

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 102 (1976)  
**Heft:** 4: SIA spécial, no 1, 1976: Galerie technique et galerie d'eaux pluviales, Genève  
  
**Artikel:** Cadre géologique et caractéristiques géotechniques des formations rencontrées  
**Autor:** Dériaz, Pierre / Odier, Michel / Amberger, Gad-François  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-72916>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

surface. Les fils à plomb déjà mentionnés ont été utilisés pour ces contrôles. Les corrections éventuelles ont été calculées sur ordinateur.

## 6. Les principales difficultés rencontrées

En surface, nous avons souvent manqué de recul pour matérialiser nos points de repère. D'autre part, la recherche de la visibilité entre points, rendue difficile par la circulation, les antennes, poteaux et fils de toutes sortes, nous a obligé parfois à choisir des solutions moins favorables.

La petite section, la profondeur et l'encombrement des puits ont été les principales sources de difficulté pour l'implantation des ouvrages. La bonne position et la stabilité des fils à plomb ont été parfois difficiles à obtenir, surtout pour des profondeurs de plus de 35 m.

Les distances très courtes qui ont pu être rabattues au fond des puits ont nécessité des mesures répétées d'une grande précision. Les plaques scellées dans le radier des galeries ont subi des déplacements parfois sensibles, dus à la décompression du sol, au passage des trains et à la nature des terrains traversés. Ces plaques ont été vérifiées à plusieurs reprises avant de pouvoir être utilisées définitivement.

La portée des distances mesurées au Distomat Wild DI 10 a dû être ramenée à 200 m environ dans les zones de molasse à cause de la poussière en suspension dans l'air.

## 7. Les précisions finales obtenues

Pour les puits et les forages, nous avons constaté les écarts moyens suivants entre les points implantés en surface et en profondeur :

|            |        |
|------------|--------|
| directions | 4,2 cm |
| distances  | 2,3 cm |
| altitudes  | 0,1 cm |

Pour les galeries, l'écart moyen entre les axes théoriques et réels implantés n'a pas dépassé 3,0 cm en direction.

## 8. Contrôle de la stabilité du terrain

La direction des travaux nous a demandé de placer environ 65 repères d'altitude entre Saint-Jean et Schaub, sur des bâtiments situés au-dessus de la zone de percement des galeries et sur une largeur totale d'environ 100 m.

Ces repères ont été nivelés en moyenne tous les trois mois.

Ces contrôles avaient pour but de constater d'éventuels tassements d'immeubles provoqués par les travaux d'excavation.

Nous avons constaté quelques variations saisonnières du terrain mais aucun affaissement anormal ou subit.

## 9. Levé des ouvrages

Les ouvrages d'accès et les galeries ont été levés après exécution. Des plans de situation 1/500 ont été établis, donnant entre autres renseignements les coordonnées nationales et les altitudes des points d'axes, en moyenne tous les 100 mètres.

Les ouvrages sont inscrits au Cadastre, sur les états des contenances des fonds touchés, pour rappeler aux propriétaires qu'il existe une galerie dans le tréfond de leur parcelle.

Adresse de l'auteur :

Jean-Pierre Kuhn  
ingénieur géomètre SIA  
rue Marignac 9  
1206 Genève

# Cadre géologique et caractéristiques géotechniques des formations rencontrées

par PIERRE DÉRIAZ, MICHEL ODIER et GAD-FRANÇOIS AMBERGER, Genève

## 1. Introduction

La grande variabilité du sous-sol de la région genevoise, qui pose de délicats problèmes lors de la réalisation d'ouvrages souterrains importants, a pour origine la succession des divers phénomènes géologiques suivants :

- Le dépôt, durant la période oligocène, de sédiments détritiques, provenant de l'érosion des Alpes en cours de formation, dans les lacs ou lagunes occupant l'actuel plateau suisse. Ces sédiments, après diagenèse, sont à l'origine de la molasse.
- Une phase de déformation tectonique et d'érosion, qui a modelé la molasse en un relief assez tourmenté, actuellement en grande partie caché sous les formations quaternaires. Cette phase, assez longue, couvre la fin du Tertiaire et le début du Quaternaire.
- Durant le Quaternaire, un premier développement important des glaciers alpins, qui vont s'étendre jusqu'en plaine, puis se retireront par fonte, abandonnant une première série de sols morainiques très variables (glaciation rissienne).
- Une phase interglaciaire, avec établissement d'une flore et d'une faune, dont les traces fossiles sont pour nous un horizon repère précieux.
- Un second développement, encore plus important, des glaciers alpins (glaciation würmienne) avec dépôt de tout un complexe de moraines diverses et de formation du retrait.
- Les érosions de la période récente à historique, qui donnent les dernières retouches mineures au paysage actuel.

## 2. Cadre géologique des galeries Saint-Jean - Nations - Foretaille

Au parc de Saint-Jean, les galeries débutent à la verticale de l'ancien sillon d'érosion du Rhône dans la molasse. Elles traversent, au début, les moraines würmiennes, puis rissiennes remplissant ce sillon, et se dirigent vers l'ancien relief molassique du Petit-Saconnex - Pregny, qu'elles atteignent dès la rue du Grand-Pré. Le dernier secteur, avec deux galeries parallèles jusqu'à la place des Nations, est entièrement dans les marno-calcaires, grès et marnes molassiques. A partir de ce dernier point, la galerie technique seule continue, jusqu'au pont de la Foretaille, par un secteur également en molasse. Stratigraphiquement, cette molasse fait partie de l'Oligocène, plus précisément de la partie inférieure de l'étage chattien, connu sous le terme de molasse rouge.

Avant que les études géologiques détaillées pour ces galeries ne viennent infirmer notre point de vue, nous pensions qu'il existait dans le secteur de la ville, rive droite, une séquence géologique classique du type suivant (de la surface en profondeur) :

Retrait würmien : Limon argileux, souvent varvé, irrégulièrement consolidé.

|                     |  |
|---------------------|--|
| Moraine würmienne : | Limon plus ou moins argileux, à cailloux et blocs avec lentilles locales de limon argileux, varvé.<br>Gravier sableux peu limoneux, souvent décrit sous le nom d'« Alluvion ancienne » |
| Interglaciaire :    | Sable et limon argileux rubanné à débris de lignite et de gastéropodes.  |
| Retrait rissien :   | Limon peu argileux, parfois stratifié, très dur, surconsolidé.   |
| Moraine rissienne : | Limon plus ou moins argileux, très dur, surconsolidé, à cailloux et blocs.   |
| Molasse :           | Grès, marno-calcaire, marne.   |

Les prospections d'étude, par forages carottés à sec, puis les observations faites en cours des travaux de percement, ont montré que la séquence locale de la région Saint-Jean - Servette - rue Schaub est beaucoup plus complexe, certains horizons qui n'apparaissent en d'autres zones que sous forme de lentilles de peu d'importance prenant ici une extension beaucoup plus grande, tant en étendue qu'en épaisseur. D'autre part, les perméabilités très contrastées des divers niveaux ainsi que l'hétérogénéité de la perméabilité de certains d'entre eux déterminent un régime hydrogéologique plus compliqué que prévu. La séquence locale de la surface en profondeur, est la suivante :

|                     |  |
|---------------------|--|
| Retrait würmien :   | Limon argileux, souvent varvé, ferme à dur, surconsolidé.  |
| Moraine würmienne : | Limon argileux supramorainique, plastique, mou à ferme, massif, sans cailloux.<br>Limon argileux à cailloux et blocs, ferme à dur.<br>Sables et limons, par place un peu argileux, de la région Prairie - Grottes, réservoir d'un aquifère perché dont le niveau piézométrique est situé entre 379 et 388 m/mer.<br>Gravier sableux, peu limoneux (« Alluvion ancienne »), siège de la nappe souterraine profonde Lac - Rhône au niveau 369-371 m/mer.<br>Sables et limons plus ou moins argileux de la région Servette - Orangerie, siège d'un second aquifère perché avec niveau compris entre 392 et 401 m/mer. |
| Interglaciaire :    | Limon sableux à débris de mollusques et lignite.<br>Zone gravelo-limoneuse, avec accumulation de gros blocs, de remaniement interglaciaire de la moraine rissienne.  |
| Retrait rissien :   | Gravier sableux et limoneux de faciès très proche de celui de l'« Alluvion ancienne ».   |
| Moraine rissienne : | Limon argileux, dur, à cailloux et blocs entrecoupé de lentilles et chenaux graveleux, de forme très capricieuse, aquifères dans la région Servette - Orangerie.<br>Limon peu argileux, très dur, massif, à cailloux et blocs irrégulièrement disséminés.<br>Gravier sableux avec lentilles de sable de faciès proche de celui de l'« Alluvion ancienne ».   |
| Molasse :           | Marno-calcaire irrégulièrement silteux prépondérant avec bancs gréseux et marnes plus rares.   |

