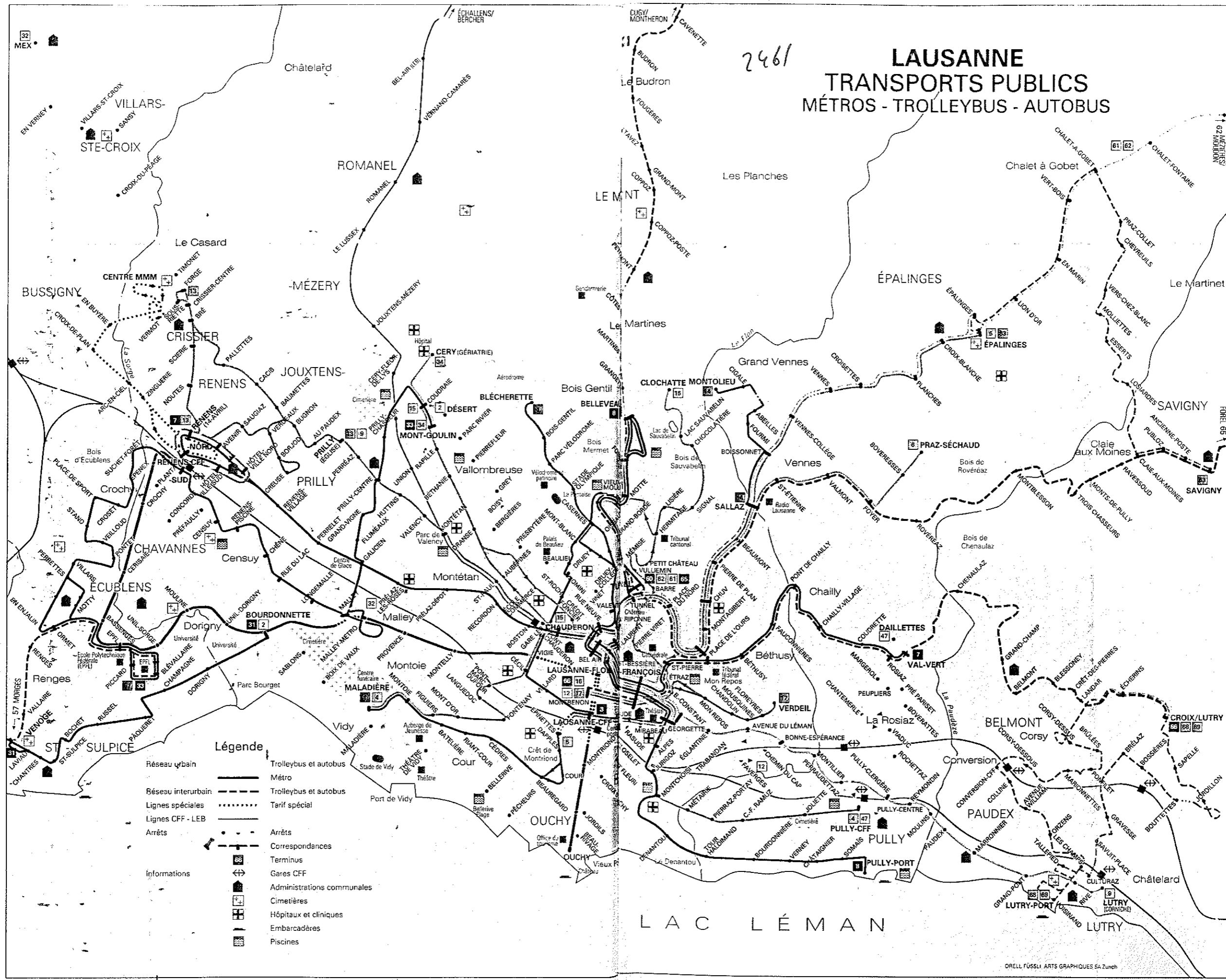


**LAUSANNE
TRANSPORTS PUBLICS
MÉTROS - TROLLEYBUS - AUTOBUS**

246



Un métro léger pour le Sud-Ouest lausannois

2461

Choix d'une solution

PAR LE PROFESSEUR EPFL
PHILIPPE BOVY
INSTITUT DES TRANSPORTS
ET DE PLANIFICATION

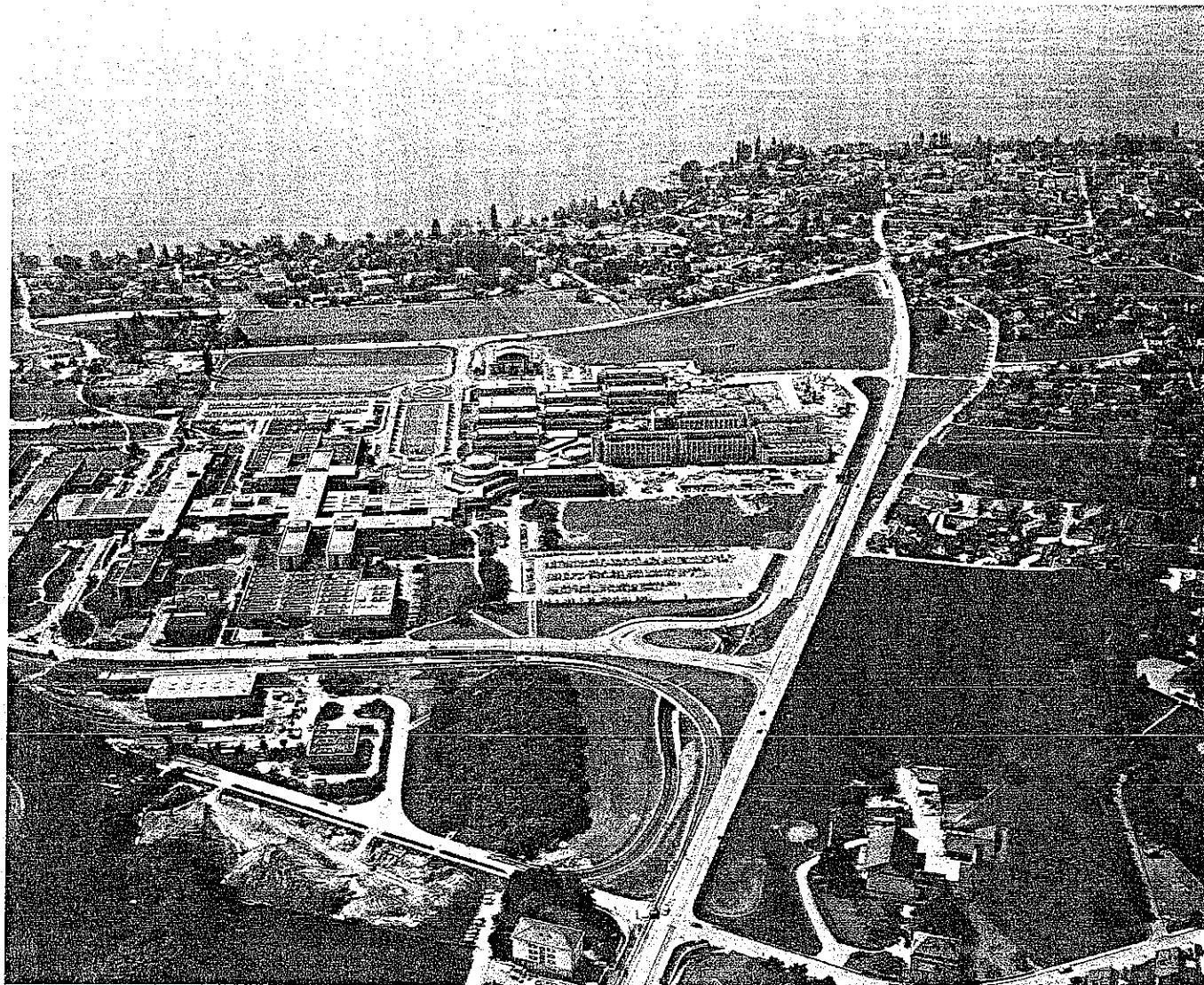
La conception du tramway du Sud-Ouest lausannois a débuté en février 1983, immédiatement après le vote d'un crédit d'étude par le Grand Conseil du canton de Vaud. En moins d'une année, la première phase d'étude a permis de passer en revue l'ensemble des possibilités de renforcement des transports collectifs dans le Sud-Ouest lausannois et d'esquisser des solutions prometteuses.

Le problème et les objectifs

La région lausannoise et tout particulièrement son secteur sud-ouest connaissent depuis deux décennies une mutation fondamentale : le transfert des Hautes Ecoles lausannoises (Université de Lausanne et Ecole polytechnique 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'aït connu la région et un regroupement qui touchera, vers 1995, un effectif de 12 000 à 14 000 personnes. Les territoires voisins de Chavannes-près-Renens, d'Ecublens et de 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), enregistrent 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 entreprendre 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. Cet objectif mettait 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.



EPFL : vue aérienne, mai 1990.

(Photo Germond, Lausanne.)

Renforcer les transports collectifs

Les analyses ont montré que le renforcement des transports collectifs était une nécessité vitale non seulement pour les usagers futurs de ces transports, mais aussi pour l'ensemble des usagers et tout particulièrement ceux qui utilisent la voiture particulière. En effet, le maintien du statu quo des transports collectifs aurait conduit à un accroissement excessif 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.

La congestion automobile n'épargne d'ailleurs pas les transports collectifs par autobus ou trolleybus, très sensibles aux encombrements de circulation, puisqu'ils empruntent les mêmes routes. L'adaptation du réseau routier apparaissant comme coûteuse et très aléatoire, la mise en place d'un système de transport collectif, efficace et attrayant même pour l'automobiliste, était la seule solution valable et réaliste pour ce secteur.

Première phase d'étude: les moyens de transports possibles

L'étude s'est appuyée sur la 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'eventail complet des solutions techniquement imaginables. Les treize solutions ainsi envisagées ont été regroupées en quatre familles comme l'indique le tableau A. Il s'agit :

- des transports collectifs routiers,
- des transports collectifs guidés,
- des transports collectifs automatiques guidés (fig. 1),
- des transports ferroviaires.

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 centré 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.

L'étude des variantes

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

- 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 onze des treize solutions envisagées initialement, pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

- incompatibilité avec les objectifs fixés par le Conseil d'Etat,
- coûts excessifs (investissement ou exploitation),
- accumulation de difficultés techniques,
- fiabilité d'exploitation incertaine,
- technologies non éprouvées en exploitation commerciale,
- mauvaise qualité de desserte de la population du secteur,
- problèmes majeurs d'insertion urbanistique.

L'information et la consultation

En accord avec les autorités cantonales et communales, une procédure dyna-

Eventail des solutions examinées.

Nº	Solutions examinées	Itinéraire de la principale liaison
	Transports collectifs routiers	
1	Axe fort bus	Flon/Sud-Ouest
2	Axe fort trolleybus	Flon/Sud-Ouest
	Transports collectifs guidés	
3	Tramway (métro léger)	Flon/Ecublens
4	Tramway (métro léger)	Flon/Sud-Ouest/Renens
	Transports automatiques guidés	
5	Métro aérien suspendu (H-Bahn)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
6	Métro aérien à SM ¹ (M-Bahn)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
7	Métro aérien à SM ¹ (M-Bahn)	Flon/Ecublens
8	Métro aérien à SM ¹ (M-Bahn)	Flon/Sud-Ouest/Renens
9	Métro aérien (monorail)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
10	Métro aérien suspendu (aérobus)	Flon/Hautes écoles (TT) ²
	Transports utilisant le réseau CFF	
11	Navette ferroviaire	Lausanne CFF/Hautes écoles
12	Navette ferroviaire + système hybride ³	Flon/Renens
13	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».

mique 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, des associations et des groupes de citoyens intéressés par le développement du projet. Cette opération a été fructueuse, car elle a permis de prendre en compte des aspects qui échappent généralement à une démarche de caractère «technocratique».

