

Traversée de la rade: projet en tunnel

Autor(en): **Widmer, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

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

Heft 12

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78845>

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.

Traversée de la rade : projet en tunnel

Par
Jean-Pierre Widmer
Ingénieur civil
EPFL/SIA
pilote du groupement
de mandataires
Directeur, Bonnard et
Gardel ing.-conseils
av. de Châtelaine
81 bis
1219 Châtelaine

Projets étudiés et abandonnés

En novembre 1993, le Département des travaux publics et de l'énergie mandatait notre groupement pour l'étude d'une traversée de la rade en tunnel reliant l'avenue de France au Port-Noir. Ce projet devait être complété par celui d'une liaison entre le Port-Noir et le plateau de Frontenex, implantée sur la rive droite du nant de Traînant. A l'issue de la première étape du concours, la remontée sur Frontenex fut abandonnée et le jury nous demanda de présenter deux nouvelles variantes: l'une sur le tracé présenté et l'autre sur un tracé reliant l'avenue de France à Belle-Fontaine. Ces deux traversées devaient être suivies d'une remontée au plateau de Frontenex identique à celle prévue pour le projet de pont. Dans la première variante, il s'agissait de transférer tout le trafic sur le quai de Cologny, de manière à ce qu'il puisse emprunter la liaison sur Frontenex grâce à un raccordement « en baïonnette ». Or cette disposition présentait l'inconvénient majeur de ramener le trafic en surface et c'est à juste titre qu'elle a fait l'objet de réserves importantes de la part du jury. La seconde variante offrait en revanche une continuation directe et en souterrain avec le projet étudié en continuation du pont.

Hors concours

Le concours terminé, le Département confia à notre groupement une étude de traversée en tunnel sur le même tracé que celui du pont, à savoir une liaison entre Le Reposoir et Belle-Fontaine. Ce nouveau projet a été présenté à l'exposition dédiée à la traversée de la rade dans le cadre du salon de l'automobile 1995. Par la suite, comme son tracé ne correspondait pas aux termes de l'initiative votée en 1988, cette variante a été abandonnée au profit du projet originel reliant l'avenue de France au Port-Noir avec, toutefois, une importante modification. Celle-ci concerne l'accrochage du tunnel

sur le quai Gustave-Ador, compte tenu de la nouvelle implantation de la remontée sur Frontenex, non plus sur la rive gauche mais sur la rive droite du nant de Traînant. C'est donc ce dernier projet, retenu par les autorités genevoises pour être soumis au vote populaire, que nous présentons ci-après.

Description de l'ouvrage

L'ouvrage se compose de plusieurs éléments qui sont les trémies d'accès, les galeries sous-chaussée reliant les trémies au tunnel, les accrochages et le tunnel immergé.

Rive droite

L'accrochage du tunnel en rive droite est situé au bas de l'avenue de France, juste en amont du carrefour quai Wilson – avenue de France – rue de Chateaubriand. Il est réalisé à l'abri d'un batardeau et s'effectuera après la dérivation des conduites d'eau qui alimentent la station de filtrage des Services industriels au Prieuré. Afin d'accroître la capacité du carrefour avenue de France – rue de Lausanne, le raccordement à cette rue s'effectue par une galerie passant sous le carrefour. Le projet comporte donc une trémie située au bas de l'avenue de France pour les voies reliant la place des Nations, et deux trémies à la rue de Lausanne pour la circulation longeant le lac.

Trémies

La trémie située sur l'avenue de France est bidirectionnelle avec deux voies de circulation de 7,50 m de largeur et deux bouleries de 0,50 m. Sa position centrale a été déterminée en fonction des emprises nécessaires aux circulations de surface, à savoir une voie descendante de 4,00 m de largeur et une voie montante de 3,50 m, plus une piste cyclable de 1,50 m. Le trottoir, côté Jura, conserve sa largeur de 2,00 m, tandis que le trottoir côté lac est réduit à 1,00 m, car les piétons peuvent avantageusement passer par le parc Mon-

Repos. La largeur hors tout de l'aménagement est maintenue au gabarit actuel. **193**

Galerie

Les circulations en direction de la Route suisse passent en sous-sol par une galerie bidirectionnelle qui suit le tracé des voiries existantes. La largeur de la chaussée est de 7,50 m auxquels s'ajoutent deux bouleries de 0,50 m chacun. Sa longueur est de 525 m. L'accès à cette galerie comporte deux trémies unidirectionnelles à une voie, l'une rentrante et l'autre sortante, séparées par une cinquantaine de mètres afin de permettre le passage en surface des convois exceptionnels de type II. La largeur de la voie de circulation est de 3,50 m et une bande d'arrêt de 2,50 m, ainsi que deux bouleries de 0,50 m sont prévus.