### 3. Formations rencontrées

En partant de Saint-Jean (voir profil géologique, fig. 5 et 6)<sup>1</sup> le recoupement par la gaine technique des diverses formations nous permet de définir les secteurs et formations suivants :

<sup>1</sup> Voir planches hors-texte au centre de ce numéro.

#### 3.1 Saint-Jean - rue du Mandement

Moraine würmienne limono-argileuse à cailloux et blocs, présentant des lentilles limono-argileuses sans cailloux, plus plastiques. Dans l'ensemble, la consistance apparente au pénétromètre de poche varie entre 3 et 5 kg/cm<sup>2</sup>.

En l'absence de venues d'eau, cette moraine présente des qualités moyennes à bonnes. L'avancement a d'ailleurs atteint un rythme relativement rapide.

Une difficulté résultait toutefois de la faible couverture (4 à 10 m) et de l'existence de plusieurs canalisations au-dessus de la galerie. Dans la GT, le mode de forage (tunnelier Calweld avec bouclier) était lié à la mise en place immédiate d'un étayage (voussoirs préfabriqués), lors de la creuse manuelle de la GEP, par contre, il a fallu être relativement prudent et mettre en place rapidement un étayage métallique, malgré la bonne tenue des matériaux.

#### 3.2 Rue du Mandement - rue de Lyon

Moraine caillouteuse würmienne dite « Alluvion ancienne ». Caractérisée par des dépôts grossièrement stratifiés, très compacts, cette formation est composée principalement de graviers arrondis hétérométriques, pris dans une matrice de sable plus ou moins limoneux. Il s'agit donc généralement de graviers à granulométrie étendue. On y rencontre pourtant des zones très sableuses et des zones de graviers délavés qui peuvent être bouillants.

Dès la rue du Mandement, la couverture dépasse 10 m, tendant à limiter ainsi l'incidence que pourraient avoir les travaux de creuse sur les ouvrages de surface.

#### 3.3 Rue de Lyon - rue du Jura

Sables et limons de la Prairie. Constitué d'une alternance de sables limoneux et de limons sableux parfois plus ou moins argileux, ce dépôt est caractérisé par une fine stratification (voir fig. 7). Celle-ci, alliée à la grande diversité des sols rencontrés — pour la plupart des sables limoneux SM à ML ou des limons argileux CL — explique l'anisotropie très prononcée de la perméabilité. De bonne compacité in situ, ces sols ont pourtant présenté un obstacle considérable à l'avancement du fait de la présence d'une nappe suspendue. Celle-ci malgré les faibles débits mesurés au front de taille suffit à rendre les matériaux fluents, nécessitant des dispositions particulières.

Sur un tronçon d'environ 50 m de la GT, la creuse avec bouclier et à l'abri d'injections à l'avancement a dû être envisagée. La très faible perméabilité de ces formations a nécessité l'emploi de coulis de très faible viscosité (gel dur de silice et même résines). Ce traitement permettait une



Fig. 7. — Apparition de la stratification des formations limono-sableuses de la Prairie au front de taille de la GT (photo M. Odier).

amélioration sensible des caractéristiques mécaniques ; la stratification limitait toutefois son étendue et les venues d'eau n'ont pas toujours été entièrement éliminées.

L'importance de la couverture (20-24 m) et la densité des constructions en surface éliminaient pratiquement la possibilité d'un traitement depuis la surface.

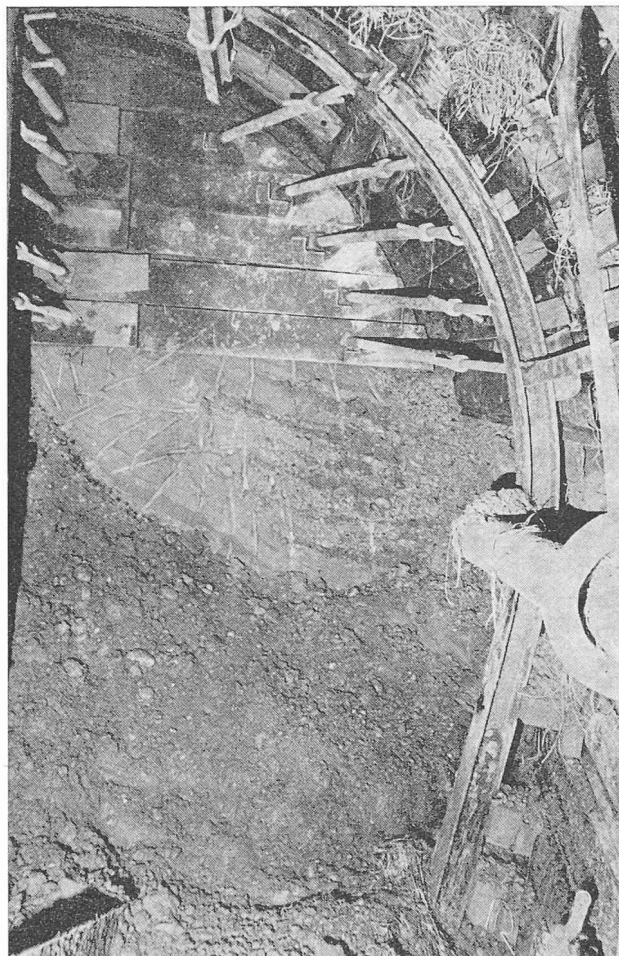


Fig. 8. — Front de taille de la GT dans la zone de remaniement interglaciaire (photo M. Odier).



Fig. 9. — Lentille de sable saturé dans la moraine limoneuse rissienne (photo M. Odier).

Pour chaque étape de 10 à 12 m, les travaux de creuse étaient interrompus plusieurs semaines par l'exécution des injections à l'avancement. Il en résultait souvent une érosion importante autour du bouclier.

#### 3.4 Rue du Jura - rue de la Poterie

Zone de remaniement interglaciaire gravo-limoneuse à nombreux gros blocs. La figure 8 montre la grande hétérogénéité des matériaux rencontrés dans ce tronçon. Celle-ci a nécessité certaines précautions à l'avancement et notamment souvent un blindage partiel du front de taille. Des venues d'eau locales, inhérentes à toute formation de transition, et la présence de gros blocs ont également contribué à ralentir l'avancement.

#### 3.5 Rue de la Poterie - rue de la Servette

Après quelques mètres d'une moraine rissienne limono-graveleuse, les galeries traversent les graviers sableux de la base de la moraine rissienne.

Ceux-ci se présentent généralement sous la forme de graviers à granulométrie étendue, comparables à ceux de l'« Alluvion ancienne ». La rencontre de matériaux bouillants y semblerait toutefois moins fréquente que dans cette formation würmienne.

