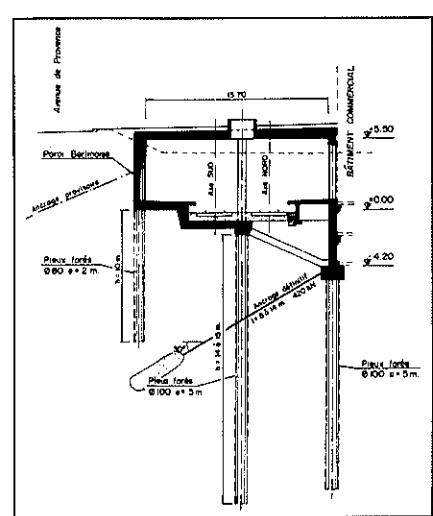


Fig. 14. – Station de Malley : coupe type.

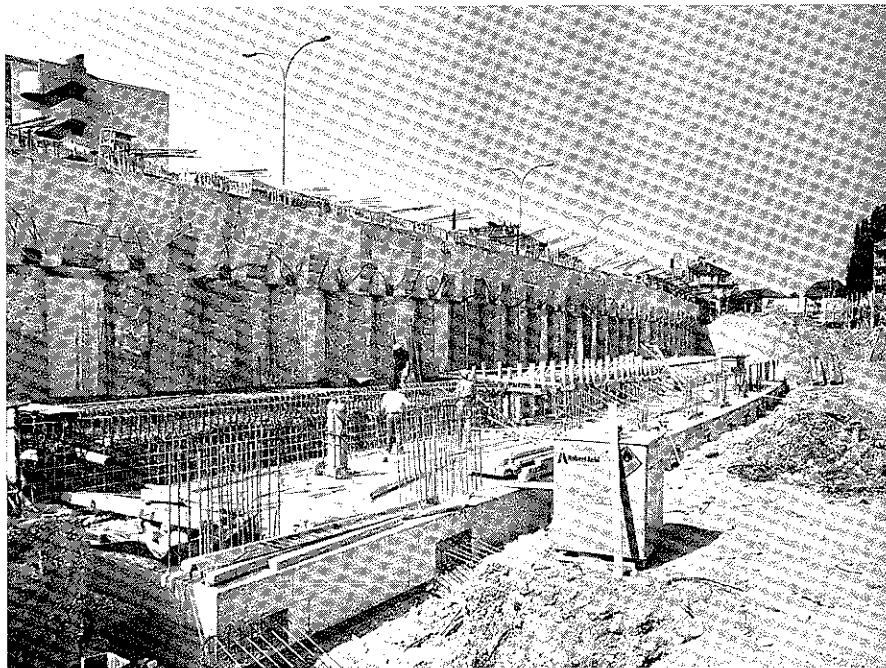


Fig. 15. – Station de Malley.



Fig. 16. - Station de Malley

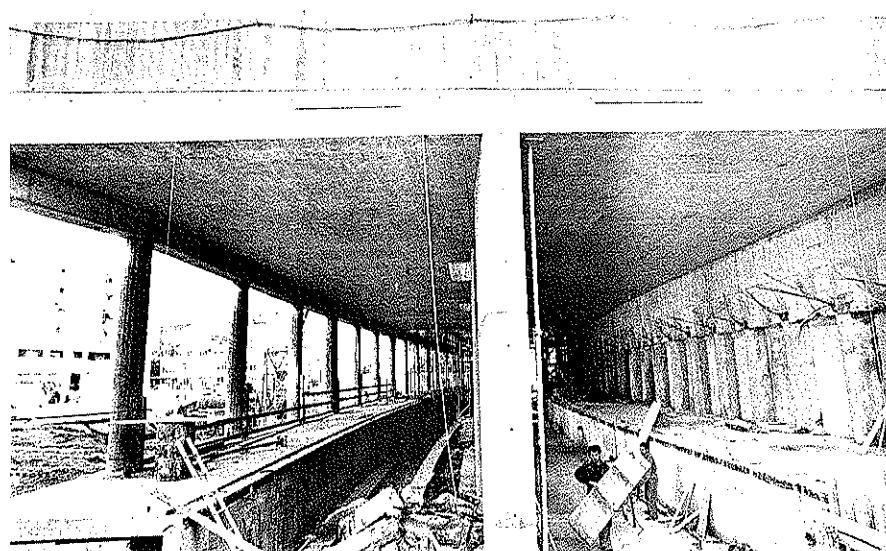


Fig. 17. Station de Malley.

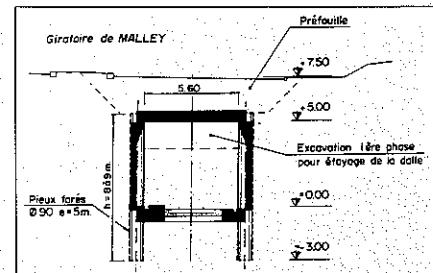


Fig. 18. — Tranchée couverte de Malley : coupe type de la partie à parois berlinoises.

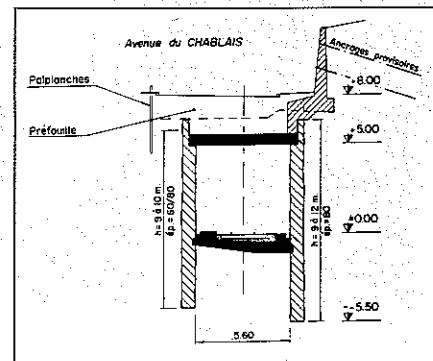


Fig. 19. - Tranchée couverte de Malley: coupe type de la partie à parois moulées.

- excavation de la totalité de la section en tunnel
 - exécution du radier et finition.

Pour la trémie de sortie, la tête des parois moulées a été ancrée avant les terrassements à l'air libre entre les parois.

Les excavations en tunnel ont été effectuées à partir des deux extrémités, depuis l'ouest à l'aide d'une pelle rétro et depuis l'est à l'aide d'un trax. De fortes venues d'eau, au droit de la paroi nord, sur une longueur de 50 m environ, ont nécessité l'installation d'un dispositif d'abaissement de la nappe. Il a été réalisé à l'aide d'un réseau de Wellpoint depuis l'intérieur de la galerie.

En même temps que les travaux en tunnel, la remise en état en surface des réseaux des services industriels a pu être entreprise, pour ouvrir ensuite à nouveau l'ensemble du carrefour à la circulation sous la forme d'un grand giratoire.

Bureau d'études: Stucky ingénieurs-conseils SA, Lausanne.

Mur du Chablais

Un mur de soutènement long de 166 m a été érigé à l'avenue du Chablais à Lausanne, afin de disposer de l'entreprise nécessaire au tracé de la ligne nouvelle qui suit l'artère en parallèle. L'avenue du Chablais est bordée au sud par le cimetière du Bois-de-Vaux sis en contrebas de la chaussée. En

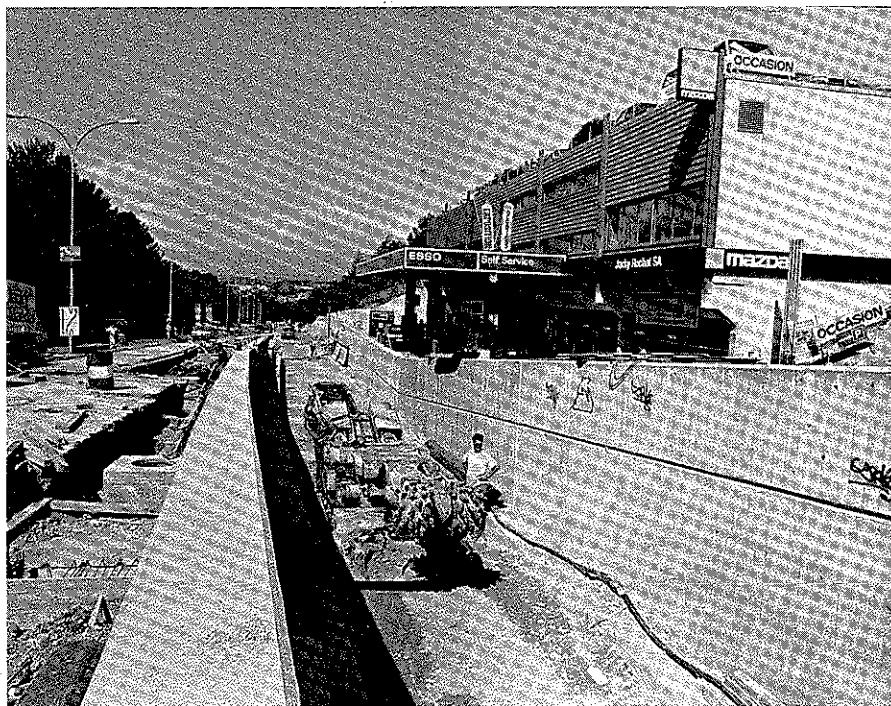


Fig. 20. - Trémie de Malley.

revanche, un important versant orienté au sud-ouest longe le bord septentrional de la route. La pente moyenne de ce versant varie essentiellement entre 20° et 25° sur une hauteur de quelques dizaines de mètres.

Le projet prévoyait de supprimer le pied du versant sur une largeur de 5 à 6 m, afin d'y établir la plate-forme ferroviaire.

Conditions géotechniques

L'étude géotechnique de février 1988 a permis de déceler, sous des sols de couverture de faible puissance, la présence d'horizons essentiellement sableux et graveleux, de capacité faible à moyenne, perméables.

De plus, le versant est le siège d'une nappe phréatique, localement artésienne, dont le gradient suit la pente du terrain.

Conception globale

Compte tenu de la stratigraphie en place, des conditions hydrologiques défavorables, du caractère urbain du site et de critères économiques, la solution retenue consistait à construire ce mur de soutènement à l'abri d'un écran provisoire fiché et étayé, préalablement foncé à toute excavation. Dans le cas présent, la méthode la plus appropriée consistait à réaliser cet écran sous la forme d'un rideau de palplanches ancré (fig. 21).

Rideau ancré

L'étude de cet écran de 166 m de longueur devait prendre en compte de nombreuses contraintes :

- versant pentu et haut à l'amont de l'ouvrage

planches, au niveau de l'aquifère, a évité l'effet de barrage du rideau et a stabilisé la nappe phréatique. Le rideau de palplanches était équipé d'un niveau unique d'ancrages reliés entre eux par une longrine. Les tirants disposés à intervalles de 4 m avaient une force d'utilisation théorique VG = 430 kN chacun.

Description du mur

C'est à l'abri de cet écran temporaire de palplanches que le mur de soutènement en béton armé a été érigé. Avec une semelle avant, sa hauteur varie entre 2,3 et 4,3 m. Un dispositif de drainage a été mis en place contre la face arrière du mur.

Une fois le mur achevé, tous les tirants d'ancrage ont été détendus et le rideau de palplanches entièrement enlevé.

Déroulement des travaux

Des séquences d'exécution bien étudiées, un enchaînement rapide des travaux d'excavation et de bétonnage ainsi qu'une bonne rigidité de l'enceinte ancrée ont contribué au maintien de la stabilité générale du versant et à la limitation des déformations à l'extérieur du rideau ancré. Le contrôle régulier des bâtiments voisins a montré le respect des prévisions théoriques avec des déplacements à long terme toujours inférieurs à 7 mm aux endroits les plus critiques, malgré les conditions hydrologiques défavorables, les opérations de fonçage et d'extraction des palplanches et la mise en tension puis la détente des tirants d'ancrage.

La collaboration fructueuse entre la direction locale des travaux et les entreprises concernées a favorisé le déroulement et l'achèvement harmonieux du chantier.

Bureau d'études : Schopfer & Karakas SA, Lausanne.

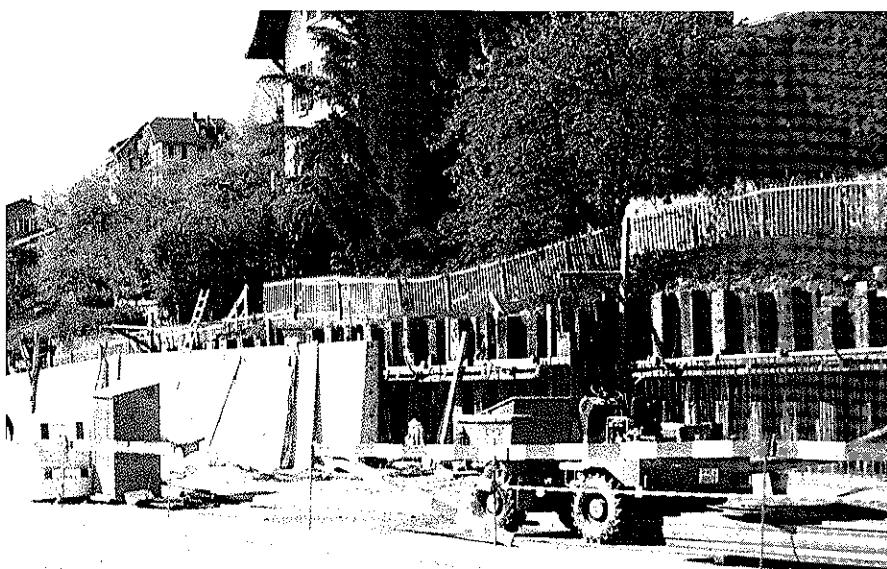


Fig. 21. - Mur du Chablais.

Station de La Bourdonnette

Cette station est aménagée en interface avec le futur terminus de la ligne de trolleybus N° 2 des TL.

Le quai nord est semblable aux autres quais de la ligne. Le quai sud est cependant construit en forme d'auge, haute de 2 à 5 m, fonctionnant comme mur de soutènement du terrain supportant la voie. Cette construction sera partiellement utilisée comme abri pour les voyageurs du trolleybus.

La rampe d'accès au quai sud est fondée sur pieux.

Enfin, côté habitations, l'ouvrage est complété par une paroi brise-son.

Bureau d'études: B. Janin + T. Girard ingénieurs civils, Lausanne.

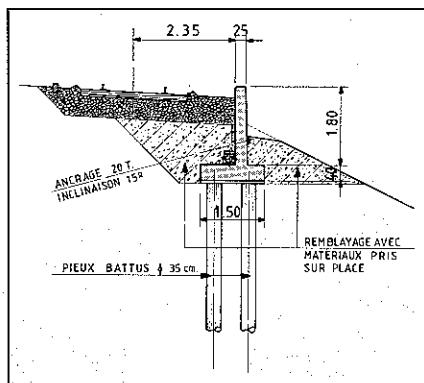


Fig. 22. – Mur de soutènement EPFL-Sorge: coupe type.

Le rôle du pont d'Epenex est triple :

- franchir l'avenue d'Epenex
- sauvegarder les places de parc existantes
- créer une surface exploitabile nouvelle (places de parc, dépôts, etc.) dans une zone déjà fortement urbanisée.

Le pont a une longueur de 90 m divisée en cinq travées dont la longueur varie entre 16,6 et 21,0 m. Le tablier se situe en moyenne à 3,00 m du sol.

La géométrie du tracé a les caractéristiques suivantes :

- le profil en long est en forme de toit et présente des pentes de 5 et 6 %
- en situation, le tracé présente un rayon horizontal de 80 m.

Infrastructure

Le sous-sol est constitué par une couche d'alluvions de mauvaise qualité d'une épaisseur moyenne de 20 m reposant sur la molasse. Par endroits, il existe des lentilles de tourbe.

Ces conditions géotechniques ne permettent pas l'utilisation de semelles superficielles (tassements, faible capacité portante). Ainsi, chacune des piles et culées s'appuie sur deux pieux forés de 80 cm de diamètre, par l'intermédiaire d'une poutre de répartition.



Fig. 23. – Pont d'Epenex.

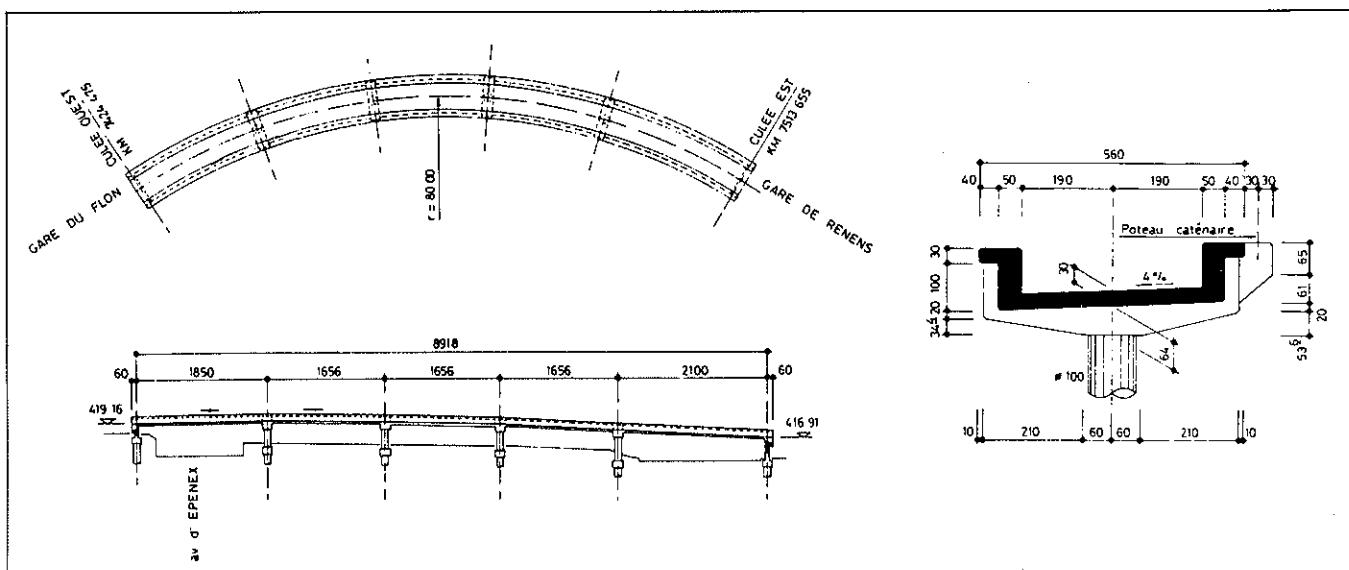


Fig. 24. – Pont d'Epenex: plan général.

Chaque appui intermédiaire est constitué d'une pile de 1,00 m de diamètre. La tête de ces piles est surmontée d'une entretoise en béton armé et précontraint (maximum: 7200 kN, minimum: 5200 kN) qui reçoit la superstructure.

Superstructure

La section transversale normale du tablier est formée par une auge de 1,30 m de hauteur et de 5,60 m de largeur. L'épaisseur de la dalle inférieure est de 30 cm.

Le tablier est armé et précontraint longitudinalement à l'aide de câbles paraboliques (travée de rives 7400 kN, autres travées 4400 kN) mis en tension à 100% après le bétonnage de chacune des cinq travées. Cette précontrainte participe à la résistance structurale de l'ouvrage et permet d'en assurer le bon comportement en ce qui concerne l'aptitude au service (flèche, fissuration) et la durabilité.

Exécution

Vu la géométrie relativement complexe de cet ouvrage, en particulier sa forme de toit et son rayon horizontal, le choix d'un ouvrage coulé sur place est apparu logique. Cette solution en a aussi fortement amélioré l'esthétique. La faible hauteur qui sépare le tablier du sol a permis une exécution traditionnelle sur cintre fixe.

La superstructure de l'ouvrage a été bétonnée en cinq étapes (une étape par travée). Chaque étape de bétonnage a été suivie d'une mise en tension des câbles de précontrainte longitudinaux, favorisant ainsi l'avancement des travaux. En revanche, les entretoises ont été mises en tension après l'exécution de tout l'ouvrage.

Si les forces de précontrainte paraissent élevées, c'est en raison des normes CFF appliquées aux ouvrages du Métro Ouest exigeant la reprise par la précontrainte de 100% des charges permanentes et de 80% des actions du trafic.

