

# Projet de pont pour la traversée du Petit-Lac

Autor(en): **Moia, Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **122 (1996)**

Heft 12

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78847>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Projet de pont pour la traversée du Petit-Lac

Pierre Moia,  
ing. civil dipl. EPFL,  
pilote du  
groupement de  
mandataires  
GETRADE,  
Tremblet SA  
Rue de  
Montbrillant 27  
1201 Genève

## 1. Technique, aménagement, environnement

Ces trois mots situent le contexte dans lequel l'étude de la traversée du Petit-Lac en pont a été développée. Il s'agit d'une étude pluridisciplinaire dans laquelle l'ensemble des paramètres liés au site, à l'aménagement du territoire, à la circulation et à l'environnement ont été considérés dès les prémisses du projet; nombre d'aménagements proposés en sont la conséquence. Il convient de relever ici que la prise en compte de ces critères est peu habituelle aux conditions régissant normalement les concours pour des ponts, qui s'en tiennent le plus souvent aux questions à résoudre dans le cadre du génie civil.

C'est pourquoi le groupement «GETRADE», auteur du projet de pont, est une équipe pluridisciplinaire comprenant des ingénieurs civils, des architectes et urbanistes, des professionnels des problèmes de trafic et de circulation, des spécialistes de l'environnement et divers experts en dynamique, biologie aquatique, construction métallique, travaux lacustres, etc.

## 2. Présentation générale du projet

### 2.1 Situation et contexte urbain

L'implantation d'un pont dans un site remarquable proche de Genève et de sa rade est d'une grande complexité, tant sur le plan urbanistique et esthétique que sur celui de la circulation et du respect de l'environnement. Le tracé du pont est harmonieusement délimité par le coteau de Cologny et la plage du Reposoir. La nouvelle structure s'intègre de façon complémentaire et équilibrée par rapport à la ville, au Jet d'eau et à la cathédrale qui dialoguent avec elle et forment une nouvelle image du site et le futur emblème de la ville.

### 2.2 Choix du tracé et des points d'accrochage sur les rives

La traversée du Petit-Lac ou de la Rade est destinée à soulager le pont du Mont-Blanc, les quais et

l'ensemble du centre-ville du trafic de transit qui l'encombre en l'entraînant sur une artère périphérique à grande capacité. Le concept «Circulation 2000» prévoit de réduire de moitié les 200 000 véhicules qui traversent quotidiennement l'hypercentre. Cet objectif devrait être atteint par le report de ces 100 000 déplacements pour un tiers sur l'autoroute de contournement en service aujourd'hui, un autre tiers sur la future traversée du plan d'eau et un dernier tiers par transfert modal sur les transports collectifs.

Le délestage du centre-ville ainsi obtenu permettra:

- d'améliorer l'accessibilité pour le trafic à destination du centre-ville;
- de libérer des surfaces de circulation pour les attribuer aux transports collectifs de manière à permettre un accroissement de leur capacité (métro léger de surface, nouvelles lignes en site propre) et par là d'en améliorer l'efficacité;
- d'éloigner du centre-ville les nuisances du trafic automobile de manière à diminuer les concentrations de polluants et de bruit en ville;
- d'améliorer la qualité de la vie en restituant des surfaces libérées sur les quais aux piétons, facilitant ainsi l'accès aux rives du lac pour les habitants des quartiers riverains.

Le tracé en pont proposé par le groupement «GETRADE» retenu par l'ensemble des experts (Groupe Etat-Ville 1991 – Concours 1993-1994 – Etude sur les effets induits 1995) est idéalement situé sur l'axe «plage du Reposoir – amont de Genève-Plage». Le choix des deux points d'accrochage implantés en dehors des portes de la ville résulte notamment des études de trafic et répond parfaitement aux contraintes susmentionnées.

La situation périurbaine aux portes de la ville fait apparaître un concept particulièrement intéressant de gestion du trafic en forme de

boucle périphérique. La traversée du plan d'eau est associée de façon directe au réseau routier efficace de la rive droite constitué de la bretelle du Vengeron et de la section de l'autoroute de contournement dans cette zone. Il est ainsi possible de bénéficier de l'ensemble des connexions routières déjà réalisées lors de la construction de l'autoroute avec les principales pénétrantes que sont les routes de Vernier, de Meyrin et de Ferney.

Ce système permet de soulager nombre de quartiers habités, notamment ceux traversés par la rue de Lausanne, l'avenue de France et la route de Ferney, artères connectées à des nœuds routiers complexes déjà passablement saturés aujourd'hui. L'accrochage au Reposoir, contrairement à ce que son orientation pourrait laisser imaginer, n'est pas destiné à favoriser plus particulièrement les pendulaires en provenance du canton de Vaud. Il permet en fait de relier la traversée du plan d'eau à la ceinture constituée par l'autoroute de contournement passant devant l'aéroport. Ce tracé permet de soulager en termes de trafic et de nuisances les quartiers de l'avenue de France, de Sécheron, des Nations et du Grand-Saconnex, dont le contournement coûteux pourrait être ainsi évité.

En temps de parcours, un véhicule provenant de la région de Vernier, de Meyrin ou de Gex et désirant se rendre sur la rive gauche dispose, avec l'autoroute de contournement en direction du Vengeron, d'une infrastructure existante offrant un parcours nouveau, ne comportant plus qu'un seul feu lumineux au débouché des Romelles, et d'une durée bien inférieure aux trajets sur les radiales actuelles qui aboutissent toutes au pont du Mont-Blanc.