#### 3.6 Rue de la Servette - rue Carteret

Moraine rissienne limoneuse dure à cailloux. De structure massive cette moraine dure à très dure est principalement composée de limons sableux parfois plus ou moins argileux et plastiques, à nombreux cailloux hétérométriques et localement de petits blocs. Cette formation limoneuse est pratiquement imperméable; toutefois, on y rencontre des lentilles de graviers ou de sables, perméables et généralement saturés provoquant de faibles venues d'eau. La figure 9 montre une de ces apparitions lenticulaires. Localement, et surtout lors de l'emploi d'un tunnelier, ces faibles venues d'eau nécessitent un soin particulier lors du bétonnage du revêtement. La moraine rissienne limoneuse est en effet sensible à l'eau et s'altère superficiellement.

#### 3.7 Rue Carteret - rue Racine

Gravier limoneux aquifère recoupant capricieusement le sommet de la moraine rissienne sous forme de cheneaux et lentilles. Ces graviers, perméables, abritent une nappe suspendue dont le niveau se situe à plus de 20 m du radier.



Ils sont recouverts par des limons sableux comparables à ceux de la région « Prairie - Grottes ». Ces limons abritent la même nappe. Fort heureusement le tracé des galeries n'a touché que sur quelques mètres de la GEP cette formation limoneuse.

Les premiers mètres d'avancement dans les graviers ont été rendus très difficiles par le débit des venues d'eau (jusqu'à 250 l/min. dans un forage de reconnaissance). Il a donc fallu envisager un traitement par injection à l'avancement par étapes de 10 à 12 m. La figure 10<sup>1</sup> indique le schéma de la zone concernée par le traitement. En première étape, une partie des sondages seulement était exécutée dans un but de reconnaissance. Ensuite, les auréoles étaient complétées dans les zones où les venues d'eau observées nécessitaient un traitement. Celui-ci consistait principalement en une injection d'argile/ciment, complétée localement par des injections de gel dur de silice.

L'avancement dans ce sillon graveleux a permis finalement un drainage des graviers, drainage n'affectant toutefois pas les sables limoneux sous-jacents, si ce n'est que par une légère baisse du niveau piézométrique.

Par la suite, les quantités injectées ont donc pu être réduites, les étapes de forages à l'avancement étaient pourtant maintenues pour définir la position des limons par rapport à la galerie. Un léger traitement permettait également de limiter l'extension des hors-profils dans les zones de graviers bouillants.

Durant les travaux dans ce secteur, sous une couverture de près de 30 m, des nivellements de précision ont été exécutés périodiquement en surface au-dessus et à proximité des galeries. Aucun mouvement n'a été décelé.

### 3.8 Rue Racine - rue du Grand-Pré

Moraine rissienne limoneuse dure à cailloux et blocs, même formation que dans le tronçon rue de la Servette - rue Carteret.

### 3.9 Rue du Grand-Pré

Dans la zone de transition entre les formations quaternaires et la molasse, on rencontre des graviers et sables de la base de la moraine rissienne. Malgré la présence d'un léger ruissellement sur le toit de la molasse, la bonne qualité de ces matériaux a permis de poursuivre l'avancement au moyen du tunnelier Robbins au prix — il est vrai — d'un étayage et gunitage en calotte dès le passage de la tête de forage.

### 3.10 Rue du Grand-Pré - place des Nations - pont de la Foretaille

Sur ce tronçon, soit 3500 m de gaine technique et environ 900 m de galerie d'eaux pluviales, les travaux ont été exécutés entièrement dans la molasse chattienne, sous une couverture variant entre 22 et 75 m.

Il s'agit d'une alternance de bancs de grès, de marnes et surtout de marno-calcaires, à pendage généralement sub-horizontale.

Localement, on y observe des failles ou des systèmes de fracturation. A l'exception de quelques infiltrations dans les zones gréseuses, on n'a pas rencontré de venues d'eau. Les deux galeries exécutées ont fait l'objet d'un relevé géologique détaillé sous forme de profil continu au 1 : 200. La précision et la facilité d'exécution du relevé dans les secteurs en molasse sont étroitement liées au forage par tunnelier. Les inconvénients pour le géologue (poussière cachant la roche, dislocation et fissuration) des avancements à l'explosif sont éliminés. Dans ce domaine aussi, il est nécessaire d'éliminer bien des idées préconçues.

<sup>1</sup> Voir planches hors-texte au centre de ce numéro.

Dans les tronçons marneux, on a constaté une rapide altération superficielle au contact de l'air. Un phénomène mérite d'être relevé : on a souvent observé un phénomène d'écaillage en calotte, généralement à une certaine distance du front de taille. Celui-ci est parfois dû au pendage sub-horizontale, il intervient alors à proximité des limites de couche. Dans certaines zones, toutefois, et en particulier dans le tronçon Nations - Foretaille, la forme des écaillures et l'absence de discontinuité apparente du massif nous incite à attribuer cet accident à une apparition de « Bergschlag ». La surconsolidation du massif explique que cet accident se produise plutôt en calotte.

## 4. Tentative de classification des formations rencontrées

Tout ingénieur ayant eu l'occasion de collaborer à l'exécution d'ouvrages souterrains est conscient de l'incidence que peut avoir une géologie « capricieuse » sur le programme et le coût des travaux, particulièrement en terrain meuble. Pour tenter de cerner cette interdépendance géologie-coût de l'ouvrage et permettre une description géotechnique aussi précise que possible lors de la mise en soumission, de nombreux auteurs se sont efforcés d'établir une classification des matériaux rencontrés en fonction de leur influence sur l'ampleur et le coût des travaux. Comme le relèvent *Pacher, Rabcewicz et Golser*, la relation entre la description technologique pure, la résistance aux moyens d'excavation, le comportement du massif pendant et après l'ouverture de la cavité et, par conséquent, le prix de l'ouvrage ne sont généralement que très mal définis. On peut en concevoir une certaine approche lorsque l'on a affaire à une seule méthode d'avancement et de construction pour une section donnée et dans des conditions relativement homogènes.

On doit donc envisager plusieurs types de classification complémentaire, selon le comportement à l'avancement (et par conséquent l'ampleur de l'étayage provisoire nécessaire), l'état de contrainte dans le massif et le comportement des matériaux dans ces conditions, le comportement rhéologique des matériaux, les conditions hydrologiques (celles-ci sont d'ailleurs souvent très intimement liées au comportement à l'avancement), l'épaisseur des couches et l'orientation du pendage, l'importance, la nature et l'orientation des autres discontinuités, etc.

Malgré la grande variété des méthodes d'avancement et de soutènement mises en œuvre lors de la creuse des deux galeries, nous avons tenté une classification schématique en fonction du comportement à l'avancement, selon la norme SIA 198 (1975). Rappelons que cette dernière préconise six classes en fonction de l'ampleur des travaux d'étayage et de la gêne qu'ils représentent pour l'avancement :

- Classe I : L'étayage ne ralentit pas sensiblement l'abattage.
- Classe II : Sans influencer le cycle d'avancement, les travaux d'étayage constituent toutefois un gêne sensible.
- Classe III : Le cycle d'avancement doit être interrompu pour travaux d'étayage.
- Classe IV : Les travaux d'étayage constituent un gêne important pour l'avancement. Ils doivent être prévus spécialement dans le cycle de travail.
- Classe V : L'avancement n'est possible qu'avec mise en place simultanée de l'étayage, l'abattage lui-même doit être fait à l'abri de cet étayage (Marciaanti, éventuellement blindage partiel du front).
- Classe VI : Le blindage presque complet du front est indispensable.