De plus, la solution coulée sur place permet dès l'origine de la construction de réaliser une bonne continuité et d'obtenir une hyperstaticité élevée de l'ouvrage.

Bureau d'études: Boss ingénieurs civils SA, Renens.

Article préparé par la rédaction avec la collaboration des bureaux d'études mentionnés.

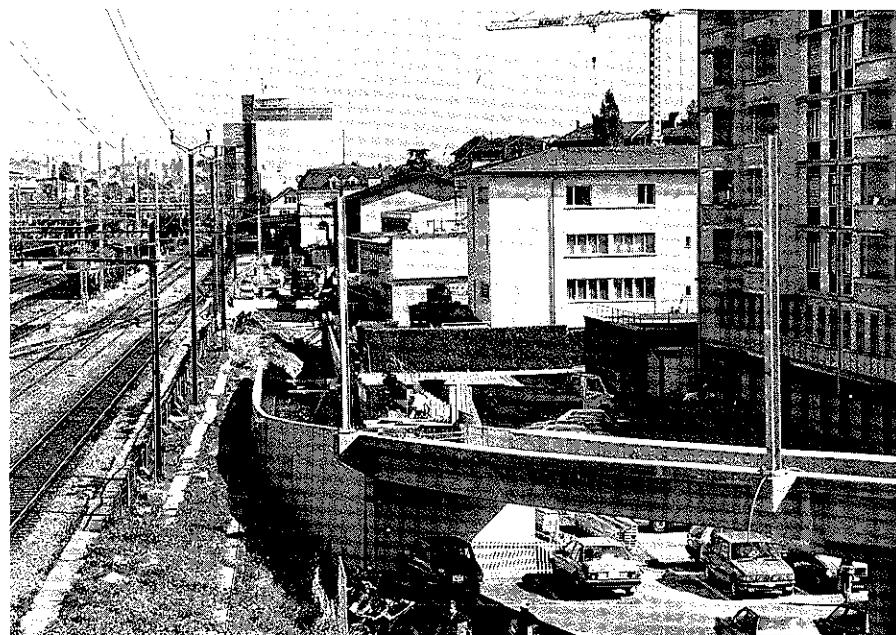


Fig. 25. – Pont d'Epenex.

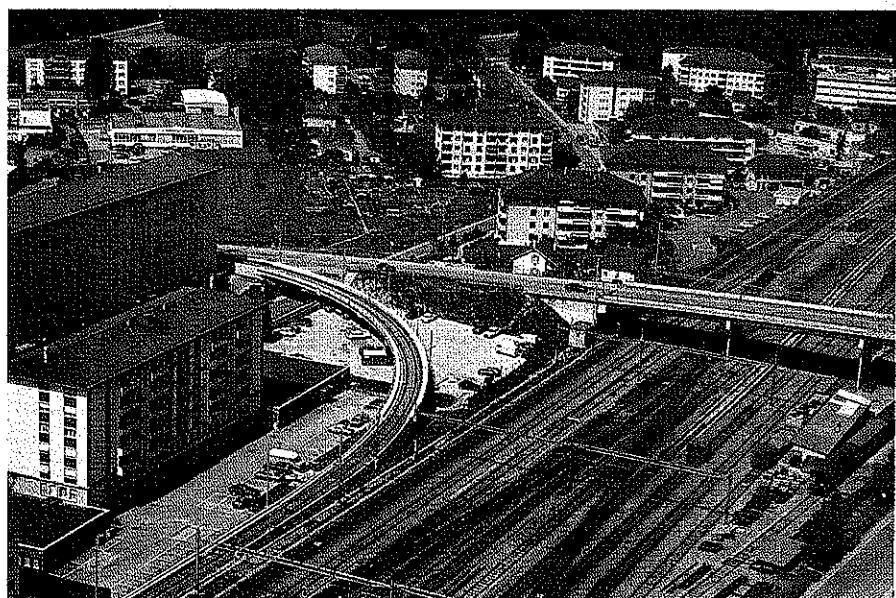


Fig. 26. – Pont d'Epenex: vue aérienne.

(Photo Germond, Lausanne.)

Aménagement des infrastructures dans le secteur de l'EPFL

Dans le cadre de la réalisation du Métro Ouest, les infrastructures dans le secteur de la station EPFL de la nouvelle ligne ont dû être adaptées ou mises en place afin d'assurer la des-

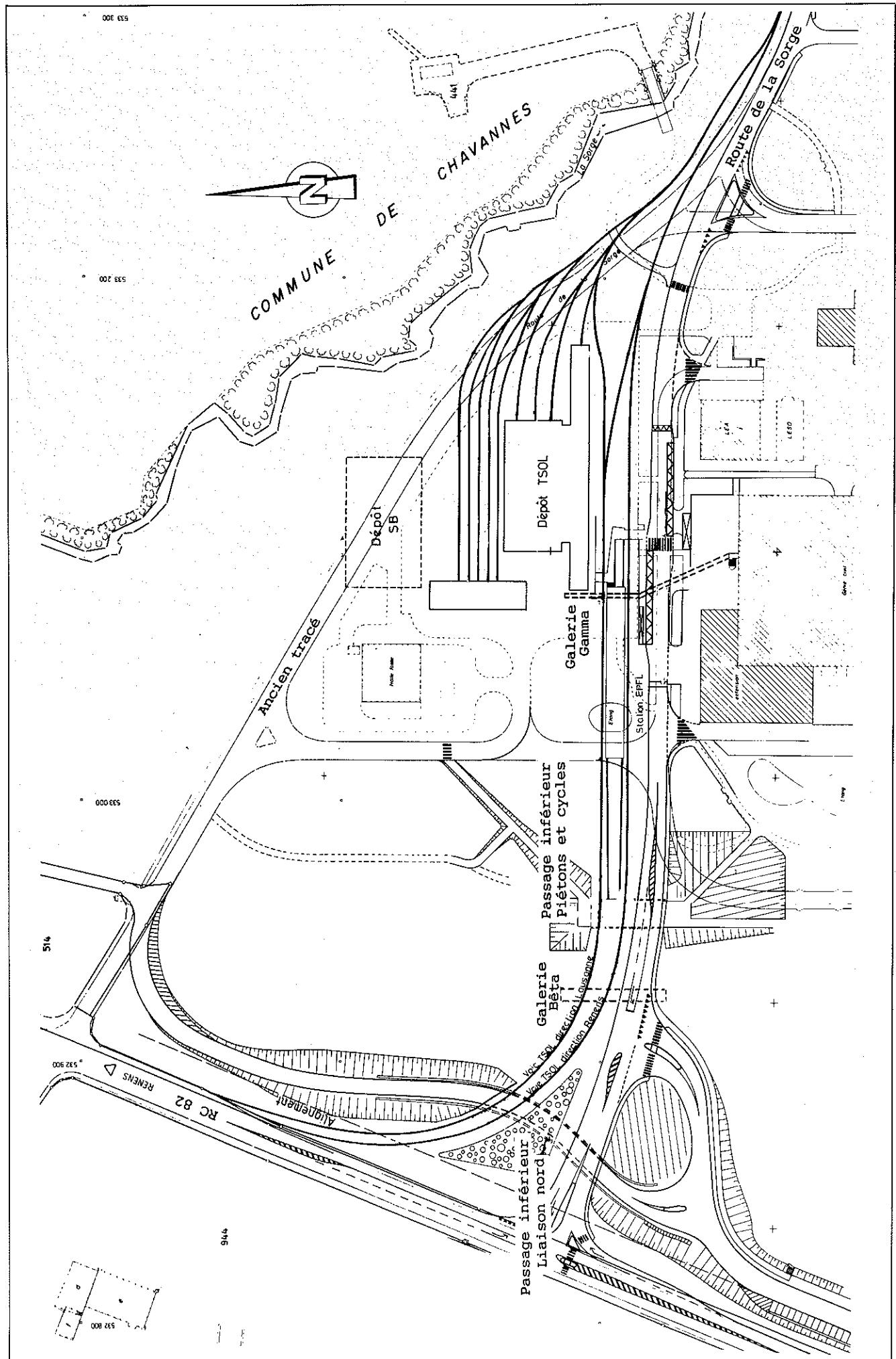
Ces aménagements comprennent les objets suivants:

- nouvelle route de la Sorge
- route de liaison nord
- passage inférieur pour la route de liaison nord
- passage inférieur pour piétons et cycles
- galerie Bêta
- galerie Gamma

Le maître d'ouvrage de ces aménagements est le bureau de construction EPFL de l'Office fédéral des constructions.

**PAR PIERRE NIGGLI,
LAUSANNE**

serte du quartier nord de l'EPFL et, par là même, aussi son développement (fig. 1).



Nouvelle route de la Sorge

Tracé

Le tracé de la route de la Sorge est modifié à partir de l'allée Marguet et longe la ligne du Métro Ouest du côté sud pour rejoindre l'avenue du Tir-Fédéral (RC 82) à environ 200 m du carrefour actuel de Bassenges. La jonction avec l'avenue du Tir-Fédéral s'effectue sous forme d'un carrefour en T avec élargissement de ladite avenue pour permettre l'introduction d'une présélection pour tourner à gauche. Après la mise en place du nouveau dispositif de circulation, notamment celle de la liaison nord, la branche de l'ancienne route de la Sorge du carrefour Bassenges est supprimée.

Altimétrie

L'altitude est dictée par l'environnement construit: la route cantonale du côté ouest et les infrastructures existantes (accès et places) dans les parties centrale et est. Par conséquent, l'altimétrie suit sensiblement le terrain naturel et aménagé.

L'altitude varie de 394,70 à 397,40 m. Les déclivités se situent dans la fourchette de 0,5 à 1,2%.

Profil transversal

Le profil transversal normal comporte les caractéristiques suivantes:

- chaussée : 7,00 m
- banquettes/accotements :
2 × 1,00 m en pleine terre
et 2 × 0,60 m en zone d'ouvrage.

Des surlargeurs sont créées dans les zones de carrefour pour permettre l'aménagement des présélections.

Interface rail-route

Un arrêt bidirectionnel pour les bus TL a été créé à proximité de la station EPFL du Métro Ouest. Cet aménagement, combiné avec la station précitée, forme ce que l'on appelle «l'interface rail-route».

Afin de faciliter l'insertion du bus dans le trafic, les arrêts sont aménagés sous forme de «baignoires», c'est-à-dire en empiétant partiellement sur la chaussée.

Route de liaison nord

Tracé

Cette nouvelle route a pour fonction de desservir tout le quartier nord de l'EPFL. Elle prend naissance sur la nouvelle route de la Sorge du côté sud et franchit la ligne du métro en dénivélé souterrain pour rejoindre la route de la Sorge actuelle à la hauteur du bâtiment des Services industriels de Lausanne.

Son tracé sinueux comporte des rayons de courbure variant entre R 60 et R 120 m, précédés et suivis de courbes de raccordement (clohoïdes).

Altimétrie

Compte tenu du franchissement des aménagements précités, on est en présence de déclivités variant entre 1,6 et 6,5%. L'altitude varie entre 393,40 m (nouvelle route de la Sorge) et 397,40 m (ancienne route de la Sorge) en passant par un point bas à 390,20 m.

Profil transversal

Le profil transversal normal comporte :

- chaussée : 6,00 m
- banquettes/accotements :
2 × 1,00 m en pleine terre
et 2 × 0,60 m en zone d'ouvrage.

Les tronçons de route de rayon de courbure inférieur à 200 m comportent des surlargeurs, il en va de même dans les zones de carrefour.

En outre, des bermes de visibilité sont aménagées sous l'ouvrage et vers le raccordement à l'ancienne route de la Sorge.

Passage inférieur pour la route de liaison nord

Compte tenu de la nature du sol en présence et du délai de mise en service du Métro Ouest, cet ouvrage a été réalisé selon la méthode des parois moulées. L'étude comparative entreprise a permis de constater que cette solution est tout aussi intéressante financièrement qu'une solution traditionnelle. Le gabarit de hauteur théorique est de 4,50 m, tandis que le gabarit de largeur minimale, sans surlargeur de visibilité, est de 9,00 m. La longueur de la partie couverte est de 50 m environ. Les parties à ciel ouvert (nord et sud ensemble) mesurent 72 m environ. L'ouvrage est constitué de deux parois moulées, d'une dalle en béton précontraint et d'un radier.

Pour diminuer la longueur de la fiche de la paroi moulée nécessaire à la stabilité de cette dernière pendant l'excavation, un radier buton constitué de colonnes injectées sécantes a été exécuté sous le niveau du futur radier avant les terrassements.

De manière à réduire la hauteur des parois de la partie non couverte, il est prévu un talutage avec des bermes de stabilité.

Le doublage initialement prévu pour cacher les faces visibles des parois a été abandonné tout en maintenant l'espace réservé à cet effet. Suivant les cas, il sera procédé à un ripage de la chaussée en aménageant l'espace susmentionné (2 × 50 cm) pour les piétons et les cycles.

Superstructure

Hors ouvrage, les fondations ont une épaisseur de 55 cm et le revêtement 16 cm, en zone d'ouvrage ces valeurs sont 23 et 12 cm respectivement. Les trottoirs ont un revêtement de 8 cm d'épaisseur. Afin d'éviter la contamination de la fondation et par là même à augmenter la portance du sol, un géotextile non tissé a été mis en place au niveau du fond de forme. Les arrêts de bus comportent un revêtement spécial en regard des sollicitations auxquelles ils sont soumis.

Le point bas du passage inférieur étant situé en dessous du niveau des exutoires existants et futurs, les eaux de surface et d'infiltration éventuelles seront évacuées par l'intermédiaire d'une station de relevage équipée de deux pompes, située au point bas et accessible depuis la chaussée.

Un système de drainage permettant de récolter les éventuelles eaux d'infiltration a été mis en place.

Passage inférieur pour piétons et cycles

Cet ouvrage assure la liaison nord-sud des piétons et cycles et permet d'atteindre l'arrêt EPFL du Métro Ouest. L'ouvrage est un cadre en forme de U en béton armé avec une dalle flottante en béton précontraint pour le tube. Le tube a une section de 11,50 m × 2,60 m et mesure 29 m de long.

Galerie Béta

Cette galerie s'inscrit dans le plan directeur des fluides (rév. 1987) et doit alimenter le quartier nord de l'EPFL. Le tronçon construit sous les voies du Métro Ouest et de la nouvelle route de la Sorge est en attente et ses extrémités sont fermées par un mur en plots de ciment.

Galerie Gamma

Cette galerie s'inscrit également dans le plan directeur des fluides. Elle a pour fonction d'alimenter le futur dépôt SB ainsi que le dépôt du Métro Ouest. En fait, il s'agit du prolongement d'une galerie existante déjà.

Adresse de l'auteur:

Pierre Niggli,
ingénieur ETS
Schopfer & Karakas SA,
bureau d'ingénieurs
Bd de Grancy 19a
1006 Lausanne

Les aménagements et l'exploitation de la nouvelle ligne

Voie, stations, dépôt-atelier, alimentation et sécurité

Outre la réalisation de l'infrastructure et des ouvrages d'art, le projet du Métro Ouest comprend également la

PAR CLAUDE-ALAIN GUINET,
LAUSANNE

construction d'un dépôt-atelier, les installations de sécurité et d'alimentation en énergie électrique, l'aménagement des stations ainsi que la livraison de 12 automotrices articulées. La réalisation du projet, à l'exception des ouvrages de génie civil, est gérée par les TL.

La voie

L'écartement normal (1435 mm), bien que rare en Suisse pour un chemin de fer urbain, s'est imposé par la possibilité qu'il offre de raccorder la nouvelle ligne au réseau CFF en gare de Renens. Ce choix non seulement facilite la construction de la voie (accès des machines, emploi de ballastières) mais permet également le transfert des automotrices vers divers ateliers pour

des travaux importants d'entretien et de réparation qui pourront ainsi être effectués chez le constructeur ou auprès des CFF.

Afin d'assurer un bon confort de roulement et minimaliser les nuisances sonores, les concepteurs ont opté pour une voie relativement lourde par rapport aux véhicules: rails CFF I de 46 kg/m, traverses monobloc en béton de 288 kg (12 300 pièces, plus 2100 traverses en bois de chêne) et attaches élastiques. Les rails seront bien entendu soudés. Les branchements de type CFF ont une géométrie confortable (rayon de 185 m) pour assurer une vitesse de passage raisonnable. Hors du dépôt, la norme pour les courbes est un rayon de 100 m avec deux exceptions notables toutefois: 80/90 m à l'angle EPFL/Tir-Fédéral et 80 m à Epenex (dernier virage avant la gare de Renens).

Douze des quinze stations sont aménagées à double voie pour permettre les croisements, la voie étant par ailleurs unique. La ligne ne comportant pas de boucle de retournement, une cabine de conduite est aménagée à chaque extrémité des automotrices.

Aménagement des stations

La construction d'une infrastructure entièrement nouvelle a permis de choisir une disposition avec quais donnant accès aux véhicules au niveau du plancher. Cette facilité, obtenue au prix de quelques mètres cubes de béton supplémentaires, simplifie la construction des automotrices et augmente la capacité de la ligne en raison de la diminution des temps d'arrêt. Elle est en outre un facteur déterminant pour améliorer l'attrait, les voitures d'enfants et de personnes handicapées pouvant accéder à bord sans aide extérieure.

Sur toute la ligne, la longueur des quais est de 65 m. Toutes les stations seront largement équipées d'abris sur plus de la moitié de chaque quai. Le financement de ces abris est partiellement assuré par la création de surfaces publiques.

Toutes les lignes exploitées par les TL étant intégrées dans un système tarifaire unique, les automates à billets seront les mêmes que ceux que l'on trouve en ville.

Les appareils électriques et tout élément métallique proches de la voie seront mis à terre ferroviaire et les installations électriques munies de transformateurs de séparation.

Dépôt-atelier

Le Métro Ouest disposera d'un dépôt-atelier situé près de la station EPFL

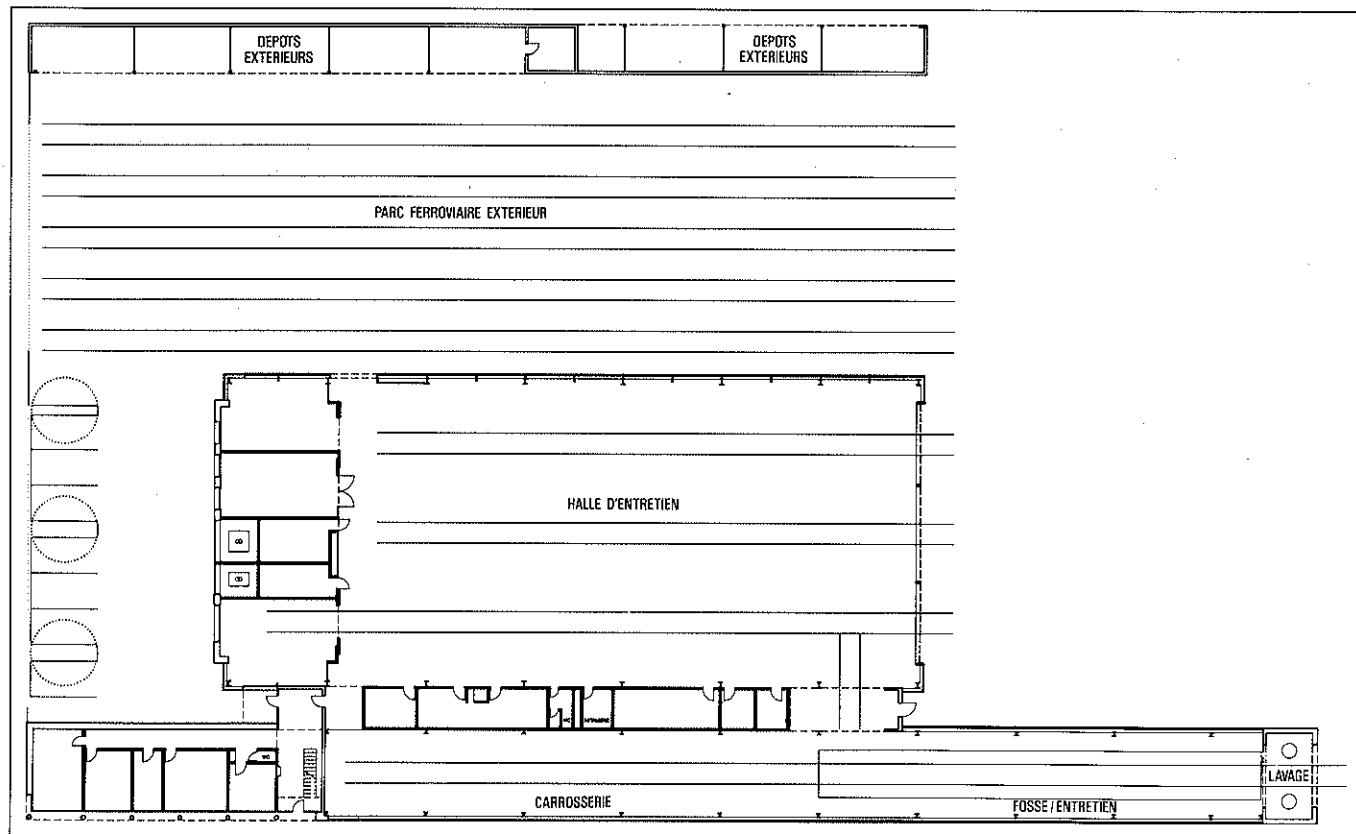


Fig. 1. – Dépôt-atelier: plan.