Les solutions retenues

Les deux solutions retenues (cf. tabl. B), dont l'ossature est constituée par une ligne nouvelle, satisfont toutes deux aux objectifs visés :

- l'axe fort trolleybus (trolleybus circulant sur une ligne dotée de couloirs réservés),
- le tramway (métro léger).

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 de la congestion croissante du réseau routier.

Deuxième phase d'étude: l'avant-projet du métro léger

A l'achèvement de la première phase d'étude en décembre 1983, le Département des travaux publics lance une large information et une consultation officielle auprès des instances communales et régionales, des administrations et entreprises de transports publics ainsi qu'auprès d'associations économiques et d'usagers.

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 évi-

dence une quasi-unanimité en faveur d'un tracé allant de Lausanne à la gare CFF de Renens ainsi que pour la répartition des stations desservant très largement les communes (onze stations) ainsi que les Hautes Ecoles (quatre stations).

Parmi les nombreuses remarques et suggestions faites, voici celles qui ont été le plus souvent citées:

- obtenir que certains trains directs s'arrêtent à Renens pour améliorer les liaisons du Sud-Ouest lausannois et des Hautes Ecoles 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 d'échange aux abords de certaines stations, notamment à proximité de jonctions d'autoroute,
- permettre l'extension éventuelle du système de «tramway moderne» pour un horizon plus lointain,
- effectuer une étude globale des transports lausannois.

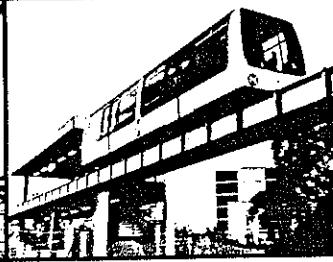
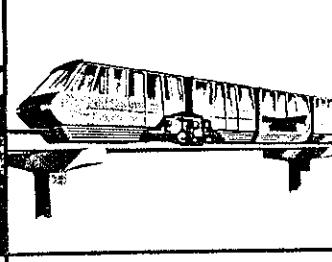
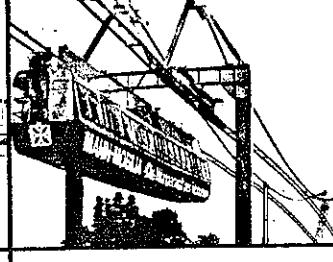
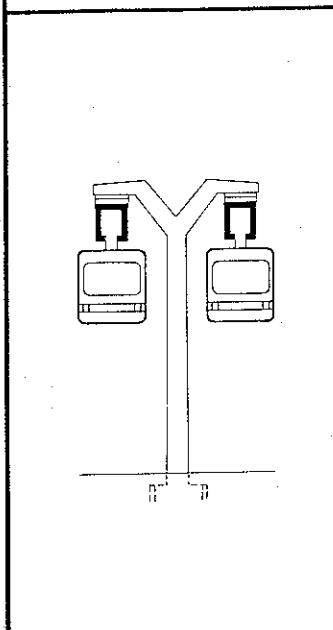
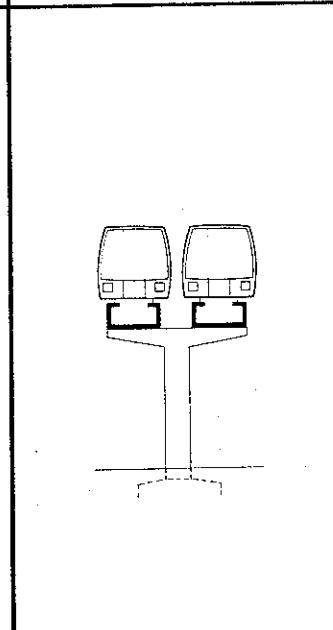
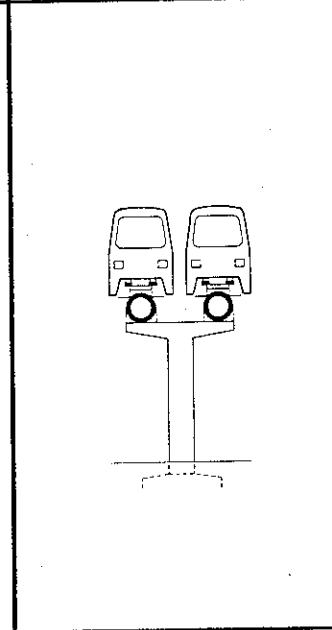
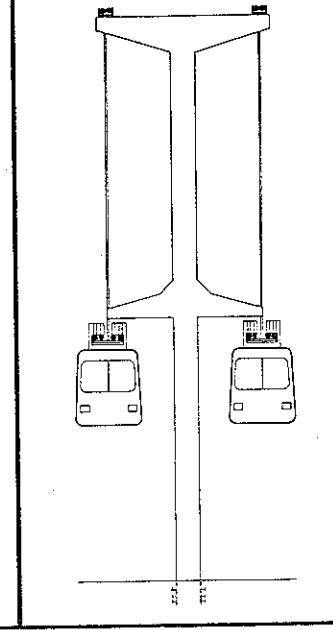
Sur cette base, le Conseil d'Etat du canton de Vaud décide, en mai 1984, d'engager la deuxième phase d'étude sur la solution «préférentielle» uniquement: le tramway moderne ou métro léger.

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. (Constataction faite en 1989 et toujours valable en 1991.)

			
Siemens AG/Düwag AG Allemagne	Magnetbahn GmbH AEG-Telefunken Allemagne	Von Roll-Habegger AG Suisse	Aerobus Engineering LTD ACMV Suisse
H-BAHN	M-BAHN	MONORAIL	AEROBUS
			

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

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 cinquante séances d'information et de consultation ont été conduites pour améliorer le projet, expliquer ses orientations et caractéristiques ainsi que pour assurer sa promotion et son succès.

Six avantages du métro léger

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.

1. La vitesse

Le tramway moderne peut atteindre une vitesse de pointe allant jusqu'à 60 km/h. Sa vitesse commerciale moyenne est de 26 km/h, c'est-à-dire de 60 à 70% supérieure à celle 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 19 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.

2. La 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.

3. La 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.

4. La 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.

5. Le 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, comme c'est le cas dans les métros. D'ailleurs, la notion de « métro léger » découle directement de cette caractéristique : c'est un tramway moderne avec des quais hauts permettant d'accéder à niveau dans les rames.

6. La 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. Aucun système de transport ne peut garantir une sécurité absolue. Les tramways et métros légers offrent un niveau de sécurité très élevé.

Le potentiel de transport

En 1984, 6,4 millions de voyageurs empruntaient les sept lignes des TL desservant le Sud-Ouest lausannois et les 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.

Le Métro-Ouest permet le transport de 25 000 à 35 000 personnes par jour durant les périodes de cours universitaires. Compte tenu de la capacité élevée des convois, une cadence de 10

Présentation comparative des deux solutions retenues.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES	AXE FORT TROLLEYBUS	TRAMWAY (METRO LEGER)
LIGNE PRINCIPALE	<ul style="list-style-type: none"> Ligne de trolleybus articulés Flon - boucle réversible Sud-Ouest (6.75 km) Ligne d'autobus articulés Lausanne CFF - boucle réversible Sud-Ouest (6.45 km) 	<ul style="list-style-type: none"> Ligne de tramway Flon-Sud Ouest-Renens-CFF (7.8 km) Ligne d'autobus articulés Lausanne CFF - Vidy (2.6 km) avec liaison aux Hautes Ecoles durant les périodes de pointe.
LIGNE SECONDAIRE		
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). Régulation coordonnée transport public / trafic routier de 13 carrefours principaux. 	<ul style="list-style-type: none"> Création d'une ligne à simple voie (à 95 % en site propre) comportant 11 stations de croisement Régulation coordonnée tramway / trafic routier de 4 carrefours principaux
DISPOSITIF DE RÉGULATION		
TERMINAUX et STATIONS DE LA LIGNE PRINCIPALE	<ul style="list-style-type: none"> Aménagement d'un terminal routier sur la Place du Flon Aménagement de 14 stations dont 3 pour les Hautes Ecoles 	<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. 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"> durée du parcours fréquence ligne principale fréquence ligne secondaire 	<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"> durée du parcours fréquence 	<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 (anciennement 2000 voy./sens)	Axe principal Axe secondaire Total	Axe principal Axe secondaire Total
- pointe du matin	2000 900 2900	2800 400 3200
- journée	600 600 1200	1400 400 1800
- pointe du soir	1200 600 1800	2800 400 3200
ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS TOTAUX (1983) POUR L'AVANT-PROJET SOMMAIRE	36 millions de Fr.	129 millions de Fr.

¹ Cette estimation est obsolète puisque les TL ont très substantiellement restructuré leur réseau dans le Sud-Ouest lausannois pour tirer parti et compléter le MÉTRO OUEST.

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 supérieure en l'absence d'un étalement des horaires de cours académiques.

Toutefois, avant de songer à un quelconque accroissement de capacité de la ligne, il importera de mieux gérer l'hyperpointe de trafic (la totalité des facultés et des départements de l'EPFL ont des cours qui commencent à la même heure) afin d'éviter un surdimensionnement coûteux du Métro-Ouest.

La protection de l'environnement

Moyen de transport à vocation typiquement urbaine, le tramway est 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 globale positive. En effet, les impacts sont soit négligeables, soit de faible importance par rapport aux avantages manifestes découlant de ce projet.

En effet, la mise en place d'une capacité de transport par d'autres moyens, tels que l'automobile ou même les transports publics routiers, aurait entraîné des aménagements et un fonctionnement nettement moins favorables pour l'environnement. Sans être révolutionnaire, la technologie éprouvée du métro léger s'inscrit dans l'évolution des moyens de déplacement d'avenir pour des secteurs à moyenne densité d'activités tels que le Sud-Ouest lausannois.

Réponses aux questions le plus souvent posées

Même si l'étude du TSOL a été fortement axée sur l'information et la con-

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.



A l'instar de la Bourdonnette, dix autres stations sont à double voie.

sultation – plus de 120 séances ont eu lieu – l'un des « pères du TSOL » est souvent confronté aux deux questions :

- pourquoi n'avoir pas construit une ligne à double voie ?
- pourquoi avoir toléré des passages à niveau ?

a) Pourquoi pas la double voie partout ?

La double voie est toujours préférable à la simple voie. Dans le cas du Sud-Ouest lausannois, le problème posé était celui de l'insertion de la ligne dans un territoire complexe, déjà très construit par endroits et à topographie mouvementée sur près de la moitié du tracé de la ligne (déclivité maximale de 60%). Vouloir réaliser la double voie aurait considérablement accru le coût de l'opération avec le risque évident d'échec et de non-réalisation du projet. Trois ou quatre stations à double voie

sont indispensables pour assurer les possibilités de croisement des rames. Toutefois, pour assurer la meilleure souplesse d'exploitation possible, il a été décidé d'aménager des stations de croisement partout où cela était faisable sans compromettre le projet. Ainsi, sur cette ligne à simple voie, 11 stations sur 15 sont à double voie.

b) Pourquoi des passages à niveau ?

Question très délicate, car là aussi la réalisation d'un projet est l'art du possible. L'idéal aurait été de pouvoir déniveler la totalité du tracé pour éviter tout passage à niveau. Cette exigence aurait elle aussi entraîné des coûts prohibitifs conduisant à l'échec du projet. Pour comprendre la position des auteurs du projet, il faut se rendre compte des problèmes majeurs soulevés par le passage en dénivelé du TSOL :



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

- le tracé en souterrain coûte excessivement cher, et doit être réservé à des tronçons de la ligne où il est absolument impossible de passer autrement;
- le tracé aérien pose des problèmes d'insertion urbanistique et esthétique quasiment insolubles; en effet, on constate que le passage d'un transport au premier étage des bâtiments n'est pas acceptable en Suisse.