Rive gauche

Sur la rive gauche, l'accès au tunnel de Frontenex s'effectue en souterrain, à faible profondeur sous la chaussée du quai Gustave-Ador, de manière à éviter le contact avec la nappe profonde protégée. Cet accès est constitué de deux galeries à une voie de 3,50 m, avec une bande d'arrêt d'urgence de 2,50 m et un boulerie de 0,50 m.

L'ensemble des flux de circulation est assuré par la création de trois trémies et d'un giratoire situé sur la place de Traînant.

Deux trémies de sortie, l'une en direction de la ville, l'autre en direction de Vézenaz sont situées sur le quai, de part et d'autre du chemin de Plonjon. Les deux ont le même gabarit que celui des tranchées de liaison au tunnel de Frontenex.

Qu'ils viennent de Vézenaz ou de la ville, les véhicules pénétrant dans le tunnel empruntent la même trémie d'accès. Depuis la ville, cet accès s'effectue en empruntant le giratoire qui comporte une seule voie de circulation d'une largeur de 3,50 m avec deux bouleries de 0,50 m.

L'aménagement de la place de Traînant permet aux transports publics de conserver l'arrêt actuel. Quant à l'accès piétons à Genève-Plage, il est assuré par un passage sous-chaussée situé au droit des bains.

Tunnel

Le tunnel sous la rade est rectiligne, de profil rectangulaire constant sur une longueur de 1080 m et entièrement enterré à 1,00 m au minimum sous le niveau actuel du fond du lac. Il comprend, pour chaque sens de circulation séparé par une paroi, deux voies de 3,75 m de largeur chacune, deux trottoirs latéraux de 1,50 m et un couloir latéral de 1,20 m de largeur. Ce dernier abrite des niches de secours et sert également de couloir de fuite. Continus, les couloirs de fuite servent également à la ventilation. Des passages pour piétons ou véhicules entre les deux tubes sont en outre aménagés dans la paroi médiane.

Le dimensionnement du profil type est essentiellement conditionné par le poids nécessaire pour contrebalancer la poussée d'Archimède. La sécurité requise (poids de l'ouvrage/poids du volume d'eau déplacée) contre cette poussée varie entre 5 et 10 % selon les pays où de tels tunnels ont déjà été réalisés. Le profil type proposé à ce stade de l'étude est calculé avec un coefficient de sécurité de 1,10, sans tenir compte du poids du terrain remblayé sur l'ouvrage (environ 1 m).

Les importantes épaisseurs de béton (radier 1,20 m, dalle 1,00 m et murs extérieurs 0,90 m) nécessaires pour remplir cette condition, permettent de concevoir la résistance de l'ouvrage aux pressions de terre et d'eau avec une armature d'environ 125 kg/m³.

Il est prévu de réaliser l'ensemble de la structure en béton B35/25 étanche avec des bandes d'étanchéité ad hoc assurant chacune une double sécurité:

- pour le jointoyage entre éléments de tunnel préfabriqués en longueur de 120 m;

- dans les joints de dilatation prévus tous les 24 m pour chaque élément;
- dans les seuls joints de bétonnage inévitables entre le radier et les murs.

Les joints entre éléments préfabriqués comportent sur tout le pourtour du profil du tunnel un joint protubérant souple de type «GINA» permettant d'obtenir l'étanchéité dès l'assemblage des éléments sous l'eau et restant en compression, ainsi qu'un joint de type «OMEGA» appliqué dans un évidement.

Les joints entre les tronçons de 24 m sont réalisés en escalier pour éviter des décalages verticaux ou latéraux. Ils sont étanchés avec:

- des bandes extérieures de profilés spéciaux en PVC et caoutchouc;
 - une bande profilée de caoutchouc renforcée de tôles minces, injectable, incorporée dans le radier, la dalle et les murs;
 - un joint intérieur de type «ACME» mastiqué au *Thiokol*.
- Les arrêts de bétonnage entre radier et murs extérieurs comportent un joint de type «SIKA-Combi-flex» protégé avec un mortier spécial à l'extérieur et un joint expansif dans l'axe des murs.