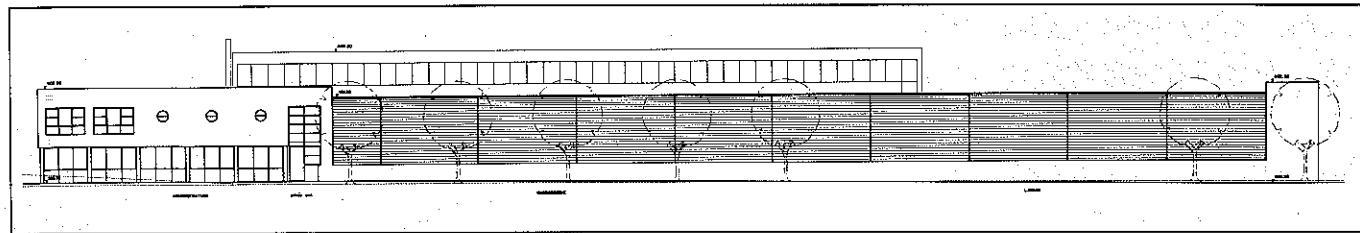


Fig. 2. – Dépôt-atelier: élévation façade sud.

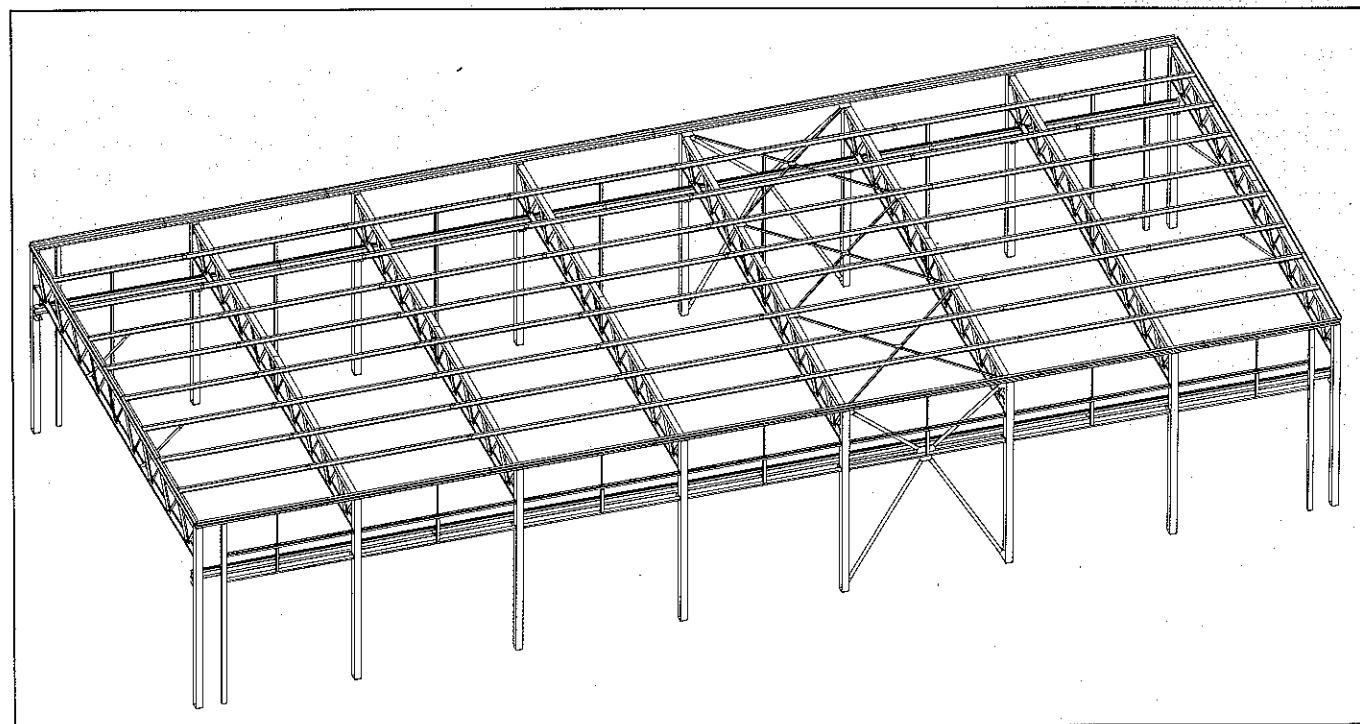


Fig. 3. – Dépôt-atelier: charpente métallique de la halle d'entretien.

(fig. 1 à 6). Les automotrices y accéderont par un embranchement de la voie. Mis en construction en février 1989 avec l'implantation des pieux, le dépôt sera disponible dès juin 1990 pour permettre la réception et la préparation des automotrices en cours de livraison. Erigé sur un terrain d'environ 7000 m² mis à disposition par la Confédération, le bâtiment a une surface totale de 1960 m², pour un volume construit de 20 000 m³.

La nécessité de répartir les charges de manière uniforme, d'éviter toute excavation et bien entendu de construire le plus économiquement possible a conduit à la disposition générale figurant sur le plan de la figure 1.

La mauvaise qualité du terrain, les charges relativement importantes, de même que les impératifs de nivellement et de planéité nécessaires pour l'infrastructure ferroviaire, ont obligé à fonder l'ensemble de la construction sur 70 pieux battus jusqu'à une profondeur d'environ 36 m.

Sur ces pieux reposent des longines supportant une dalle en béton armé de 40 cm d'épaisseur et dans laquelle sont encastrés les rails des voies.

Les principales structures au-dessus du rez-de-chaussée sont construites en charpente métallique. D'un poids total

de 120 t, cette structure est composée, pour les deux volumes principaux, de cadres autostables supportant la toiture, les façades et le pont roulant. Au nord, la halle d'entretien à trois voies parallèles constitue l'élément principal. A son extrémité ouest, un magasin de pièces détachées est amé-

nagé sur la dalle recouvrant les ateliers de mécanique, de serrurerie et d'électricité ainsi que la sous-station traction/force. Le pont roulant à deux palans qui équipe la halle balaie également cette surface, ce qui permet le transfert aisément des pièces lourdes et volumineuses.

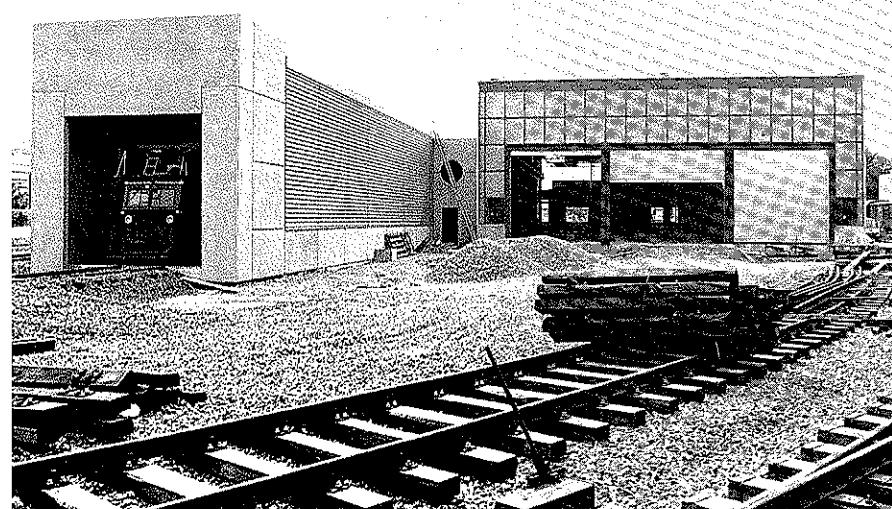


Fig. 4. – Dépôt-atelier: vue depuis l'est.

(Photo Atelier Cube, Lausanne.)

Au sud, un bâtiment allongé sert de halle de lavage et de visite journalière. Deux automotrices accouplées peuvent y prendre place simultanément. En cas de nécessité, la partie arrière peut être séparée par un rideau de celle comportant la fosse et remplir les fonctions de carrosserie dans laquelle les travaux de retouches de peinture pourront être entrepris grâce à une ventilation améliorée.

Entre ces deux premiers bâtiments se situent les locaux techniques. Ceux qui ne nécessitent pas un accès quotidien sont regroupés à l'étage (chaufferie, sécurité ferroviaire, ventilation, etc.). A l'extrême ouest s'élève le seul bloc en maçonnerie traditionnelle. Il est destiné à accueillir, au rez-de-chaussée, les bureaux, la salle d'instruction et le poste directeur et, à l'étage, les vestiaires du personnel roulant et un petit réfectoire.

Un parc ferroviaire est créé au nord de ces bâtiments. Il comprend 5 voies pouvant recevoir 2 automotrices chacune. Ce parc est délimité par des dépôts de matériel et des clôtures métalliques.

Le constant souci de trouver des solutions économiques a conduit à renoncer à l'installation d'une chaufferie avec source de chaleur propre, l'EPFL fournissant de l'eau chaude qui alimente le réseau interne de radiateurs via un échangeur de chaleur.

Bien que le parc initial ne soit que de 12 unités, les installations sont conçues et dimensionnées pour permettre le garage et l'entretien d'une vingtaine d'automotrices. Il sera ainsi possible de faire face à une prévisible augmentation du trafic voyageurs dans le Sud-Ouest lausannois ces prochaines années.

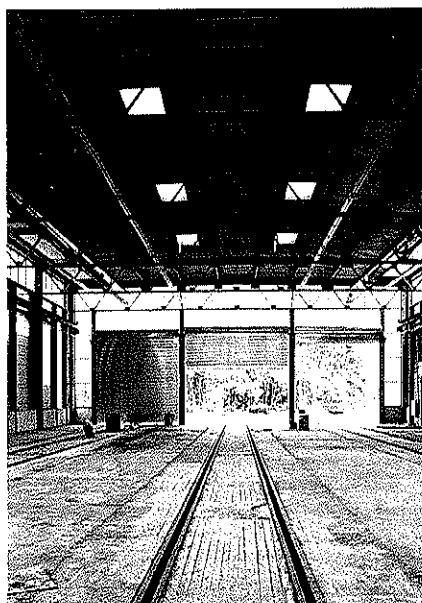


Fig. 5. - Dépôt-atelier: vue de l'intérieur de la halle d'entretien.

(Photo Atelier Cube, Lausanne.)

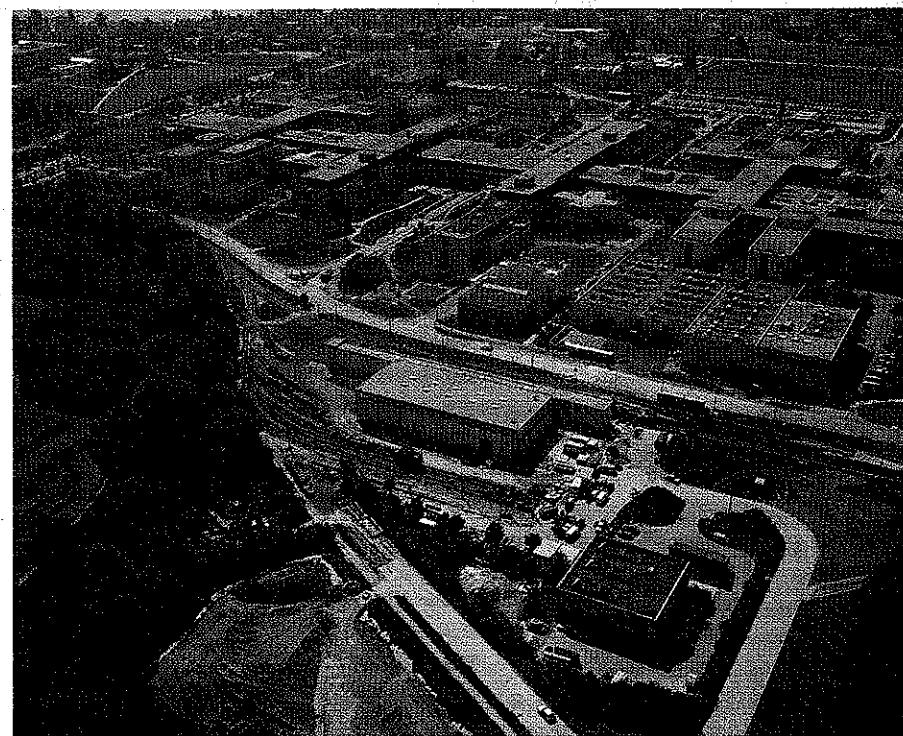


Fig. 6. - Dépôt-atelier: vue aérienne.

(Photo Germond, Lausanne.)

Il faut relever que grâce au groupe thermoélectrique de marche autonome dont seront équipées les automotrices, on peut renoncer à équiper le dépôt et les ateliers d'une ligne aérienne, ce qui aurait également nécessité une sous-station propre.

Architectes: Atelier Cube, Lausanne. Ingénieurs: Monod ingénieurs-conseils SA, Epalinges.

Une partie des voies de garage du dépôt a été construite par une unité spécialisée de l'armée pendant un cours de répétition.

connaître le point de disjonction (primaire ou secondaire) et l'on pourra déclencher ou réenclencher à distance en cas de nécessité. En plus, un système de télémesures permettra de rassembler et de conserver au poste directeur toutes les informations concernant l'énergie primaire et secondaire dépensée en chaque instant dans chacune des sous-stations (télémesure et télécomptage en continu, quart d'heure glissant, pointe).

Ligne de contact

L'esthétique de la ligne a été un critère majeur de conception. Le système classique de caténaire ne pouvait donc convenir et le choix s'est porté sur la construction d'une ligne aérienne avec un seul fil de contact régularisé, tendu par des contrepoids et porté par environ 210 mâts de type DIL 18-20. A chaque mât, le fil est suspendu par un câble auxiliaire en forme de delta dont le but est d'amortir la réaction du pantographe sur le fil au droit du mât: on évite ainsi un «point dur» tout en résolvant le problème de la légèreté esthétique.

Ce seul fil de 107 mm² ne sera pas suffisant pour transporter sans perte les importantes intensités générées par les futures rames (jusqu'à 2500 A au démarrage pour une double traction). Un feeder, formé de 2 câbles de 150 mm² chacun et placé en caniveaux parallèlement au tracé, quadruplera la capacité du fil de contact auquel ces câbles seront reliés à intervalles réguliers. La légèreté physique de la ligne de contact, combinée avec l'utilisation de produits isolants nouveaux du type

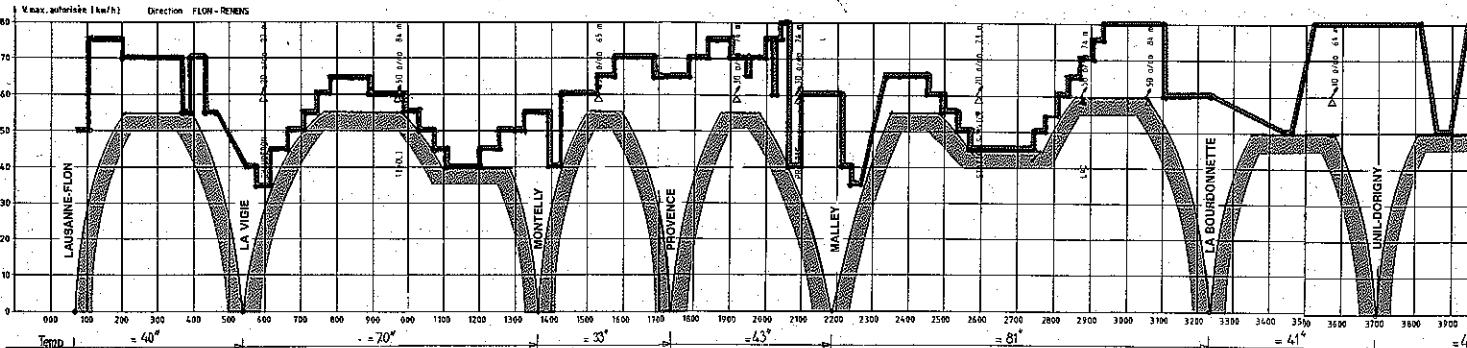
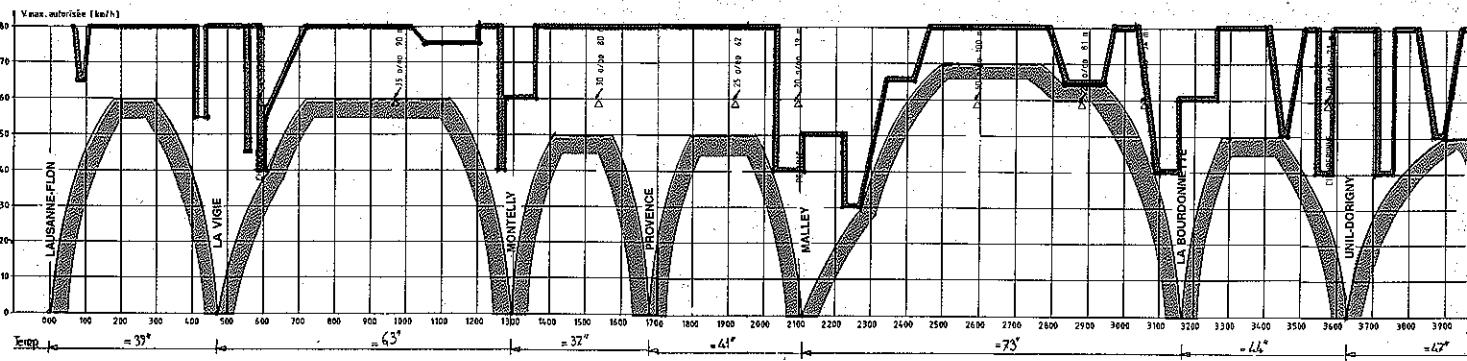
Direction Lausanne-Flon — Renens-CFF**Direction Renens-CFF — Lausanne-Flon**

Fig. 7. – Diagramme de marche.

Kevlar, a permis d'éviter une prolifération de mâts, à la fois coûteux et inesthétiques. Signalons encore que dans le tunnel du Flon et dans la tranchée couverte de Malley, un rail aérien de courant sera fixé sous le plafond. Ce

nouveau procédé, qui permet de gagner de l'espace en hauteur, est déjà utilisé dans le tunnel du Simplon pour permettre le passage à grande vitesse des futurs convois de ferroutage de 4 m de haut.