### 2.3 Contraintes – parti général

Les critères ayant déterminé le parti général de l'ouvrage de franchissement en pont sont, comme ceux concernant le trafic, liés à la pluridisciplinarité de l'étude. Ce



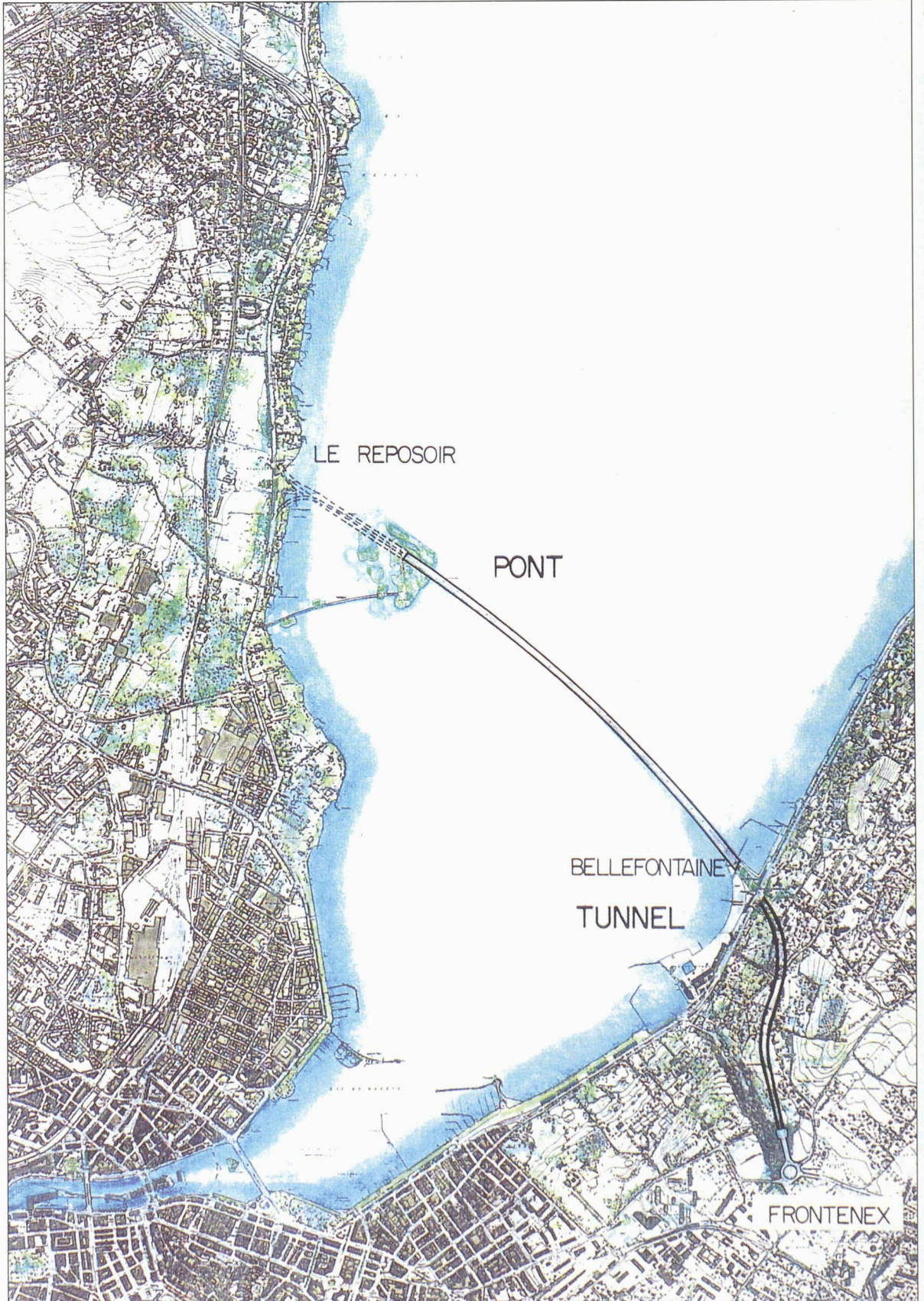


Figure 1. - Traversée du Petit-Lac par pont et tunnel de liaison Bellefontaine – Frontenex: situation



sont les aspects intégration et environnement qui ont prévalu ici. La structure proprement dite s'étant mise au service des autres exigences, décidant de la lecture du site.

Les contraintes prises en considération sont les suivantes :

– *Navigation*

Le gabarit de navigation imposé par le trafic de la CGN est constitué d'une passe de 300 m de largeur et de 20 m de hauteur, située en rive gauche à 600 m du quai de Cologny. Le milieu du lac comporte en effet des hauts fonds impropres à un chenal de navigation.

– *Intégration*

Les deux rives du lac ne sont pas parallèles au droit du franchissement ; le lac s'évase en direction du nord, la pointe de Mon-Repos avançant pratiquement de 800 m dans le lac.

La vue sur la ville à partir de la rampe de Vézenaz ou du Vengeron devrait être préservée par un ouvrage qui se situe le plus bas possible au niveau des points d'accrochage.

– *Environnement*

La rive droite est considérée comme un site d'importance internationale pour l'avifaune aquatique. Elle doit donc être préservée au maximum.

Les points d'accrochage sont des zones sensibles quant aux nuisances sonores pour les riverains et devront être traités de façon à respecter les nouvelles normes fédérales en matière de bruit.

Les remblais dans le lac proches des rives devront être limités au minimum afin d'éviter la création d'eaux stagnantes à proximité des plages.

Le parti général adopté est le suivant.