La surface intérieure de la dalle et de la tête des murs est protégée contre le danger d'incendie par un revêtement composé de plaques de céramique de type «Promatect».

Bien que relativement médiocre, la qualité du sol de fondation est suffisante pour les faibles sollicitations auxquels il sera soumis. Compte tenu de la poussée d'Archimède, celles-ci représentent environ 28 % de la charge initiale.

Géologie et hydrogéologie

Le tracé dans le lac traverse un sillon molassique recouvert par les dépôts glaciaires du quaternaire surmontés de dépôts lacustres dont l'épaisseur ne dépasse pas cinq mètres. La fondation du tunnel, située à environ 11 m au-dessous du fond du lac se trouve, par

conséquent, dans le retrait würmien de consistance molle à tendre. La profondeur du lac ne dépasse guère 4 m sur ce tracé.

L'accrochage en rive gauche rencontre sous le quai Gustave-Ador les remblais du quai, les dépôts lacustres et le retrait würmien, soit des dépôts lâches, mous à tendres. Il n'interfère pas avec la couche d'alluvions anciennes baignée par la nappe protégée de l'Arve.

Sur la rive droite, entre le quai Wilson et la trémie située au bas de l'avenue de France, les travaux se réaliseront dans le retrait würmien. La galerie reliant les trémies est située principalement dans la moraine würmienne de compacité dure à très dure, baignée par l'aquifère de la rive droite. Cette nappe, non protégée, sera touchée sur environ 400 m. Des puits de détente sont prévus pour le cas où cet aquifère serait en charge.

Technique de construction du tunnel immergé

Le projet prévoit d'exécuter la partie sous-lacustre et rectiligne du tunnel par l'immersion d'éléments préfabriqués. La mise en œuvre de cette méthode comprend les opérations suivantes.

Aménagement d'un dock de préfabrication au large du mur de quai, à l'abri (élargi) du batardeau prévu pour la construction de l'accrochage du tunnel à la rive gauche. A l'intérieur de cette enceinte, située en grande partie à l'abri des vagues, coupées par la présence du port de plaisance en amont, un rideau de palplanches sera ancré en tête. Cette construction permettra d'excaver le dock avec une profondeur moyenne de 7 m sous le fond du lac. Le volume total à évacuer est de 175 000 m³.

Préfabrication des neuf éléments du tunnel en trois étapes comprenant respectivement quatre, trois et deux éléments de 120 m de longueur chacun. (Pour permettre la flottaison des éléments, le bétonnage du radier restera partiel.)