Pour assurer un bon retour de courant et pour protéger contre les surtensions, un câble de terre en cuivre, d'une section de 90 mm² sera posé. Ce câble sera doublé sur le tronçon EPFL-Renens CFF.

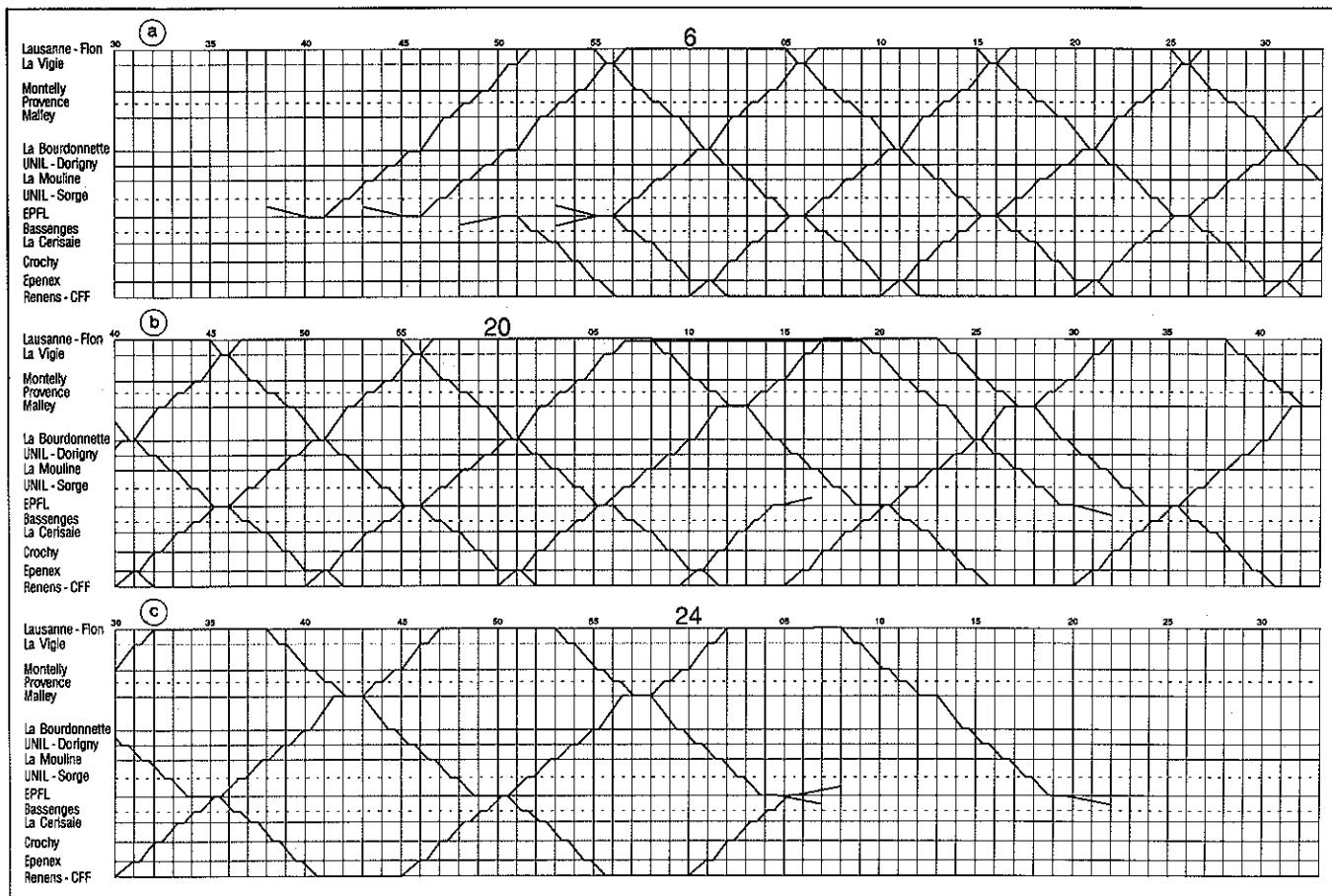
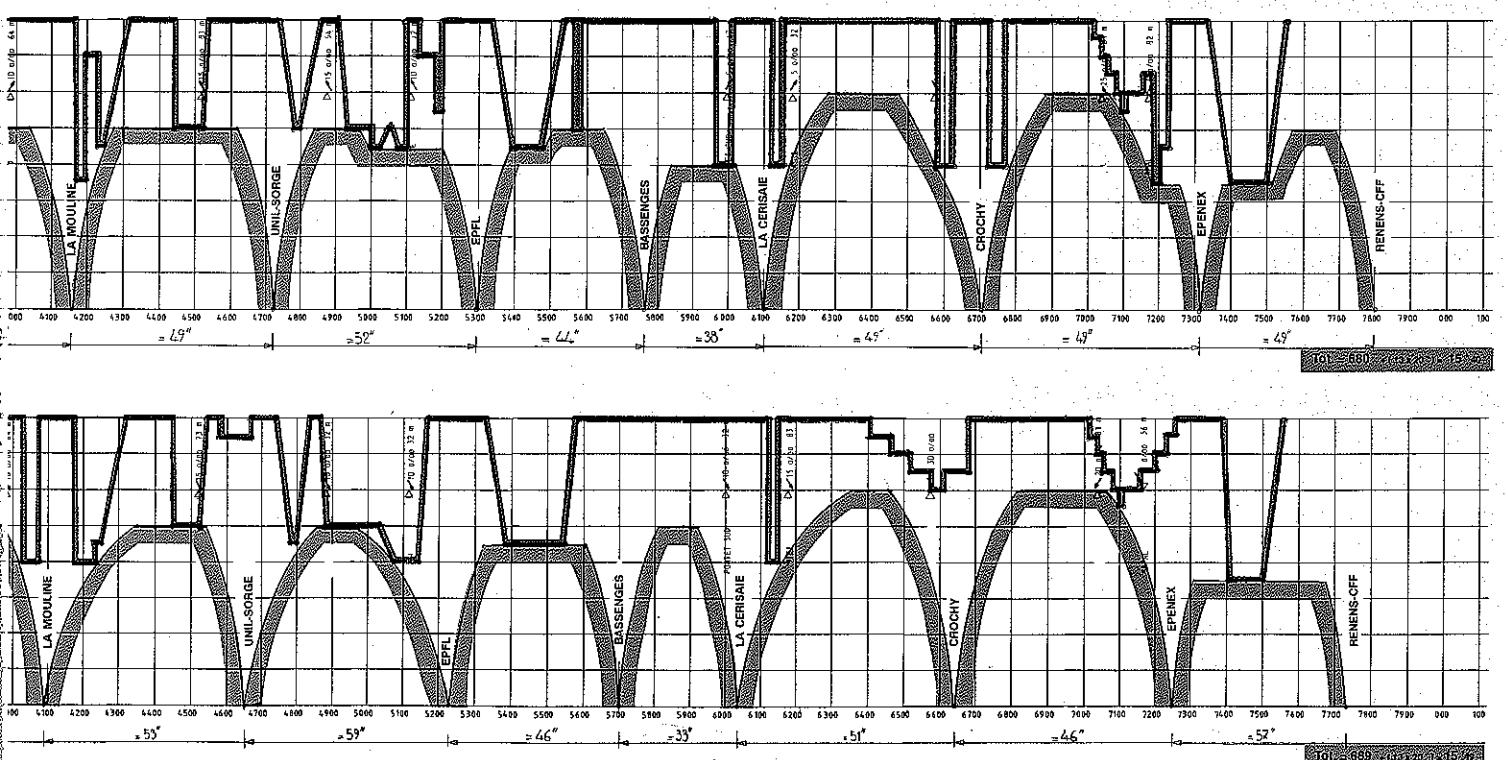


Fig. 8. – Horaire graphique (lundi à vendredi), a : début de service le matin ; b : transition de fréquence après 20 heures (de 10 à 15 minutes) ; c : fin de service après minuit.



Le matériel électrique est livré par la maison ABB Sécheron. L'étude et la construction de la ligne aérienne ont été confiées aux entreprises Furrer & Frey à Berne et Mauerhofer & Zuber à Renens.

Exploitation

La nouvelle ligne, longue de 7800 m, reliera le centre de Lausanne (place de la Gare-du-Flon) à Renens (gare CFF) en passant par Chavannes et Ecublens via le site des Hautes Ecoles. Le Métro Ouest desservira 15 stations distantes de 557 m en moyenne dont 11 pour les communes traversées et 4 pour les Hautes Ecoles (tableau I). La durée du parcours sera de 18 minutes, la vitesse commerciale de 26 km/h.

C'est à l'aide d'automotrices articulées pouvant circuler en unités multiples qu'un trafic variable peut être maîtrisé dans les conditions les plus économiques. De 6 à 20 heures, il est prévu d'exploiter la ligne avec des trains composés de deux automotrices, à une cadence de 10 minutes, soit une capacité d'environ 2800 voyageurs par heure et par direction. Aux heures de pointe, la cadence sera ultérieurement augmentée à 7 minutes et demie, voire à 5 minutes en cas de forte augmentation du trafic voyageurs.

La figure 7 montre le diagramme de marche alors que l'horaire graphique est représenté par la figure 8.

Les tachygraphes pilotés par microprocesseur et dotés de mémoire dont sont équipées les automotrices enregistrent

et conservent divers paramètres du fonctionnement des véhicules. Cela est utile non seulement en cas d'accident mais aussi à la comparaison entre la marche réelle et l'horaire théorique. Le réseau des autobus et trolleybus du Sud-Ouest lausannois sera remanié afin d'assurer une charge optimale de la nouvelle ligne ferroviaire tout en minimalisant le temps perdu pour les transbordements. Ce remaniement et l'intégration de la nouvelle ligne par les correspondances qu'elle offre sont présentés plus en détail dans un autre article de ce numéro.

La mise en service du Métro Ouest est prévue pour l'été 1991. Toutefois, l'ensemble des installations devra être disponible dès le printemps 1991 pour permettre la formation du personnel.

Sécurité ferroviaire

Bien qu'il s'agisse ici d'un système de transport plus proche d'un tramway que d'un chemin de fer, et en raison de sa voie unique, un block de ligne classique avec arrêt automatique sera installé. Une télécommande de type Domino (3,2 m × 1,4 m) sera cons-

TABLEAU I. - Les stations du Métro Ouest.

N°	Km	Nom des stations	Particularités
1	0	Lausanne-Flon	station en tranchée couverte
2	0,50	La Vigie	station en tranchée couverte
3	1,33	Montelly	station en pont, reliée au sol par des rampes
4	1,72	Provence	station à voie unique
5	2,14	Malley	station en tranchée couverte
6	3,20	La Bourdonnette	-
7	3,65	UNIL-Dorigny	-
8	4,11	La Mouline	-
9	4,69	UNIL-Sorge	station à voie unique
10	5,27	EPFL	station à quai central embranchement pour accès au dépôt-atelier
11	5,72	Bassenges	station à voie unique
12	6,07	La Cerisaie	-
13	6,68	Crochy	-
14	7,29	Epenex	-
15	7,79	Renens CFF	-

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 Gsponec 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.

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.

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

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

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

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-

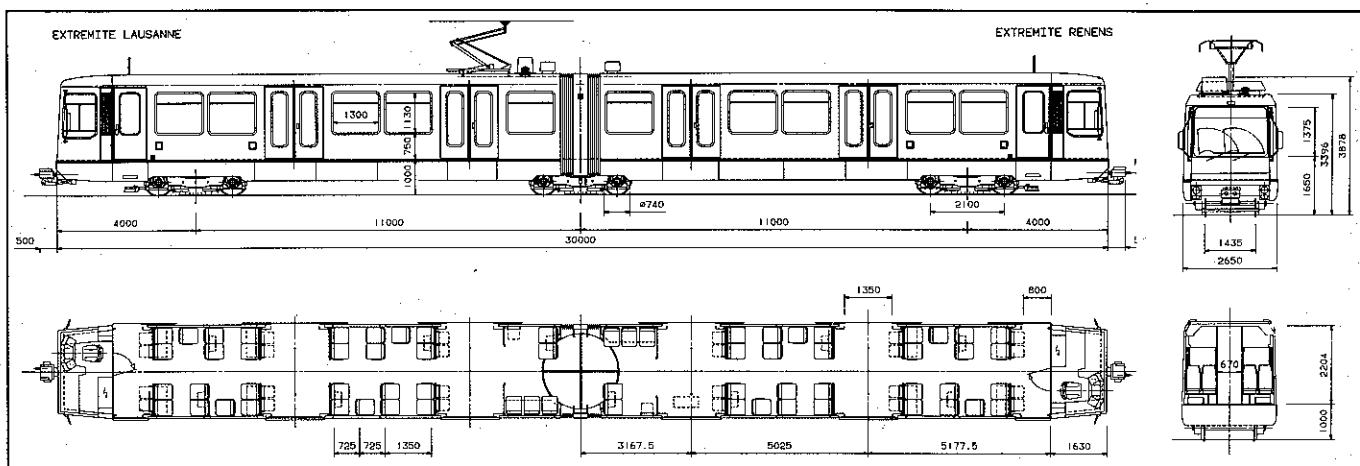


Fig. 1. – Automotrice articulée Bem 4/6: plan général.

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, à 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 mécaniquement

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-

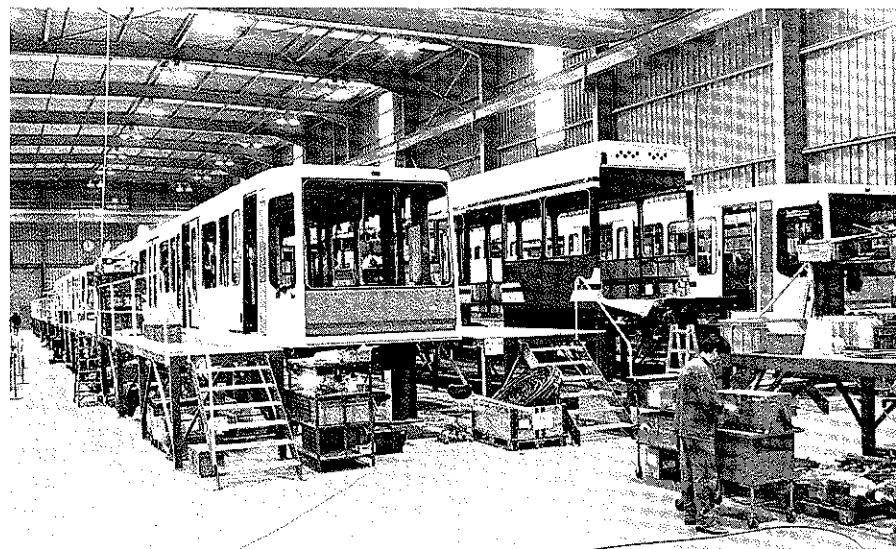


Fig. 2. – Caissons à l'atelier.



Fig. 3. – Caissons à l'atelier.

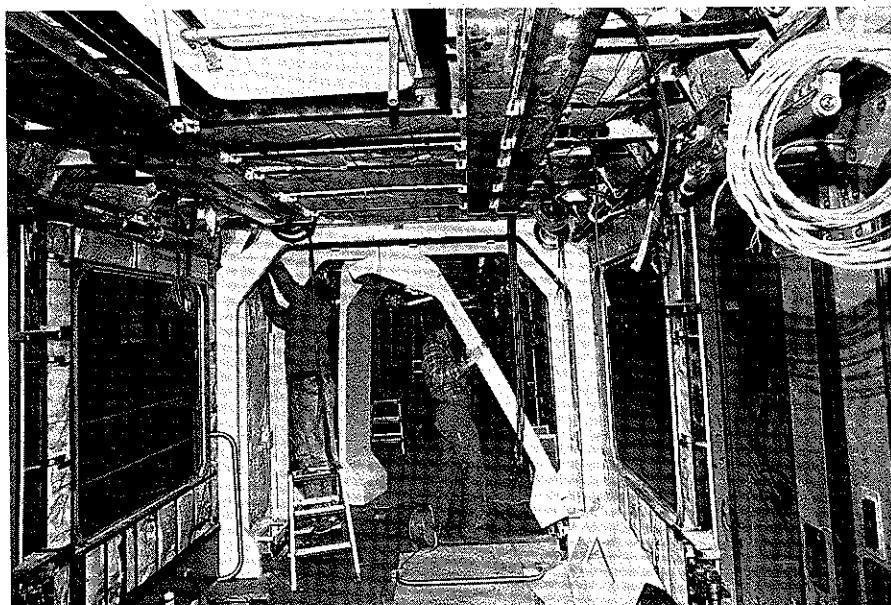


Fig. 4. – Travaux de montage à l'intérieur du caisson.

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 aératrices statiques.

Réseau pneumatique

Le véhicule est équipé d'un compresseur rotatif complété par une installation de séchage-refroidissement de l'air. Sont mis 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 entraînement 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 compressé 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 contacts

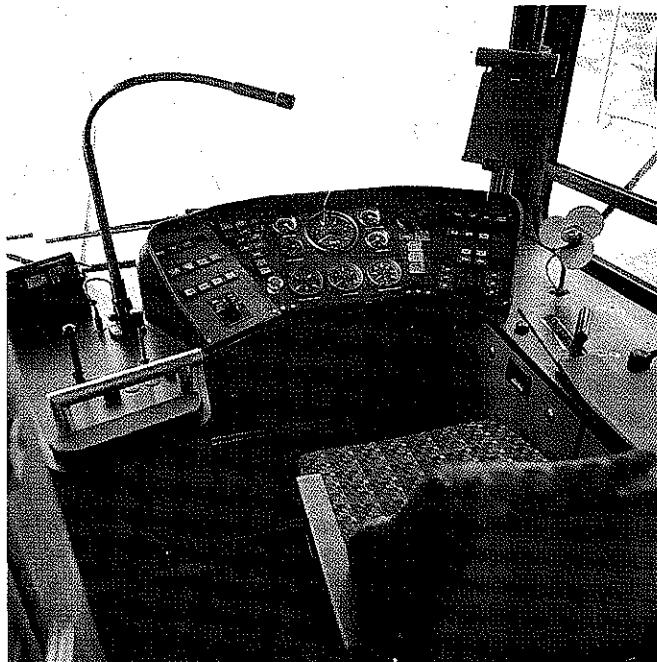


Fig. 5. – Poste de conduite de l'automotrice.

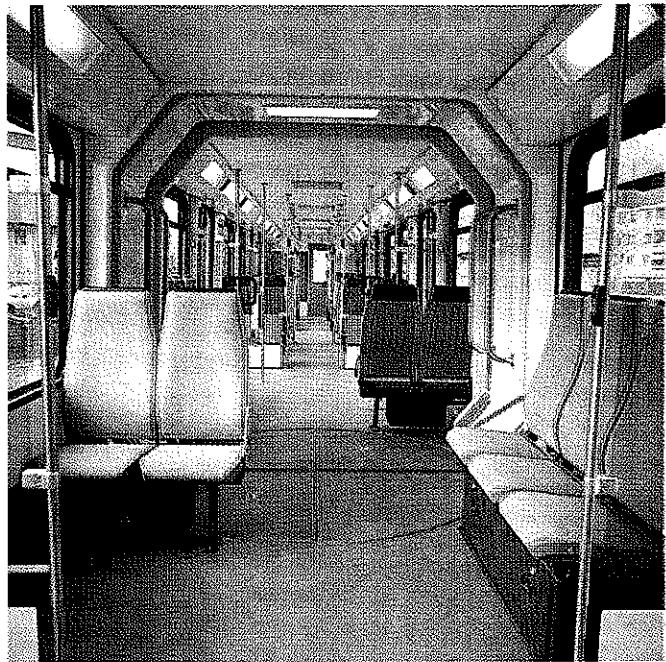


Fig. 6. – Vue intérieure de l'automotrice.