Le cas du TSOL n'est pas particulier. Si le tramway moderne dispose de sites protégés beaucoup plus importants qu'un tramway traditionnel, il comporte néanmoins des intersections et passages à niveau. C'est notamment le cas du tramway d'Utrecht à quais hauts qui a beaucoup inspiré la conception du TSOL, mais aussi des tramways modernes de Nantes ou de Grenoble. D'ailleurs, si l'exigence de la suppression totale de passages à niveau était considérée comme une contrainte absolue, les excellents réseaux de tramways de Bâle, Berne et Zurich devraient immédiatement arrêter leur exploitation. Dans le cas lausannois, la ligne du TSOL a été conçue de façon à ne jamais couper un carrefour en diagonale, mais sur un des côtés seulement. Cela signifie que lorsqu'une branche d'un carrefour est temporairement bloquée par le passage du tramway, la circulation automobile peut s'écouler sur les autres branches du carrefour.

18

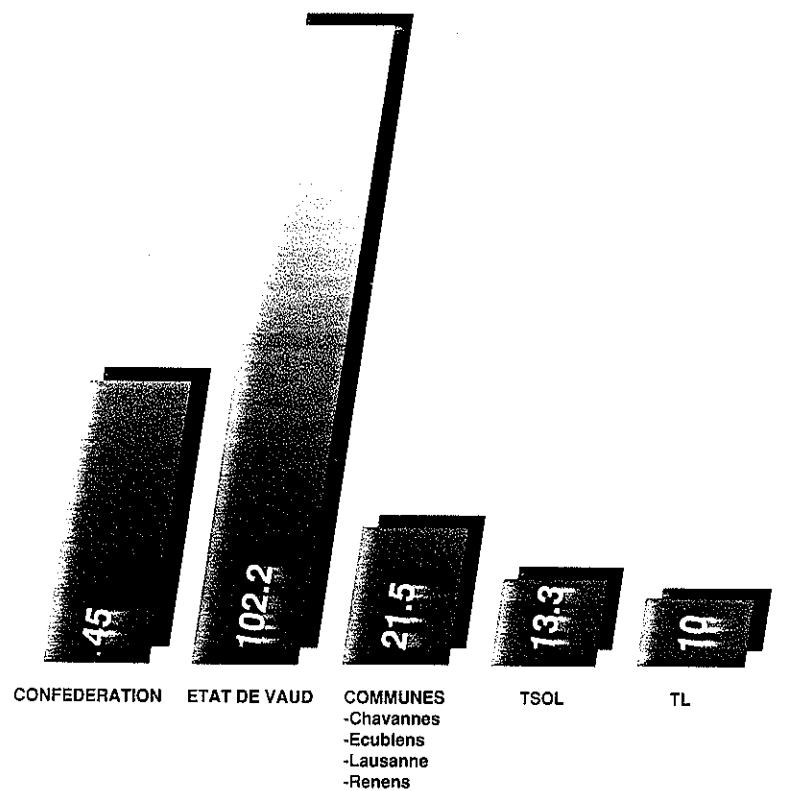
Le Métro-Ouest: une synergie politico-technique réussie

Le développement du projet Métro-Ouest est le fruit d'une intense collaboration entre les autorités politiques et les hommes de la technique. Les synergies dans l'effort des principaux acteurs ont permis de mener cette opération à bon port. C'est grâce à la volonté politique du Conseil d'Etat du canton de Vaud, tout particulièrement à celle du conseiller d'Etat Marcel Blanc, chef du Département des travaux publics, de l'aménagement et des transports, que ce projet a pu surmonter tous les obstacles politiques et financiers inhérents à une telle réalisation. C'est aussi grâce à la persévérance et à la ténacité de M. V. Krayenbühl, chef du Service des transports et du tourisme et délégué du maître de l'ouvrage, de M. J.-P. Kallenbach, directeur TL+Métro+TSOL, de M. Cl.-A. Guignet, chef de projet TSOL et à l'intervention majeure du Service des routes et autoroutes de l'Etat de Vaud en qualité de maître d'œuvre des infrastructures, que le Métro-Ouest a pu passer du stade d'avant-projet sommaire à celui d'une nouvelle ligne de transport au service des habitants et des activités du Sud-Ouest lausannois.

FINANCEMENT DU

"Metro Ouest"

COUT TOTAL : 192 MILLIONS



Financement – Charges par secteur.

<i>Libellés</i>	<i>Fr.</i>
Acquisitions de terrains, droits et indemnités, prestations en travaux	12 000 000.–
Infrastructure, ouvrages d'art, corps de la voie, stations, corrections routières, préparation des terrains, déplacements de conduites	91 610 000.–
Superstructure, ballast, rail, appareils de voie	9 820 000.–
Ateliers et dépôt	5 470 000.–
Installations de l'atelier et du dépôt	730 000.–
Installations pour la traction électrique, sous-stations et ligne aérienne	5 150 000.–
Installations de télécommunications et de sécurité, radio, installations de la sécurité ferroviaire et routière	9 820 000.–
Matériel roulant, 12 rames Bem 4/6, tracteur de manœuvre, matériel de réserve et d'entretien d'ascenseurs	39 350 000.–
Objets mobiliers	1 170 000.–
Elaboration du projet, direction des travaux	16 880 000.–
Total	192 000 000.–

Voyage au bout de la ligne

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.

Description du tracé

Secteur Flon-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.

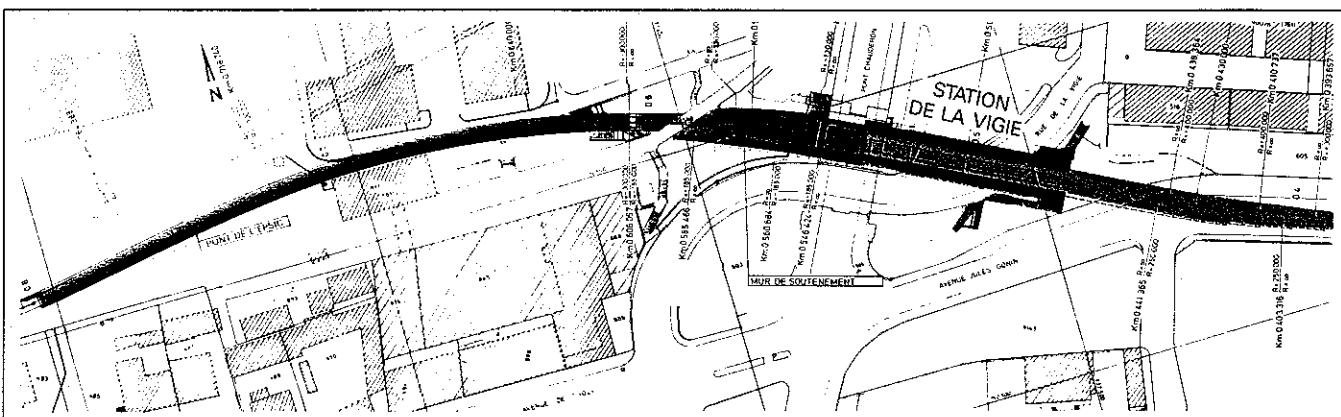
Le profil en long est projeté de manière que la passerelle pour piétons de l'EPSIC puisse être raccordée à la hauteur existante depuis le chemin piétonnier à l'est de l'imprimerie. Passé le pont de l'EPSIC, le tracé suit à flanc de coteau le talus des Côtes-de-Tivoli, ce qui a nécessité, compte tenu 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

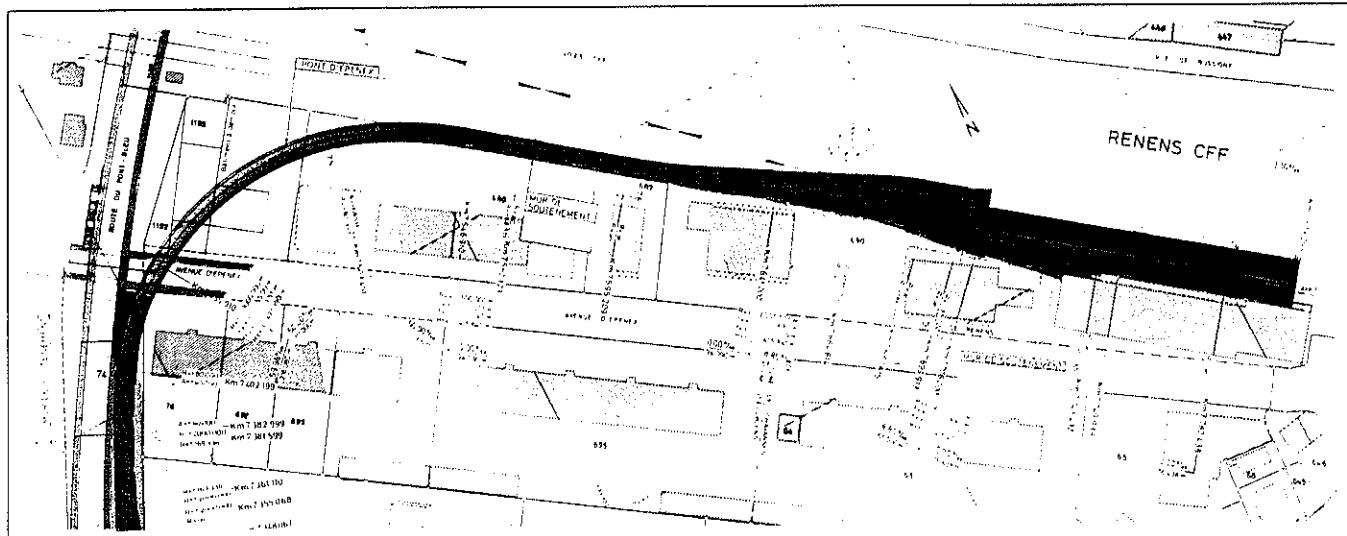
L'avenue de Sévelin, les voies CFF et l'accès à la zone industrielle de Sévelin (AMAG) sont traversés par le viaduc de Sévelin (227 m) à l'ouest duquel se trouve la station de Montelly. Le franchissement de ces voies a nécessité l'utilisation des valeurs limites des éléments du profil en long (déclivité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



Secteur Vige-EPSIC : plan de situation.



Secteur Epenex-Renens CFF: plan de situation.

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 est aménagé le futur terminus de la ligne de bus TL N° 2, c'est-à-dire qu'une interface est ainsi créée entre le Métro Ouest et le réseau TL. 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.

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

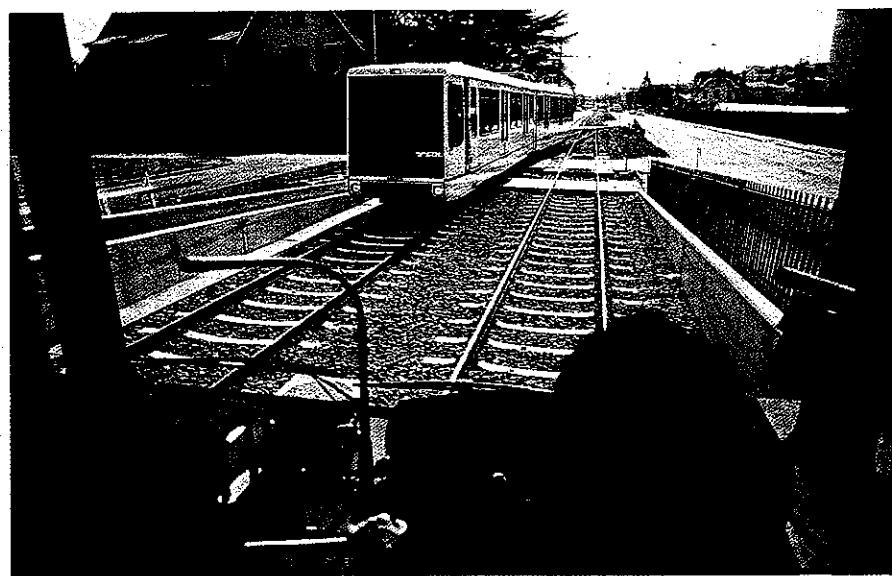
Dans ce secteur, la route de la Sorge est modifiée sur le tronçon allée Marguer-avenue du Tir-Fédéral (RC 82), dans le cadre de l'aménagement de l'EPFL.

Secteur EPFL-Renens 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, dévestitures 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 voûtement 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



Croisement sur le parcours longeant le Tir-Fédéral.

