

Galerie de l'Aire: procédés spéciaux utilisés pour la traversée des limons fluents

Autor(en): **Fiala, François / Ott, Jean-Conrad**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **113 (1987)**

Heft 19

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76414>

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.

Le prix d'un ingénieur-conseil

par Jean-Marc Duvoisin, Pully-Lausanne

Depuis longtemps, l'individu ne peut résoudre par lui-même tous les problèmes qui se posent à lui. Il a alors recours aux conseils de spécialistes. Ainsi, lorsqu'il est atteint dans sa santé, il s'adresse au médecin et attend de lui un traitement approprié. Le prix de ce conseil passe à l'arrière-plan de ses préoccupations, cela d'autant plus que la société a inventé - avec raison d'ailleurs - des assurances qui vont couvrir très largement les frais de cette maladie. Lorsque notre homme consulte un avocat, il désire une défense réfléchie et judicieuse de ses intérêts. Le coût, même élevé, d'une bonne défense ne se discute pas, car il est faible en regard des intérêts en jeu.

Les mêmes considérations devraient l'emporter s'agissant des prestations de l'ingénieur. En effet, les conseils de l'ingénieur apportent une solution économique et fiable aux problèmes de la construction. Et le prix d'un bon conseil restera minime par rapport aux économies de construction et à la qualité de l'ouvrage.

Il faut malheureusement constater une forte dévaluation du prix que l'on attache aux conseils de l'ingénieur, et cela pour deux raisons principalement. La première se trouve chez les ingénieurs eux-mêmes. Le système de règlement des honoraires, qui fait que ceux-ci augmentent en fonction du coût des travaux, «prime» l'ingénieur qui propose une solution onéreuse. Deux fois même, puisque une proposition surdimensionnée donnera moins de travail et plus d'honoraires. La tentation est grande et il faut reconnaître que certains y ont cédé. La deuxième raison, sans doute la plus importante, réside dans une méconnaissance du métier d'ingénieur chez beaucoup de nos concitoyens. Certains pensent que l'ingénieur est un bétonneur. C'est aussi ridicule que de traiter de criminel l'avocat d'un assassin. Plus nombreux encore sont ceux qui confondent l'ingénieur et l'entrepreneur de génie civil. La différence est pourtant importante. L'entrepreneur fabrique dans les règles de l'art un produit qu'on lui a commandé et tous les éléments nécessaires à la bienfaisance de son travail lui ont été préalablement remis. L'ingénieur, quant à lui, ne fabrique rien, il conseille. Il conseille le maître de l'ouvrage et son architecte sur les principales options concernant les structures de la construction projetée. Il n'a strictement aucun intérêt personnel à défendre et il est donc très disponible pour défendre ceux de son client. Après une calculation précise et rigoureuse, il donne à l'entrepreneur les

informations qui lui permettront d'exécuter convenablement son travail.

En minimisant la valeur des conseils de l'ingénieur et en lui demandant, comme à un entrepreneur, de remplir une offre et d'accorder un rabais, le maître de l'ouvrage, voire l'architecte, fait une dangereuse erreur. L'ingénieur sous-rémunéré doit alors mettre dans la balance ses propres intérêts et il va inévitablement diminuer ses prestations. Qualité et coût

de la construction s'en ressentiront. C'est là l'un des éléments qui font que les affaires liées au bâtiment occupent la première place des dossiers traités par les instances juridiques.

L'homme qui a un problème à résoudre est fort heureusement libre de choisir le spécialiste le mieux capable de l'aider. Et cette liberté est fondamentale. En fonction du résultat qu'il désire obtenir, il doit toutefois être dûment informé des conséquences de son choix.

Adresse de l'auteur :
Jean-Marc Duvoisin,
ing. civil EPFL/SIA/ASIC
5, rue du Nord
1009 Pully

Galerie de l'Aire

Procédés spéciaux utilisés pour la traversée des limons fluents

par François Fiala et Jean-Conrad Ott, Thônex-Genève

Sur un petit dixième de sa longueur, la galerie de dérivation des crues de l'Aire (Genève) [1]¹ traverse des formations géologiques contenant des limons aquifères (retrait würmien), dont le passage a suscité de nombreuses difficultés [4].

Laissant de côté les méthodes d'exécution classiques employées dans les tronçons molassiques et exposées ailleurs [2], le présent article s'attache à décrire les procédés spéciaux, parfois originaux, appliqués pour surmonter les obstacles provoqués par ces terrains fluents, à juste titre redoutés, et dont la présence a retardé l'achèvement de l'ouvrage d'environ deux ans.

On trouvera en particulier les raisons du choix de tel procédé plutôt que de tel autre en fonction de son coût, de sa possibilité de s'appliquer à la nature du terrain, de sa durée d'exécution.

On verra que le recours à la consolidation du sol par injections pétrifiantes à partir de la surface, conjointement au rabattement de nappe à grande profondeur, s'est révélé un moyen efficace et moins coûteux que la congélation.

1. Situation et géologie

La galerie de décharge de l'Aire, longue de 2 km environ, traverse le coteau de Confignon (fig. 1 et 2).

Les conditions géologiques et géotechniques, reconnues avec soin avant les travaux, mentionnaient entre PK 300 et PK 500² une couche de retrait glaciaire avec lentilles de limons aquifères susceptibles d'apporter de sérieuses difficultés au cours des travaux [6].

Plus à l'aval la galerie devait, d'après les prévisions, rencontrer successivement la moraine, puis la molasse, enfin les «alluvions anciennes» (fig. 2).

Ces prévisions se trouvèrent confirmées. Le comportement de ces dernières couches n'est pas notre propos, ni les travaux qui s'y rapportent.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

² PK : indique le nombre de mètres depuis l'origine conventionnelle de la galerie.

C'est plus particulièrement le comportement du retrait glaciaire et les travaux spéciaux réalisés pour parvenir à les traverser que nous aimerions présenter ici.

2. Caractéristiques et comportement des sols traversés

Le retrait glaciaire rencontré est constitué :

- soit d'argile plus ou moins limoneuse, dotée d'une certaine cohésion, mais plastique, collante, très peu perméable donc peu aquifère,
- soit de lentilles de limon avec peu d'argile, contenant une nappe phréatique alimentée de façon irrégulière par les pluies (fig. 10).

Ces deux formations sont dites «varvées», c'est-à-dire déposées en couches successives de quelques millimètres, tantôt riches, tantôt plus pauvres en éléments fins selon la vitesse du courant qui les a amenées (fig. 4).