*Rive droite – une galerie sous-lacustre*

La réalisation d'une *galerie sous-lacustre* de 800 m partant d'une île artificielle et aboutissant à deux trémies en Y dans la route Suisse

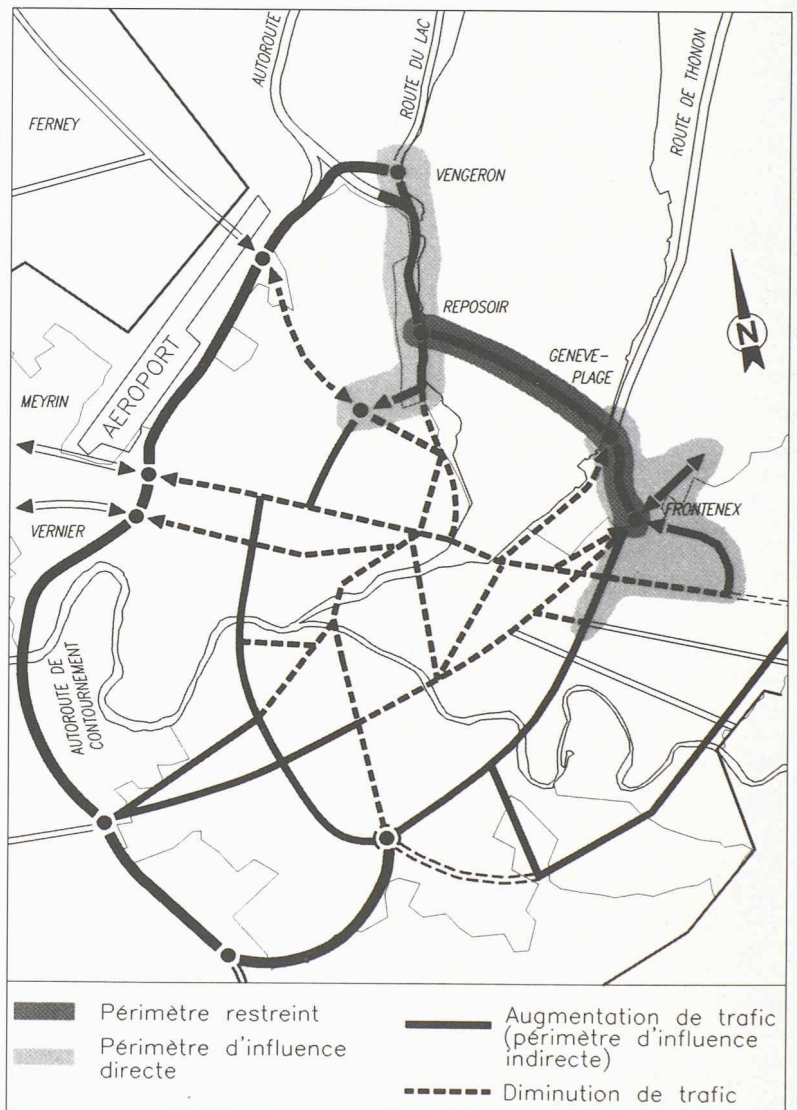


Figure 2. - Genève: plan de circulation conçu en boucle périphérique

permet de respecter tant l'aspect paysager et de protection contre le bruit pour les riverains, que l'écologie sous-lacustre, la libre circulation des eaux proches du rivage et la restitution d'un large couloir lacustre (800 m) pour l'avifaune aquatique, une fois l'ouvrage terminé.

*L'île et les îlots*

L'île principale, construite sur un fond de molasse, permet la transition entre les tracés ancien et sous-lacustre ; elle établit une prolongation visuelle de la rive de Mon-Repos, centrant ainsi le pont sur l'axe du Petit-Lac.

Côté environnement, l'île et les îlots sont conçus comme des apports à l'écologie des milieux lacustres qui ont fortement régressé à Genève. Ils permettent de reconstituer ce type de milieux naturels en augmentant leur surface d'un facteur deux à trois.

Etablies dans le prolongement du Jardin botanique, ces îles forment un véritable archipel prolongeant la ceinture verte des parcs de Genève, créant de nouveaux espaces publics et une promenade permettant de rejoindre le pont.

Les îles sont connectées au chemin de l'Impératrice par une passerelle pour piétons et cyclistes, afin de



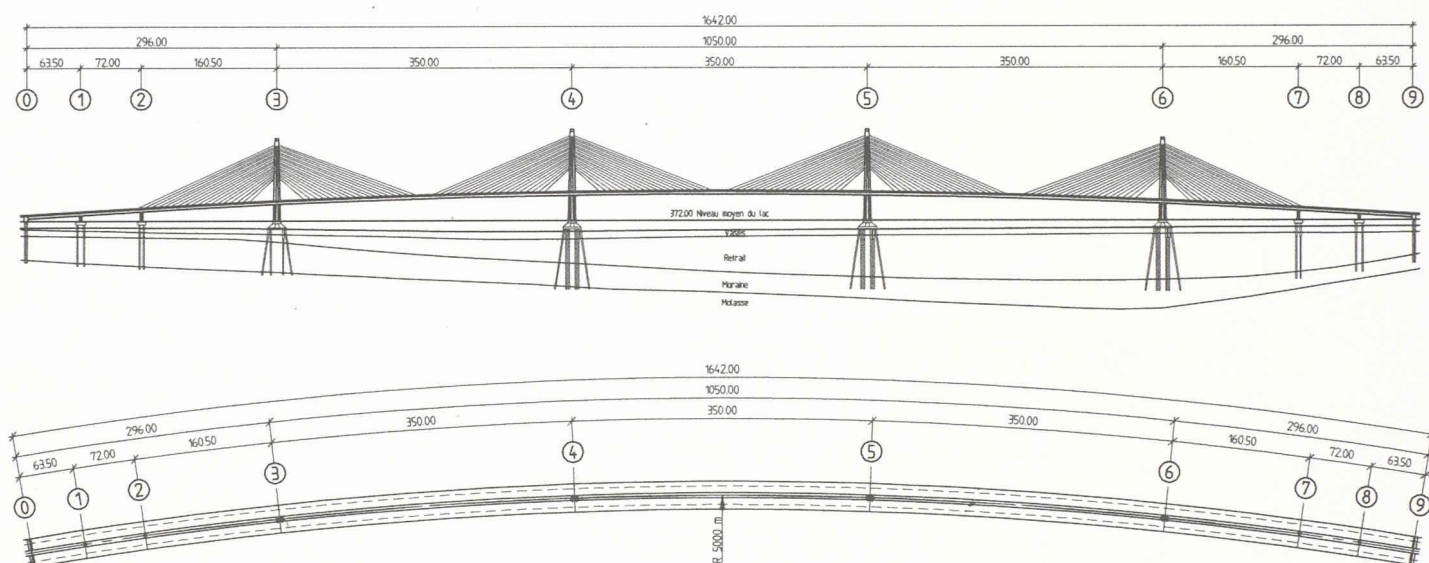


Figure 3. - Pont haubané: situation en plan et élévation

permettre à ces derniers l'accès au pont.