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.

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.

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 quai serait utilisé à la fois par les passagers du Métro Ouest et par ceux des CFF.

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.

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.

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 6 500 m², porte sur des parcelles privées qui, en très grande majorité, ne sont que marginalement touchées. Seuls deux bâtiments (dont un à l'intérieur 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 est d'environ 1 300 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 vœu 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

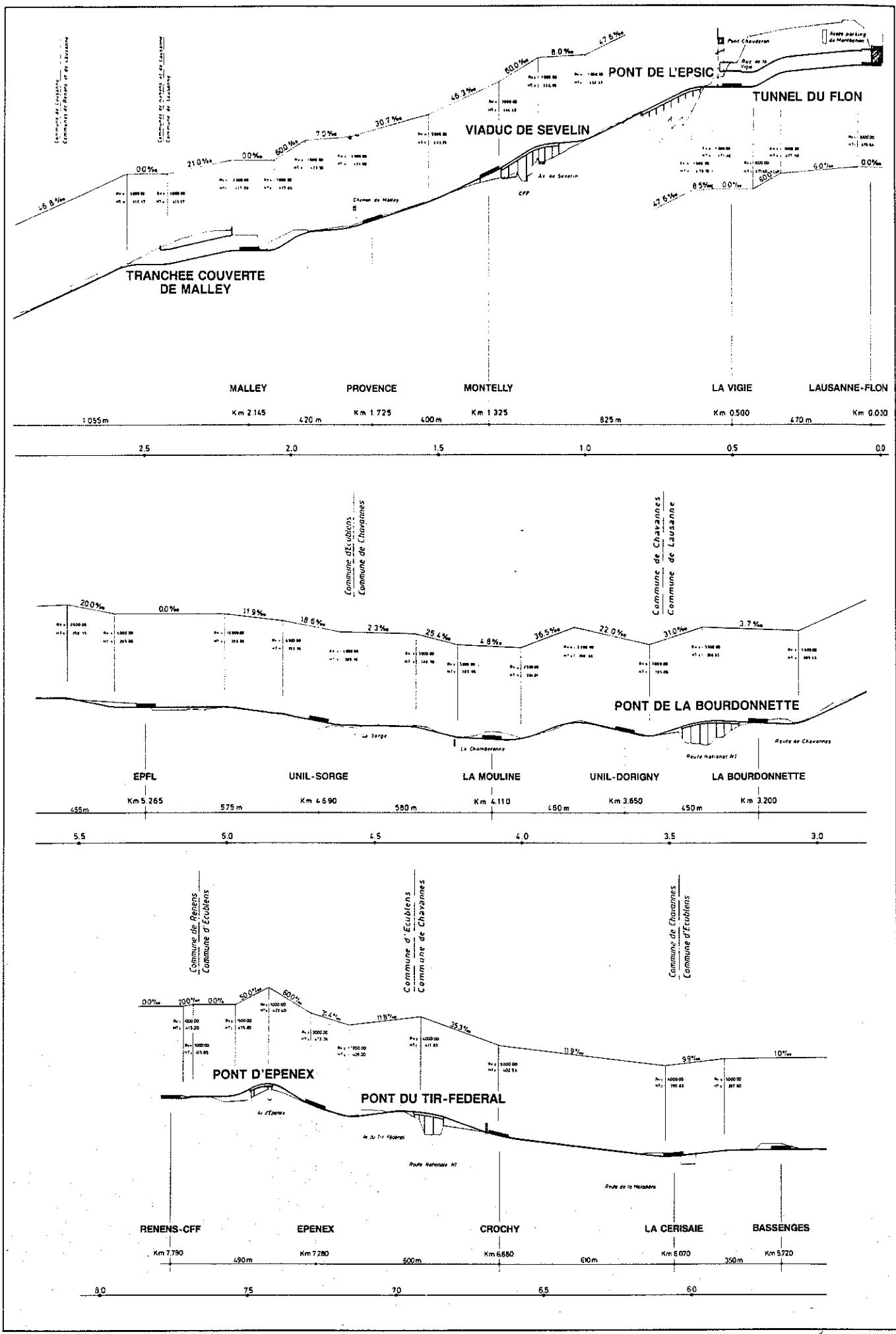
Les croisements les plus importants entre le Métro Ouest et la circulation routière se situent au niveau de quatre grands carrefours : La Bourdonnette, La Mouline, Le Pontet et La Concorde. Les études préliminaires de la régulation de ces carrefours ont montré que, compte tenu de la configuration de 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.

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 (cloître)	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



Les ouvrages du Métro Ouest

Aperçu

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 réalisés en forme d'auge en béton armé coulé sur place.

Ascenseurs

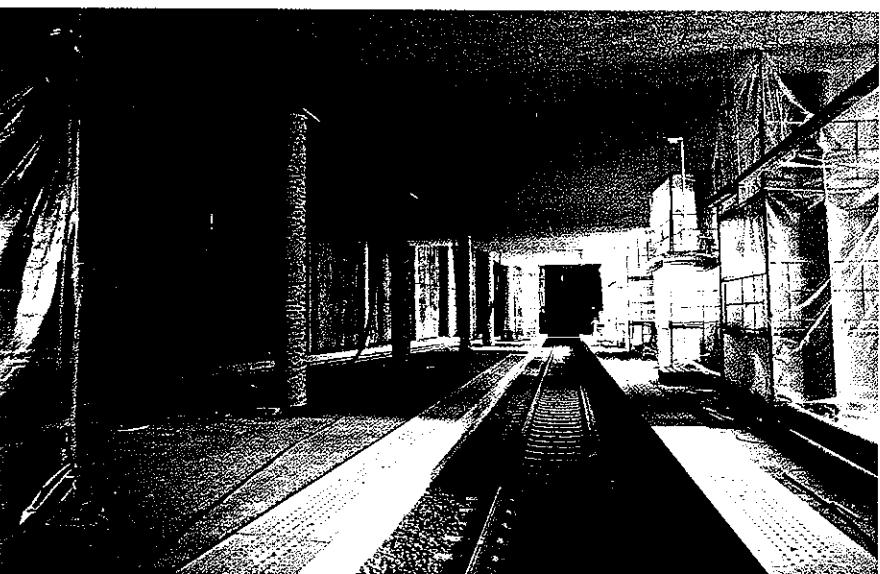
La station de La Vigie étant située quasiment sous le pont Chauderon, il est apparu nécessaire de les relier par un moyen mécanique accessible également aux handicapés en fauteuil roulant. Pour permettre au public de franchir cette importante différence de niveaux, une batterie de deux ascenseurs est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

Chacune des nacelles peut transporter 13 personnes à la fois et la capacité horaire des ascenseurs est d'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 contraste avec les volumes massifs du pont. Les éléments mobiles laissés délibérément apparents ont aussi la fonction d'un signal facile à repérer de loin.



La station de Montelly.



Station du Flon lors des travaux de finition.

Principaux ouvrages d'art du Métro Ouest.

<i>Position (km)</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Nom et descriptif</i>
(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
0,065	405 m	Tunnel du Flon Tunnel à l'axe sinueux en plan et en coupe et à profil variable, percé en soi 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 contreforts ancrés
0,603	194 m	Pont de l'EPSIC Ouvrage à sept travées, implanté dans un environnement construit dense
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
1,297	81 m	Station en pont de Montelly Station à deux voies en courbe; pont à cinq travées, fondé sur pieux
1,948	105 m	Trémie du chemin de la Prairie Ouvrage en forme d'auge asymétrique
2,114	81 m	Station couverte de Malley Station souterraine à deux voies en courbe
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

<i>Position (km)</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Nom et descriptif</i>
3,167	65 m	Station de La Bourdonnette Station à quai élevé, aménagée en interface avec futur terminus de trolleybus
3,260	196 m	Pont de La Bourdonnette Ouvrage préfabriqué à neuf travées au-dessus de l'autoroute, fondé sur pieux
4,940	50 m	Mur de soutènement EPFL-Sorge Mur fondé sur pieux et ancré dans le sol
6,838	108 m	Pont du Tir-Fédéral Ouvrage préfabriqué à cinq travées, passant en biais au-dessus de l'autoroute, fondé sur pieux
7,428	90 m	Pont d'Epenex Ouvrage à cinq travées en forte courbe

Aménagements du Métro Ouest.

<i>Nom et descriptif</i>
Infrastructure générale Aménagement de l'infrastructure sur toute la ligne en dehors des grands ouvrages d'art
Stations en surface Quais et rampes pour onze stations
Dépôt-atelier Halles d'entretien, de lavage et de visite journalière avec divers locaux techniques
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
Maître d'ouvrage : Office fédéral des constructions, bureau de construction EPFL, Lausanne

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.

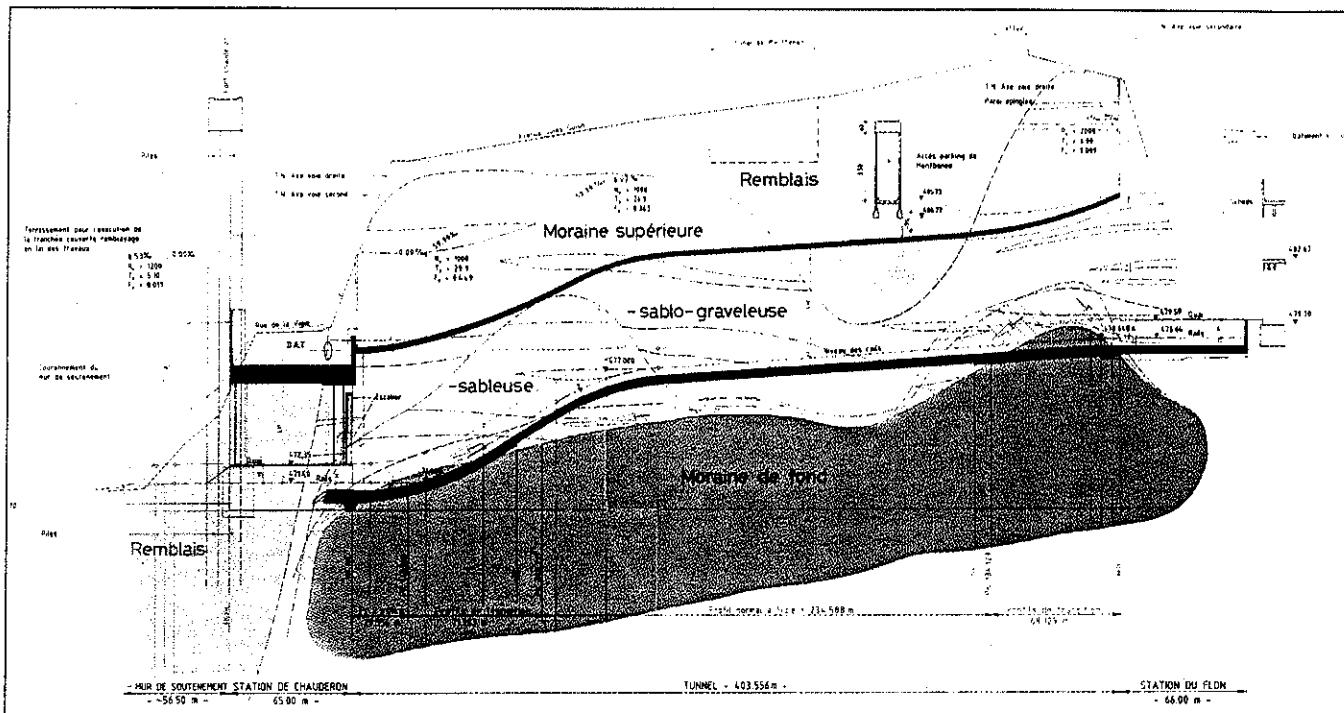
Géologie

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

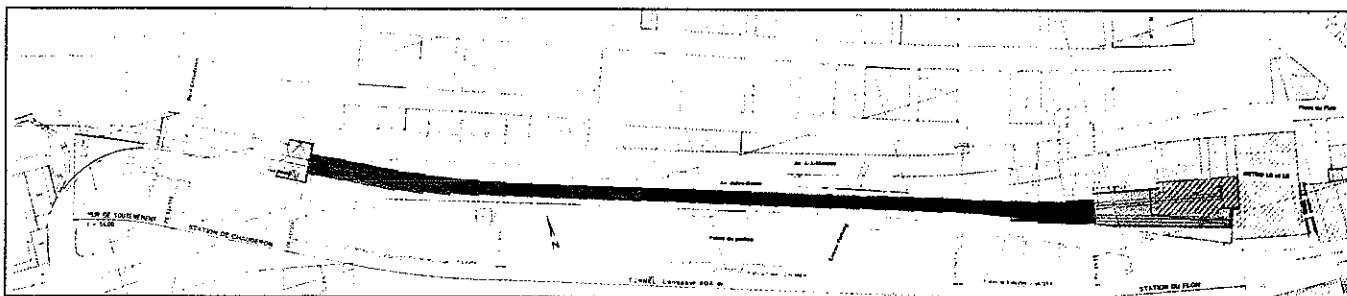
une moraine supérieure, de caractéristiques très différentes, en raison principalement de leur mode de dépôt.