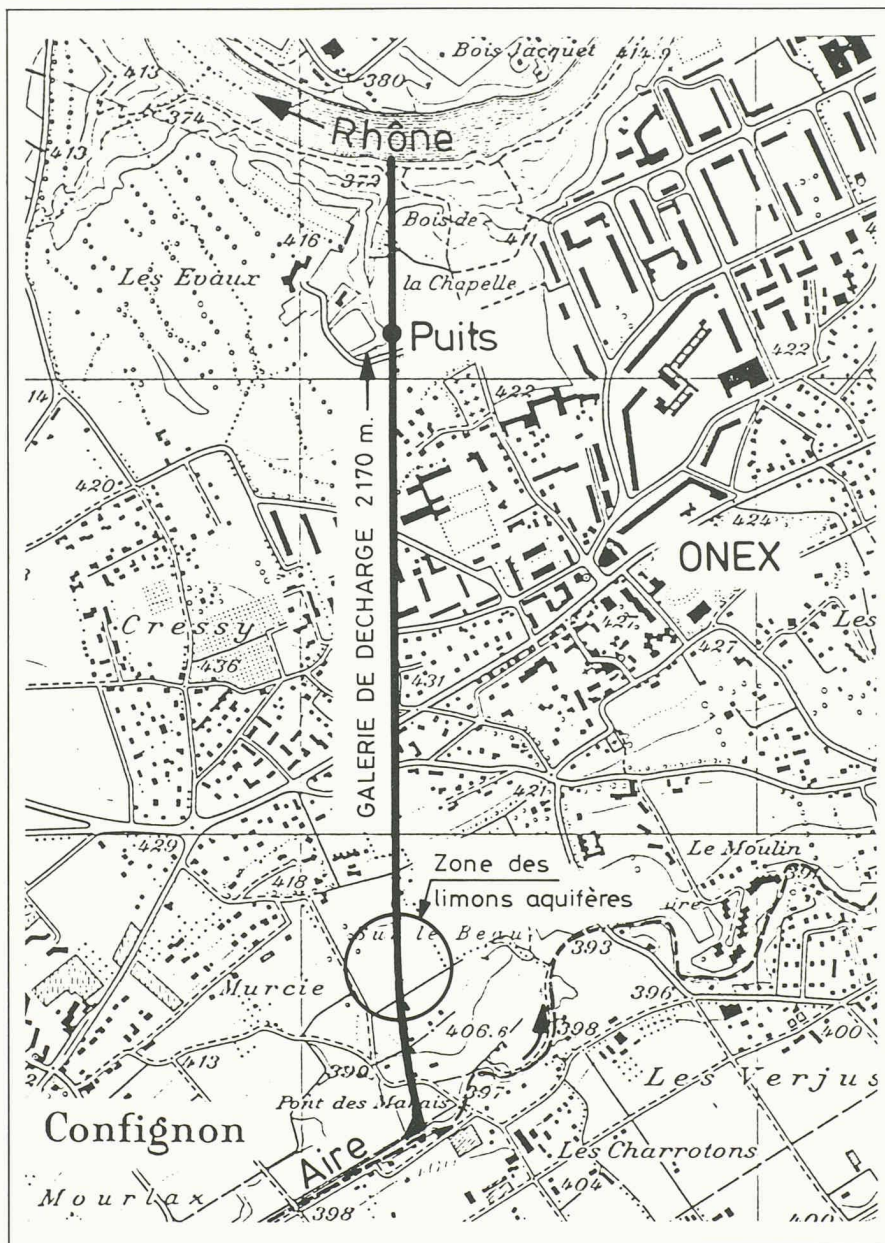


Fig. 1. — Situation de la galerie de décharge.

Le sol b) est doté d'une légère cohésion, compact tant qu'il est serré en profondeur par les terrains sus-jacents. Il est alors peu perméable, tout en laissant percoler l'eau. En revanche, dès qu'on le «déconfine» ou que l'on modifie la direction des contraintes principales (cas de l'extrados non revêtu), il se détend, absorbe l'eau. Si la nappe aquifère trouve à s'échapper vers une surface libre avec un gradient important ($iv > \gamma'h$) le sol progressivement se désagrège et se transforme en limon fluide, c'est-à-dire en boue liquide.

Ce changement d'état se propage vers l'intérieur de la masse.

Le sol devient «bouillant» d'aval vers l'amont. Si le limon est entraîné, c'est l'amorce d'une érosion interne [7].

Ce phénomène ne dépend que de trois conditions :

- présence d'une nappe aquifère
- limon peu argileux donc peu cohérent (granulométrie, fig. 10)
- gradient d'écoulement critique (il échappe à un calcul exact à cause de l'hétérogénéité des varves).

L'expérience montre qu'il suffit de débits très modestes (quelques litres par minute) pour amorcer le phénomène. Quand la cohésion est tombée à zéro c'est le collapsus, on parle alors d'un «renard».

3. Disposition des chantiers et des installations

Installations

Les chantiers sont installés de façon à permettre les excavations de la manière suivante (fig. 2 et 3) :

- Côté Confignon :
Chantier au bord de l'Aire. Excavation d'abord à ciel ouvert en tranchée blindée (jusqu'au PK 145), puis galerie des-