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 caloprotecteur 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.

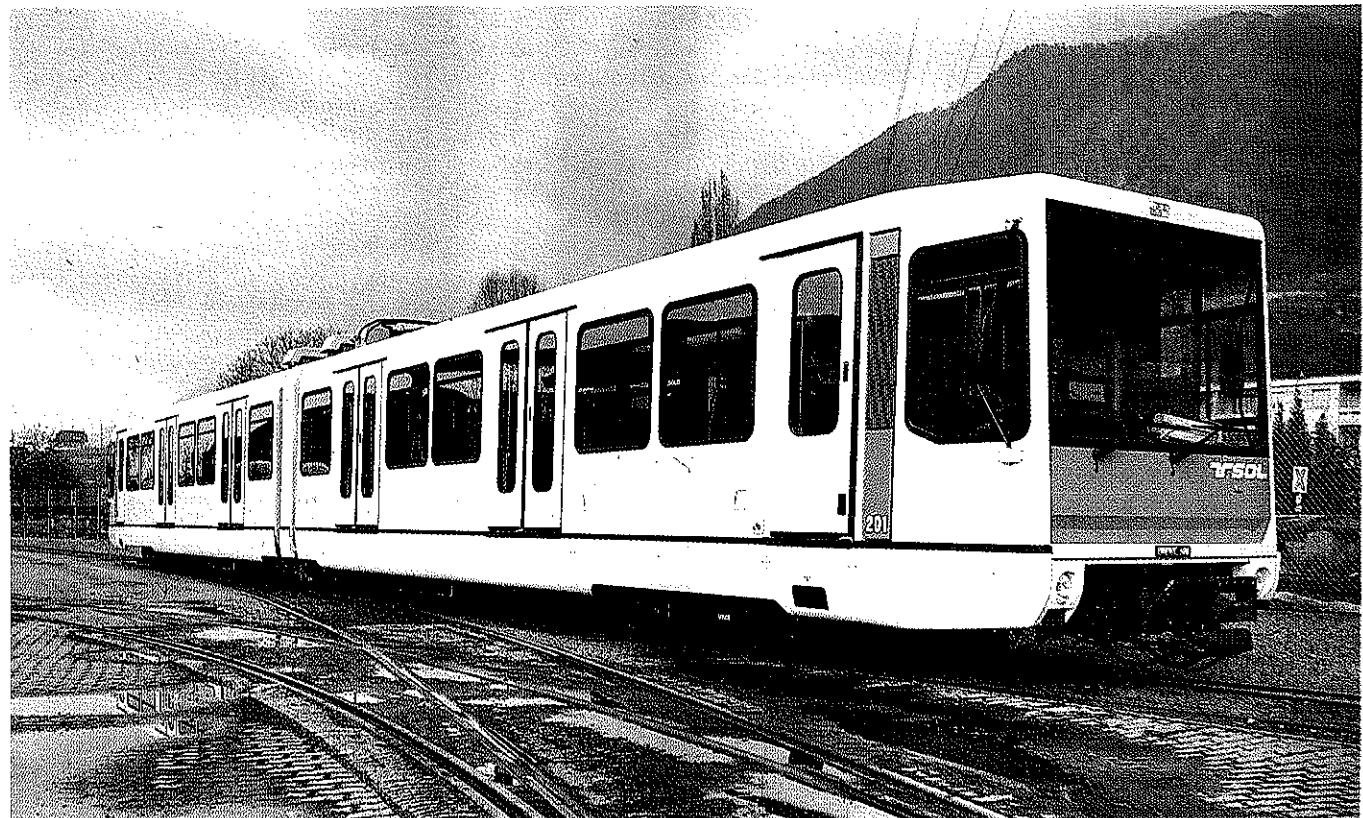


Fig. 7. – L'automotrice articulée sur rails.

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.

Électronique 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 placées 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, ça 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

La restructuration du réseau des transports publics dans le Sud-Ouest lausannois

La mise en service du Métro Ouest entraînera une restructuration importante du réseau actuel des transports publics dans le secteur concerné. L'offre doit en effet rester cohérente et les différentes prestations doivent se compléter et non se faire concurrence. Comme d'autre part la vitesse commerciale du Métro Ouest est sensiblement supérieure à celle des lignes TL en site banal, il fallait assurer aux voyageurs à destination du centre de Lausanne la possibilité de rejoindre la ligne du métro le plus rapidement possible, pour les faire bénéficier pleinement de cette amélioration.

Compte tenu de ces points de vue et pour répondre aux besoins actuels et futurs de la région, les lignes de transport public du secteur seront réorganisées (fig. 1 en page précédente). Les modifications entreront en vigueur au moment de la mise en service du Métro Ouest prévue pour juin 1991. Actuellement, les lignes urbaines TL portent les numéros 1 à 19, les lignes suburbaines les numéros 20 à 29. Une modification de ce système s'est révélée inévitable. Un nouveau système est donc prévu :

1. Les lignes 1, 3 à 9 et 12 à 17 demeureront inchangées.
2. La ligne 2 (Le Désert-Saint-François-Ouchy-Bellerive-Plage) sera prolongée par l'avenue de Rhodanie et la route de Chavannes jusqu'à La Bourdonnette, où elle rejoindra la station du Métro Ouest. Cela permettra de desservir le théâtre et la zone sportive de Vidy ainsi que d'établir une liaison entre le Sud-Ouest lausannois et Ouchy sans passage obligé par Saint-François.
3. Les lignes 10 (gare CFF de Renens-Hautes Ecoles) et 18 (place du Flon-Chavannes), rendues inutiles par le Métro Ouest, seront supprimées.
4. Les lignes 11 et 19 seront remplacées par de nouvelles dessertes portant les numéros 32 et 33.
5. La ligne 32 suivra le parcours suivant : Mex-Crissier-gare CFF de Renens-Chavannes (quartier de Préfaully)-avenue du Censuy-avenue de Longemalle-Malley (station du Métro Ouest).
6. La ligne 33 : Mont-Goulin-Malley (station du Métro Ouest)-avenue de Longemalle-avenue du Cen-

suy-rue du Simplon-gare CFF de Renens-quartier d'Epenex-Ecublens-EPFL (station du Métro Ouest).

7. Les lignes 20 à 29 seront renommées et porteront des numéros de 51 à 69, leurs anciens numéros restant provisoirement sans emploi pour éviter des confusions.
8. La ligne actuelle 27 portera le numéro 57 et son parcours sera réduit. Venant de Morges, dès le carrefour En Jérusalem à Saint-Sulpice elle desservira le quartier d'En Vallaire en pleine expansion et passera par Renges et Le Motty jusqu'à son terminus à la station EPFL du Métro Ouest.
9. La nouvelle ligne 31 reliera la commune de Saint-Sulpice à La Bourdonnette (station du Métro Ouest) et terminus de la ligne 2).

L'horaire des nouvelles lignes complémentaires sera adapté à la cadence du Métro Ouest et assurera, en général, la correspondance à un passage du métro sur deux.

Enfin les trois lignes de métro de la région ne porteront pas de numéro, mais des noms : Métro Ouchy (anciennement : Lausanne-Ouchy), Métro Gare (anciennement : Lausanne-Gare) et Métro Ouest.

Rédigé d'après un dépliant des TL.

Pour une politique d'avenir des transports dans la région lausannoise

Avec le Métro Ouest, la région lausannoise se sera dotée d'un moyen de transport moderne et efficace. Cette

PAR PHILIPPE H. BOVY,
LAUSANNE

opération devra être suivie d'autres. Il s'agit de parvenir à un meilleur équilibre entre transports collectifs et individuels, garantissant des conditions de mobilité favorables tout en améliorant la qualité de l'environnement.

L'effet du Métro Ouest sur le développement des transports à Lausanne

L'histoire montre que la mise en œuvre d'un nouveau vecteur de transport marque de façon durable l'organisation d'un territoire et, à plus forte raison, le fonctionnement et le développement d'une agglomération urbaine

connaissant des problèmes de circulation de plus en plus graves. Sans grand risque de se tromper, on peut penser que le Métro Ouest constituera aussi une incitation au développement d'une ossature de transports publics à haute performance en région lausannoise. Le Métro Ouest n'a certes jamais eu la prétention d'apporter une solution globale pour la région lausannoise, mais la réalisation de ce projet amorce un tournant décisif en matière de politique des transports de l'agglomération.

Des retards romands et une floraison de projets de tramways

Grâce à une politique systématique de rénovation, d'amélioration et de développement, les villes suisses alémaniques disposent de systèmes de transports publics nettement plus attrayants

et plus performants que ceux des deux principales agglomérations romandes, qui accusent un retard important en matière de transports publics urbains et régionaux en site propre. Ce retard est de l'ordre de quinze ans pour Lausanne et de vingt à vingt-cinq ans pour Genève. Dans cette dernière ville, les progrès très significatifs des TPG (Transports publics genevois), dont le trafic a augmenté de plus de 50% durant la dernière décennie, n'ont pas empêché la congestion routière (et son corollaire, la pollution atmosphérique et phonique) d'atteindre un niveau particulièrement alarmant.

D'autres villes européennes, certaines très proches de nous, connaissent les mêmes problèmes. Plusieurs ont opté pour des solutions de tramway moderne ou de métro léger. Grenoble et Nantes construisent leur seconde ligne de tramway. Saint-Etienne développe son tramway avec l'appui de la technique suisse. Strasbourg, Reims, Rouen et Brest travaillent activement au développement d'un nouveau réseau de tramways (fig. 1 à 3). Bologne et Florence étudient des projets de tramway dont la réalisation n'est toutefois pas définitivement assurée. Plus près de nous, Genève a décidé de doubler sa seule ligne de tramway - la ligne 12 -

par une ligne reliant les Acacias, la gare Cornavin et le secteur de Sécheron (fig. 4). L'introduction, dans cette ville, de véhicules à grande accessibilité ou à plancher surbaissé (fig. 5) a rencontré un grand succès auprès de la clientèle. D'autres actions de développement de l'ossature genevoise des transports publics urbains et régionaux seront nécessaires pour résoudre les problèmes de congestion et d'atteinte à l'environnement de la plus grande agglomération romande.



Fig. 1. – En 1985, Nantes inaugure le premier tramway moderne de France.



Fig. 2. – Nouveau tramway des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey pour Saint-Etienne. (Photo de maquette.)

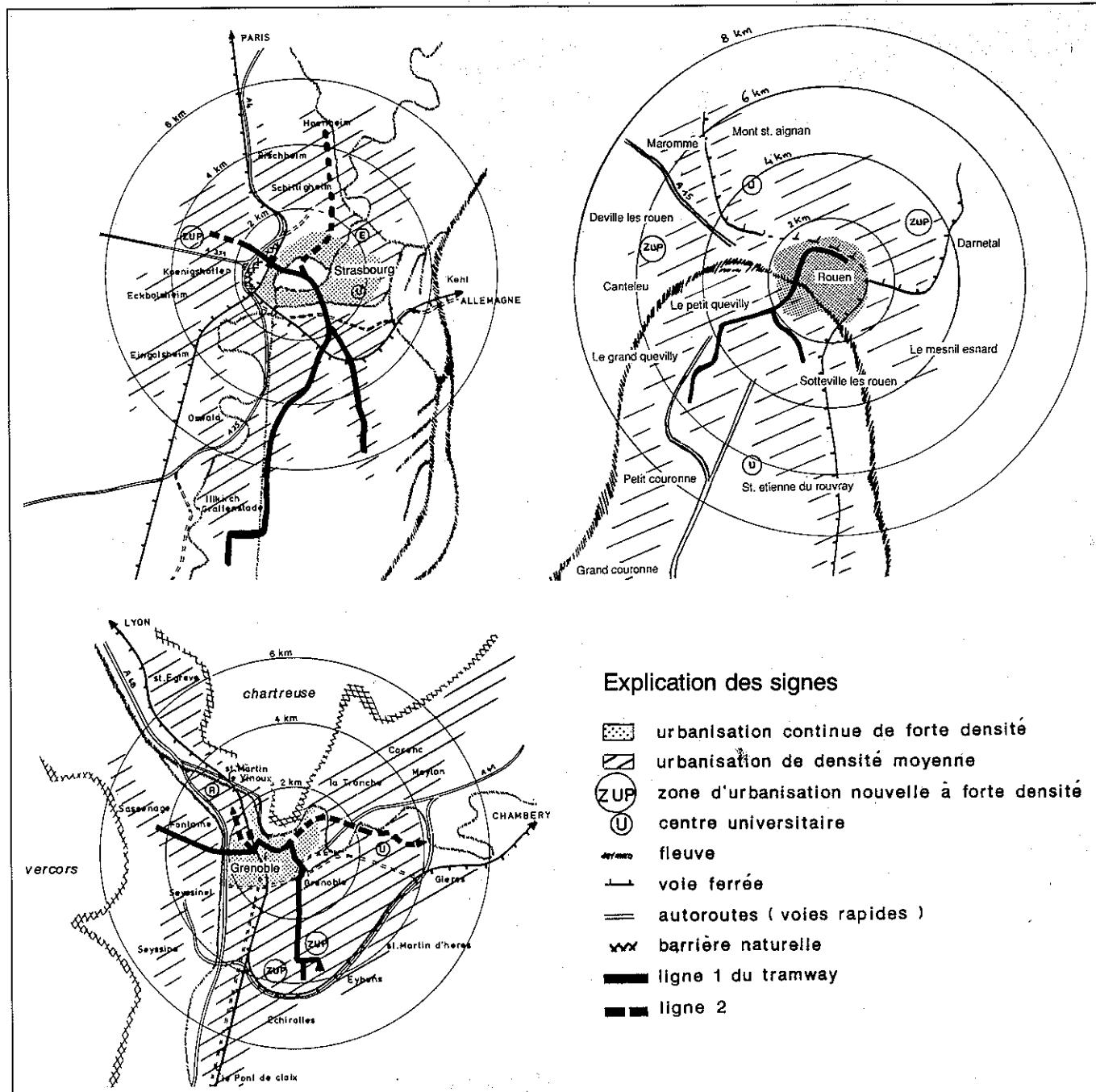


Fig. 3. – Réseaux de tramways de trois villes de France. Grenoble : mise en service de la première ligne en 1987 ; les véhicules sont à plancher surbaissé ou «à grande accessibilité» selon la terminologie française. Strasbourg choisit de développer un réseau de tramways après avoir procédé à l'étude d'un métro automatique léger (système VAL). Nouveau réseau de tramways de Rouen.

(Source: H. Chaîne, directeur du métro de Lyon et de METRAM, concepteur et maître d'œuvre des trois réseaux.)

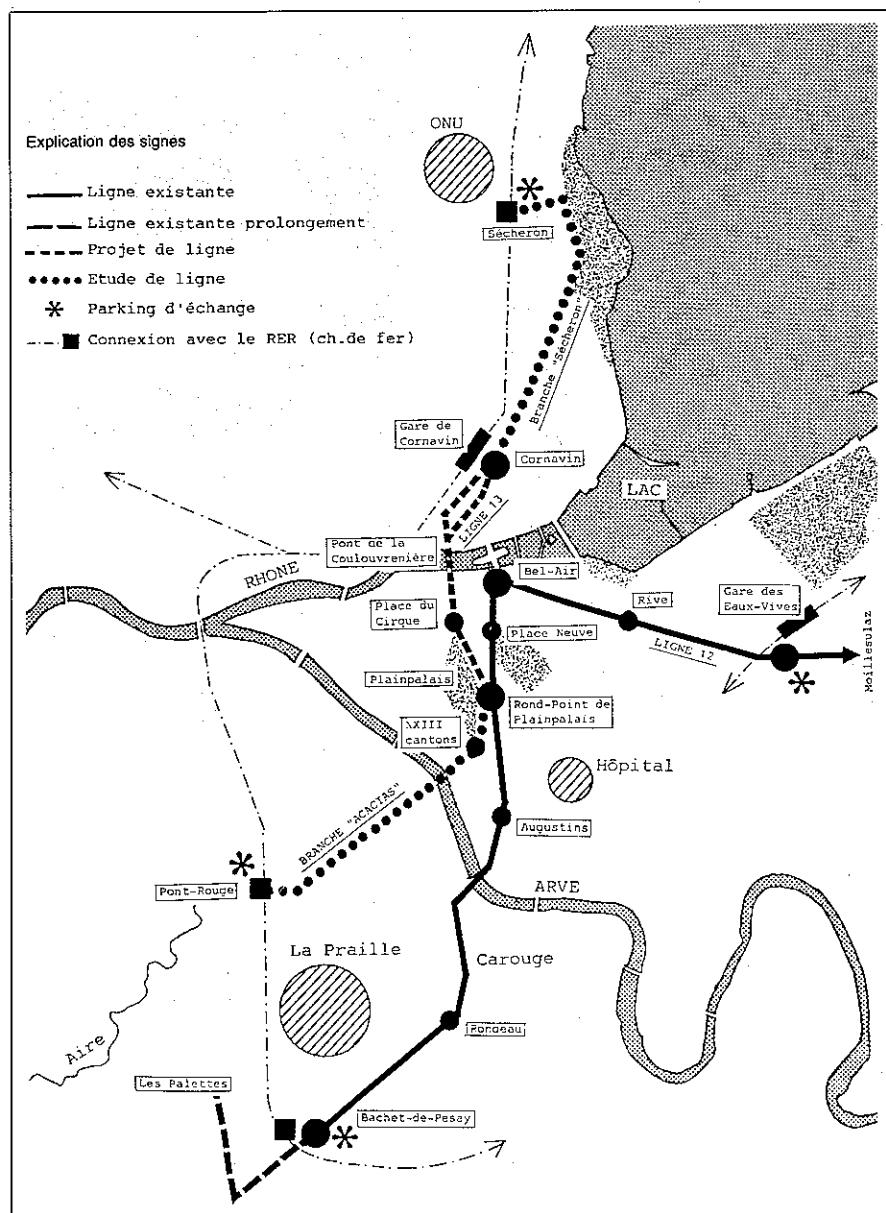


Fig. 4. – Nouveau réseau des tramways de Genève. La ligne 13, selon le plan directeur des transports publics 1990-1994.



Fig. 5. – Tramway articulé à plancher surbaissé des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey pour les Transports publics genevois.