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.



Tronçon Flon-Chauderon : profil en long géologique.



Tronçon Flon-Chauderon : plan de situation.

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

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

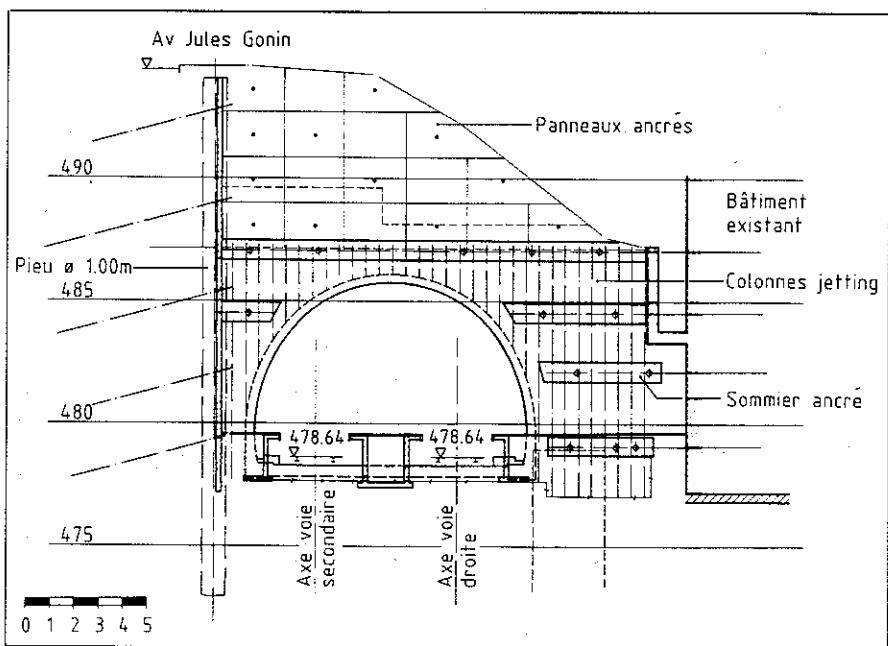
Au sein de cette moraine supérieure, on relève des niveaux ou lentilles de limon finement sableux, localement argileux, souvent gorgés d'eau.

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.

station à partir de l'avenue Jules-Gonin, des ouvrages de soutènement ont été réalisés tant au sud qu'à l'ouest. 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.

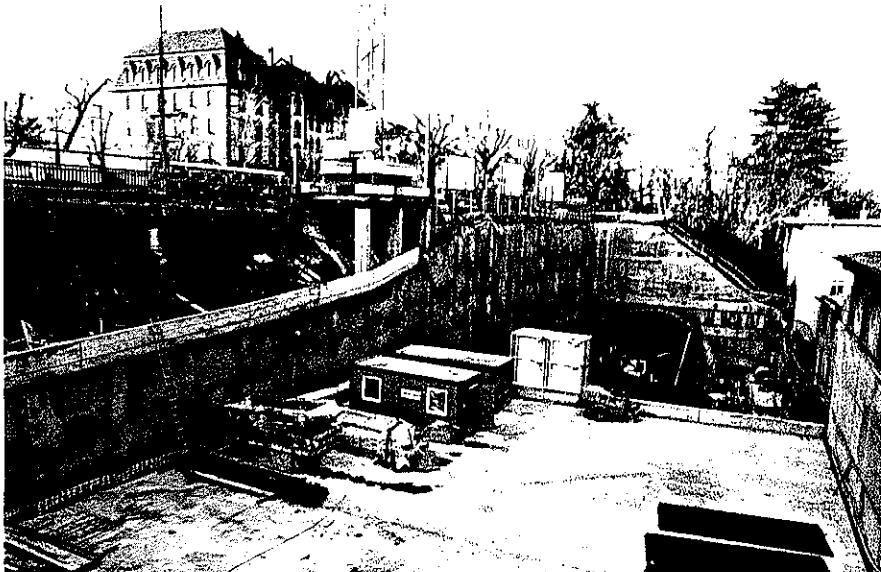
Situé sous l'avenue Jules-Gonin (hauteur de recouvrement : 6,00 à 9,00 m), il passe 1,00 m en dessous des fondations du tunnel d'accès au parking de Montbenon et à proximité immédiate de l'ancien Tribunal cantonal de Montbenon (axe du tunnel : 6,50 m au nord de la façade du bâtiment).

Station de Lausanne-Flon : paroi épingleée ouest.



Station de Lausanne-Flon

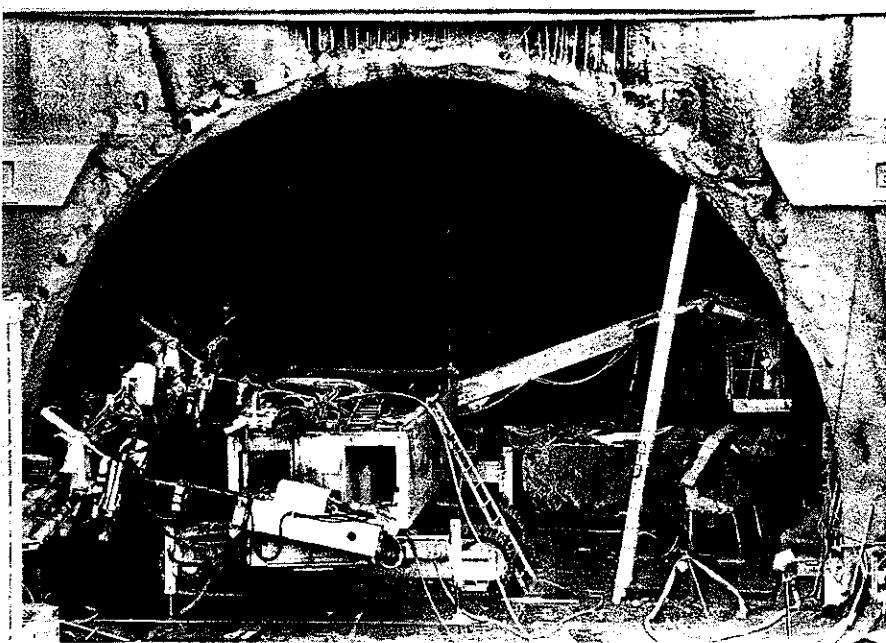
La station de Lausanne-Flon est une station à deux voies. D'une longueur de 74,00 m, elle est entièrement construite à ciel ouvert puis recouverte d'une dalle dont une partie est remblayée pour reconstituer le talus arborisé de la colline de Montbenon. Afin de permettre l'excavation de la



Station de Lausanne-Flon : paroi berlinoise et paroi épinglée ouest.



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



Tunnel du Flon : attaque Flon.

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.

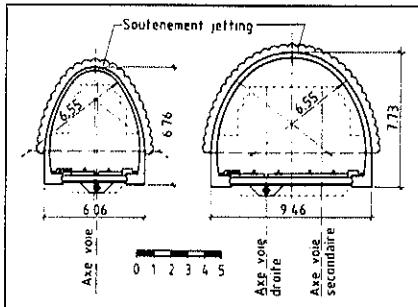
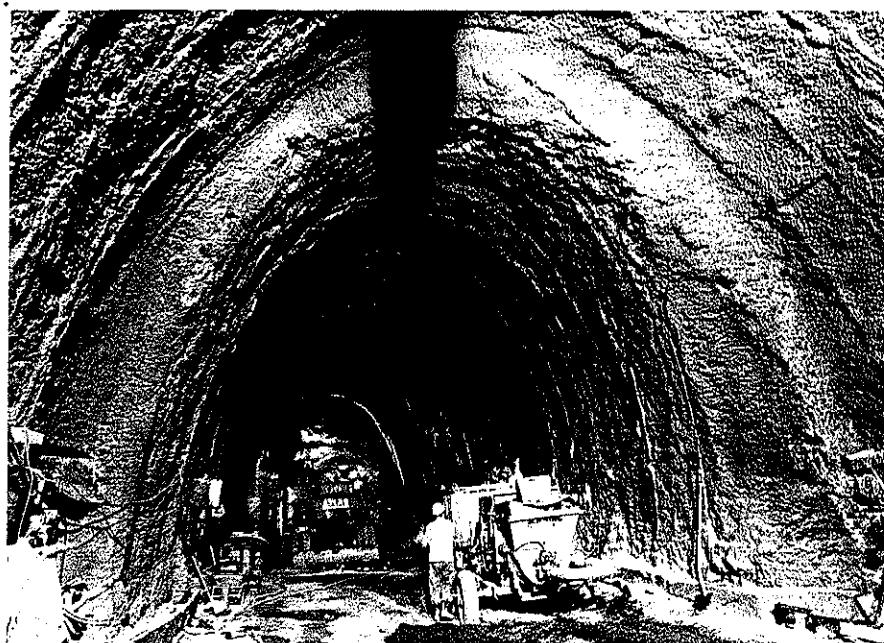
Le tunnel a été percé à partir de ses deux extrémités : en attaque descendante sur 69,00 m de longueur depuis la station de Lausanne-Flon et en attaque montante sur une longueur de 335,70 m depuis la station de La Vigie. Le creusement du tunnel est exécuté par étapes de 14,00 m de longueur comportant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

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.

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.

Georges Betschen
Ingénieur diplômé EPFZ/SIA
Bonnard & Gardel



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

Tunnel du Flon : attaque Chauderon.

Les aménagements et l'exploitation

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

**PAR CLAUDE-ALAIN GUINET
CHEF DE PROJET
MÉTRO OUEST,
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 sont 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 retour, 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 détermi-

nant 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 sont 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 publicitaires.