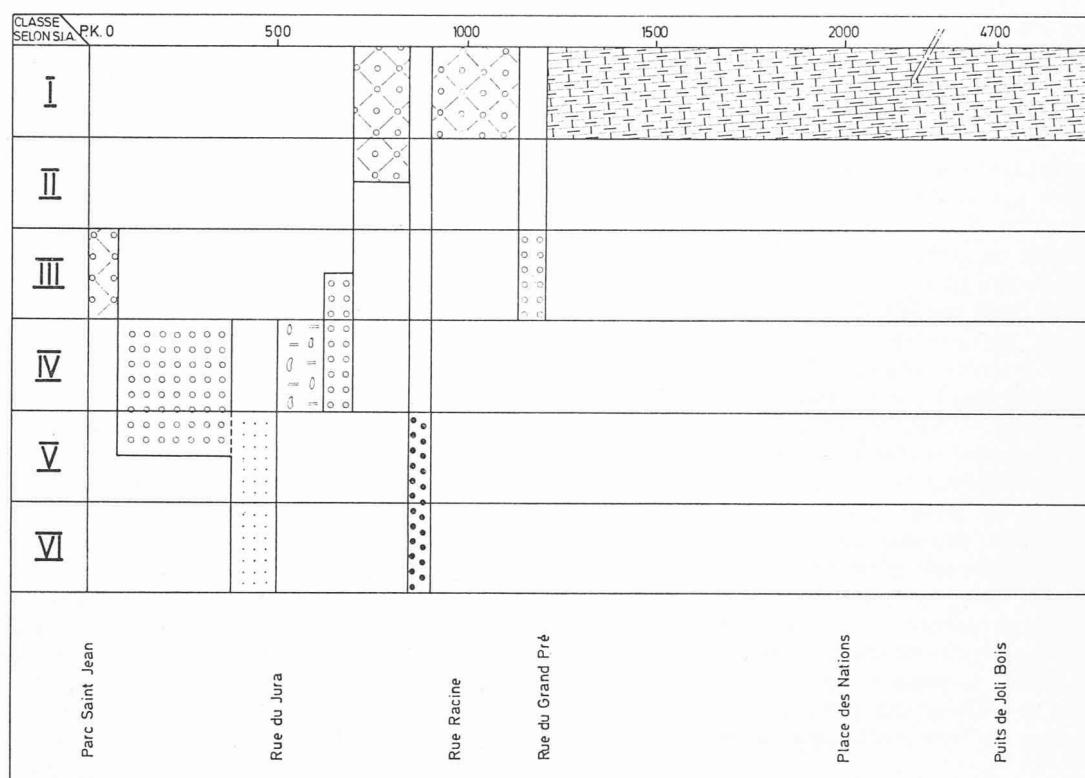


Fig. 11. — Classification schématique des formations rencontrées entre Saint-Jean et le Puits-Joli-Bois.

La figure 11 montre la grande variété des comportements rencontrés.

Si la molasse et la moraine rissienne limono-graveleuse n'exigent qu'occasionnellement un soutènement à proximité du front de taille (classe I ou II) les limons sableux aquifères de la Prairie, fluents, et les matériaux bouillants rencontrés dans le sillon de l'« Orangerie » ont souvent exigé le blindage complet du front de taille, ces derniers correspondent donc aux classes V et VI.

Les cailloutis morainiques de l'« Alluvion ancienne », bien connus comme excellents sols de fondation, nécessitent toutefois la mise en place d'un étayage au front de taille, du fait de leur manque de cohésion. Dans certaines zones de granulométrie particulièrement serrée, le boisage partiel du front peut même être nécessaire. C'est ce qui explique la classification relativement « pessimiste » attribuée à cette formation.

Une comparaison de ce tableau avec les avancements moyens atteints lors de la creuse de la gaine technique confirme la bonne représentativité de ce type de classification pour un profil donné, malgré la grande variété des méthodes d'avancement.

Alors que l'avancement hebdomadaire moyen a été inférieur à 2,0 m dans les limons de la Prairie et de l'ordre de 2,50 m dans les limons de l'« Orangerie » (classes V et VI), le remaniement interglaciaire (classe IV) permettait un avancement moyen de 6,60 m.

Les matériaux graveleux de l'« Alluvion ancienne », de la moraine rissienne et la moraine würmienne limoneuse (classes III et IV) permettaient des avancements hebdomadaires moyens de 8 à 15 m, alors que dans la moraine rissienne limoneuse (classes I et II) ceux-ci atteignaient 23 m, pour atteindre et dépasser 50 m (64 m sur le tronçon Nations - Joli-Bois) dans la molasse chattienne.

Il va de soi que ces valeurs tiennent compte de toutes les sujétions (forages de reconnaissance, étayage, entretien des machines, pannes...) relatives à l'avancement. Elles n'ont

toutefois été calculées que sur des tronçons relativement homogènes, à l'exclusion de zones de contact et de transition dont l'incidence sur les travaux peut être sensible (conditions hydrauliques particulières, présence éventuelle de blocs ou formations lenticulaires).

## 5. Bases de dimensionnement, mesures in situ

### 5.1 Bases du dimensionnement

La grande variété des matériaux traversés, des conditions hydrologiques et des hauteurs de couverture ont nécessité des hypothèses de dimensionnement variables selon les tronçons. Des calculs effectués notamment en supposant des caractéristiques d'élasticité linéaires ont conduit à admettre une pression plus ou moins hydrostatique sur le revêtement de l'ordre de 7 à 10 t/m<sup>2</sup>. A cette valeur s'ajoutaient toutefois des pressions de gonflement dans la molasse — pressions malheureusement difficiles à estimer — et, à proximité de nappes suspendues, une pression hydrostatique correspondant aux conditions locales.

Une des hypothèses de base de tout calcul consiste en l'estimation de l'état de contrainte primaire dans le massif, et en particulier du rapport  $\lambda$  de la contrainte horizontale sur la contrainte verticale. En l'absence de mesures directes — qui sont elles-mêmes très délicates et coûteuses — et d'observations précises dans d'autres ouvrages souterrains comparables, nous en étions réduits à quelques considérations très générales ; il nous paraît toutefois utile de mentionner ici nos hypothèses.

Dans les formations morainiques limono-argileuses (Riss et Würm) nous avons admis une forte préconsolidation et, nous basant sur la résistance au cisaillement non drainé, sur l'épaisseur de la couverture glaciaire würmienne (de l'ordre de 900 m à Genève) et sur la pression verticale actuelle (admise égale au poids de la couverture  $\gamma H$ ), nous avons admis une valeur de  $\lambda$  de l'ordre de 1,5.