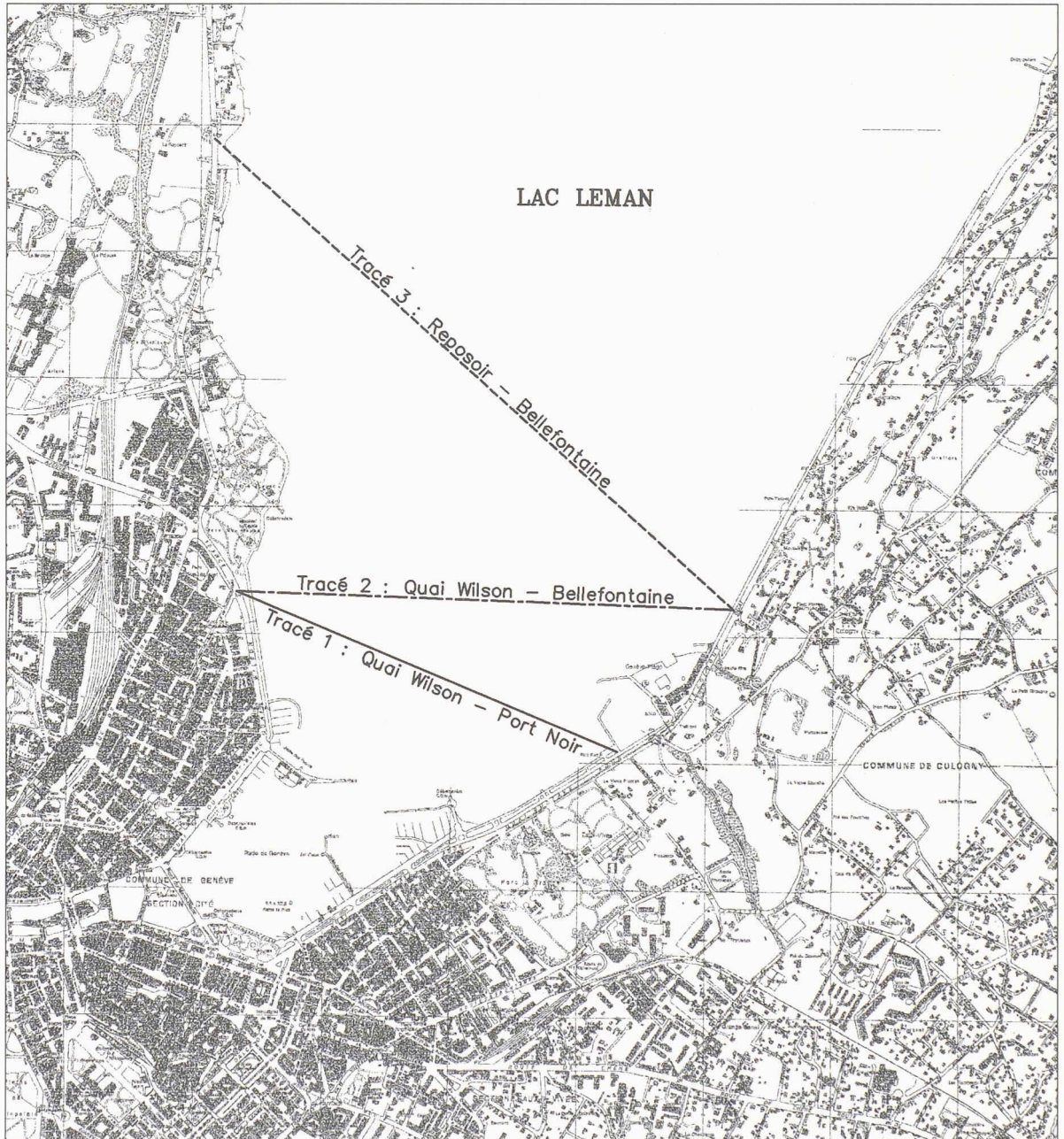


Figure 1. - Traversée de la rade : tracé 1 : Quai Wilson – Port-Noir, tracé 2 : Quai Wilson – Bellefontaine, tracé 3 : Reposoir – Bellefontaine

Construction de l'enceinte du chenal de pose du tunnel entre les rives. Cette enceinte est constituée de deux rideaux de palplanches ancrés en tête au moyen de tirants posés au fond du lac et retenus par un rang de palplanches auxiliaires. Ces quatre rideaux de palplanches sont arasés à 75 cm au-dessus du fond du lac sur toute la largeur de la rade. Ils échappent

ainsi à la force des vagues tout en protégeant le fond de fouille contre l'envasement. A la fin des travaux, les deux rideaux principaux seront arasés au niveau du fond du lac et laissés en place pour éviter tout désordre au niveau de la fondation du tunnel. Le rideau auxiliaire et les tirants seront retirés.

Excavation sous l'eau d'environ 370 000 m³ de sédiments pour le

chenal de pose. Deux méthodes ont été retenues :

- utilisation d'un grappin de 9 m³ monté sur une installation flottante avec évacuation par barges ; la zone de l'excavation sera confinée par un système de rideaux verticaux, fixés sur les rideaux de palplanches auxiliaires de manière à minimiser la propagation des éléments

fins mis en suspension par le grappin ;

- utilisation d'une drague suceuse et déversement des matériaux, transportés hydrauliquement à l'aide d'une conduite adéquate.

L'excavation s'effectuera en deux phases :

- la première à environ 6-7 m sous le niveau du fond du lac, suffisante pour amener les éléments jusqu'à la rive droite ;
- la seconde jusqu'au niveau définitif de fondation des éléments préfabriqués.

Transport et mise en place des éléments préfabriqués.

Mise en eau du dock puis démontage du batardeau sur une longueur adéquate.