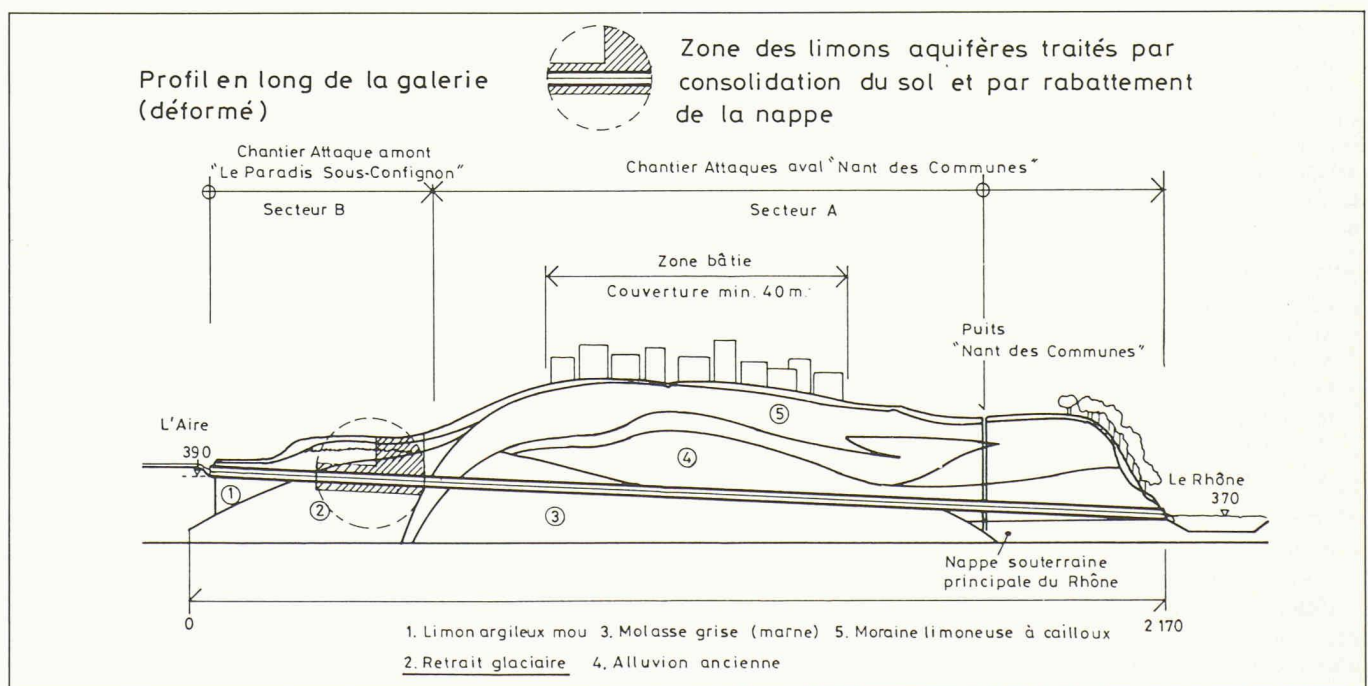


Fig. 2. — Profil en long avec sens des attaques.

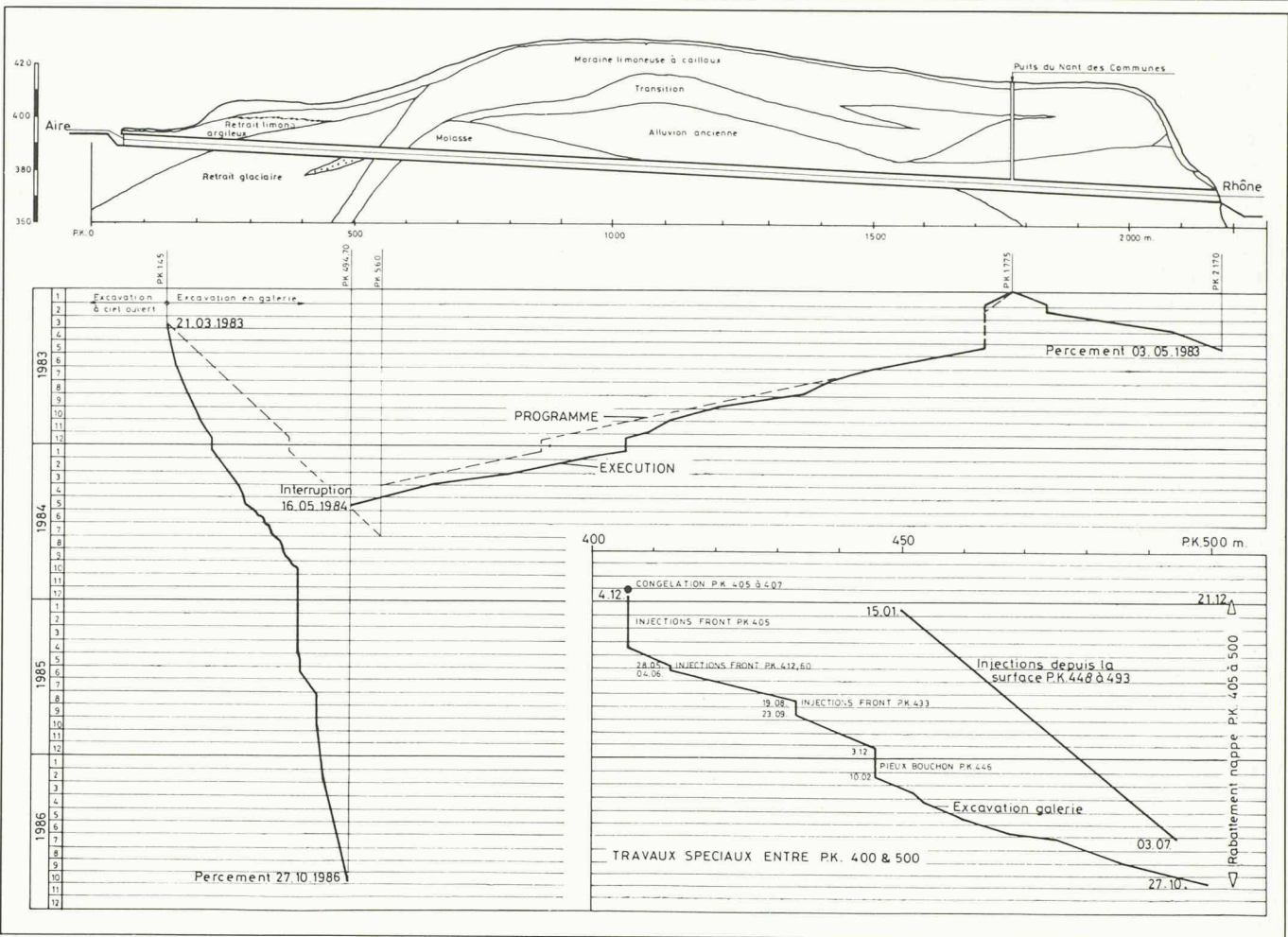


Fig. 3. — Avancement des travaux d'excavation et des travaux spéciaux entre PK 400 et 500 (encadré de droite).

çendante, sens qui nécessite l'épuisement des eaux d'infiltration.

- Côté Onex :

Après creusement d'un puits d'accès dit « du Nant des Deux Communes », ouvrage d'ailleurs utile au stade définitif pour évacuer les eaux pluviales d'Onex, attaque dans deux directions :

- a) descendante vers le Rhône
- b) montante vers Confignon

jonction prévue PK 560 (voir programme des travaux, fig. 3).

En fonction des données connues avant les travaux [6], le consortium des entreprises adjudicataires propose et adopte les dispositions ci-dessous pour la creuse des divers tronçons de galerie.