## Galerie technique et galerie d'eaux pluviales, Genève

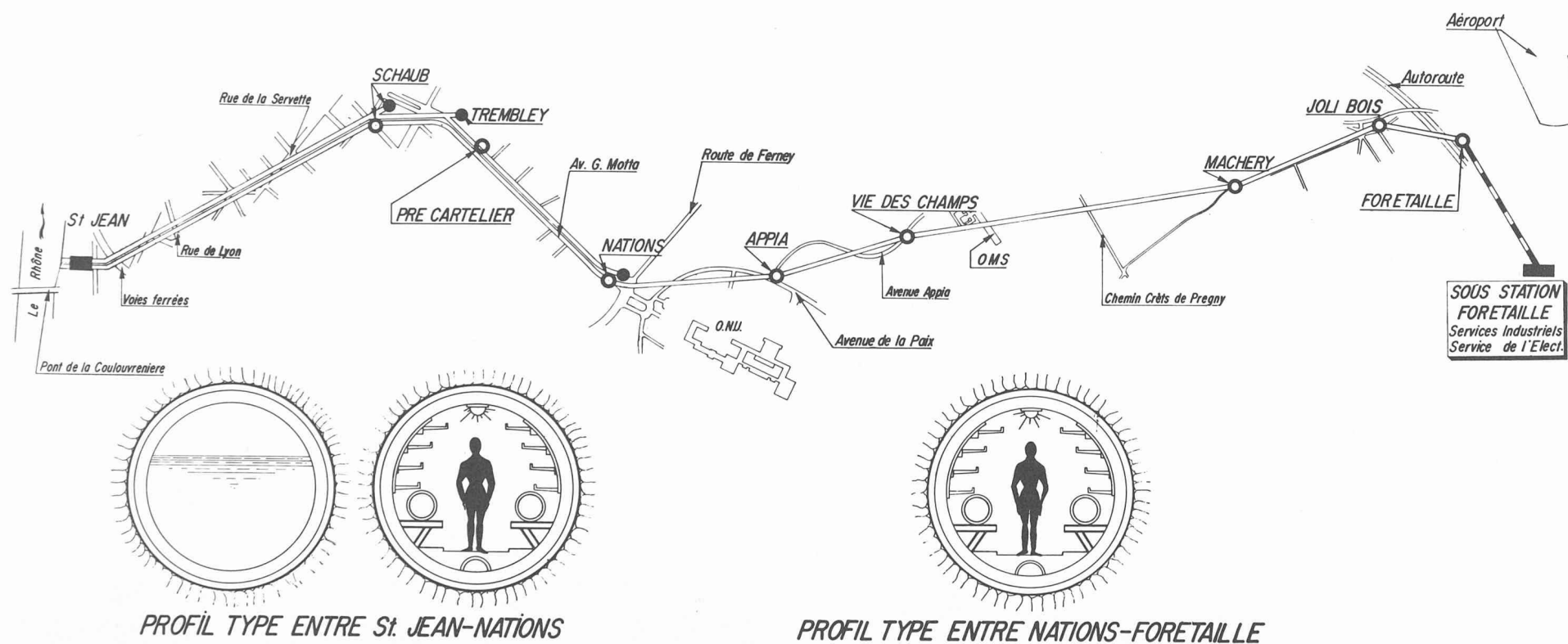


Fig. 1. — Tracé schématique et profils types des galeries.

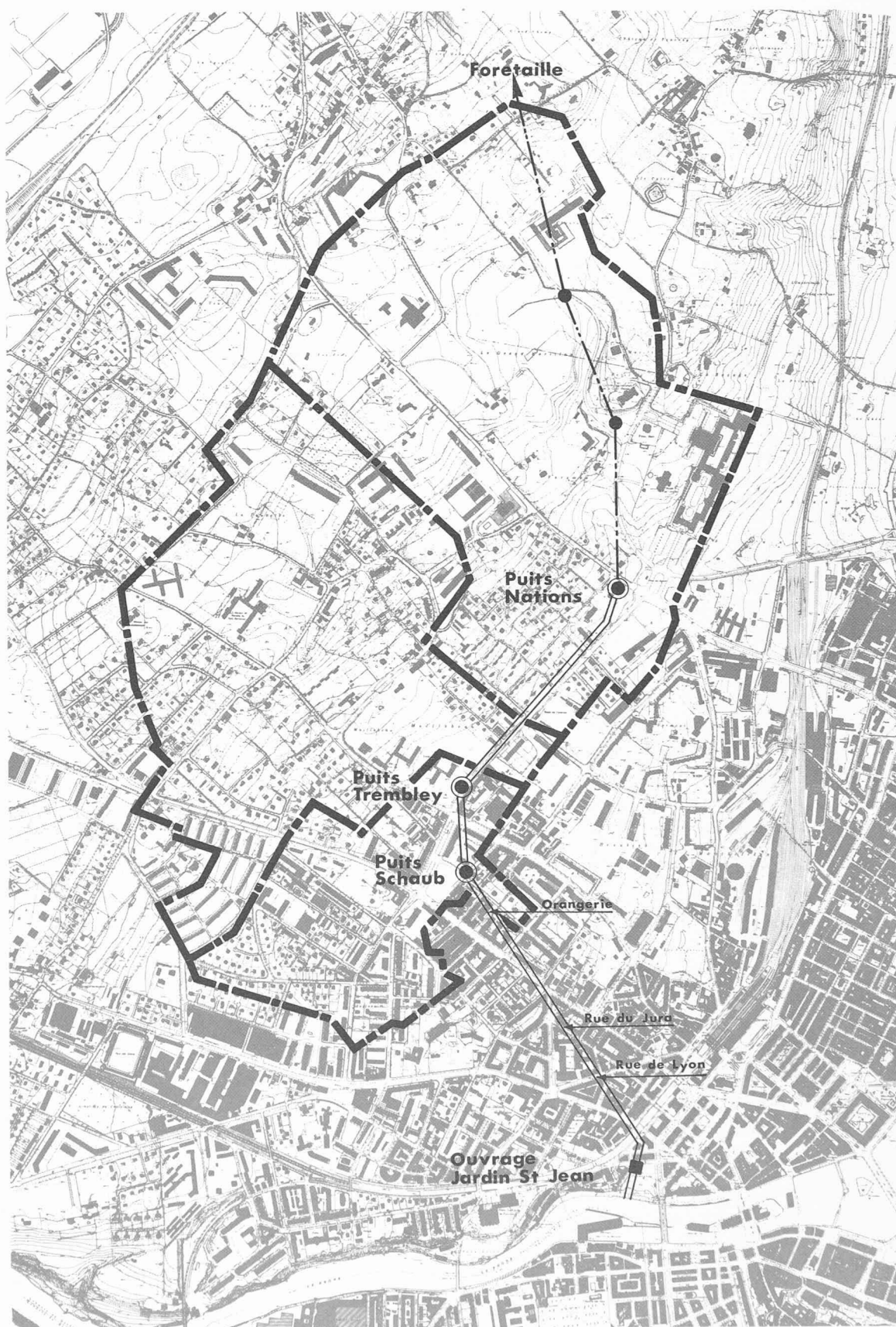


Fig. 2. — Tracé urbain et implantation des puits.