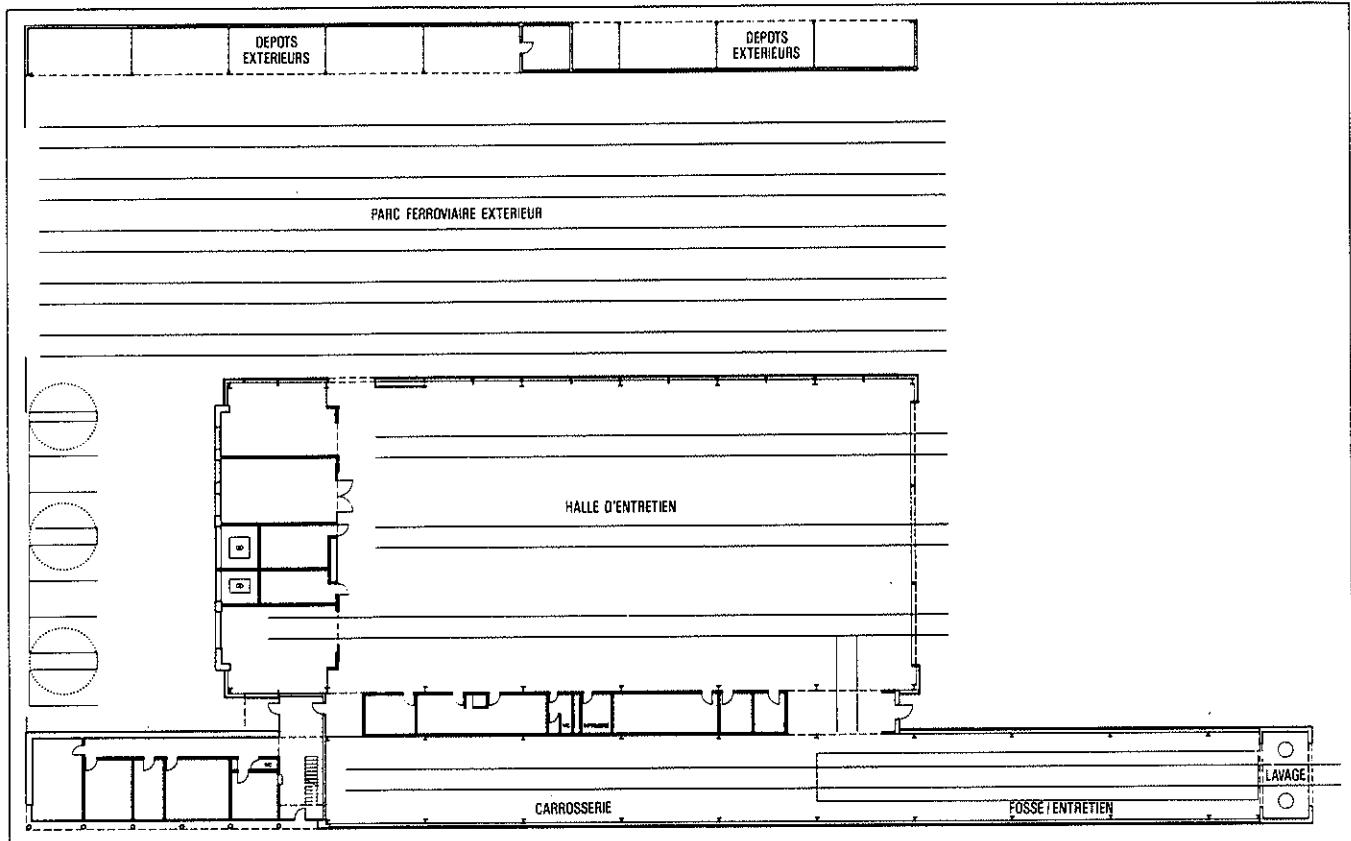
Toutes les lignes exploitées par les TL étant intégrées dans un système tarifaire unique, les automates à billets sont les mêmes que ceux que l'on trouve en ville.

Dépôt-atelier

Le Métro Ouest dispose d'un dépôt-atelier situé près de la station EPFL. Les automotrices y accèdent par un embranchement de la voie.

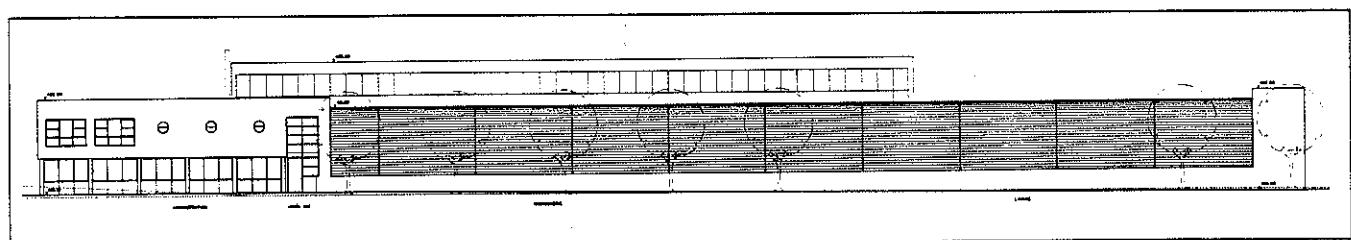
Mis en construction en février 1989 avec l'implantation des pieux, le dépôt est érigé sur un terrain d'environ 7000 m² mis à disposition par la Confédération, le bâtiment a une surface totale de 1960 m², pour un volume construit de 20 000 m³.

La 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.

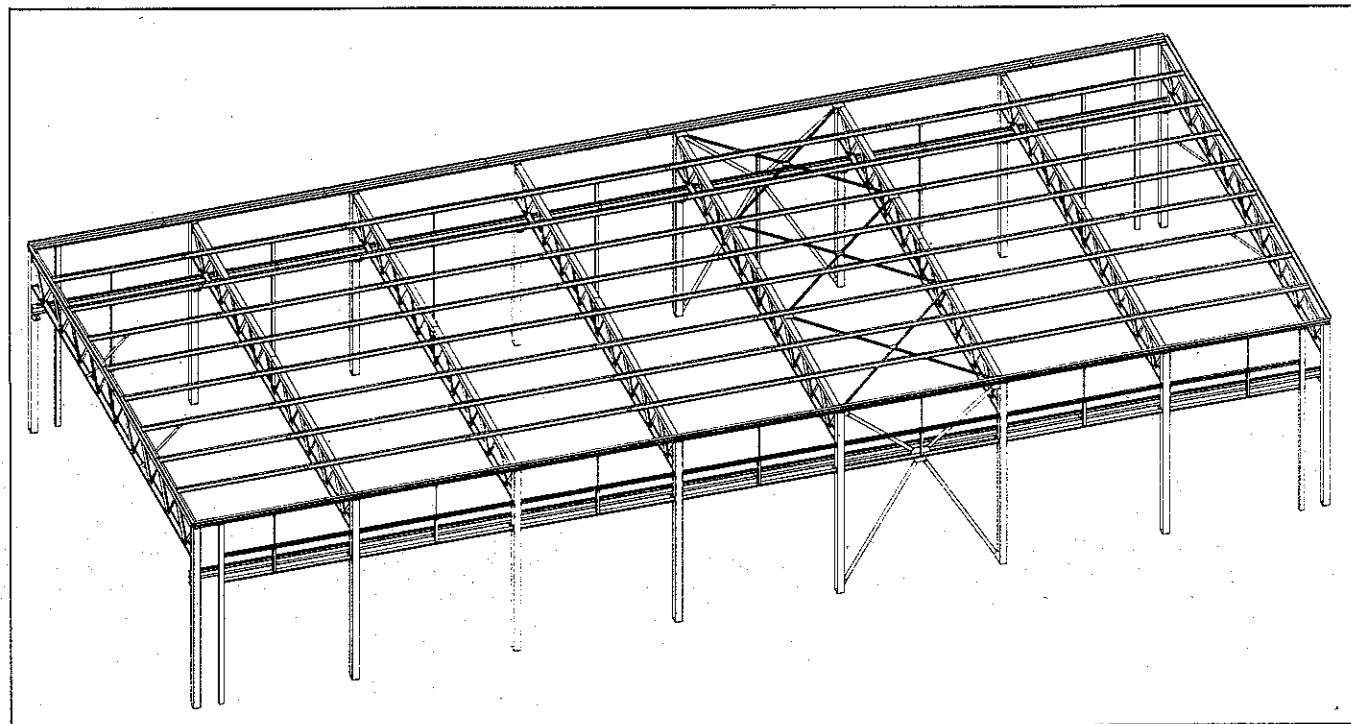


Dépôt-atelier: plan.

2 28



Dépôt-atelier: élévation façade sud.



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

Sur ces pieux reposent des longrines 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 aménagé 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.

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'extrémité 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.

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.

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

Alimentation

Le métro léger est conçu pour fonctionner avec une tension d'alimentation de 750 V en courant continu. Cette tension peut être tirée de la ligne de contact ou fournie partiellement (600 V) par le groupe de marche autonome à moteur Diesel à bord des auto-

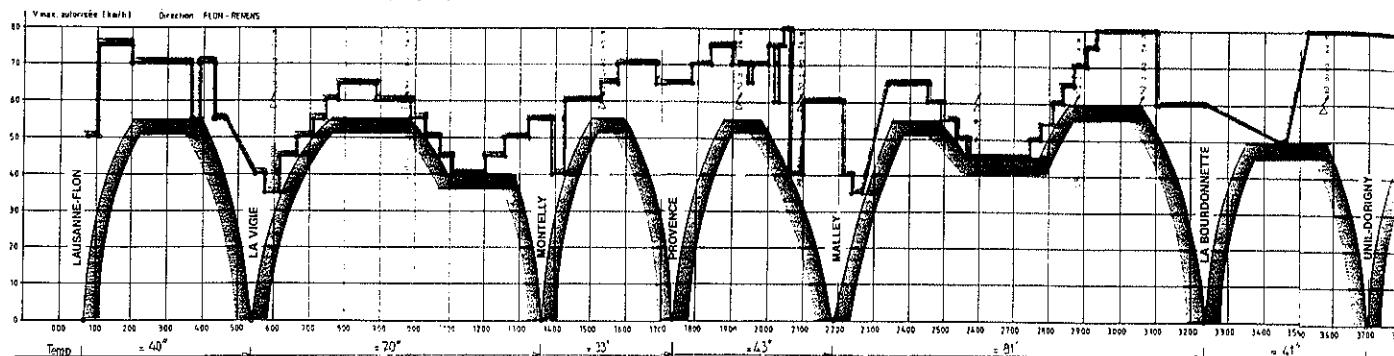
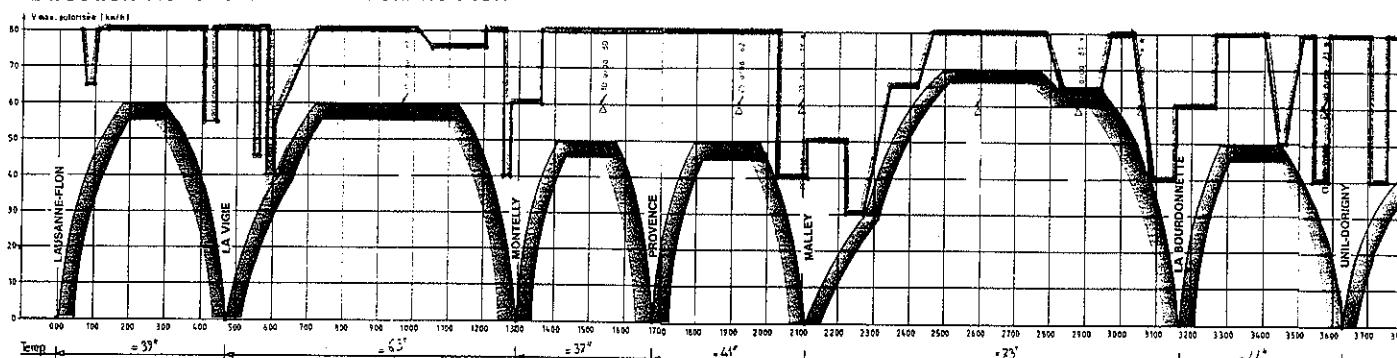


Dépôt-atelier: vue aérienne.

(Photo Germond, Lausanne.)



Le dépôt-atelier: vue de l'intérieur de la halle d'entretien.

Direction Lausanne-Flon — Renens-CFF**Direction Renens-CFF — Lausanne-Flon***Diagramme de marche.*

motrices. L'autonomie de marche de secours est d'une heure environ.

Sous-stations d'alimentation

La ligne dispose de 3 sous-stations de 1650 kVA chacune (situées à Montelly, à La Bourdonnette et à l'EPFL), dont la puissance peut être portée à 3300 kVA pendant 2 heures et triplée pendant 1 minute.

Par la suite, lorsque la cadence de la ligne sera portée de 10 à 7 minutes et demie, une quatrième installation similaire sera mise en place.

Ces sous-stations sont télécommun-

dées depuis le poste directeur de surveillance situé au dépôt. En cas de coupure d'alimentation, il est possible de connaître le point de disjonction (primaire ou secondaire) et l'on peut déclencher ou réenclencher à distance en cas de nécessité. En plus, un système de téléméasures permet 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).