Attaques Onex

- Excavation mécanique à la fraise
- Soutènement par cintres perdus et planches métalliques en voûte
- Gunitage puis bétonnage du revêtement sur coffrage glissant porté sur chariot à pneus, cette opération à faire dans une phase ultérieure

Attaque Confignon

- Bouclier et excavation mécanique à la pelle, revêtement béton suivant immédiatement, exécuté à l'abri du bouclier
- Pour faciliter la compréhension, ajoutons que ce bouclier, analogue à celui qui fut utilisé au tunnel routier de Carouge, ne comporte pas une trousse annulaire

continue. Il est formé d'une série de palplanches spéciales (dites improprement « lances ») que l'on fonce une à une horizontalement au vérin. On constitue ainsi une voûte et des piédroits métalliques provisoires. Les lances en porte à faux sont ensuite raidies par des cintres métalliques mobiles transférés successivement de l'arrière sur l'avant. La queue des lances s'appuie à l'arrière sur un anneau de béton encore jeune et doit pouvoir glisser dessus (fig. 8). Le bouclier n'offre pas de protection contre la remontée du terrain de bas en haut, cette fonction étant confiée au sous-radier bétonné à pleine fouille tranche après tranche (une tranche = un espacement de cintre).

Chaque lance porte une pointe en forme de palette qui peut être orientée par des boulons, dispositif destiné à guider dans une certaine mesure la direction à prendre par l'ensemble du bouclier (fig. 4).

4. Déroulement des travaux en galerie

Côté Onex

Les abondantes figures et photos de la plaquette publiée par le Département des travaux publics [2] nous dispensent d'en dire plus sur l'exécution de la galerie par l'attaque d'Onex, où les travaux se sont déroulés dans l'ensemble conformément au programme.

Côté Confignon

Il en alla bien autrement de l'attaque côté Confignon, caractérisée par une sévère bataille et des travaux spéciaux imprévus. Au PK 190, l'argile commence à coller. Changement d'excavateur puis excavation (à la bêche à fil) manuelle au PK 290. Le terrain est encore peu aquifère (1,5 à 2 lit/min : dans un forage à l'avancement au PK 387).

A partir du PK 350, on constate que le bouclier dévie progressivement de côté et surtout s'enfonce.

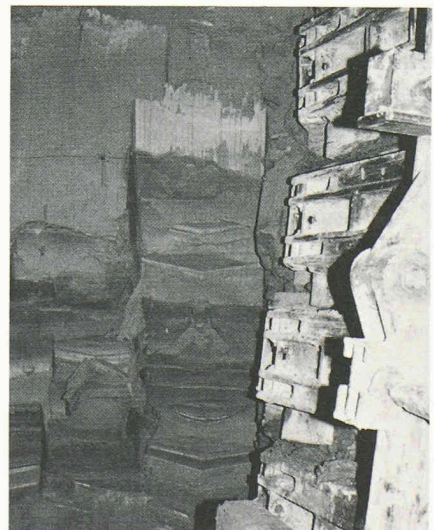


Fig. 4. — Front d'attaque, lances du bouclier et terrain « varvé » au PK 290. (Photo Fiala.)



Fig. 5. — Limon fluide en cours de congélation au PK 405. (Photo Fiala.)



Fig. 6. — L'eau monte dans la galerie. PK 405. (Photo Fiala.)

Par la manœuvre des vérins et des palettes orientables (fig. 8), on s'efforce sans succès de guider le mouvement; au PK 405 les déviations latérales et verticales atteignent respectivement 30 et 45 cm. Le bétonnage du préradier s'exécute dans la boue. Comme les lances basses sont à hauteur de taille, il faut aussi battre des «marche avant» latérales, colmater les joints entre les lances.

Au PK 405, une dizaine de mètres cubes de limon envahissent la galerie avant que l'on arrive à constituer le sous-radier et mettre en charge le premier cintre. C'est l'arrêt de l'avancement. Il faut à tout prix étayer le front, le blinder, la pose du premier cintre devient impossible. Que faire?

D'entente entre les partenaires collaborant à la réalisation des travaux, il est alors convenu de mettre en œuvre des procédés spéciaux sur la base d'un appel d'offres prévoyant différentes solutions.

5. Congélation (PK 405-407, fig. 8)

Afin de protéger le front et d'asseoir le premier cintre, on décide une opération

de congélation d'urgence, limitée au matériel d'invasion.

Elle réussit, mais coûte très cher (voir tableau ci-contre); trois jours d'efforts, 30 m³ congelés (fig. 5).

Cependant, il se révèle que le limon devient aussi fluide en dessous de la galerie, ce qui explique l'enfoncement progressif du bouclier.

C'est pourquoi le rabattement de la nappe est tenté.

6. Rabattement de la nappe phréatique PK 405 à PK 500 (fig. 8)

Deux puits filtrants de 35 m environ sont mis en service (F2-F3). Les piézomètres baissent. L'opération s'avère possible. On creusera par la suite, à la demande, entre les PK 405 et PK 500 dix-huit puits filtrants (fig. 5) munis soit de pompes, soit de «giffards».

La nappe phréatique baissera d'environ 10 m pendant les travaux avec des fluctuations dues aux perturbations dans la marche des pompes, curage des puits, ensablage (fig. 9). Le débit total soutiré variera entre 30 et 50 lit/min quel que soit

le nombre de puits en fonction. Ainsi par exemple, la galerie sera entièrement dénoyée avec deux giffards au PK 405, là où les deux puits sont situés de part et d'autre de l'axe.

7. Consolidation à l'avancement par injection (PK 405-PK 454)

On entreprend donc, à partir du bouchon gunité établi au PK 405, une consolidation du terrain par le procédé décrit ci-après.

La consolidation à l'avancement visait à :

- améliorer la portance du sol desserré sous le niveau de la galerie;
- permettre de creuser le logement du préradier;
- créer une meilleure assise pour les cintres provisoires.

Une première nappe en éventail de forages descendants (fig. 8) fut établie dans un espace très exigu. Il s'agissait de consolider le terrain mis en mouvement en avant du front et de former une zone stable entre le front et le sol à injecter ultérieurement. Puis reprise de l'avancement. A partir de trois bouchons établis successivement aux PK 405, 412 et 433, on procéda à l'injection du sol depuis la galerie.

Ainsi, l'exécution des forages et des injections obliques provoquera un arrêt de l'avancement compris entre quinze jours et un mois pour chaque étape (voir programme d'exécution, fig. 3, encadré de droite).

Pour ce mode d'injection, les travaux et produits suivants ont été mis en œuvre :

- Forages 1204 m
- Silicate de soude 38° B. 490 m³
- Durcisseur MQ5 (formaldéhyde) 29 m³
- Vol. approximatif du terrain traité 1650 m³

A l'excavation, on constate une répartition très inégale des produits. Il subsiste des conduits, créés dans le terrain par l'érosion interne, qui apportent du limon.