#### *Le pont haubané courbe*

Il s'agit d'un pont haubané courbe à 4 mâts d'une longueur de 1640 m, dont la culée nord s'appuie sur l'île principale. Le pont est conçu à l'échelle du site. Il se veut élégant et le plus transparent possible par la suspension centrale du tablier. La structure, avec ses nappes de haubans, prolonge en quelque sorte les coteaux, effet souligné par la courbure de l'ouvrage. Les câbles rappellent les voiles des bateaux sur le lac.

Le pont haubané présente un profil en long convexe caractérisé par un rayon vertical de 12 000 m et des rampes d'accès au pont de 6 % de pente, offrant trois passes de 350 m à la navigation. Le premier pylône en rive gauche est situé en bordure du chenal imposé par la CGN. Le tirant d'air sous le tablier est variable, d'une hauteur de 20 m au droit des deux mâts extérieurs et de 30 m au milieu de la passe centrale. Cette géométrie permet le passage de toutes les embarcations ayant déjà navigué sur le lac et notamment de la barque « la Neptune », qui, toutes vergues déployées, possède le mât le plus haut avec ses 28,50 m.

#### *Rive gauche – une chaussée couverte sur pilotis*

La réalisation d'une galerie semi-immersée, avec une couverture des voies de circulation sur 150 m, permet de réduire les nuisances sonores pour la plage et pour les villas les plus proches de l'accrochage. L'abaissement du profil en long respecte au mieux le critère paysager et permet de conduire le trafic à destination du plateau de Frontenex (part prépondérante) directement dans le tunnel de remontée par deux voies directes passant sous le quai. Les fondations sur pilotis permettent d'éviter une stagnation préjudiciable des eaux.

#### *En résumé*

Le projet proposé répond au problème du trafic de façon rigoureuse et permet en outre

- d'offrir une traversée à ciel ouvert;
- d'autoriser piétons et cyclistes à traverser le plan d'eau tout en bénéficiant d'un panorama exceptionnel et d'un espace ludique lors du passage sur les îlots;
- d'accroître la valeur écologique et environnementale du site;
- de créer une zone aquatique agréable pour la petite batellerie;

- de doter la ville d'un ouvrage exceptionnel digne de Genève;
- d'éviter au maximum les nuisances sonores dues au trafic à l'approche de la rive;
- d'éviter l'impact paysager d'un viaduc d'accès au pont principal, qui aurait tendance à gêner la vue des riverains;
- d'éviter tout remblai dans le lac, qui ne manquerait pas de provoquer des modifications de courants et, par là, une éventuelle stagnation des eaux inacceptable du point de vue de l'environnement.

#### *2.4 Intégration dans le site, urbanisme*

Le nouveau pont se trouve confronté à la géométrie des rives du lac, et non plus aux berges du fleuve, comme les ponts reliant des parties de la ville en aval. L'ouvrage en amont reliera des parties du territoire, avec le Haut-Lac et Le relief pour références nord et la ville moderne comme référence sud. Ce développement marquera l'extension de l'appropriation des plans d'eau par la ville et définira un nouvel espace public à l'échelle du territoire.