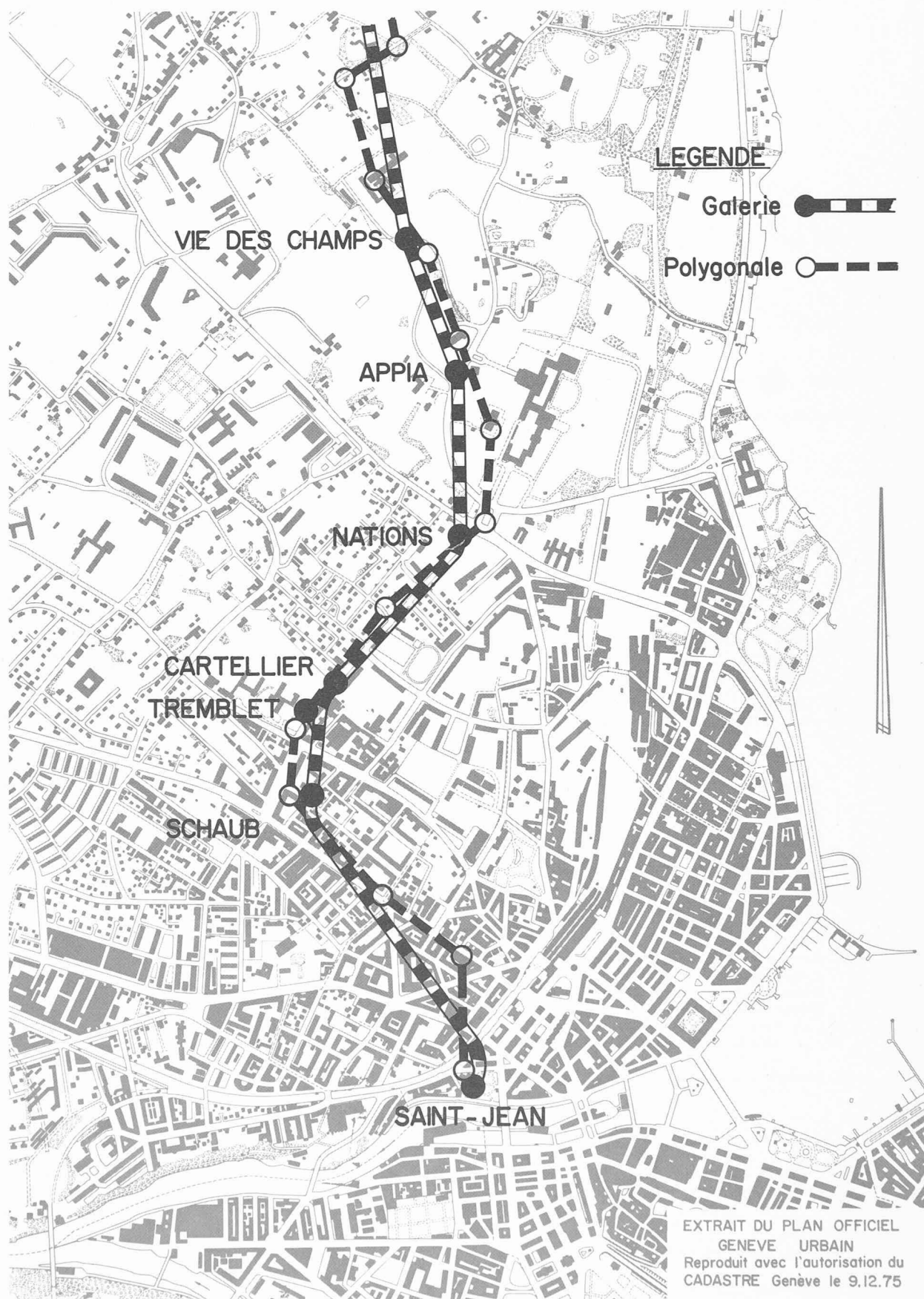


Fig. 3. — Polygonale utilisée pour l'implantation des galeries.

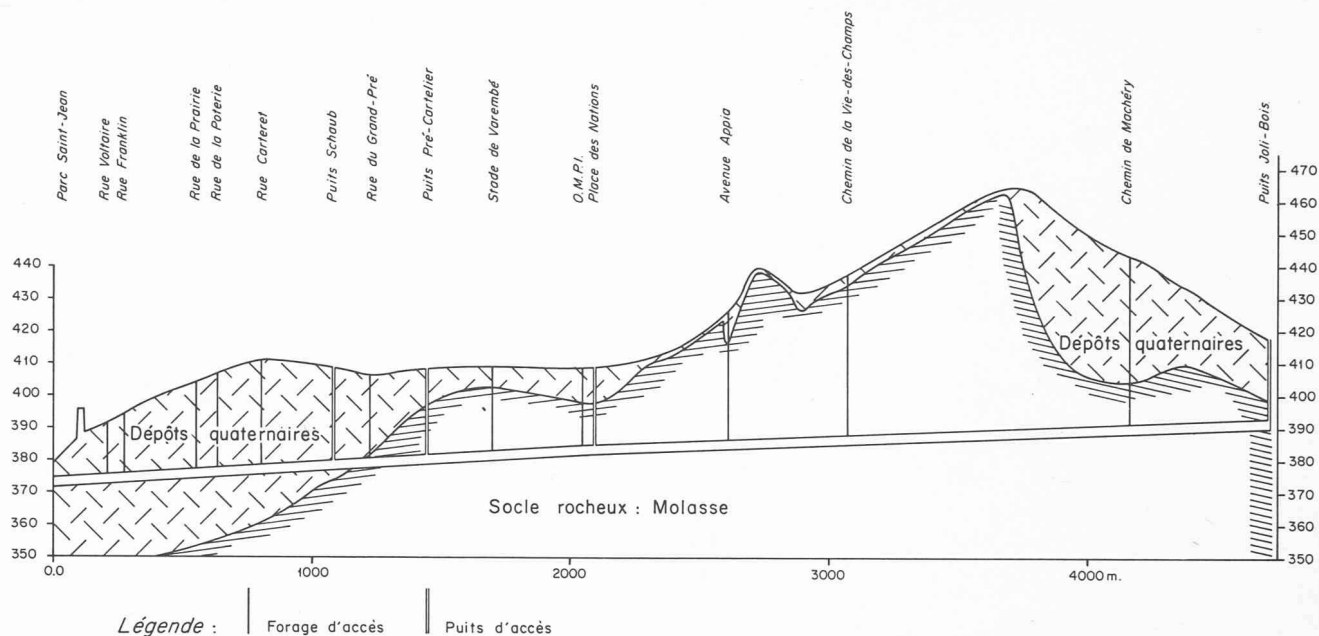


Fig. 5. — Profil géologique Saint-Jean - Foretaille.

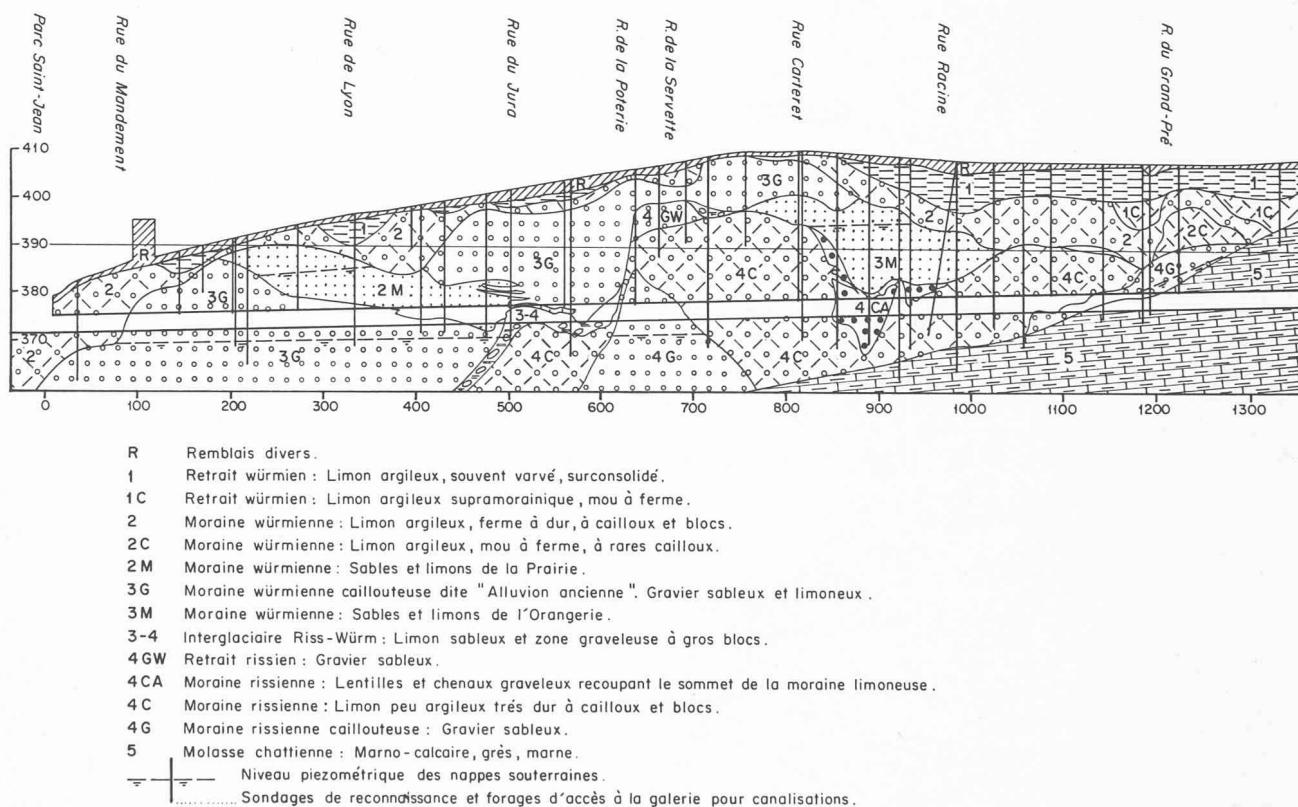


Fig. 6. — Profil géologique du secteur Saint-Jean - rue du Grand-Pré.