Ensuite, pour chaque élément, l'un après l'autre :

- halage par flottaison jusqu'au droit de son emplacement définitif, en commençant par la rive droite dans le chenal aménagé à travers la rade ; pour cette opération l'élément est fermé aux deux extrémités par une cloison provisoire ;
- immersion par lestage hydraulique jusqu'à son niveau définitif avec réglage fin sur fondations provisoires ;
- mise en contact avec l'élément précédent par l'intermédiaire d'un joint protubérant et souple, puis pompage de l'eau confinée entre les cloisons d'extrémité des deux éléments ;
- constitution de la fondation définitive sous l'élément par injection de sable (au total environ 28 000 m³) à l'aide d'un système de conduites installé dans chaque élément et débouchant sous son radier ;
- démontage des deux cloisons provisoires, confection du jointoyage définitif entre les deux éléments, lestage définitif par pompage du complément de béton de chaussée avec évacuation simultanée du lestage d'eau provisoire ;
- remblayage entre les palplanches et les éléments ainsi que sur ceux-ci, soit environ 100 000 m³ ;

- arasage des palplanches du chenal de halage.

Galeries de liaison

L'exécution des galeries de liaison est basé sur la méthode suivante :

- la mise en place de parois moulées pour les murs depuis la surface du terrain ou des chaussées ; l'arasée des parois est prévue à 1 m sous le niveau du terrain ; elles servent ainsi d'enceinte de fouille sur toute la profondeur de l'excavation et forment les murs définitifs des galeries ;
- l'excavation, étayée au delà d'une profondeur de 5 m, jusqu'à l'intrados de la dalle de couverture ;
- le bétonnage de la dalle de couverture sur le sol en place ;
- le remblayage sur la dalle, l'excavation sous la dalle en partant des trémies construites, le bétonnage du radier ;
- le captage systématique des eaux éventuelles d'infiltration dans les joints entre les panneaux de parois moulées et leur conduite dans le système de drainage.

Cette méthode permet de limiter au minimum les emprises du chantier, la durée des travaux en surface ainsi que les mouvements de terres. Comme pour les galeries, l'enceinte des fouilles des trémies est constituée par des parois moulées jusqu'à 1 m sous le niveau des chaussées. Ces parois seront étayées pour l'excavation de la fouille et le bétonnage de la construction intérieure composée du radier et des murs intérieurs encastrés dans ce dernier.

Sur la rive droite, l'accrochage, en prolongation sous-lacustre du tunnel préfabriqué, est exécuté dans une enceinte protégée par un batardeau semblable à celui de l'aire de préfabrication.

La galerie à deux fois deux voies de circulation, de l'accrochage à la rive droite jusqu'à la trémie de l'avenue de France, est construite entre des parois moulées étayées jusqu'au fond de fouille.

Sur la rive gauche, l'accrochage jusqu'au quai est exécuté en fouille ouverte dans l'enceinte de préfabrication pendant la fabrication des deuxième et troisième groupes d'éléments. Un rideau de palplanches non étayées permet d'atteindre le fond de fouille, à 2 ou 3 m sous le niveau général du dock de préfabrication.

Ventilation du tunnel

La ventilation a été étudiée en considérant le tunnel sous la rade et le tunnel de liaison au plateau de Frontenex comme un seul ouvrage. Elle est de type longitudinal et assurée de façon naturelle par le pistonnage des véhicules, l'air frais provenant des trémies d'accès. En cas de trafic congestionné, le pistonnage des véhicules est assisté par la mise en marche de ventilateurs de jet, disposés sous le plafond, au-dessus des trottoirs.

D'une manière générale, lorsque la vitesse du trafic dépasse 30 à 40 km/h, l'effet de pistonnage suffit à lui seul pour ventiler le tunnel, à l'exception du tronçon bidirectionnel de l'avenue de France. Dans ce tronçon, un à deux ventilateurs de jet, selon l'importance du trafic, doivent être mis en marche de façon permanente pour assurer le renouvellement de l'air. Le soufflage se fait alors en direction du lac pour éviter la sortie de l'air vicié par les trémies de l'avenue de France.

La ventilation longitudinale du tronçon situé sous le quai Gustave-Ador en direction de Frontenex doit être assistée par deux ventilateurs en cas de trafic fluide. Cette ventilation diminue fortement les rejets d'air pollué par la trémie de sortie du Port-Noir, en obligeant l'air vicié à continuer son parcours vers la centrale de ventilation de Frontenex.