Ce projet équivaut à la mise en œuvre d'une structure dont la ri-

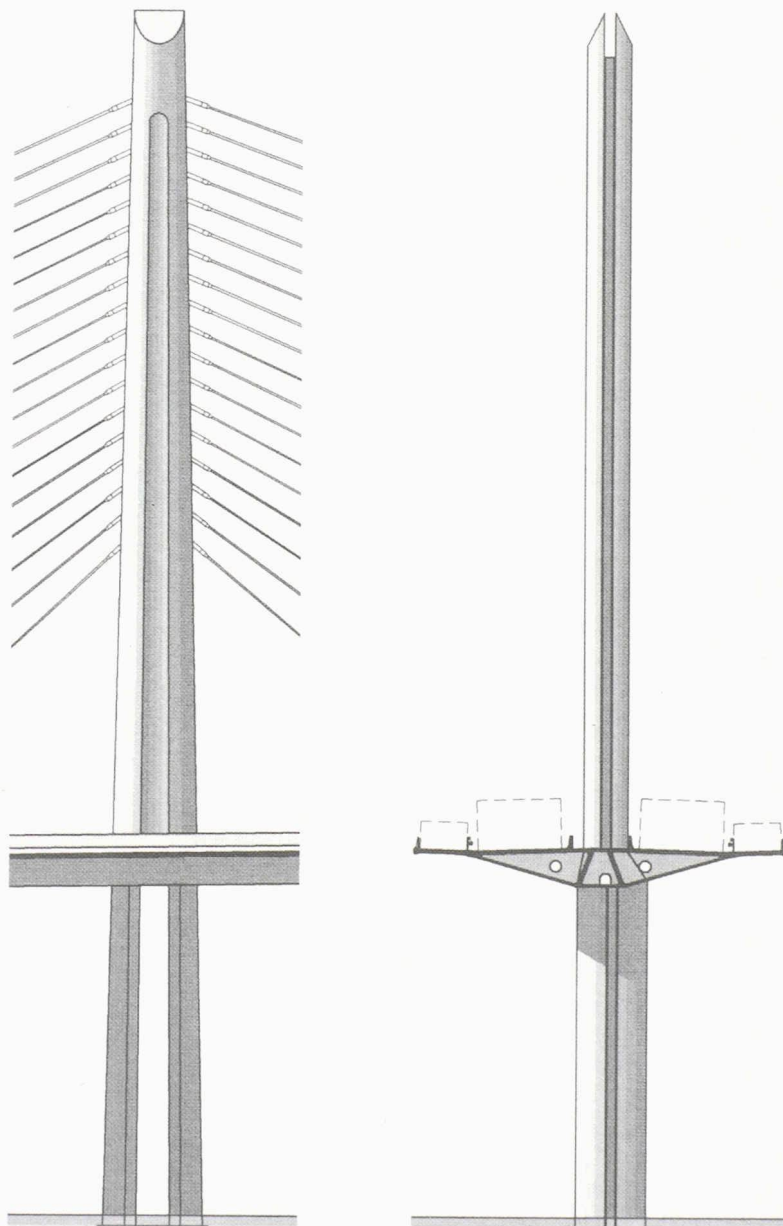


Figure 4. - Pylones: vues latérale et frontale

gueur technique participe de la lecture du site. Au-delà de la solution d'ingénierie qu'il représente, le pont haubané traduit une interprétation du site: il définit une spatialité intérieure qui renvoie à la « centralité » urbaine et à la perception d'un espace public et il se réfère aux éléments du paysage immédiatement perceptible, à savoir les rives et les coteaux.

En raison de sa forme, le pont haubané peut introduire un excès de rigueur. Or, non seulement la courbure atténue cet effet, mais de par son échelle, Le nombre de travées et le profil en long, l'ouvrage ne suggère ni la répétition, ni la monotonie.

La création d'îles résulte d'une série d'objectifs visant à inscrire l'ouvrage dans la stratégie générale du rapport de Genève à l'eau. Chaque intervention, chaque emprise sur le lac s'est traduite par la création d'espaces publics et de nouvelles pratiques des rives. Par ailleurs, les données géologiques favorables dues à la présence d'un banc de molasse, ainsi que la disponibilité de matériaux à stocker plaident en faveur d'un coût maîtrisable. L'ouvrage constitue un nouvel élément de composition du paysage et joue un rôle de transition et d'intégration paysagère entre la partie souterraine du franchissement et le pont proprement dit. Enfin, il représente une véritable compensation écologique par la création de milieux naturels dans le prolongement du Jardin botanique et sous forme d'un archipel qui étend la ceinture verte de la ville le long des quais et du coteau de Pregny, offrant ainsi un nouveau but de promenade.

### 3. Pont haubané

#### 3.1 Caractéristiques géométriques

Le projet proposé est un pont haubané courbe multi-travées en béton précontraint. Les portées principales sont de trois fois 350 m, avec deux travées adjacentes de 160,50 m chacune. De part et d'autre, le pont est prolongé par un viaduc d'accès comportant



Figure 5. - Pylones: coupes au-dessus du tablier (gauche) et en dessous



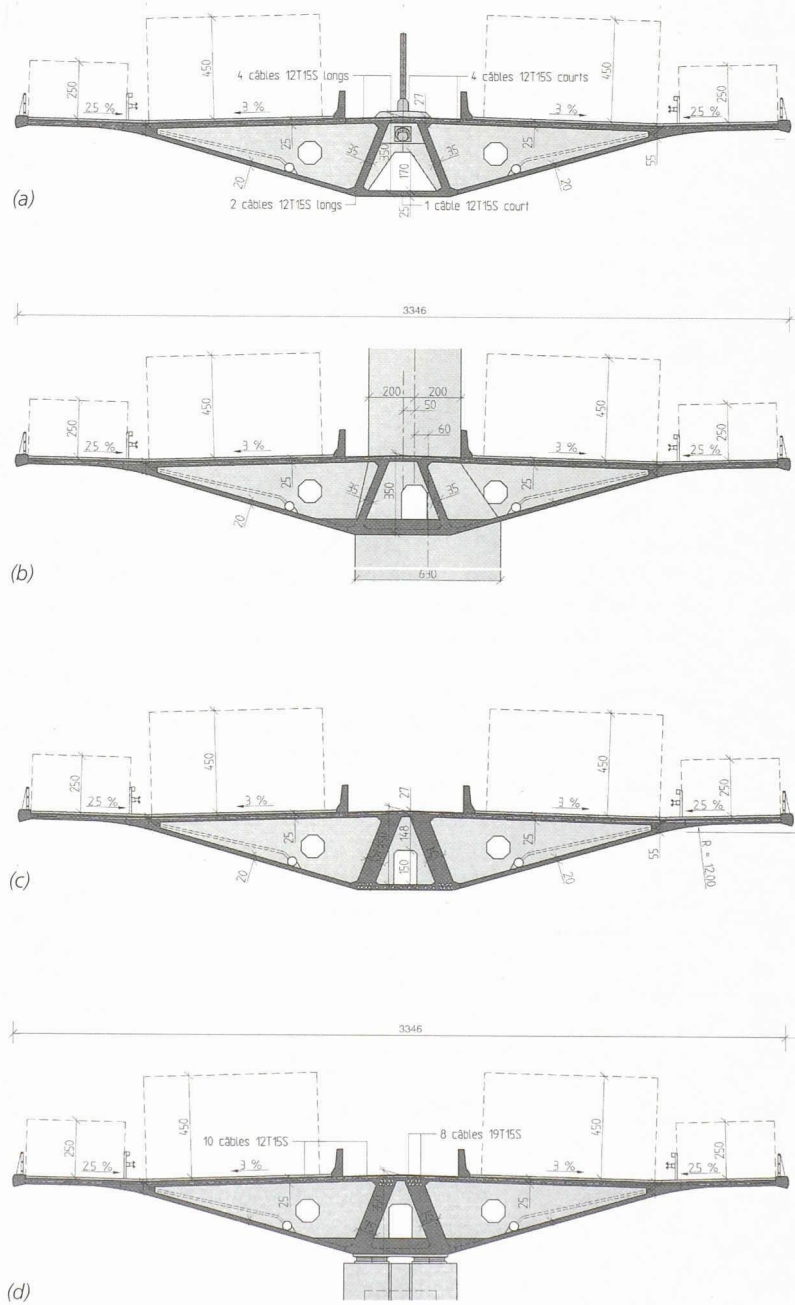


Figure 6. - Coupe transversale du tablier (a) en milieu de travée du pont haubané (b) au droit d'un pylône (c) en milieu de travée du viaduc d'accès (d) sur appui