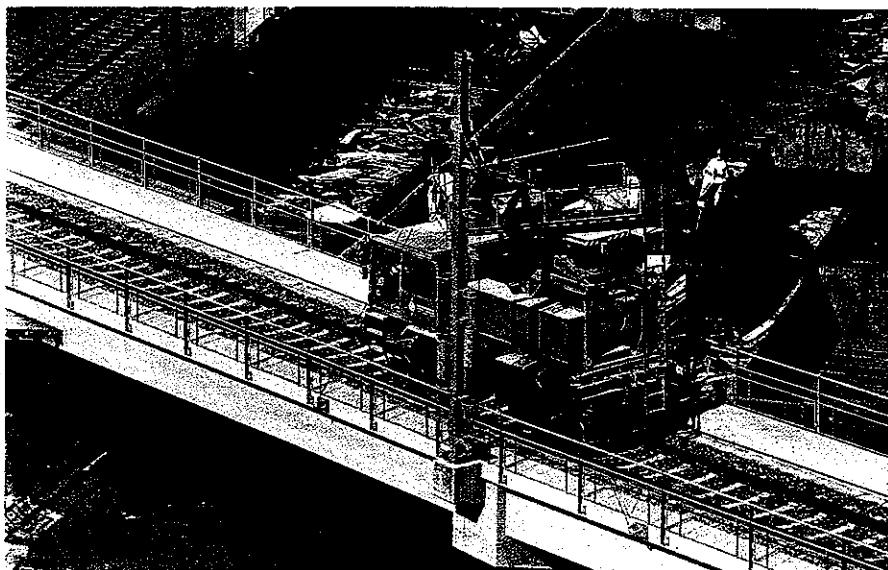
Ligne de contact

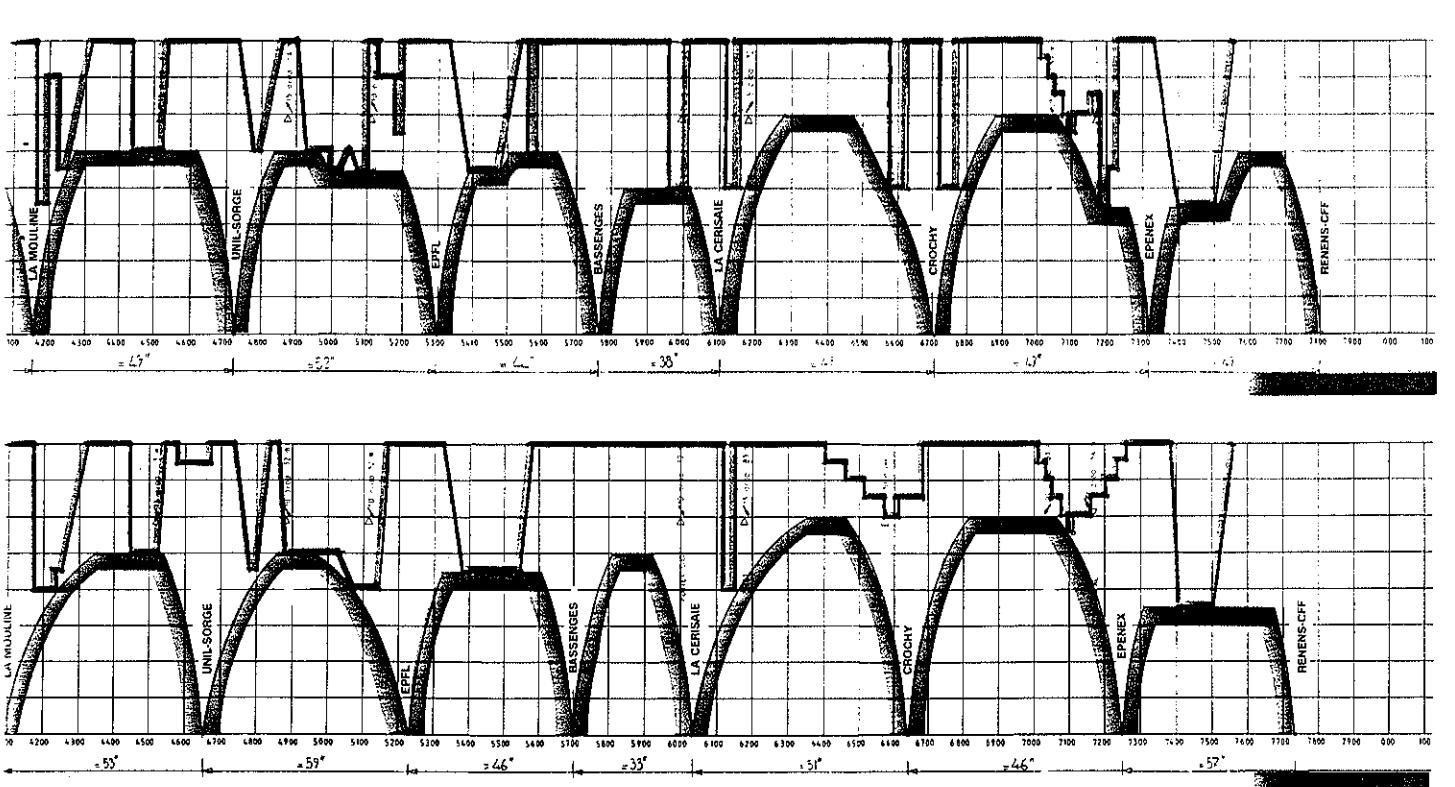
L'esthétique de la ligne a été un critère majeur de conception. Le système classique de caténaire ne pouvait donc convenir et le choix s'est porté sur la construction d'une ligne aérienne avec un seul fil de contact régularisé, tendu par des contrepoids et porté par environ 210 mâts. A chaque mât, le 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.

La légèreté physique de la ligne de contact, combinée avec l'utilisation de produits isolants nouveaux du type 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.

Exploitation

La nouvelle ligne, longue de 7800 m, relie 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 dessert 15 stations distantes de 557 m en moyenne dont 11 pour les

*Travaux d'installation de la ligne aérienne à Sévelin.*

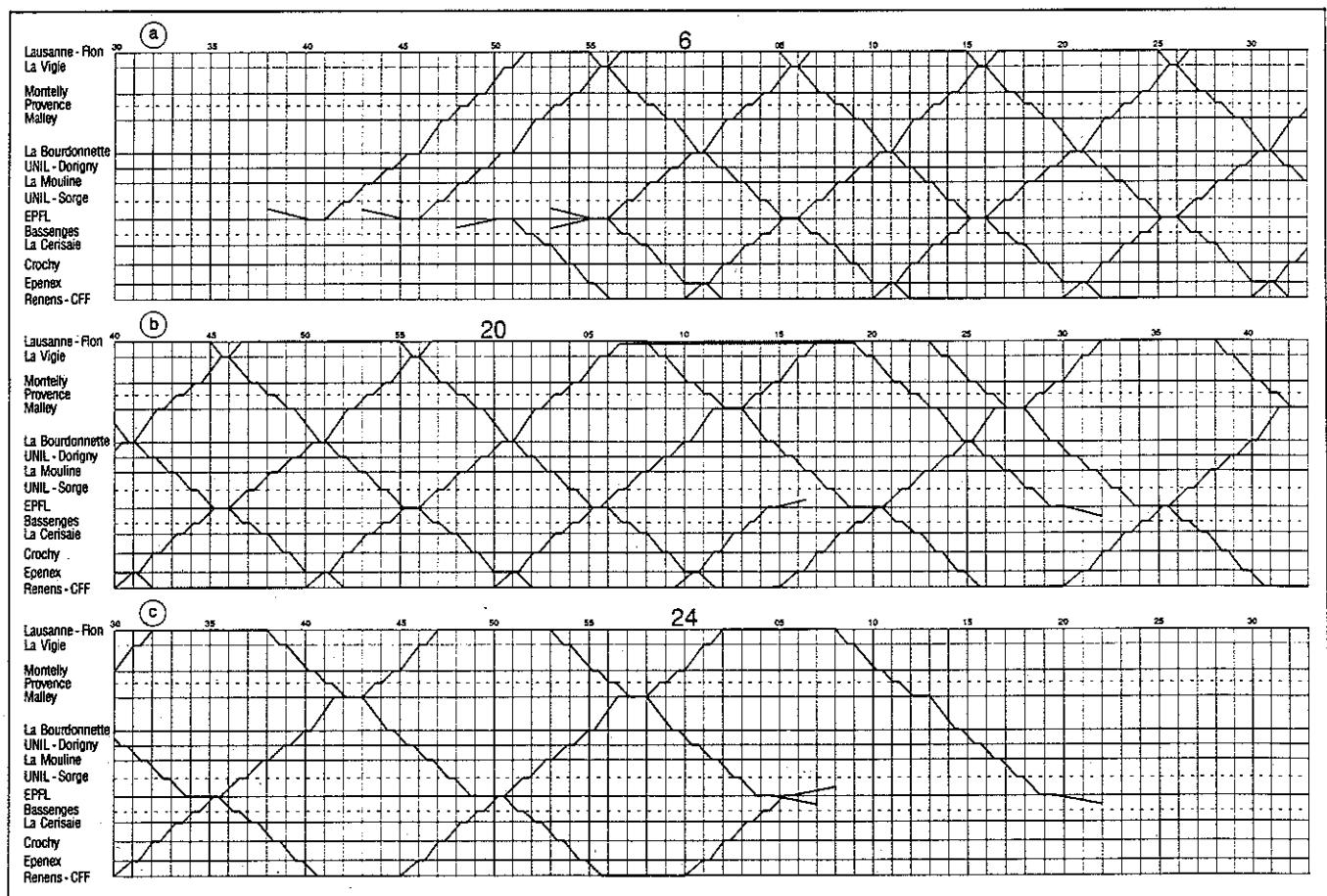


communes traversées et 4 pour les Hautes Ecoles. La durée du parcours est de 19 minutes, la vitesse commerciale de 26 km/h. C'est à l'aide d'automotrices articulées pouvant circuler en unités multiples

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 capa-

cité 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.

31



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.

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 est remanié afin d'assurer une charge optimale de la nouvelle ligne ferroviaire tout en minimisant le temps perdu pour les transbordements.

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 est installé. Une télécommande de type Domino ($3,2 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$) est construite dans le bâtiment du dépôt; elle permet d'agir sur l'ensemble des installations. Pour assurer un fonctionnement optimal en toutes circonstances, des batteries d'accumulateurs assurent 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.

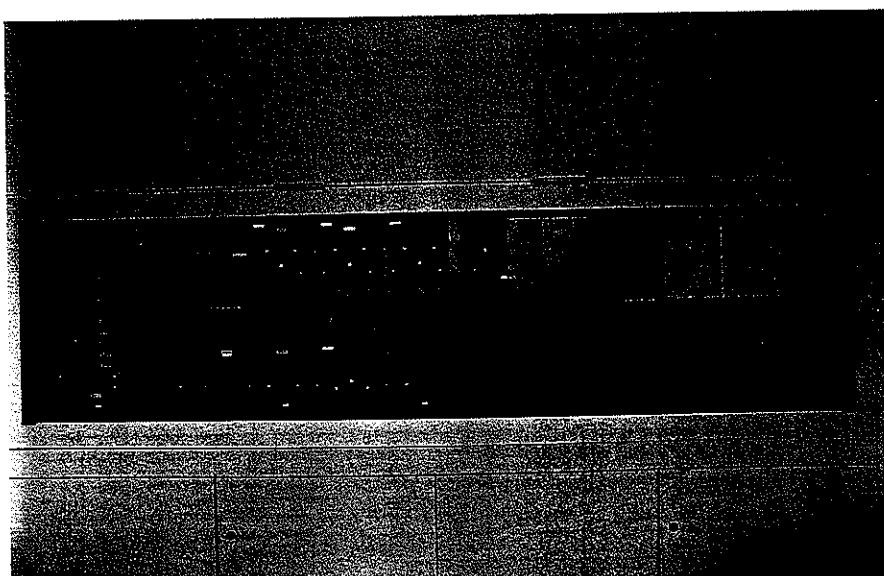
Les passages à niveau (carrefours) sont, pour la plupart, traités selon la technique tramway avec l'utilisation d'une signalisation de type routier commandée par des émetteurs et récepteurs à très haute fréquence. Ces dispositifs de la maison Gsponeer Electronic à Lausanne, déjà utilisés pour la commande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

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.