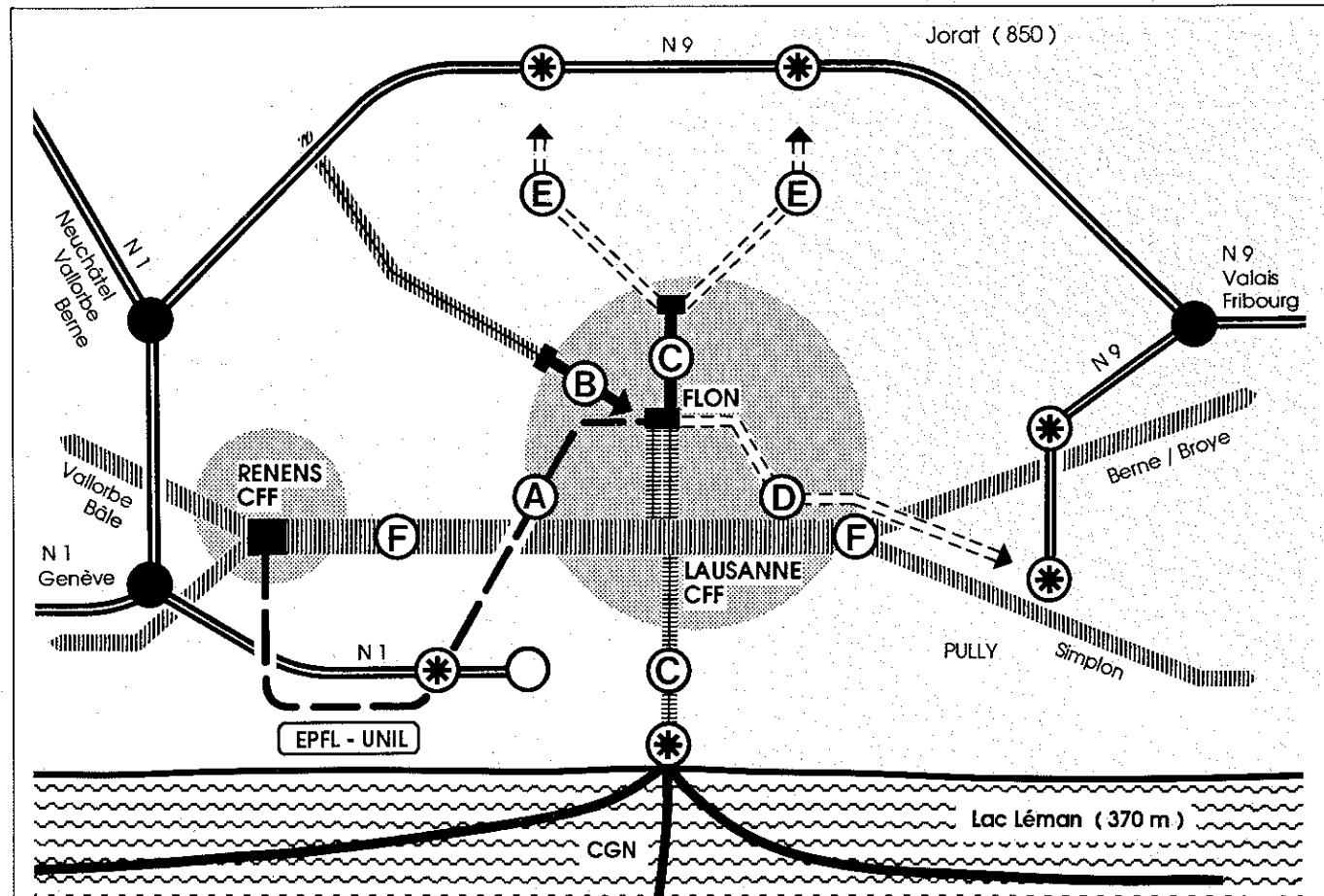
Quels projets à Lausanne ?

Pour rendre cohérent le dispositif de transports publics déjà en place, il convient de le compléter par plusieurs interventions structurelles majeures faisant l'objet d'études dont l'état d'avancement est très inégal. Il s'agit de l'extension et de la modernisation du métro Lausanne-Ouchy, du prolongement de la ligne LEB et de la création, à plus long terme, d'un Métro Est (fig. 7).

La Municipalité de Lausanne a lancé des études portant sur l'extension des transports publics à haute performance dans les secteurs Flon-Blécherette et Flon-CHUV-Vennes. La première étape proposée consiste en une extension du métro Lausanne-Ouchy jusqu'à la place du Tunnel. D'autre part, la société du Métro examine la possibilité d'améliorer la performance de ses lignes Lausanne-Ouchy et Lausanne-Gare en recourant à des techniques modernes de transport automatique. De son côté, la compagnie LEB s'active à promouvoir la réalisation du maillon manquant pour que cette ligne régionale soit enfin raccordée au pôle des transports publics lausannois qu'est la place de la Gare-du-Flon avec une connexion pratique pour la gare CFF de Lausanne.

En 1988, le Département des travaux publics de l'Etat de Vaud lançait un concours d'idées portant sur «la détermination d'une solution adéquate, propre à raccorder l'Est lausannois à l'autoroute du Léman en la rendant commodément accessible à un maximum d'intéressés et en perturbant le moins possible les zones traversées». Ce concours a permis d'établir que la meilleure solution consistait à relier le terminus de l'autoroute de La Conversion à un parking d'échange sis dans la vallée de la Paudèze à proximité de la ligne CFF Lausanne-Vevey. A partir de ce point, une nouvelle ligne de métro léger baptisée «Métro Est» est proposée pour assurer la liaison avec la gare du Flon en connexion directe avec le Métro Ouest.

Toutes ces initiatives convergent vers un même but: valoriser l'infrastructure de transports publics existante (réseau CFF, LEB, réseau TL, Métro Ouchy et Métro Gare) ou en voie de réalisation (Métro Ouest), en la complétant par un nombre limité de nouvelles liaisons de transports publics indépendantes des encombrements de la circulation automobile (fig. 6). Ces opérations portant sur l'ossature des transports publics lausannois doivent être mises en synergie avec des interventions de revalorisation d'espaces publics urbains. Elles impliquent notamment des restructurations et réaménagements de lieux significatifs



TRANSPORT PUBLIC EN SITE PROPRE

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| ■■■■■ Réseau CFF | — Extensions première étape |
| ■■■■■ Réseau d'agglomération existant | — Extensions grand avenir |
| — Métro Ouest | ● Parking d'échange |

Cette esquisse du développement des transports de la région lausannoise à l'horizon 2010 ne prétend nullement fixer les priorités d'actions.

Actions sur le système des transports collectifs en site propre

- (A) Mise en service 1991 du Métro Ouest.
- (B) Prolongement du LEB de Chauderon au Flon.
- (C) Modernisation du système LO + LG et extension, en première étape, jusqu'au Tunnel.
- (D) Construction du Métro Est en liaison avec l'antenne N9.
- (E) Extension du métro vers le nord-est et le nord-ouest.
- (F) RAIL 2000 et liaisons au réseau européen à grande vitesse.

Actions multimodales transports individuels/transports collectifs

- Parkings d'échange associés au développement de l'ossature des transports publics en site propre.
- Modernisation de la signalisation lumineuse urbaine avec priorités accrues pour les transports publics et les piétons.
- Restructuration des réseaux TL urbain et suburbain; développement de couloirs réservés, systèmes d'aide à l'exploitation et à l'information, simplifications tarifaires.
- Création des liaisons routières nécessaires pour faciliter la restructuration des transports publics de surface et les actions de modération de la circulation. Raccordement de la branche Conversion de la N9 avec le Métro Est.

Actions de valorisation des espaces publics et de modération de la circulation

- Réaménagement des places sur l'axe nord-sud du métro : Tunnel, Riponne, Flon, gare CFF et Ouchy-Navigation.
- Interventions sectorielles de modération de la circulation (zones d'habitat, d'équipements publics, de loisirs), aménagement d'itinéraires cyclables et réaménagements de carrefours en giratoires.

Fig. 6. – Un avenir possible pour les transports en région lausannoise.



Fig. 7. – Proposition de prolongement du métro Ouchy-gare CFF-Flon vers la place du Tunnel avec deux extensions vers le nord-est et vers le nord-ouest. La ville de Lausanne qui s'étage du bord du lac (altitude 375 m) à l'autoroute de contournement (altitude 650 m) requiert des technologies de transport particulières pour vaincre des déclivités atteignant 11%.

(Source: Groupe d'études RTU: Robert-Grandpierre & Rapp, Transitec et Urbaplan, Lausanne.)

du centre, parmi lesquels la place de la Gare, l'espace gare du Flon et la place du Tunnel. Ces éléments d'une nouvelle politique des transports de l'agglomération lau-

sannoise visent à opérer la mutation nécessaire pour passer de l'assortiment actuel de lignes déconnectées à un véritable réseau de transports publics à haute performance axé sur le centre

Bibliographie

- [1] BOVY, PHILIPPE H.: «Réflexions sur les transports d'agglomération de l'an 2000», *Route et trafic*, 73 (1987) 12, pp. 858-868.
- [2] BOVY, PHILIPPE H.: «Environnement, gestion des espaces publics et transports urbains: le cas de Genève», *Route et trafic*, 76 (1990) 4, pp. 152-164.
- [3] BOVY, PHILIPPE H.: «La Suisse et le développement du réseau ferroviaire européen à haute performance», *Ingénieurs et architectes suisses*, 116 (1990) 3, pp. 33-45.
- [4] LEFÈVRE CHRISTIAN; OFFNER JEAN-MARC: *Les transports urbains en question: usages, décisions, territoires*, Ed. Celse, Paris, 1990.
- [5] Prolongement du métro Ouchy-Gare CFF-Flon vers la place du Tunnel. Commune de Lausanne, groupe d'étude RTU, Robert-Grandpierre et Rapp, Transitec/Urbaplan. Lausanne, avril 1990.
- [6] Elaboration du plan directeur du réseau des transports publics: troisième rapport, Conseil d'Etat de la République et Canton de Genève, Genève, avril 1990.

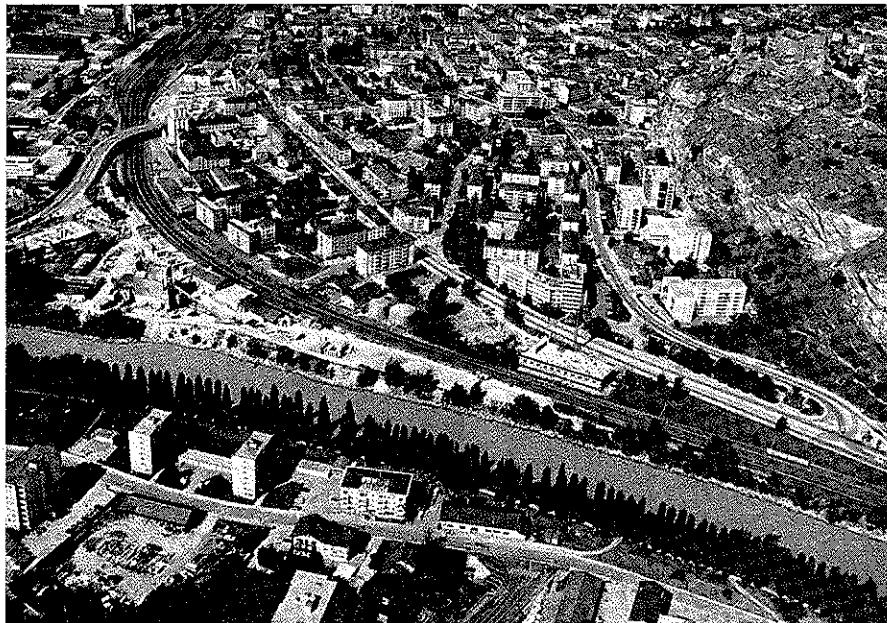
ville et les gares CFF de Lausanne et de Renens. Ce n'est d'ailleurs que par une telle politique d'avenir que la région pourra vraiment tirer parti du projet de renforcement des transports publics nationaux que sont Rail 2000 et son interconnexion européenne par les nouvelles liaisons ferroviaires à travers les Alpes (NLFA) et le Jura.

Adresse de l'auteur:

Philippe H. Bovy
Professeur EPFL
Institut des transports
et de planification ITEP-EPFL
1015 Lausanne

Sion : de nouveaux aménagements pour les piétons et les deux-roues légers

Les résultats d'un concours



Sion : la marche à suivre

L'idée d'aménager un cheminement piétons et deux-roues légers reliant le quartier de Champsec-Vissigen au centre ville, en franchissant le Rhône par un ouvrage fin, une passerelle, représente un acte d'urbanisme marquant et pour ainsi dire unique dans l'histoire du haut Rhône. C'est aussi une occasion de revitaliser les promenades des berges, notamment en rendant accessible la rive droite.

La Municipalité de Sion veut en effet affirmer par là sa volonté, tout en reconnaissant pourtant bien l'identité de chacun des lieux de la ville, de mieux encore les souder entre eux et de renforcer ainsi leur appartenance à la communauté sédunoise.

Champsec-Vissigen est un de ces quartiers jeunes de la ville, porteurs des espoirs de demain. Il mérite toute notre attention et c'est la raison, après l'étude de structuration de 1986, de ce présent concours au thème original, dont le résultat ouvrira l'ère nouvelle de la convivialité retrouvée du parcours piéton.

Du futur parc urbain au centre de Champsec-Vissigen les Séduinois pourront en effet se rendre à pied, en un peu plus d'un quart d'heure, au centre ville et inversement, dans le confort et la sécurité, en redécouvrant une

dimension que la voiture a fait perdre. Sur la rive gauche, le premier acte de cette démarche a sans doute consisté à requalifier et à rebaptiser l'ancienne «route du Viaduc» en «rue du Parc», parce qu'elle constitue le branchement de ce cheminement au futur parc urbain sur la tranchée couverte de la N9.

De grands espoirs ont été mis dans ce concours et ils ont été largement comblés.

Je tiens donc à remercier les nombreux concurrents qui ont voulu faire cet effort et témoigner ainsi leur intérêt pour ce problème important de la ville. L'effort a été grand, les propositions généreuses, parfois peut-être trop enthousiastes dans leur élan technique. Je tiens aussi à remercier le jury de son travail et je suis heureux de son choix qui va pleinement dans le sens des préoccupations de la Municipalité de Sion, soucieuse d'améliorer le bien-être de ses habitants, de lui proposer des solutions nouvelles et originales par des actes d'urbanisme tout en douceur, comme celui-là.

Pour terminer et tout en félicitant les auteurs du projet classé au premier rang, je souhaite que nous puissions très rapidement aboutir avec eux à l'heureuse réalisation de cet ouvrage.

*Gilbert Debons
Président de la Ville de Sion*

But et organisation du concours

La Municipalité de Sion, en accord avec le Département des travaux publics de l'Etat du Valais et d'entente avec les CFF, a organisé un concours de projet pour «l'aménagement d'un cheminement piétons et deux-roues légers reliant le quartier de Champsec-Vissigen au centre ville et la création d'une passerelle piétonne et deux-roues légers sur le Rhône, dans le prolongement de la rue du Parc».

» Cette passerelle sera donc branchée à un passage sous les voies CFF et, vers le centre, à la rue des Aubépines. Elle ne constitue ainsi qu'une partie du problème posé et doit être inscrite dans l'aménagement des deux rives du Rhône.

» Par ce projet et par l'étude détaillée des parcours, la Ville de Sion réalisera la couture entre les deux rives du fleuve, à l'échelle de l'homme. Sion pourra enfin prendre possession des rives du fleuve. C'est pourquoi la passerelle sera plus un ouvrage de la convivialité que celui d'une performance technique.»

La participation était ouverte aux associations d'architectes et d'ingénieurs dont l'un des partenaires au moins était domicilié en Valais avant le 1^{er} janvier 1989 et figurait sur la liste 1989 des bureaux d'ingénieurs, d'architectes et autres bureaux d'études inscrits au registre professionnel conformément à l'arrêté du Conseil d'Etat du 7 juillet 1982.

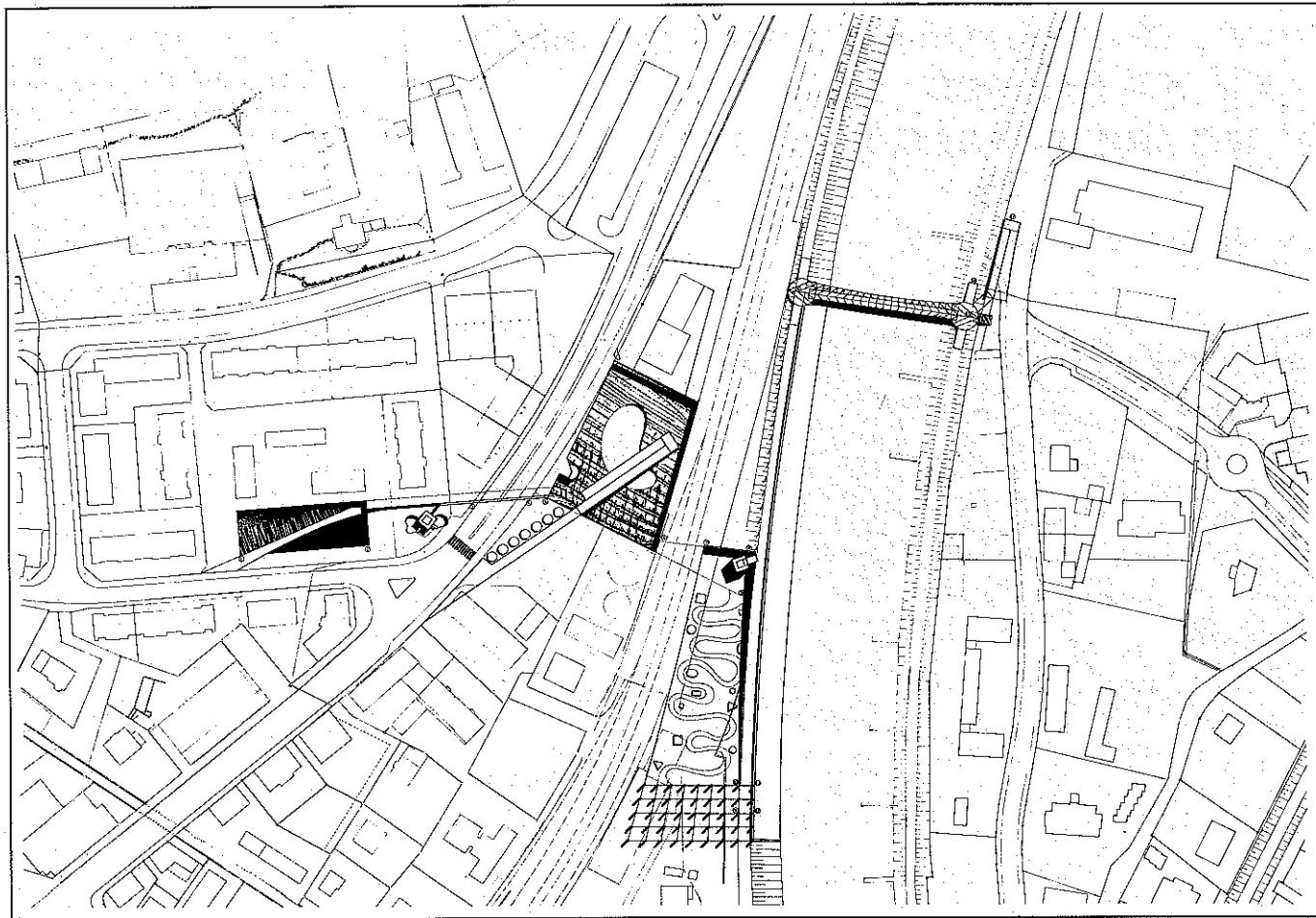
Jury

Président: M. Charles-André Meyer, architecte FAS-SIA, dipl. EPFZ, architecte de la Ville, Sion. Membres: MM. Roland Beylouné, ingénieur SIA, dipl. EPFL, Epalinges; Philippe-Henri Bovy, ingénieur SIA, dipl. EPFL, professeur à l'EPFL, Lausanne; Pierre Cagna, architecte SIA, dipl. EPFL, Sion; Georges Descombes, architecte SIA, dipl. AAGS, professeur à l'EAUG, Genève; Gabriel Magnin, ingénieur SIA, dipl. EPFL, ingénieur cantonal, Sion; Hans Meier, architecte SIA, dipl. EPFZ, Sion; Alphonse Sidler, ingénieur SIA, dipl. EPFL, ingénieur de la Ville, Sion. Suppléants: MM. Joseph Jacquemoud, ingénieur SIA, dipl. EPFL, ingénieur des ponts, Etat du Valais, Sion; Beat Plattner, architecte SIA, dipl. EAUG, urbaniste FUS, Sion.