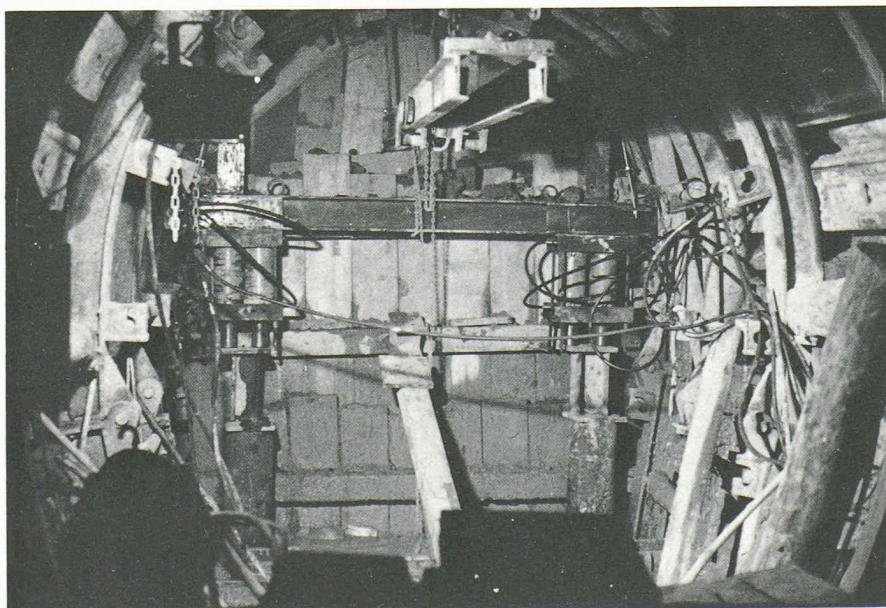


Fig. 7. — Front blindé et fonçage des pieux au PK 446.

(Photo Fiala.)

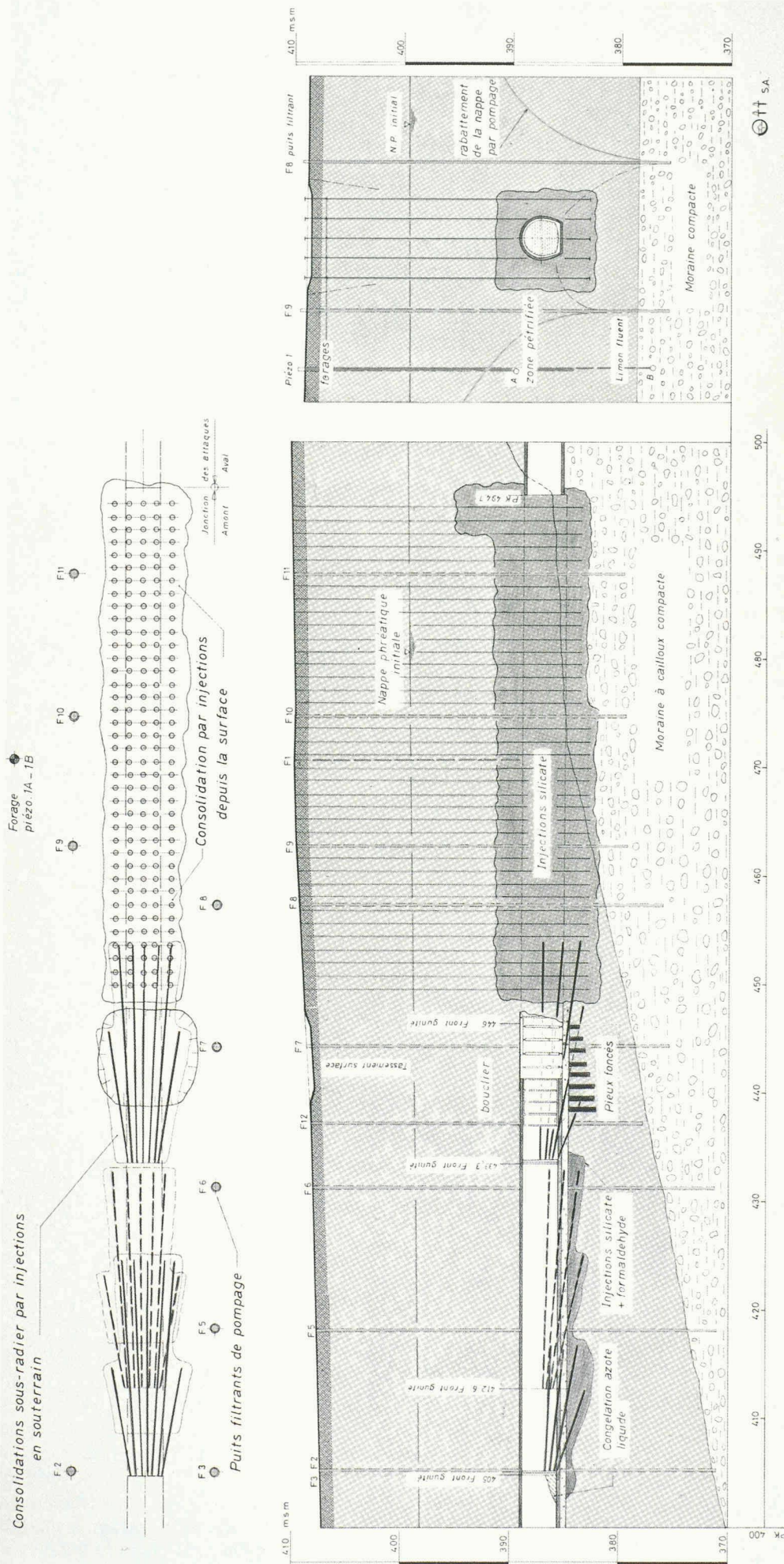


Fig. 8. — Travaux spéciaux entre PK 405 et 500. Plan et coupes.

Ont participé aux travaux :

Maître de l'ouvrage :

- Département des travaux publics, Genève :
- Direction du génie civil
 - Division des ponts et chaussées
 - Service du lac et des cours d'eau

Mandataires :

- Mouchet, Dubois & C^{ie} SA
Ingénieurs civils AGI-SIA,
Petit-Lancy
Ott SA - Géotechnique
Ingénieurs-conseils ASIC-SIA,
Thonex-Genève

Entreprises :

- Consortium Zschokke-Losinger-Murer-Spinedi
Sous-traitant travaux spéciaux :
Stump Sondages SA

Il n'est pas possible de rectifier la direction du bouclier, les cintres tassent excessivement lors de la mise en charge.

8. Pieux foncés (PK 438-446)

Entre les PK 438 et 446, les injections obliques n'ont pas suffisamment stabilisé le sol sous le radier.