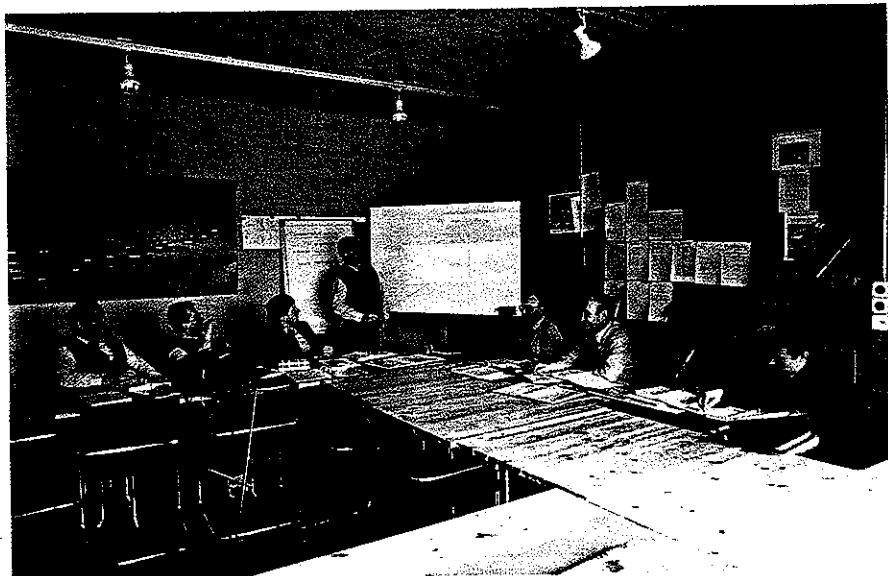
Et pour finir, l'avertisseur sonore. Le traditionnel sifflet helvétique sera remplacé par des trompes identiques à celles qui équipent les chemins de fer français et américains par exemple. Il était en effet nécessaire de pouvoir identifier les automotrices du métro sur les tronçons de ligne proches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

Les stations de 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	-



Le tableau de télécommande au poste directeur situé dans le bâtiment du dépôt.



Le personnel de conduite a reçu une solide formation pratique mais aussi théorique.

Automotrices de transport urbain de type « métro léger »

Partie mécanique

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

PAR PIERRE GUIGNARD

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 supplémentaires, 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 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

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. Queques 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.

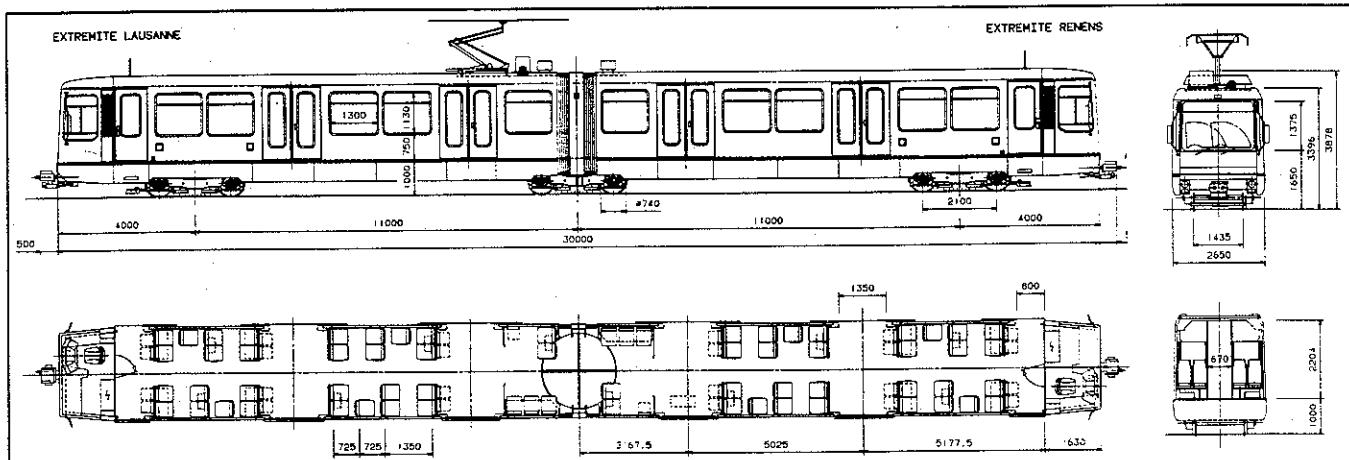
Les habillages des cadres de portes sont en polyester moulé et renforcé de fibre de verre.

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 retour. Cette cabine abrite, outre le poste de conduite proprement



Automotrice articulée Bem 4/6: plan général.

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.

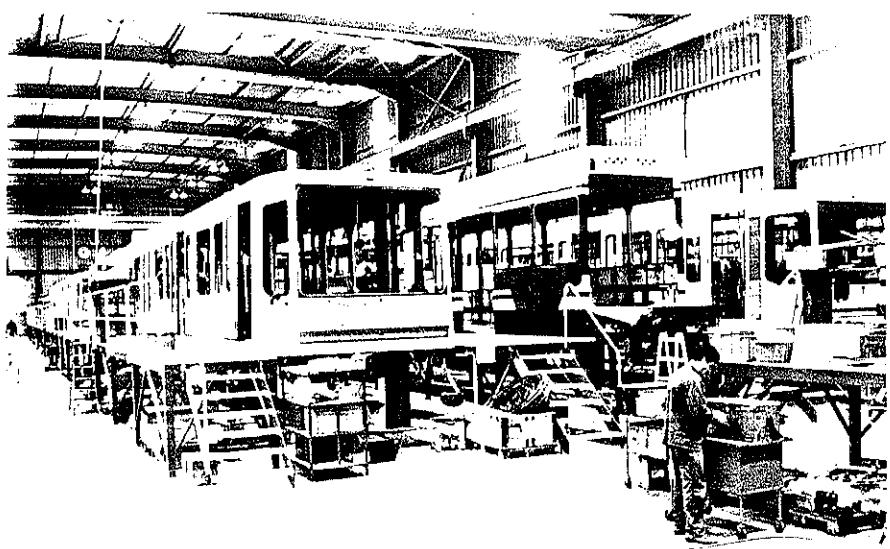
Si l'on a choisi ce type de portes, à priori compliqué, c'est que la faible distance entre le véhicule et le quai laisse peu de place pour le mouvement d'ouverture. Elles sont actionnées pneumatiquement et verrouillées mécaniquement en position fermée. Des bords sensibles à ondes d'air repèrent le voyageur qui risquerait de se trouver pris dans la porte et provoquent une réouverture. Toutes les portes disposent en outre d'une poignée de déverrouillage de secours à l'intérieur, pour les ouvrir manuellement en cas de danger.

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

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

Chauffage, ventilation

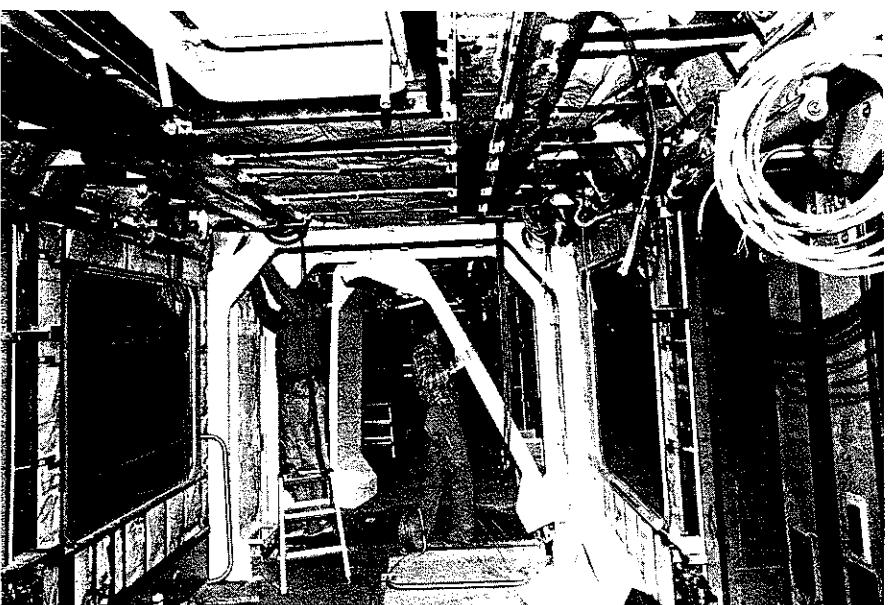
Chaque demi-voiture comprend cinq aérothermes montés sous sièges, assurant le chauffage par air pulsé. La fréquente ouverture des portes de grandes dimensions assure un renouvellement satisfaisant de l'air et rend une ventilation forcée centrale superflue. Pour les périodes de grande chaleur, sept lucarnes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



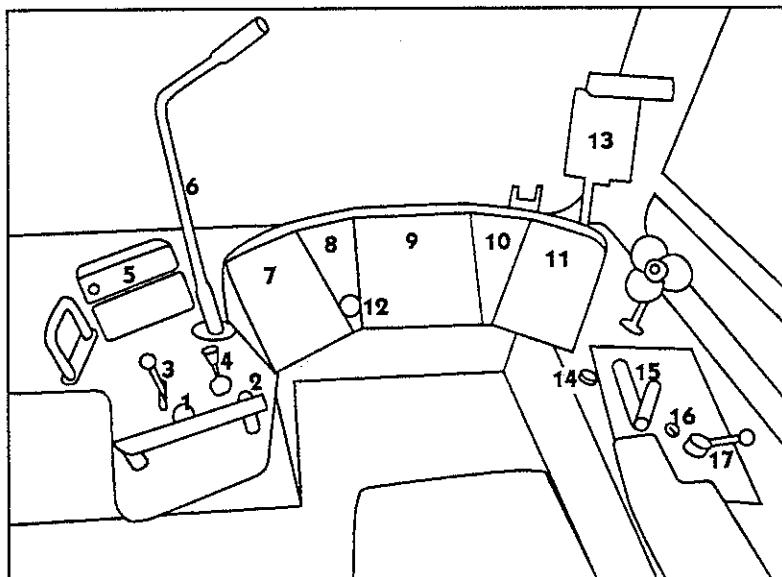
Caissons à l'atelier.



Caissons à l'atelier.



Travaux de montage à l'intérieur du caisson.



Plan-photo cabine:

1. bouton des rétroviseurs
2. sabots magnétiques
3. frein à commande directe
4. trompe/avertisseur
5. poste émetteur-récepteur
6. micro pour annonces extérieures et intérieures
7. panneau marche chauffage-éclairage-haut-parleurs
8. panneau témoins des services et essais de freins
9. panneau indicateurs marche normale et GMA
10. panneau des sécurités (arrêt automatique, accouplement, compresseur)
11. panneau des essuie-glaces et portes
12. freins de secours
13. support pour tableau de marche et ordres spéciaux
14. commande du bloc de ligne
15. manipulateur marche/freinage
16. clé de contact à verrouillage mécanique
17. sélecteur de marche

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 en traction qu'en freinage. En phase de freinage précisément le frein dit électropneumatique est piloté par l'électronique de bord qui le dose automatiquement en sept paliers, au fur et à mesure que l'efficacité du freinage électroodynamique 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 enfoncee,

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 contacteurs : 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 pantographe 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 calopoter 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.

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 autocontrôle.

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

Service, entretien

Grâce à l'absence d'emmarchement, 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 indus-

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	

trielle, 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. 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.

Pierre Guignard
Ingénieur EPFL
Ateliers de Constructions
Mécaniques de Vevey



Quatre automotrices attelées dans le virage à la sortie de l'avenue du Tir-Fédéral.