deux travées de 72,00 et 63,50 m de portée. La longueur totale de l'ouvrage est de 1642 m. En plan, l'ouvrage s'inscrit dans une courbe régulière d'un rayon constant de 6000 m. Le profil en long symétrique présente deux rampes de 6 % et l'ouvrage principal est convexe avec un rayon vertical de 12000 m sur les trois travées centrales.

La largeur totale du tablier est d'environ 33,5 m, le dévers en toit de 3 % sur la chaussée est inversé à 2,5 % dans la zone réservée au trafic cycliste et piétonnier.

3.2 Conception générale  
Système statique

L'ouvrage est conçu comme un pont flottant. Les quatre mâts sont liés de façon monolithique au ta-

blier qui ne comporte aucun joint intermédiaire de dilatation. Les piles des viaducs d'accès sont dissociées du tablier; munies de deux appuis pots mobiles en tous sens, elles assurent exclusivement la reprise des réactions verticales et l'encastrement à la torsion. Quatre appuis pots mobiles en tous sens et un appui de guidage longitudinal sont prévus au droit de chaque culée.

Mâts

Des considérations esthétiques ont présidé au choix final de la forme à donner à la partie supérieure des mâts. Excentrée transversalement de manière à compenser la déviation des haubans due à la courbure du pont, elle présente une section intérieurement dissymétrique, avec une précontrainte verticale additionnelle qui permet de compléter cette compensation.

La conception de la partie inférieure des mâts, dissociée en deux voiles indépendants dans le sens longitudinal, permet de garantir aussi bien la stabilité du fléau lors du montage par encorbellement haubané que la souplesse nécessaire à absorber les déformations axiales du tablier sous l'action de la température ainsi que du retrait et du fluage différentiel. Transversalement, les effets de la torsion due aux charges excentrées ainsi qu'à la courbure sont transmis aux fondations grâce à la rigidité des deux voiles dans leur plan.

Tablier

Totalement réalisé en béton, le tablier est formé d'un caisson rigide pour reprendre les effets des charges excentrées et transmettre la torsion aux appuis. Des porte-à-faux latéraux prolongent le caisson pour supporter les voies destinées aux piétons et aux cyclistes. Raidi tous les 8 m par une entretoise, le caisson à trois cellules est conçu comme une poutre de hauteur constante. Afin d'annuler toute torsion permanente, la section transversale

est symétrique par rapport à la suspension axiale des haubans. L'excentricité de la partie supérieure des mâts conduit donc à une légère surlargeur par rapport à un ouvrage rectiligne.

Réalisée préalablement avec un décalage d'une étape de 8 m, la cellule centrale du caisson permet de rationaliser le montage et favorise une transmission harmonieuse des charges du tablier vers les haubans.

Au droit des viaducs d'accès, l'épaisseur des âmes principales est portée de 35 à 75 cm. Quant à la partie horizontale de la dalle inférieure, elle est renforcée de 25 à 70 cm dans la zone des mâts, ainsi que sur les piles. Cette solution permet la mise en œuvre d'un seul type d'équipages mobiles pour la construction de l'ouvrage principal et des viaducs d'accès.

Le tablier est précontraint transversalement sur l'ensemble de l'ouvrage. Une précontrainte longitudinale parabolique, localement renforcée au moyen d'une précontrainte rectiligne, est prévue dans les viaducs d'accès. Seule la zone centrale des travées principales est munie d'une précontrainte longitudinale centrée, disposée dans les dalles supérieure et inférieure.

#### Haubans

Le haubanage est axial à partir de pylônes centraux traversant le tablier. Au nombre de dix-huit par demi-fléau, les haubans sont constitués de 89 et 127 torons T15 dans les trois travées principales et de 89 et 138 torons dans les deux travées latérales. Individuellement protégés par une galvanisation et une gaine en polyéthylène à haute densité injectée à la cire pétrolière, les torons sont disposés dans une deuxième gaine de protection circulaire. Ils sont mis en place un par un et tendus individuellement selon le procédé dit d'isotension.

L'espacement des ancrages mobiles disposés à l'intérieur de la cellule centrale trapézoïdale est fixé à 8 m. Quant à l'ancrage fixe des

haubans sur les mâts, il est constitué d'une ossature métallique qui assure l'égalisation des composantes horizontales à l'aide de tôles verticales. La résultante verticale est transmise au béton par connexion.

#### Piles

La forme des piles est dictée par le souci de cohérence avec celle des mâts.

#### 3.3 Construction de l'ouvrage

La méthode de réalisation retenue actuellement est celle d'un tablier coulé en place selon la méthode de l'encorbellement haubané. Après avoir réalisé les viaducs d'accès en même temps que les fondations principales ainsi que les deux mâts latéraux, l'encorbellement du tablier s'effectue à l'aide de quatre équipages mobiles pour les deux fléaux latéraux. Simultanément, les fondations et les mâts des deux fléaux centraux sont réalisés. Les travaux s'achèvent par l'encorbellement des deux fléaux centraux, puis les finitions sur l'ensemble de l'ouvrage.

#### 3.4 Comportement statique de l'ouvrage

##### Modélisation

Les sollicitations globales de l'ouvrage sont évaluées au moyen d'un modèle « barres » spatial en tenant compte des courbures en plan et en élévation du tablier. Les conditions d'appuis élastiques en tête des fondations sont considérées.