On fonce alors au vérin, à l'intérieur du bouclier, 16 pieux disposés sous les pieds des cintres : ils assurent le calage des cintres et évitent que le bouclier ne tasse au moment de la mise en charge des cintres. Compte tenu des problèmes que posent les injections obliques, des résultats obtenus et du fait que le sol au droit de la galerie est plus aisément accessible depuis le PK 446, il est alors convenu d'intervenir dès la surface pour les injections. Cette solution est l'une des variantes qui avaient été prévues dans l'appel d'offres pour les travaux spéciaux.

A cette fin, on procède à un gunitage du blindage du front au PK 446 (fig. 7). Cette mesure est destinée à :

- permettre le remplissage des cavités qui se sont formées à l'avant du front par entraînement des limons ;
- empêcher le débouillage du limon dans la galerie sous l'effet des injections.

Le front restera gunité jusqu'au 10 février 1986.

9. Consolidation du sol par injection depuis la surface (PK 454 à 500)

Il s'agit de constituer autour de la galerie une sorte de bloc de terrain véritablement pétrifié (fig. 8), au moyen d'un réseau très dense de forages verticaux.

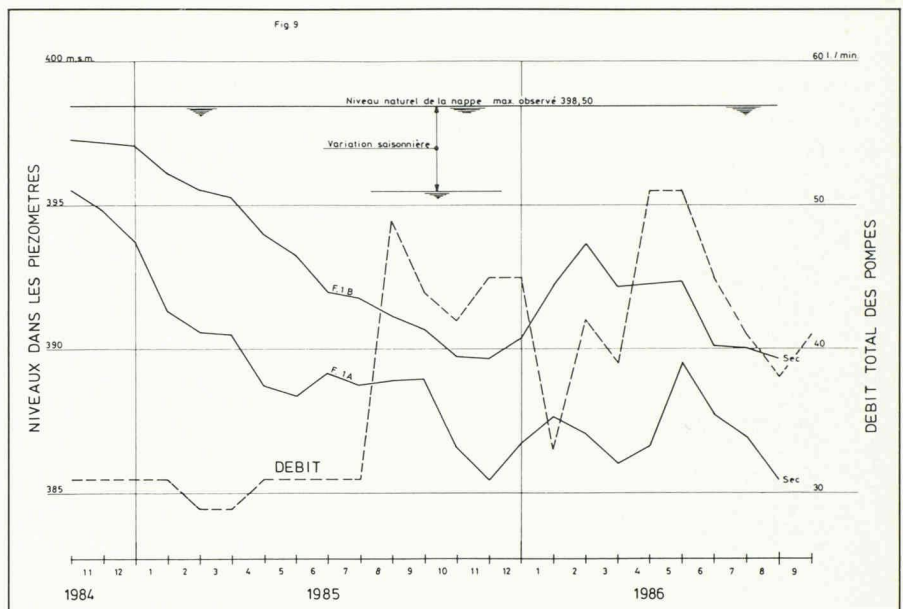


Fig. 9. — Effet des puits filtrants. Courbes de rabattement et débits totaux extraits.

L'injection de gels durs et d'autres produits, en trois phases, hors des terrains perturbés par la galerie en avant du front est prévue (190 forages de 20 à 25 m, sur 285 m² ; densité considérable). L'opération commence le 15 janvier 1986 et s'achèvera le 30 juillet 1986.

Les travaux et produits suivants auront été effectivement mis en œuvre :

- Forages et tubes à manchettes..... 4940 m
- Silicate de soude 38° B... 415 m³
- Durcisseur B 600 (méthylglucinate) 24,8 t
- Bentonite «Tixoton» 10,7 t
- Volume approximatif de terrain traité..... 2350 m³

Le creusement de la galerie reprend à la mi-février 1986. La zone traitée en avant du front d'excavation est de 10 m au minimum. Néanmoins, à cette distance, les surpressions de la nappe engendrées par les injections restent perceptibles au front.

A l'excavation, les limons apparaissent transformés en grès. Quelques strates de limons subsistent. Les masses pétrifiées doivent être abattues à la bêche pneumatique. Le calage et l'assurage des cintres ne présentent plus de problèmes.

Entre les PK 446 et 494, les déviations ont pu être progressivement corrigées. Les écoulements de limon sont insignifiants. Enfin, les pompages n'ont pas gêné la pétrification.

Coûts des travaux spéciaux entre PK 400 et PK 500

	PK	Long. approx. de la zone traitée m ^l	Volume approx. traité m ³	Coût effectif 1986 Fr.	Coût par mètre de galerie Fr./m ^l
Procédé appliqué					
Consolidation à l'avancement en galerie : gel (silicate + formaldéhyde), forages + injections	400-450	50	1650	350 000	7 000
Rabattement de nappe durant 23 mois : forages + exploitation	410-500	90	—	430 000	4 800
Pétrification depuis la surface : silicate + B600 + «Tixoton»	450-500	50	2300	820 000	16 400
Congélation à l'azote	405-407	~ 2	30	52 000	—
Coût total				1 652 000	
Coût moyen par mètre					16 250
Procédé envisagé					
Congélation du terrain depuis la surface - offre sans imprévus - imprévus 10%	445-490	45	—	1 900 000 190 000	
Coût estimé par congélation				2 090 000	
Coût moyen estimé par congélation					46 500