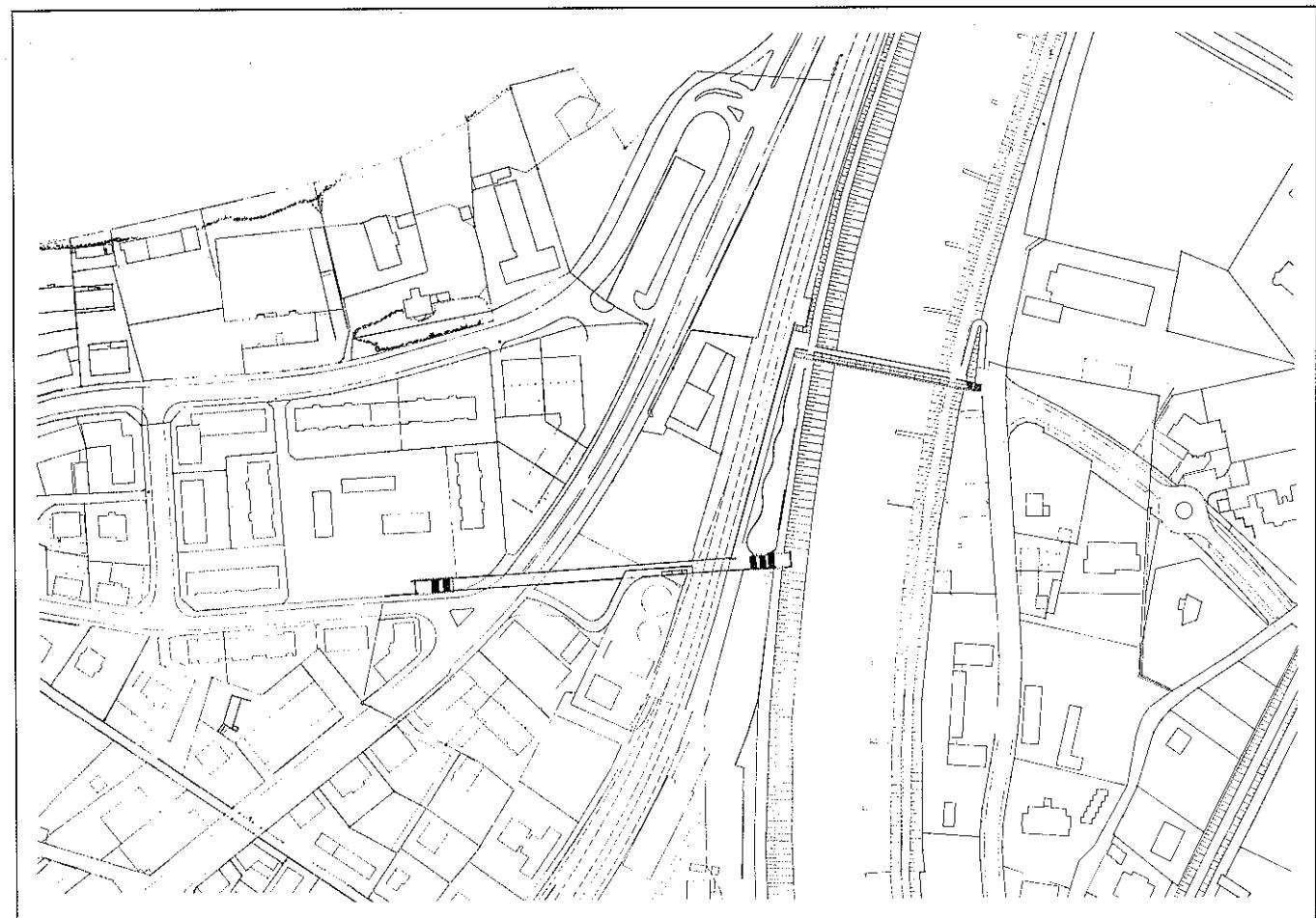
Examen préalable

L'organisateur a reçu 29 inscriptions et 24 projets ont été envoyés dans les délais fixés.

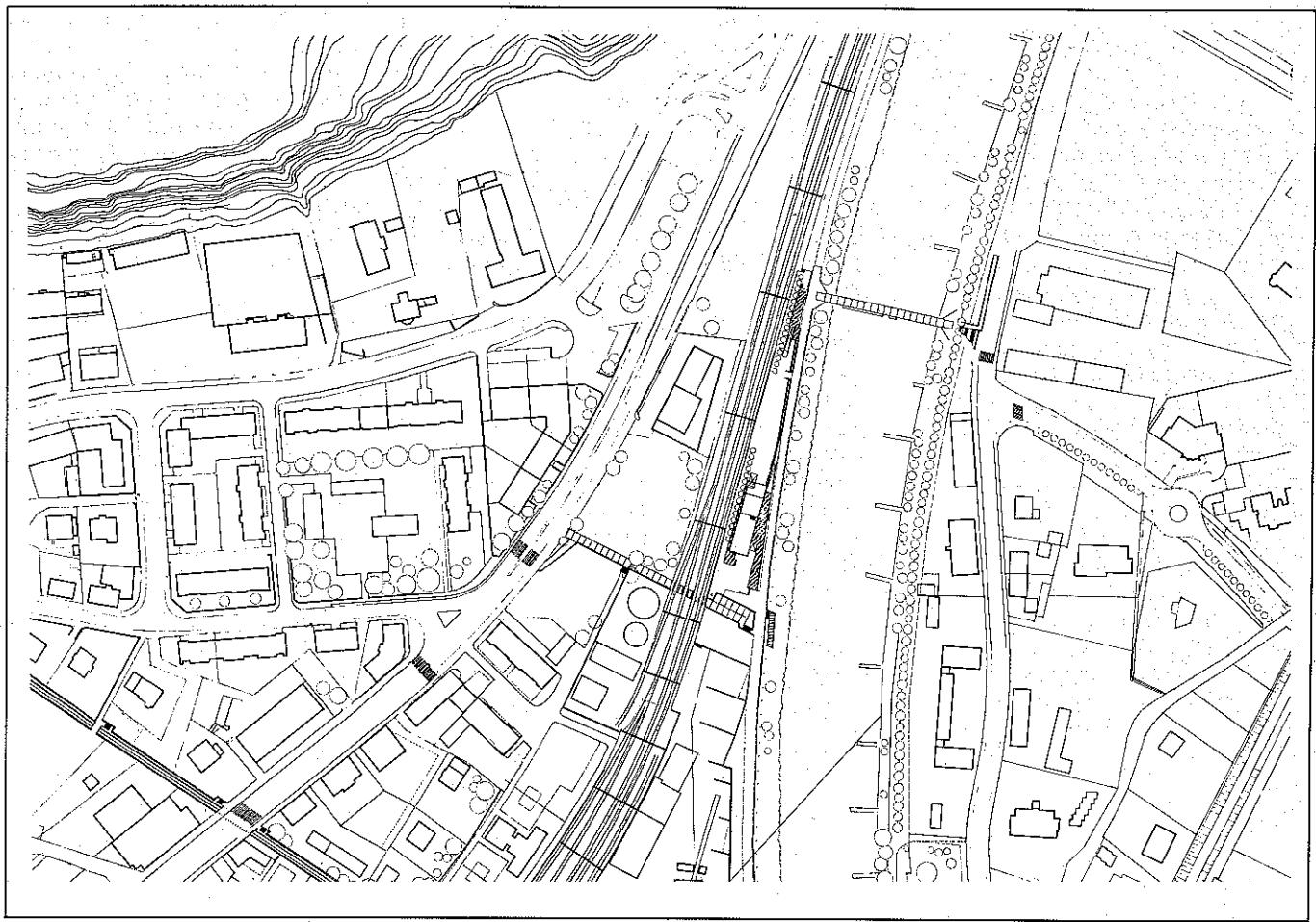
Le contrôle préliminaire a porté sur le respect des délais, les documents exi-



1^{er} rang, 1^{er} achat : Pierre Schweizer, architecte EPFZ-SIA, Sierre.



2^e rang, 1^{er} prix : Ami Delaloye, architecte FAS-SIA, Martigny.



3^e rang, 2^e achat: Pierre Roulet, ingénieur civil EPF-SIA, Sion.



4^e rang, 2^e prix: Pierre-Alain Métralier, architecte EPFL-SIA, Sierre.

gés et l'examen sommaire du respect du programme. Il a révélé qu'un projet n'avait pas été rendu en la forme anonyme, d'une part, et que les plans étaient pliés au format A4, d'autre part. Un autre projet ne comportait aucune indication relative aux structures permettant l'analyse de celles-ci; un troisième présentait une planche avec variantes, alors que pas moins de 15 projets ne respectaient pas certaines contraintes du règlement ou restaient très sommaires dans une des parties relatives aux documents exigés.

Sur la base de cet examen préalable et conformément au règlement SIA 152, le jury écarte du jugement deux projets, l'un incomplet dans ses parties essentielles et l'autre non rendu en la forme anonyme.

Il écarte également la planche de variantes mentionnée, en tant qu'adjonction non demandée.

Après examen de l'ensemble, il décide d'admettre tous les autres projets au jugement, malgré certains écarts par rapport au programme ou certaines lacunes dans la présentation des documents.

En préambule au jugement proprement dit, le jury tient encore à préciser, dans ses réflexions générales, l'énoncé du problème et les critères qui en découlent.

Jugement

L'étude de structuration du quartier de Champsec-Vissigen, en 1986, avait démontré de nouveau la nécessité d'une liaison entre ce secteur de l'agglomération et le centre ville. Cette liaison n'était plus à concevoir au moyen d'un vaste ouvrage routier enjambant le Rhône, mais devait être ajustée à l'échelle du piéton, du fait que les distances à parcourir le permettent aisément.

L'ancien projet de viaduc «Sous-le-Sex» était donc définitivement abandonné.

Dans l'énoncé du problème posé dans ce concours, le jury a confirmé l'intention de la Municipalité de Sion d'aménager un cheminement piétons, un parcours urbain, plutôt que de réussir la seule prouesse technique d'un ouvrage d'art dont le mérite ne pourrait être que celui de sa conception structurelle. C'est d'ailleurs dans ce sens que, dans la définition du lieu de projet, le texte dit bien que «la passerelle sera plus un ouvrage de la convivialité que celui d'une performance technique».

La volonté d'ouvrir un concours de projet, donc en vue d'une réalisation, plutôt qu'un concours d'idées, c'est-à-dire de recherche de conceptions urbanistiques encore à préciser, confirme en effet ce choix.

De façon cohérente, ce programme de construction devait être établi en définissant les caractéristiques et les dimensions quantifiables.

Les six points constituant l'objet du concours sont:

1. La passerelle sur le Rhône

Liberté est laissée aux concurrents quant aux matériaux, à la conception structurelle, etc., pour autant que seront respectées les contraintes imposées.

2. Les raccords aux rives

Les raccords aux rives doivent se faire moyennant la prise en compte des cheminements de digue, d'une part, des prolongements du parcours lui-même vers Champsec-Vissigen et vers le centre ville, d'autre part.

3. Le cheminement de digue

Les chemins de digue représentent des promenades intéressantes qu'il convient d'autant plus de maintenir qu'ils sont nécessaires à l'entretien des berges.

4. Le passage inférieur sous les voies CFF

Ce passage doit être rendu aussi attrayant et sécurisant que possible.

5. Le cheminement vers l'avenue de Tourbillon

Ce cheminement doit prendre en compte le bâti et le parcellaire existants, afin de permettre l'aménagement d'un parcours agréable.

6. Le franchissement de l'avenue de Tourbillon et le raccordement à la rue des Aubépines

Le franchissement de la route cantonale doit s'effectuer en garantissant la fluidité du trafic et la sécurité des piétons; une proposition à niveau ne devrait pas empêcher une liaison ultérieure en dénivélé.

Caractéristiques techniques des parcours

- Largeur minimale des cheminements et de la passerelle: 4,00 m.
- Pente maximale des rampes et autres éléments du parcours: 6%.
- Hauteur minimale de passage: 2,50 m.
- Eclairage de qualité.

Après ces réflexions générales et après s'en être de nouveau référé au règlement-programme ainsi qu'aux réponses aux questions, le jury décide d'admettre au jugement mais d'écarte de la répartition des prix, en conservant cependant leur potentialité d'achat, 15 projets qui s'écartent des dispositions du programme sur un des points essentiels (franchissement supérieur des voies CFF, choix d'un autre axe de cheminement, approche trop som-

maire des calculs statiques, échelle des plans, etc.).

Dans un deuxième tour, le jury élimine trois projets qui, malgré certaines qualités, n'apportent pas une réponse jugée satisfaisante selon les critères définis.

Au troisième tour, le jury procède à l'analyse détaillée des quatre projets restant en lice.

Palmarès

1^{er} rang 1^{er} achat Fr. 21 000.-

Pierre Schweizer, arch.
EPFZ-SIA, Sierre; B. Cina,
R. Berclaz, H. Lumens,
M. Schnyder.

Walder & Marchand, bureau
d'ingénieurs, Brigue;
G. Marchand, R. Schnyder,
B. Leibundgut.

2^e rang 1^{er} prix Fr. 19 000.-

Ami Delaloye, arch. FAS-SIA,
Martigny; collaborateur:
Luc Delaloye, arch. EPFL.
ATIB SA, bureau d'études
techniques, Martigny;
Paul Fellay, ing. SIA,
Raymond Gluck, ing. SIA.

3^e rang 2^e achat Fr. 18 000.-

Bureau de génie civil et béton
armé Pierre Roulet, ing. EPF-SIA,
Sion; Massimo Grassi, arch. EAUG,
Patrick Marmet, arch. EAUG,
Pascale Roulet, arch. EAUG,
Danielle Vergères, arch. EAUG.

4^e rang 2^e prix Fr. 10 000.-

Atelier d'architecture
Paul-Alain Métrailler, arch. EPF-SIA,
Sierre.

Bureau d'ingénieurs Nicolas
Cordonier & Gilles Rey SA
Ingénieurs EPF-SIA, Sierre;
Pierre-Antoine Wanner, Laurent
Tesselet, Michaël Voechting.

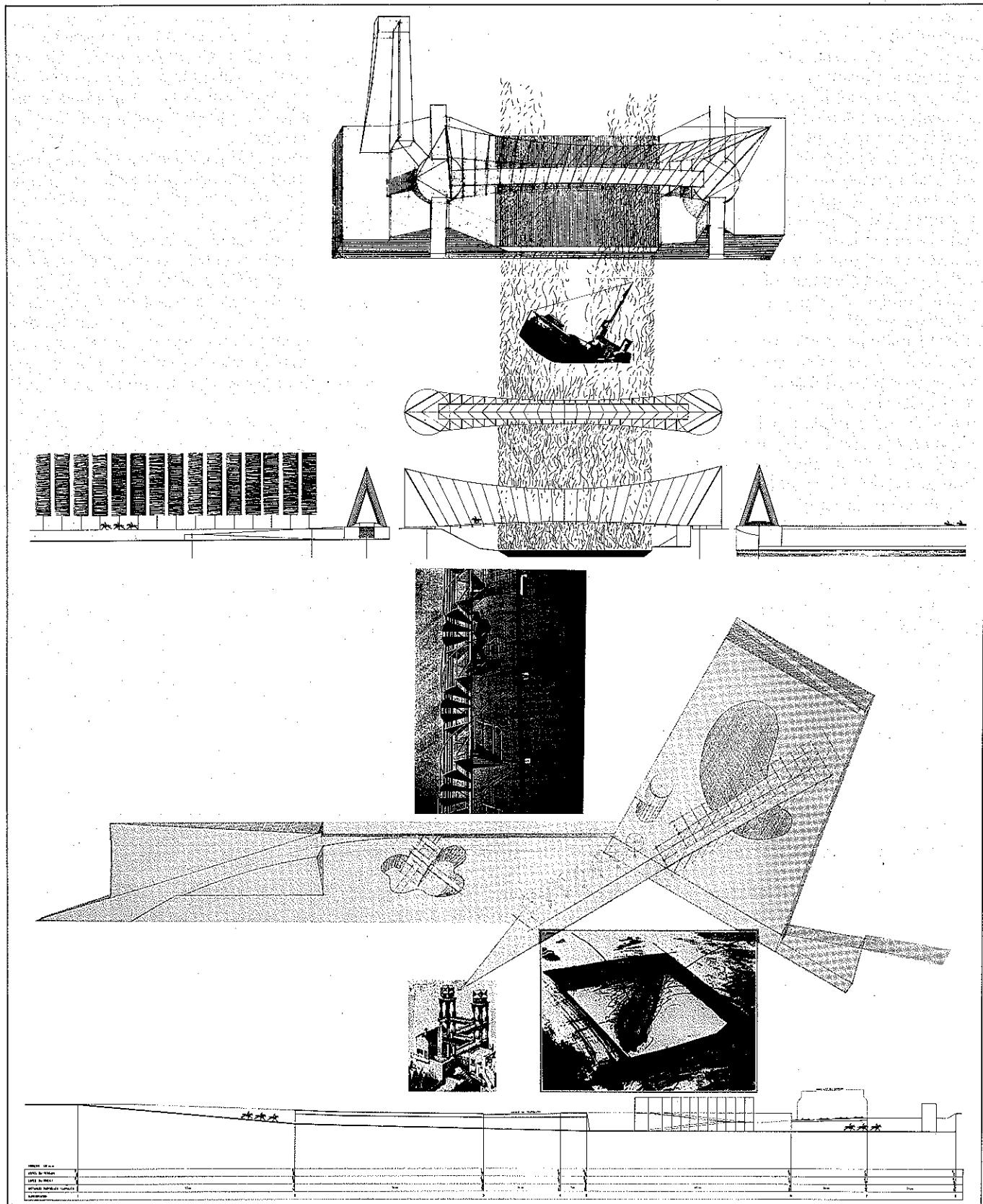
5^e rang 3^e prix Fr. 9 000.-

Atelier d'architecture Atelier 4,
Sierre; collaborateur:
Raphaël Berclaz.

Bureau d'ingénieurs Butzberger
& Warpelin, Sion;
collaborateurs: Michel Prim,
Zwahlen & Mayr SA, Aigle.

6^e rang 4^e prix Fr. 8 000.-

Bureau d'architectes Rolf
Furret + François Fasnacht,
Arch. dipl. EPFZ-SIA, Bâle.
Bureau d'ingénieurs civils KBM
Fridolin Burri + Paul
Missbauer, ing. dipl.
EPFZ-SIA, Sion;
collaborateurs: D. Gaillard,
R. Marclay.



1^{er} rang.

7^e rang 5^e prix Fr. 5 000.-

Atelier d'architecture
A. de Lavallaz et partenaires,
Architectes SA, Lausanne;
Grégoire Andenmatten, Soltani
Alavi, Nadine Andenmatten,
J.-V. Fricker.
Bureau d'ingénieurs M. & S.

Andenmatten, rue du Scex 16,
Sion; Stéphane Andenmatten.

A l'unanimité, le jury recommande au maître de l'ouvrage de confier la poursuite des études en vue de l'exécution à l'auteur du projet classé au premier rang.

Extraits du rapport du jury

1^{er} rang – 1^{er} achat

Les auteurs du projet proposent une qualification précise de plusieurs lieux spécifiques ayant pour dénominateur commun le cheminement liant la rive droite à la rive gauche de la ville.

Le passage sur le Rhône, traité au moyen d'une structure légère et contemporaine, est accueilli sur chaque rive par une «assiette» intégrant favorablement les promenades de rive et articulant bien les différents parcours. Au-delà de sa force plastique et émotionnelle, la qualité du projet réside dans la compréhension et la révélation de la richesse d'un parcours réalisant la couture historique des deux rives d'une même ville.

La digue est reconnue voire renforcée par un geste précis de solidification de la rive, souligné par une proposition d'éclairage public.

Les articulations de la rive vers le centre ville et vice versa sont résolues par une succession d'espaces, travaillés en plan incliné ou en creux, le long d'un parcours complexe. Ces thèmes du tunnel, du parc de ville, de la rampe, de l'escalier, de la digue et du plan d'eau sont traités à l'échelle de ce nouveau parcours urbain en réalisant la difficile cohabitation d'un parcours piétonnier avec celui d'un deux-roues. De ce système de lieux caractérisés et cohérents découle un passage sous les voies CFF convaincant, dépassant en qualité une simple liaison fonctionnelle.