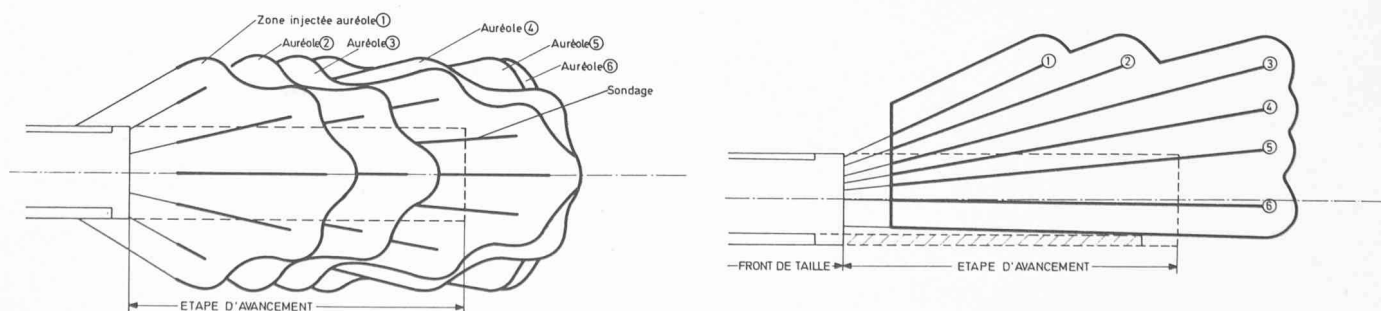


Fig. 10. — Schéma des sondages de reconnaissance et d'injection à l'avancement.

Pour l'« Alluvion ancienne », moins influencée par les surcharges historiques, car moins déformable sous charge statique, nous avons admis un facteur supérieur à celui qui résultait d'une consolidation normale sous poids propre, sans toutefois atteindre le cas hydrostatique  $\lambda = 1,0$ .

Pour la molasse, historiquement préconsolidée, mais dans laquelle des phénomènes tectoniques (failles...) ont pu permettre une certaine relaxation des contraintes, nous avons supposé un état hydrostatique  $\lambda = 1,0$ .

## 5.2 Mesures de contrôle

Dès l'attaque des travaux de creuse dans la moraine rissienne, mal connue, un tronçon de mesure provisoire a été mis en place. Des mesures de la pression de contact moraine-revêtement ont été entreprises en collaboration avec le Laboratoire de géotechnique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (LEGEP). Le revêtement consistait en un anneau de gunité armée de 10 cm d'épaisseur et un radier bétonné sur place de 30 cm. Compte tenu du faible diamètre, ce revêtement pouvait donc être considéré comme relativement rigide.

Les mesures n'ont malheureusement pu être poursuivies que durant quatre mois, ce qui n'a pas permis d'obtenir de stabilisation des pressions. Il en ressort toutefois que l'ordre de grandeur de  $10 \text{ t/m}^2$  est raisonnable. On constate cependant que la répartition de la pression n'est pas uniforme autour de la cavité, les pressions latérales dépassant les pressions verticales. Ceci tend donc à confirmer que le facteur  $\lambda$  dépasse l'unité dans la moraine rissienne limono-argileuse.

On rappellera que cette observation ne s'applique plus à l'approche des sillons graveleux ou des autres transitions interglaciaires ; les claquages provoqués par les injections à l'avancement dans ces terrains ont mis en évidence la modification de l'état de contrainte primaire dans ces zones d'approche, la contrainte principale mineure semblant être perpendiculaire à la surface de transition (les claquages provoqués étant donc parallèles à cette surface).

En plusieurs profils de la GT forée en molasse, des mesures de convergence ont été entreprises peu après le passage du tunnelier et poursuivies durant les premiers mois des travaux d'équipement. La convergence a atteint localement 4 ou 5 mm, mais elle est généralement restée de l'ordre du millimètre. Une certaine tendance à l'ovalisation (convergence plus prononcée horizontalement que verticalement) s'est parfois manifestée, tendant à montrer que la préconsolidation influencerait encore les contraintes initiales d'une manière plus importante que ce que nous avons supposé ( $\lambda > 1,0$ ).

Cette tendance a d'ailleurs été confirmée par les mesures de pression de contact revêtement-roche effectuées au moyen de capteurs hydrauliques Glötzl à proximité du puit Pré-Cartelier sous une couverture d'environ 30 m.

Les capteurs ont été placés sur la voûte, en deux profils distants de 3 m, peu après le passage du tunnelier et immédiatement avant l'application du revêtement de gunité armée. La figure 12 montre la disposition choisie. Ces deux profils étaient d'ailleurs complétés par un réseau de mesure de convergence. Des mesures, effectuées également en collaboration avec le LEGEP, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La concordance entre les variations de pression et de convergence est relativement bonne.
- Des variations importantes dans les pressions et dans leur répartition autour du profil ont été observées durant plus d'un an après la mise en place du revêtement ; ce

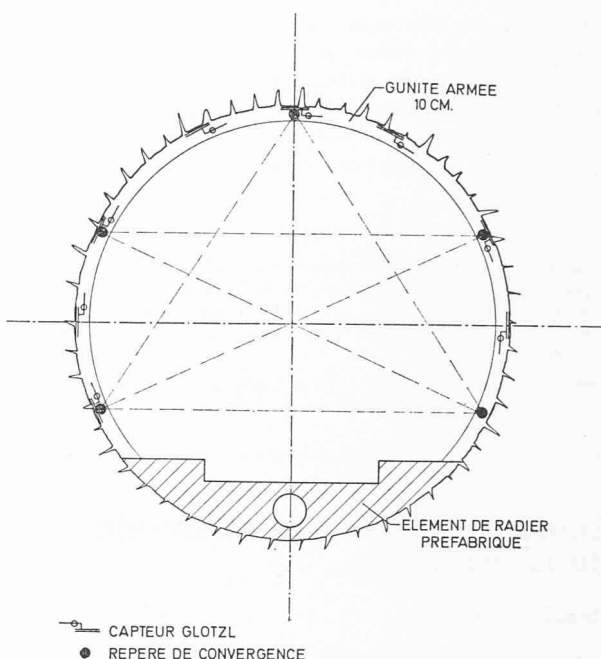


Fig. 12. — Coupe type de la GT au droit d'un profil de mesure.

n'est qu'après 20 mois environ qu'on a pu admettre qu'une certaine stabilisation avait été obtenue.

- Les capteurs placés en piedroit enregistrent des pressions supérieures à celles qui sont mesurées en calotte.

Un dernier type de mesure a pu être exécuté par le LEGEP dans le but de tester les résultats d'un calcul d'analyse tridimensionnelle des déformations à proximité du front de taille dans un matériau élastique ; le forage mécanique, en section circulaire, et la faible profondeur (permettant de considérer le cas élastique comme réaliste) constituaient en effet des conditions réelles s'approchant d'hypothèses de calcul relativement simples. Les travaux de creuse du puits Pré-Cartelier ayant précédé le forage de la galerie, l'ouvrage offrait un terrain de mesure très favorable. Vu la grande vitesse d'avancement du tunnelier, les mesures ont permis de contrôler en quelques heures seulement la déformée à proximité de la calotte dans les 5 m (soit trois rayons) précédant le passage du tunnelier.