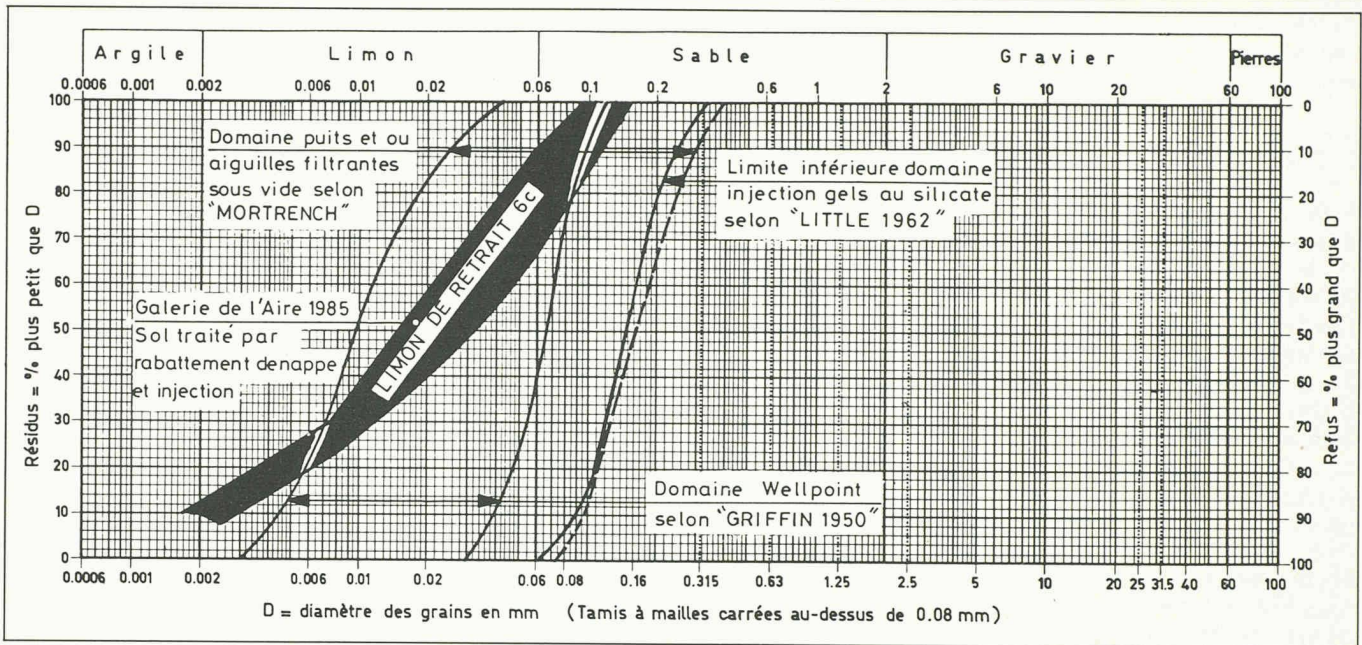


Fig. 10. — Composition granulométrique des limons fluents. Limite conventionnelle des domaines d'application des procédés de rabattement et d'injection.

Les puits filtrants n'ont été contaminés ni par le silicate (contrôle chimique), ni par migration des limons (contrôle de la teneur de fins en suspension).

10. Avantages et inconvénients des procédés utilisés

Bouclier à lances

Bien adapté pour l'argile même plastique. Dans les limons rendus fluents:

- coincement des lances
- impropre à maîtriser la remontée du fond de fouille pour le préradier à exécuter à l'avancement
- guidage par les palettes inefficace.

La nécessité de blinder le front et d'excaver par tranches horizontales enlève de l'intérêt au procédé lorsque la longueur du tronçon fluide à traverser est trop importante par rapport à la longueur des étapes d'excavation qu'autorise le système.

Injection à l'avancement en souterrain

Peut être entreprise à bref délai, à la demande. Entrave les travaux d'excavation. Les forages obliques ne recoupent pas assez les lits de stratification, malgré le gunitage des bouchons, et on ne peut pas suffisamment monter en pression à cause du risque de bloquer définitivement les lances. Surveillance et qualité difficiles à assurer vu l'exiguïté du lieu.

En ce qui concerne le choix du type de produit à injecter, l'emploi d'un gel pur, en l'occurrence une solution silicate + formaldéhyde, n'est pas à indiquer lorsqu'il y a risque de délavage par des eaux mises en circulation par les travaux à proximité: pompes, forages à l'avancement. Dans le cas particulier, le procédé n'a pas tenu ses promesses.

Injection en surface

Doit être planifiée d'avance. Nécessite une occupation de la propriété privée ou même un achat coûteux.

Le procédé a bien réussi. Il requiert une densité considérable de forages. La procédure d'injection adoptée, les hautes pressions possibles et employées, enfin le type de gel choisi ont permis de repousser les limites du procédé bien au-delà de ce qui était généralement admis, vu la finesse et la très faible perméabilité des limons (fig. 10). Le procédé est encore compétitif à des profondeurs supérieures à 25 m (voir le tableau des coûts).

Rabattement de nappe

A été possible dans un limon très peu perméable et au-delà des limites du domaine d'application citées dans la littérature par les spécialistes (fig. 10).

Il n'est pas exclu de l'utiliser conjointement à la pétrification. L'utilisation du giffard n'est pas limitée par les grandes profondeurs, comme l'est l'utilisation du procédé Wellpoint, par exemple.

Pour des travaux importants, lorsque la composition granulométrique du sol indique que la limite du domaine d'application du procédé risque d'être atteinte, un essai de rabattement reste indispensable.

Coûts

Il ressort du tableau de la page précédente diverses constatations:

- a) A la galerie de l'Aire
Le coût de la congélation depuis la surface du tronçon de 100 m, dans les limons fluents, aurait été plus du double du coût de l'ensemble des procédés spéciaux utilisés.
- b) Pour d'autres chantiers
D'une façon générale et dans des conditions analogues: nappe aquifère,

Bibliographie

- [1] MOUCHET, DUBOIS + C^{IE} SA: *Etude d'aménagement de l'Aire*, 1981.
- [2] DÉPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLICS, GENÈVE: *Galerie de décharge des cours de l'Aire*, 1983.
- [3] Procès verbaux de chantiers, 1982-1987 (non publiés).
- [4] AMBERGER, G.: *Profil géologique. Classification des sols de la galerie de décharge du bassin de l'Aire*, Service cantonal de géologie, 1986.
- [5] REVESZ, L.: « Soutènement de galerie en terrain meuble », *Construction Romande*, 15.2.87.
- [6] OTT SA: *Etude géotechnique de la galerie de décharge du bassin de l'Aire*, 1979 (non publié).
- [7] DAXELHOFFER, J. P.: « Erosion interne », *Fondation Rodio, Bulletin 5*, Centre d'études et de recherches géotechniques, 1937.

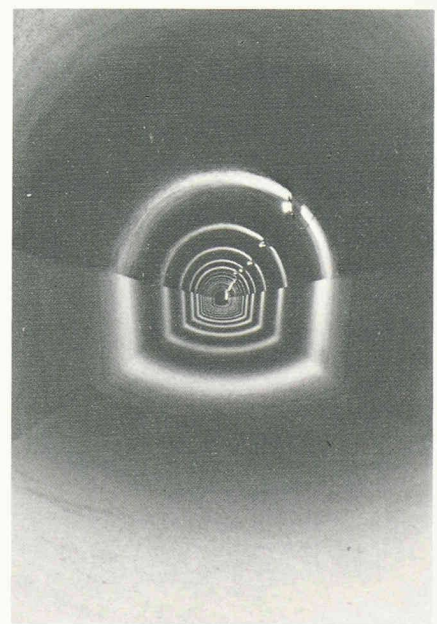


Fig. 11. — Galerie terminée. (Photo Zosso - Bureau Mouchet.)

type de sol, profondeur 20 à 30 m environ, possibilité d'accéder en surface; les procédés se classeraient vraisemblablement comme suit par ordre de coûts croissants:

- rabattement depuis la surface seul
- pétrification depuis la surface seule
- rabattement + pétrification
- congélation depuis la surface.