La flexion locale de la dalle de roulement et des entretoises est estimée à l'aide d'un modèle « dalle » et d'un modèle « grille de poutres ».

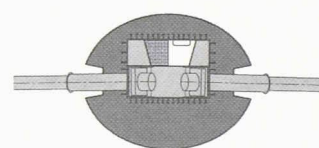
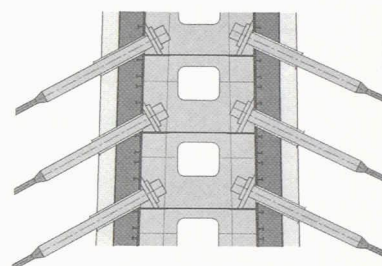


Figure 7. - Ancrage des haubans dans les pylônes: coupes verticale et horizontale

Comportement lors du montage  
Le réglage des haubans et des déformations lors du montage est réalisé sur une structure partielle avant le clavage des quatre fléaux. La mise en œuvre d'un vérinage préalable au droit des trois clavages centraux permet de compenser dans une large mesure les effets du retrait et du fluage axial résiduel.

Le vent transversal associé à un déséquilibre de bétonnage à l'extrémité des fléaux constitue la sollicitation déterminante aussi bien pour le tablier que pour les mâts. La stabilité de la partie supérieure des mâts est vérifiée selon la théorie du second ordre :

- défaut de verticalité et de rectitude, ensoleillement différentiel ;
- non linéarité matérielle prise en compte par le biais d'une rigidité sécante réduite.

La sécurité structurale des mats requiert un béton B 60/50 et un taux d'armature d'environ 2 %.

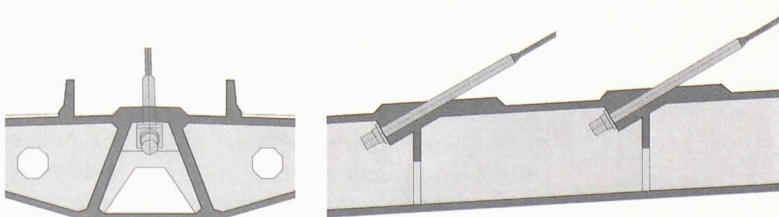


Figure 8. - Ancrage des haubans dans le tablier: coupes transversale et longitudinale



### Comportement

à l'état permanent final

Les déformations de l'ouvrage demeurent modérées à long terme.

Dans le sens transversal, la tête des mats se déplace de 7 à 9 cm entre l'instant des clavages et l'état final.

Au besoin, on peut maîtriser cette flèche en adoptant une précontrainte verticale de conception similaire à celle des haubans, susceptible d'être retendue depuis le tablier.

La contrainte permanente dans les haubans varie entre 0,345 et 0,387  $f_k$ .

### Sécurité structurale

La combinaison d'action « trafic prépondérant » est généralement déterminante pour la vérification du tablier :

- une armature passive minimale est suffisante pour garantir la capacité flexionnelle globale sur environ 2/3 de la zone haubanée;
- une précontrainte centrée de cinq à onze câbles T15s est requise au droit des trois clavages centraux;
- sous torsion maximale, la sollicitation des hourdis latéraux de 20 cm d'épaisseur peut être reprise à l'aide d'une armature minimale de diamètre 12 e = 15 cm.

Les sollicitations des mâts sous « trafic prépondérant » et « vent prépondérant » conduisent à une sécurité G, similaire. Ces sollicitations sont inférieures à celles de montage. L'armature passive des mâts est constituée de barres de diamètre 34 mm, espacées de 15 cm, dont les jonctions sont alternées.

La résistance des haubans est vérifiée en cumulant les valeurs représentatives des surcharges causées par les véhicules avec celles dues aux piétons et aux cyclistes. La contrainte maximale est limitée à 0,45  $f_{tk}$ .

La stabilité globale de l'ouvrage sous charge sismique longitudinale ou transversale est nettement

surabondante. Les fréquences propres relatives aux déplacements concernés sont faibles.

La stabilité aérodynamique de l'ouvrage ne pose pas de problème particulier. Le rapport des premiers modes de torsion et de flexion est suffisamment élevé.

### Aptitude au service

Sous trafic de véhicules disposé exclusivement en travée centrale, la flèche maximale demeure inférieure à la valeur admissible.

En cumulant au trafic véhicules celui des piétons et des cyclistes (deux actions de courte durée indépendantes), on obtient une flèche maximale de 61 cm dans la même travée.

Sous charge de torsion maximale (100 % véhicules + piétons + cyclistes sur demi-tablier), la pente transversale varie au maximum de 0,8 %.

En admettant un vent transversal établi sur l'ensemble de l'ouvrage, la flèche maximale en tête des mats atteint 32 cm (mâts 3 et 6) et 46 cm (mâts 4 et 5).

### 3.5 Appréciation technique générale

La structure est autostable, donc économique et bien équilibrée. Tous les composants sont utilisés par rapport à leur capacité respective. Aucun n'est particulièrement onéreux. Si la technique retenue est éprouvée et presque traditionnelle de nos jours, elle n'en aboutit pas moins à la réalisation d'un ouvrage de haute technicité. La structure est très performante pour reprendre les charges dues au trafic, le vent transversal ne pose pas de problème particulier et les déformations restent raisonnables.

Le chantier peut débuter à plusieurs endroits à la fois. A part les fondations, aucun élément ne constitue à lui seul le chemin critique. Nombre d'éléments peuvent être construits simultanément, ce qui permet de rationaliser au mieux les équipements ainsi que le temps de construction.

L'entretien d'un tel pont est aisé, car tous les éléments sont accessibles et peuvent être visités. Les haubans peuvent être remplacés si nécessaire.

## 4. Fondations

### 4.1 Choix du type de fondations

L'importance des sollicitations provenant de la superstructure (grandes portées) et la qualité médiocre des premiers niveaux géologiques rencontrés (vases et retrait) ont imposé des fondations profondes sur pieux ou sur puits.