Une centrale de ventilation est également prévue sur la rive droite, sous le quai Wilson. Elle aura un débit d'aspiration de 350 m³/s, ce qui est suffisant pour extraire l'air pollué du tunnel, avant

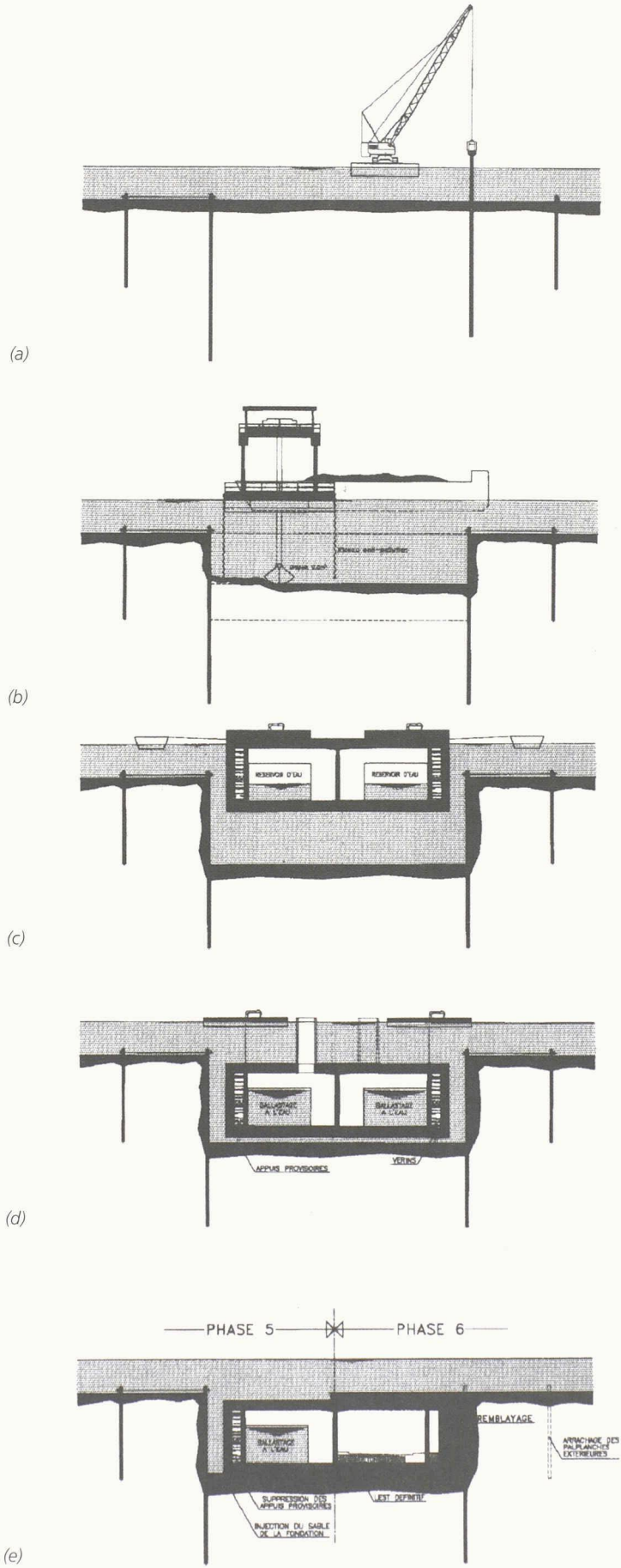


Figure 2. - Phases de construction du tunnel immergé:
 (a) battage des palplanches
 (b) excavation du chenal
 (c) halage des éléments
 (d) pose des éléments
 (e) fondation des éléments et remblayage

sa sortie par les trémies de l'avenue de France, et pour le rejeter à l'extérieur par une cheminée.

Durée et coût des travaux

La durée des travaux est estimée à 50 mois. Leur coût est évalué à 390 millions de francs auxquels il faut ajouter les honoraires, divers et imprévus pour un montant de 60 millions et le renchérissement fixé à 40 millions, ce qui représente un coût total de 490 millions de francs.

Groupement de mandataires

- Ingenieurs civils*
 Bonnard et Gardel
 ingénieurs conseils, pilotes
 Fernando Herrera,
 ingénieurs civils
- Architectes, urbanistes*
 ACAU Atelier coopératif
 d'architecture et d'urbanisme
- Etudes d'environnement*
 ECOTEC Environnement
- Trafic*
 Robert-Grandpierre et Rapp
- Méthodes de construction*
 C. Zschokke Développement
- Etudes des équipements électromécaniques*
 Bonnard et Gardel
 ingénieurs conseils