Cette déformée — de l'ordre de 1/10 de millimètre au front de taille — correspond parfaitement aux résultats du calcul pour un état de contrainte initiale hydrostatique  $\sigma_H = \sigma_V = 60 \text{ t/m}^2$  et des caractéristiques mécaniques vraisemblables dans une molasse marno-calcaire ( $E = 10^5 \text{ t/m}^2$  et  $\nu = 0,45$ ).

## 6. Conclusions

Les observations faites à l'avancement des deux galeries ainsi que les sondages exécutés depuis la surface ont fourni des renseignements améliorant considérablement la connaissance des dépôts glaciaires würmiens et rissiens du sous-sol genevois. Ils ont notamment mis en évidence la grande diversité et la grande hétérogénéité de ces formations morainiques qui, malgré une prospection géologique et géotechnique importante avant le début des travaux, ont réservé certaines « surprises » aux travaux de creuse.

Par la méthode de forage adoptée dans la molasse (tunnelier à pleine section) ces travaux ont permis de mieux connaître les discontinuités (stratification, diaclases, fissures failles...) de ces formations.

Les mesures effectuées dans la gaine technique ont permis de préciser certaines données relatives aux bases du dimensionnement du revêtement. Nous tenons à remercier le maître de l'œuvre, le Direction des travaux et l'entreprise Murer sans la compréhension et l'intérêt desquels ces mesures n'auraient pu être menées à bien.

#### BIBLIOGRAPHIE

- F. DESCOEUDRES : *Analyse tridimensionnelle de la stabilité d'un tunnel au voisinage du front de taille dans une roche élastoplastique*. Comptes rendus du 3<sup>e</sup> Congrès de la Société internationale de mécanique des roches, Denver 1974, vol. II, tome B, p. 1123-1135.
- SIA : Norme 198 (1975) : Untertagbau. — Empfehlung 199 (1975) : Erfassen des Gebirges im Untertagbau.

- F. PACHER, L. VON RABCEWICZ, J. GOLSER : *Zum derzeitigen Stand der Gebirgsklassifizierung im Stollen- und Tunnelbau*. Bundesministerium für Bauten und Technik, Strassenforschung Heft 18, Wien 1974.
- H. KASTNER : *Statik des Tunnel- und Stollenbaues*. Springer Verlag, Berlin 1962.

Adresse des auteurs :

Gad-François Amberger  
D<sup>r</sup> ès sc., géologue  
Service cantonal de géologie  
Case 36, 1211 Genève 8  
Pierre Dériaz, ing. civil EPFZ-SIA  
Michel Odier, ing. civil EPFZ  
Géotechnique appliquée P. & C. Deriaz & Cie SA  
10, rue Blavignac  
1227 Carouge

## Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

### Conférence

« *Calcul du comportement postcritique des plaques comprimées, raidies par la méthode des éléments finis* », c'est le titre de la conférence qui sera présentée sous l'égide de l'Institut de la construction métallique, par M. Bertrand Rouve, ingénieur aux Ateliers de constructions mécaniques de Vevey SA, le mercredi 25 février 1976, à 10 h. 15, au Laboratoire des matériaux pierreux, 34, ch. de Bellevue, en salle LMP 212.

## Bibliographie

**La supraconductivité des métaux, des alliages et des films minces**, par Jean-Paul Burger. Ed. Masson et C<sup>ie</sup>, Paris, 1974. — Un volume de 184 pages, 83 figures, 16×24. Prix, broché : 140 F.

Cet ouvrage présente les progrès expérimentaux et théoriques faits dans l'étude de la supraconductivité au cours des deux dernières décennies. Le point de vue adopté pour cette présentation est celui d'un expérimentateur, tout en restant aussi près que possible des modèles théoriques. Ceci se traduit par l'utilisation d'un formalisme mathématique aussi simple que possible et par le souci de confronter constamment les modèles théoriques avec l'expérience.

C'est pourquoi cet ouvrage, s'il s'adresse avant tout aux chercheurs travaillant ou désireux de s'engager dans ce domaine, peut également être utile à d'autres physiciens du solide.

Dans un premier chapitre sont exposées les principales propriétés des supraconducteurs, aussi bien celles du nouvel état fondamental que celles liées aux excitations électroniques. La fin de ce chapitre met l'accent sur l'importance qu'ont pris dans l'étude des matériaux supraconducteurs, des paramètres tels que la structure de bande à l'état normal, le mode de préparation des échantillons, leurs dimensions et le libre parcours moyen des électrons.

Le deuxième chapitre est consacré aux propriétés quantiques de l'état supraconducteur, qui sont liées à l'existence d'une phase unique pour l'ensemble des électrons supraconducteurs ou paires de Cooper. La quantification du flux magnétique et les différents effets Josephson sont décrits en détail sans qu'il soit nécessaire de connaître les interactions microscopiques qui sont responsables de l'état supraconducteur.

Le troisième chapitre présente d'abord un exposé succinct de la théorie B.C.S. valable pour un supraconducteur homogène en l'absence de champs magnétiques élevés. La théorie de Bogoljubov de Gennes étend ces

résultats au cas de perturbations susceptibles de briser les paires de Cooper tels que champ magnétique, impuretés magnétiques... La théorie de Ginsburg-Landau, valable seulement près de la température de transition et qui résulte des théories précédentes, permet alors une description détaillée de tous les effets magnétiques quelle que soit l'intensité des perturbations. Quelques considérations générales sur les limites imposées par le couplage électrophonon à la supraconductivité terminent ce chapitre. Le chapitre suivant donne une description détaillée des prévisions de la théorie de Ginsburg-Landau quand un champ magnétique est appliqué à un supraconducteur et de leur vérification expérimentale.

L'existence de deux types de supraconducteurs est reliée à la notion d'énergie de surface et les effets de taille à deux longueurs caractéristiques, la profondeur de pénétration et la longueur de cohérence.

Le chapitre suivant, consacré aux effets de proximité, montre que des films supraconducteurs peuvent être sensibles dans tout leur volume à des perturbations apportées seulement à leur surface. Quelques exemples simples illustrent comment ces effets de proximité peuvent être utilisés dans l'étude des propriétés de systèmes non supraconducteurs. Les propriétés des supraconducteurs inhomogènes et leur importance dans le problème des courants critiques en présence de vortex sont rapidement analysées à la fin de ce chapitre.

Le dernier chapitre donne une revue rapide des applications actuelles et potentielles de la supraconductivité en mettant en lumière les domaines où des percées technologiques ont été réalisées.

*Grandes divisions de l'ouvrage*

1. Principales propriétés des supraconducteurs. — 2. Théorie de l'état supraconducteur. — 3. Quantification du flux et effets Josephson. — 4. Champs critiques et propriétés des supraconducteurs au voisinage des champs critiques. — 5. Effets de proximité. — 6. Applications de la supraconductivité.

**Solutions de problèmes sur les asservissements linéaires** par L. Balmer et C. P. Lewis. Traduit de l'anglais. — Un volume de 216 pages 16×25, Edit. Eyrolles, Paris, 199 figures. Prix : 59 Ffr.

La Collection E.E.A. (Electronique, Electrotechnique, Automatique) vient de s'enrichir d'un nouvel ouvrage qui donne les solutions détaillées de nombreux problèmes proposés à différentes universités anglaises concernant les *Asservissements linéaires*. Ces problèmes sont classés par affinités, ce qui permet de les rattacher, sans difficultés, aux parties correspondantes du cours contenues dans les deux livres « Analyse » et « Synthèse » rédigées par F. Milsant, dans cette même collection.

Les problèmes traités portent sur les sujets suivants : fonction de transfert, schémas-blocs, stabilité des systèmes, lieux des racines, diagrammes de Bode et de Black.