La liaison du «parc de ville» au préau de l'école, bien que contenant une réelle qualité de complémentarité, est problématique, en l'état, dans sa réalisation (emprise importante sur le domaine privé).

Le système d'espaces proposé par le projet évite l'effet de couloir et offre une valeur exploratoire dans la hiérarchisation des lieux. A ce titre, les références utilisées par l'auteur sont adéquates. Elles soulignent bien le caractère de chaque lieu égrenant le parcours.

La conception structurelle est bien étudiée.

La légèreté du dessin est contredite par le dimensionnement résultant des notes de calcul.

La mise en œuvre de l'ensemble est d'un coût au-dessus de la moyenne.

Le passage sous les voies n'est pas conforme aux normes CFF.

2^e rang – 1^{er} prix

Les auteurs du projet proposent un parcours très clairement dessiné dont un des thèmes est la séparation des parcours piétonnier et deux-roues.

Cette volonté, manifestée par la conception de la passerelle, confirmée par la rampe suffisamment large pour accueillir un trottoir, est contredite par le conflit découlant du traitement du débouché sur l'avenue de Tourbillon. Le dessin de la rive droite a été apprécié dans sa proposition minéralisée et finement traitée: différenciation du chemin de digue et de l'esplanade. Le traitement de la rampe, à la générosité reconnue, implique un investissement important et coûteux le long des voies CFF.

La liaison rue des Aubépines – rive droite du Rhône, signifiée par deux pavillons à chaque extrémité, est traitée de façon intéressante malgré le conflit des parcours relevé plus haut. La dimension de la passerelle dans sa largeur est supérieure à celle demandée.

La conception structurelle proposée à la lecture des plans n'est pas vérifiée par la note de calcul. L'expression structurelle, composée de trois plans successifs partiellement transparents, procure une perception fort perturbée de l'élément construit. La mise en œuvre de l'ensemble est d'un coût au-dessus de la moyenne.

3^e rang – 2^{er} achat

Les auteurs du projet proposent l'aménagement d'un parcours reconnaissant les caractères de chaque lieu (digue-rives-passages-tranchée) en s'insérant de façon subtile dans les espaces résiduels.

Projet de situation, il est confirmé par une habileté certaine dans le choix des matériaux (le solide et le tendre: béton-métal et bois) découlant d'une reconnaissance de l'histoire et de la réalité du lieu (résidu d'une zone industrielle).

La convivialité désirée se matérialise ici par un traitement de la berge rive droite, très finement travaillée par une succession de terrasses offrant différentes possibilités de parcours et concrétisée par un abri public.

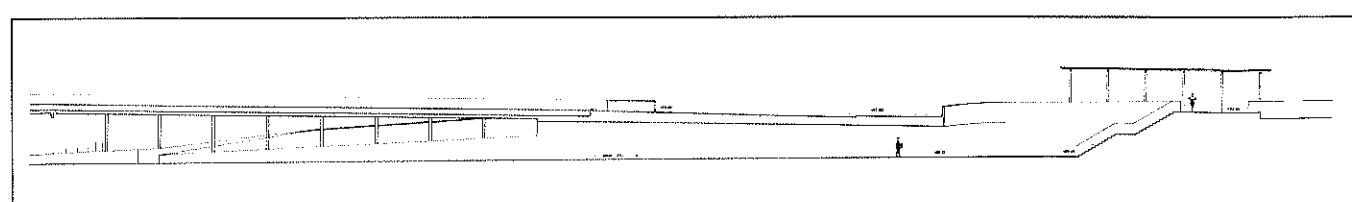
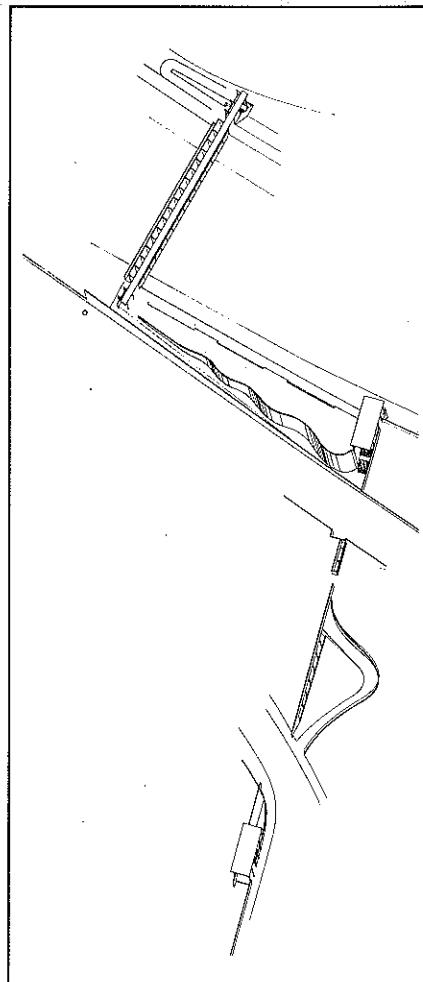
Le passage sous les voies CFF ainsi que la liaison avec l'avenue de Tourbillon sont aménagés en tranchée couverte faisant référence à la passerelle sur le Rhône et s'insérant à la limite de deux parcelles.

La rampe posée dans le prolongement du passage CFF vers la rive est convaincante.

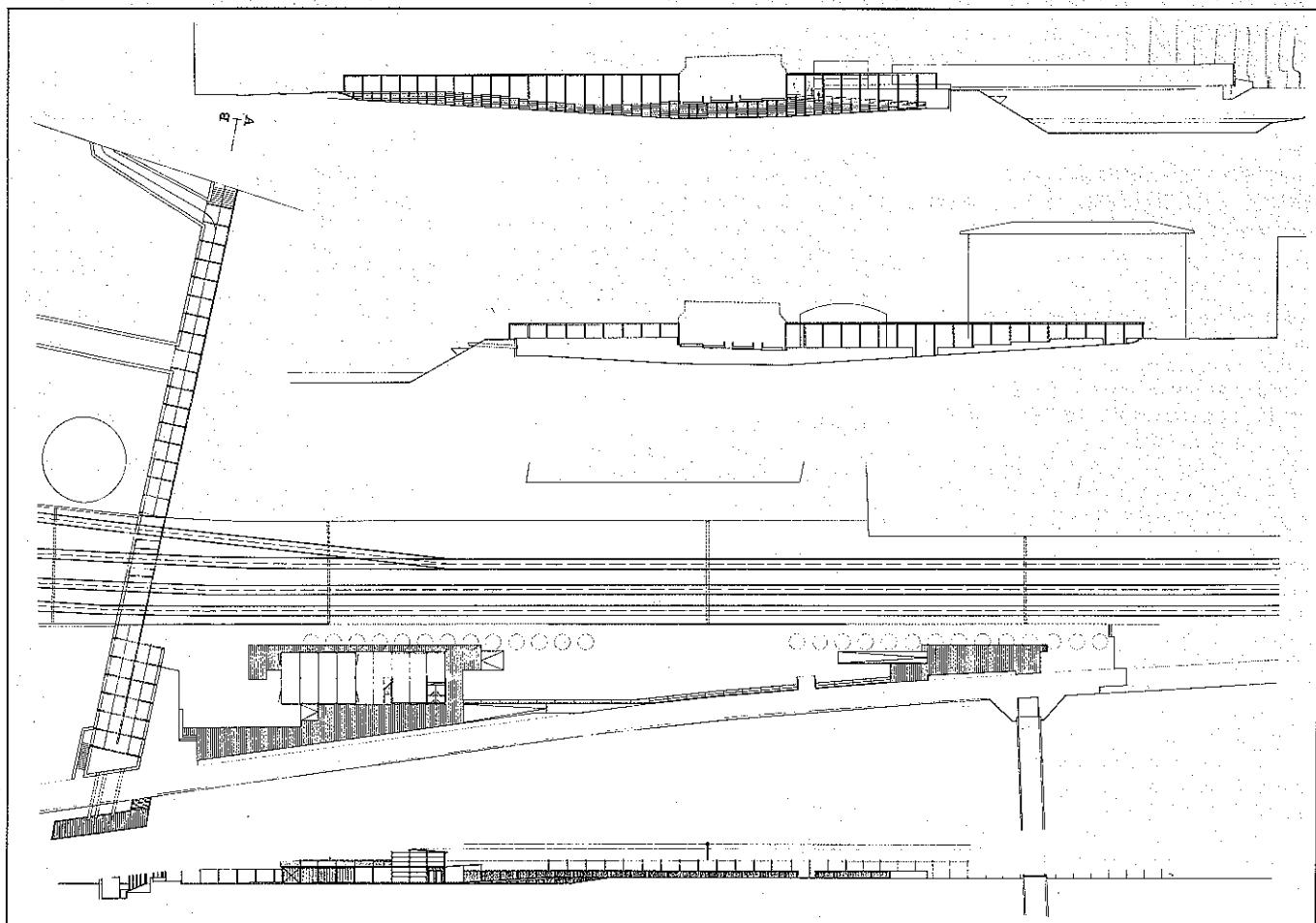
Avec simplicité, cette proposition rend le parcours agréable et généreux. Ce projet démontre avec efficacité qu'il est possible de s'insérer dans un contexte résiduel et d'apparence chaotique sans perdre la cohérence de l'ensemble.

Cette attitude est garante d'une grande faculté d'adaptation et de souplesse, qualités primordiales pour ce lieu en devenir.

La passerelle proposée ne trouve ni dans le principe statique ni dans la note de calcul une réalité constructible. En ce sens, le projet ne répond pas à une des données essentielles du programme du concours. D'autre part, le passage sous les voies ne respecte pas les normes et contraintes des CFF.



2^e rang.

3^e rang.**4^e rang – 2^e prix**

Les auteurs du projet abordent avec trois éléments – un cylindre avec rampe hélicoïdale, une digue-esplanade et une passerelle haubanée – le thème de la liaison de la ville à la périphérie.

L'asymétrie du traitement des deux rives est confirmée par le côté allusif de l'accrochage de la rive gauche.

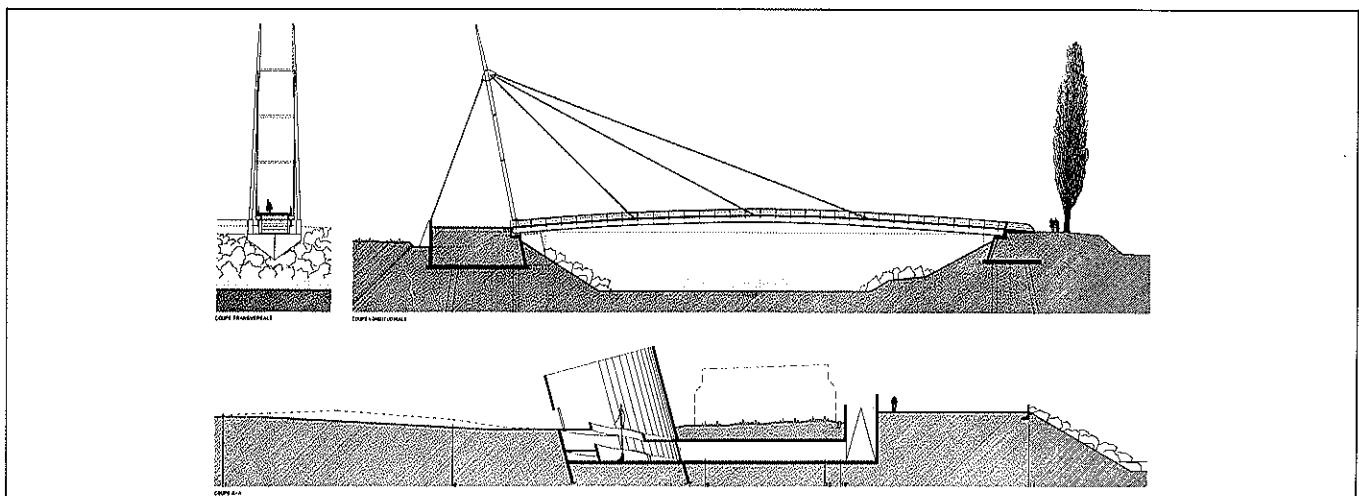
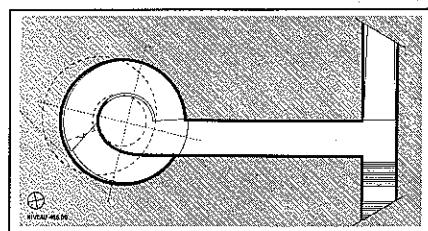
Cette proposition, de simple et claire à l'échelle urbaine, devient schématique dans la mise en place des parcours :

longue rampe en tranchée, absence d'articulation au débouché du passage sous les voies CFF, conception d'une rampe hélicoïdale peu sécurisante voire très dangereuse.

La structure haubanée de la passerelle est bien étudiée.

Le système statique et son expression constructive sont cohérents et de conception économique.

Le mur de soutènement le long des voies CFF implique en revanche un très coûteux investissement.

4^e rang.



Programme d'impulsions RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité

Situation actuelle

Notre approvisionnement en énergie électrique se trouve aujourd'hui dans une situation tendue liée au fait que d'une part la demande augmente, tandis que d'autre part les possibilités d'accroître la production se restreignent.

RAVEL aborde ce problème du point de vue de la demande. A observer de plus près ce qui se passe dans le monde de la construction, des services et de l'industrie on se rend compte en effet que connaissances et savoir-faire manquent très souvent quant aux méthodes et aux techniques permettant une utilisation plus rationnelle de l'énergie électrique.

Le programme RAVEL¹, en dehors de toute discussion politique sur l'énergie et les tarifs, se propose d'intervenir dans le domaine des connaissances et des compétences professionnelles pour en éléver le niveau. Il se veut avant tout pragmatique, solide et efficace pour la promotion d'un emploi judicieux et économique de l'électricité.

Nos buts

Nous sommes convaincus que c'est là un objectif réalisable. Concrètement, il existe trois moyens d'utiliser plus parcimonieusement l'énergie :

- éviter toute consommation inutile
- améliorer systématiquement les rendements des appareils
- concevoir des systèmes plus performants.

Pour obtenir les résultats escomptés, il faut un savoir-faire largement répandu et solidement ancré. Quant aux compétences, elles doivent se trouver auprès des investisseurs comme auprès des utilisateurs, chez les maîtres d'ouvrage et chez les architectes, de même que chez les ingénieurs et les techniciens.

RAVEL doit donc viser très large et atteindre une grande palette de professionnels grâce à des informations et à des exemples de réalisations judicieusement préparées et présentées.

Une des priorités de RAVEL est de participer aux activités des organisations engagées dans la formation continue afin de gagner rapidement en efficacité. Les documents préparés devront également être accessibles aux écoles, d'où un effet à long terme.

Notre démarche

Les pierres angulaires du programme sont la recherche, la formation, la formation continue et l'information. Les aspects techniques, aujourd'hui axés principalement sur les questions d'approvisionnement et

de sécurité, devront être complétés par des considérations relatives au rendement, à l'utilisation et à l'exploitation.

Dans un premier temps, des projets d'étude seront entrepris sur des sujets bien définis, là où les programmes de formation de RAVEL exigent l'acquisition de nouvelles connaissances. Ces projets seront de ce fait très diversifiés : ils seront tournés tant vers les utilisateurs – installations du bâtiment, industrie, services – que vers les prestations : force, lumière, appareils. En étendant la réflexion pluridisciplinaire aux secteurs de l'exploitation et de l'entretien, de la domotique et de la chaleur (couplage chaleur-force, pompe à chaleur, récupération) ainsi que de la réglementation et de l'économie, on sera amené à aborder d'autres éléments fondamentaux pour une utilisation rationnelle de l'électricité.

Dans un second temps, la formation et la formation continue s'efforceront de faire reconnaître et prendre au sérieux, par les décideurs et les spécialistes, les possibilités réelles et rentables existant pour économiser l'énergie. Pour cela, la présentation des résultats devra être modulée en fonction des groupes de personnes que l'on cherche à atteindre.

Les actions de notre programme seront mises sur pied en collaboration étroite avec les organisations et associations professionnelles, de manière à assurer la coordination avec les activités de celles-ci. Priorité sera donnée à cette formation continue et prioritaire, mais on s'efforcera de favoriser le transfert des connaissances vers les écoles professionnelles et les Hautes Ecoles.

Toutes les actions du programme RAVEL seront accompagnées de campagnes d'information. Il est essentiel que les spécialistes, les investisseurs et les décideurs, les hommes du métier à tous les niveaux, de même que les exploitants, les utilisateurs et le personnel de maintenance soient tenus au courant des possibilités d'économiser l'électricité, de façon à la fois simple et convaincante.

Notre souhait

Nous souhaitons que le programme RAVEL et ses travaux mettent au jour une multitude d'idées, de techniques, de méthodes ainsi que beaucoup de savoir-faire. Ces résultats devraient encourager l'économie de notre pays à innover et à développer de nouveaux produits.

Nous espérons aussi que la coordination avec des projets similaires en Suisse et à l'étranger conduira à une efficacité accrue de tous les efforts pour parvenir à une utilisation intelligente de l'énergie électrique.

Le coin de la rédaction

Point final

Impasse nucléaire et eau trouble

Il y a longtemps que le débat sur l'application pacifique de l'industrie nucléaire s'est égaré dans une direction où les arguments logiques sont privés de toute audience. Cette dérive était-elle prévisible dès l'euphorie de « L'atome pour la paix », cette grande manifestation de confiance envers l'énergie nucléaire, il y a une trentaine d'années dans notre pays ?

La polémique est trop actuelle pour faire l'objet des études d'historiens neutres et objectifs : on ne peut que constater l'échec de ceux qui – comme le professeur Morf dans ces colonnes² – en ont appelé à un dialogue constructif et serein.

Pire : même les scientifiques se laissent emporter par la passion (dont on veut bien admettre qu'elle est issue de convictions sincères, mais qui ne saurait excuser les excès de langage). C'est ainsi qu'on a lu sous la plume d'un mathématicien ayant accédé à des responsabilités exécutives – titres officiels à l'appui – un credo en faveur des combustibles fossiles³, puis l'affirmation – toujours du haut de sa fonction de magistrat – péremptoire que la majorité des citoyens vaudois (du moins des 30% qui ont daigné se rendre aux urnes) ont succombé à la campagne mensongère des pronucléaires³.

Je ne conteste à personne le droit d'exprimer son avis vigoureusement, mais j'estime que la crédibilité doit être le souci de chacun. Il est exact que l'acceptation des initiatives antinucléaires vaudoises, à propos desquelles on a pu lire les déclarations mentionnées, n'aurait pas signifié une apocalypse énergétique dans le canton, comme nous l'ont prédit certains. Il est tout aussi exact que l'impact quotidien provoqué par le recours – prépondérant dans notre pays – au pétrole ne permet pas de voir dans ce vecteur un substitut écologique au nucléaire.

L'observation objective de ce qui se passe sur notre planète dans le domaine des ressources naturelles convainc que la focalisation des passions sur le seul domaine du nucléaire nous mène à une impasse funeste. Quelle que soit l'ampleur des conséquences d'une catastrophe nucléaire, elles ne sont pas pires que celles pouvant résulter de la destruction de l'atmosphère terrestre ou du cycle de l'eau, soit la fin de la vie sur la Terre. D'où mon regret que l'électeur vaudois, fatigué du débat nucléaire, ne se soit pas davantage senti motivé par la protection de la Venoge, quelle que soit son option à ce sujet. Plus de deux tiers de nos concitoyens se moqueraient-ils autant de la santé de nos cours d'eau que des risques liés à l'énergie nucléaire ?

Jean-Pierre Weibel

¹ IAS N° 22 du 19 octobre 1988.

² Lettre de lecteur dans 24 Heures du 5 juin 1990.

³ Interview dans 24 Heures du 11 juin 1990.