Conclusion

Les travaux décrits ont permis de maîtriser une perforation de galerie particulièrement délicate. Le choix des procédés spéciaux à mettre en œuvre a constam-

ment dû s'adapter aux contraintes ponctuelles: nature du sol, accessibilité en surface, dispositif d'avancement et de soutènement notamment.

Quel que soit le procédé retenu, de tels travaux n'épargnent pas la peine des hommes œuvrant au front d'attaque. Cette vérité doit rester présente à l'esprit de tout concepteur d'ouvrage souterrain. Pour la galerie de l'Aire, la collaboration étroite et confiante entre le maître de l'ouvrage, le bureau d'ingénieurs civils chargé du projet et le bureau spécialiste des sols a constitué un élément fondamental de la réussite du projet. Comme le montrent les coûts relevés, cette collabo-

ration a permis au maître de l'ouvrage de bénéficier non seulement d'un apport de connaissances non négligeable, mais encore d'économies sur les travaux imprévus que la nature impose fréquemment à ceux qui construisent dans le sol.

Adresse des auteurs:
 François Fiala
 Jean-Conrad Ott, J. C. Ott SA
 Ingénieurs civils ASIC-SIA
 Laboratoire de géotechnique
 8, ch. des Deux-Communes
 1226 Thônex-Genève

Grand Casino de Genève

par Erricos Lygdopoulos, Genève

Le Grand Casino de Genève a déjà été brièvement présenté dans ces colonnes (voir Ingénieurs et architectes suisses du 13 septembre 1979). Nous revenons ici sur quelques aspects particuliers de sa structure.

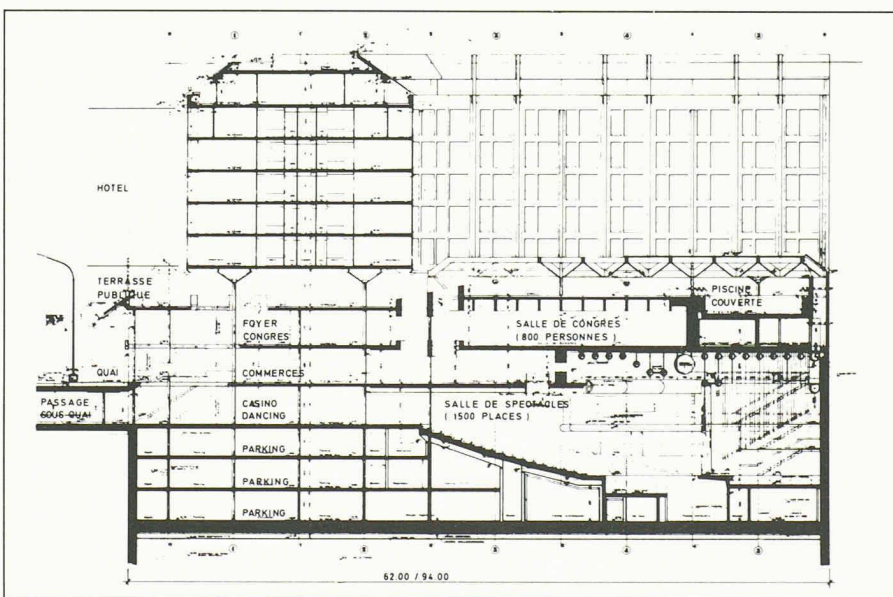


Fig. 1. — Coupe du Grand Casino.

L'ensemble, d'un volume de 180 000 m³ et comportant une surface utile de 53 000 m², se divise en trois parties principales (fig. 1):

- les sous-sols, comprenant trois étages de parking de 250 places, des locaux de service pour l'hôtel et le théâtre, des locaux techniques et des dépôts;
- le niveau intermédiaire avec une salle de théâtre de 1500 places, l'entrée de l'hôtel, le casino, un dancing, des restaurants, des salles de congrès et de conférence, une piscine couverte et des boutiques, entourées d'une terrasse;
- les six niveaux supérieurs, occupés par un hôtel de luxe disposé en forme de

fer à cheval, offrant 400 chambres et des appartements en attique.

De par la complexité de ses fonctions interpénétrantes, ainsi que par la proximité immédiate du lac, cette construction a posé à l'ingénieur civil plusieurs problèmes, nécessitant des études particulières.

Mérite d'être mentionnée, entre autres, la solution adoptée pour la transmutation du système porteur, entre les parties haute et basse de l'immeuble.

Lors de la conception du projet, les architectes se sont heurtés à l'incompatibilité des deux trames principales. En effet, la modulation des chambres d'hôtel imposait des porteurs linéaires espacés de

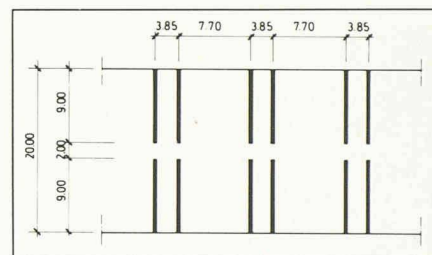


Fig. 2. — Dalle type des six étages de l'hôtel.

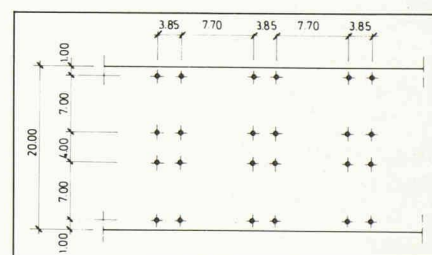


Fig. 3. — Dalle terrasse: solution non retenue.

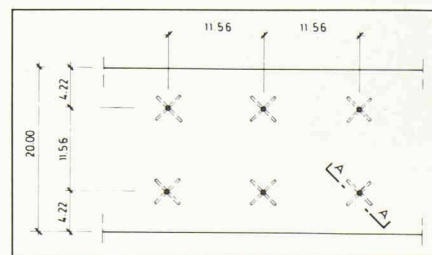


Fig. 4. — Dalle terrasse: solution adoptée.

3,85 m et 7,70 m alternativement: chambres «single» et «double», respectivement (fig. 2). Or, pour des raisons d'utilisation et, surtout, d'esthétique, la reprise des parois en question, dans les sept niveaux inférieurs formant le secteur commercial et les garages, devait se faire ponctuellement. Si les colonnes étaient placées selon le rythme précité, il en résulterait non seulement une forte densité d'éléments porteurs (fig. 3), mais, également, une grande perte de places de parking.

Cet obstacle a pu être contourné grâce à une transition des charges effectuée par un dispositif inédit jusqu'alors. Ce dernier, conçu en métal, transmet les char-