D'autres solutions ont été étudiées et n'ont pu être retenues :

- des caissons peu profonds compensés par la poussée d'Archimède comportent un risque trop important (en cas de choc notamment) et une servitude d'exploitation gênante (pompage);
- des puits fondés sur le retrait, d'un diamètre et d'une profondeur suffisante pour reporter une charge nette environ nulle sur le sol, présentent de grandes

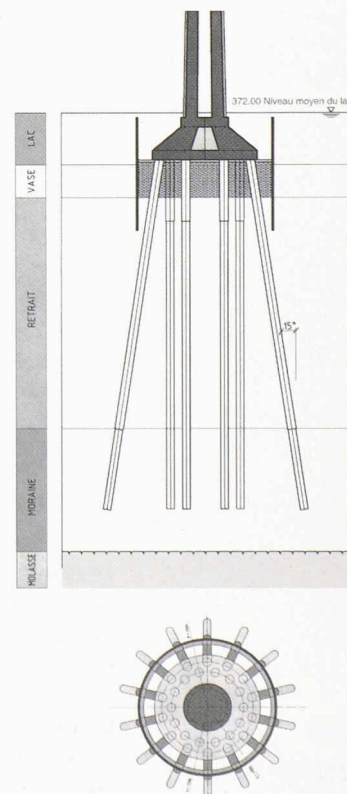


Figure 9. - Fondations d'un pylône: coupes verticale et horizontale





Figure 10. - Traversée du Petit-Lac par pont haubané: vue depuis le chemin de Byron à Coligny (incrustation)

difficultés de réalisation. La section et la profondeur importantes des puits, associées aux qualités moyennes du retrait ont donc conduit à abandonner cette solution.

La solution retenue de fonder l'ouvrage sur des pieux est techniquement avantageuse et permet une rapidité de construction adaptée à l'ouvrage. Les pieux sont des éléments de section réduite, qui sont exécutés par un processus dont la mécanisation est très poussée. Ils permettent par ailleurs de mettre en œuvre une contre-pression latérale qui augmente leur efficacité.

Le diamètre des pieux adopté pour les fondations principales de cet ouvrage est de 160 cm. Ce choix est fonction de la disponibilité actuelle en Suisse de machines de battage et de forage adaptées à cette dimension. De cette manière, les entreprises locales pourront librement répondre à l'appel d'offres en maîtrisant la technique

et en satisfaisant tous les critères. Un choix purement basé sur l'économie de construction sans tenir compte du marché local aurait abouti à une dimension optimale située actuellement en Europe aux alentours de 240-250 cm de diamètre.

Les fondations des pylônes sont constituées d'une banquette circulaire en béton d'un diamètre de 14 m, formant le couronnement d'une série de pieux inclinés et verticaux. L'inclinaison d'un pieu sur deux en périphérie permet d'éviter les effets de groupe sur les tassements tout en conservant une banquette de répartition des efforts de dimension raisonnable. Durant la première phase du concours, une solution du même type avec un réseau de pieux uniquement verticaux avait été étudiée. La faisabilité de ces pieux de grande profondeur (env. 70 m) semblait alors plus sûre. Toutefois, le respect des entre-axes minimaux entre pieux aurait nécessité

la construction d'une banquette de très grande dimension en tête des pieux (40 m de diamètre), si bien que pour assurer une distribution correcte des efforts de manière équitable sur chaque pieu, il fallait prévoir l'exécution d'un cylindre évidé avec des murs de renfort venant conduire les forces depuis la zone concentrée de la base du pylône jusqu'aux pieux périphériques. La rigidité nécessaire à cet ouvrage était telle que son coût était en rapport direct avec son gigantisme. Cette solution a été critiquée par les membres du jury du concours, qui pour la deuxième phase du projet, ont demandé aux auteurs d'étudier une fondation comprenant des pieux inclinés de façon à pouvoir concentrer la disposition des pieux en tête.

L'obliquité et la longueur des pieux, ainsi que la difficulté de l'alternative développée en réponse à ces exigences constituent les caractéristiques principales de la so-





lution finalement retenue. L'inclinaison des pieux est limitée à 15% et leur faisabilité a été soigneusement étudiée en collaboration directe avec une entreprise spécialisée en travaux spéciaux de cette envergure.

La fondation type d'un pylône du pont haubané est ainsi constituée de :

- 14 pieux périphériques inclinés (15%) munis d'un tubage définitif dans le retrait,
- 14 pieux périphériques verticaux forés sous bentonite.

Les pieux des fondations situées côté rive droite sont fichés dans la molasse rouge, tandis que les pieux des fondations situées côté rive gauche sont fichés dans la moraine rissienne.

Dans cette zone, un report des charges sur la molasse est superflu, dans la mesure où cette dernière est globalement de qualité comparable à celle de la moraine rissienne, mais située 15 à 20 m plus profondément.

#### Groupement de mandataires GETRADE

##### *Ingénieurs civils*

Tremblat S.A., Genève,  
bureau pilote (pont haubané)  
GVH-Tramelan S.A. (pont haubané)  
TGW, Genève (galeries couvertes)  
Zimmermann & Schutzle S.A.,  
(tracé routier)

##### *Ingénieurs de la circulation*

ZS-Trafitec S.A., Genève

##### *Architectes*

Andrey, Varone, Vasarhelyi:  
Atelier d'architecture et d'urbanisme,  
Genève

##### *Environnement et perspectives informatisées*

ECOSCAN S.A., Lausanne

##### *Expert*

Jean Muller, Paris

##### *Consultants*

Luc Tappolet: géotechnique  
Walmar Isler: dynamique  
Pedro Aragao: circulations  
Zwahlen & Mayr S.A.:  
constructions métalliques  
Marti S.A.:  
fondations et travaux lacustres  
Aquarius S.A.: biologie aquatique