

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 86 (1968)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Aktuelle Methoden im Städtischen Tiefbau: la congélation des sols  
**Autor:** Barbedette, Robert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69981>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

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

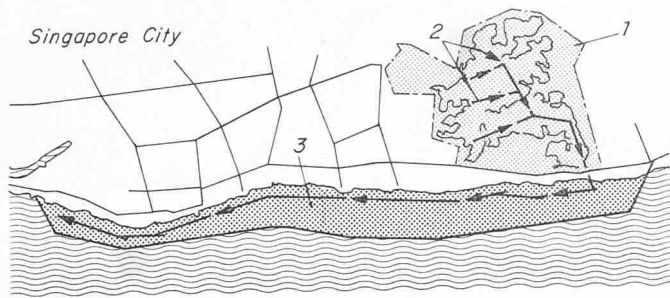


Bild 1. Ablaufschemata der Erdbewegungsarbeiten. 1 abzutragendes Gebiet, 2 Förderbänder, 3 anzuschüttende Fläche

kastenprinzip aufgebaut und erlaubt ein leichtes Umsetzen der Förderanlagen, welche bei fortschreitendem Abbau 1 und kürzer werdenden Transportstrecken 2 in das Verkippsgebiet 3 (wo deren Länge zunimmt) verlegt werden können. Die Geräte werden von der Exportunion Bucketwheel, einer Gemeinschaft der deutschen Firmen Fried. Krupp Maschinen- und Stahlbau Rheinhausen, Orenstein-Koppel und Lübecker Maschinenbau AG, geliefert. Zum Einsatz gelangen vier Schaufelradbagger mit einer Leistung von je 500 m<sup>3</sup>/h und einem Gewicht von 175 t, eingerichtet für Einmann-Bedienung; Förderbänder mit einer Gesamtlänge von etwa 10 km, und ein mit breit-

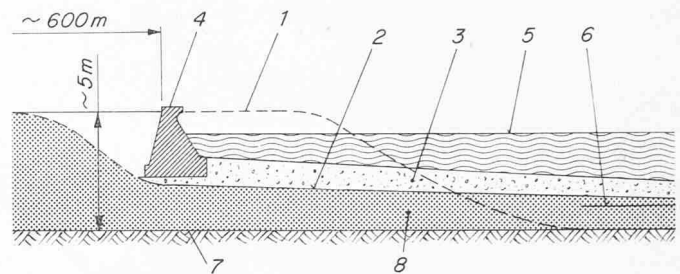


Bild 2. Querschnitt durch das Verkippsgebiet. 1 Profil nach dem Verkippen, 2 nach dem Ausbreiten des Abbaumaterials, 3 Abdeckschicht aus Sand, 4 Ufermauer, 5 Flut, 6 Ebbe, 7 ursprünglicher Meeresgrund, 8 Abbaumaterial

flächigen Raupenfahrwerken versehener Absetzer, der 4500 t/h Abbaumaterial gezielt ins Meer verkippt und verteilt.

Das aufzuschüttende Gebiet ist 9 km lang und rund 600 m breit. Auf Grund der günstigen Strömungs- und Windverhältnisse kann direkt ins offene Meer verkippt werden entsprechend Profil 1 in Bild 2. Nach Beendigung der Umschütтарbeiten wird dieses Material ausgebreitet (Profil 2), mit Sand 3 abgedeckt und die Ufermauer 4 erstellt. Die Aufschütthöhe beträgt rund 5 m. Das Projekt wird von der japanischen Firma Ohbayashi Gumi Ltd. ausgeführt und soll im Laufe von 1970 beendet sein. M. K.

## Aktuelle Methoden im Städtischen Tiefbau

Kurs des BIA vom 7. bis 9. Juni 1967, letztes Heft (vgl. SBZ 1967, Hefte 47, 50, 51 und 1968, Heft 4)

### La congélation des sols

DK 624.157.4

Par R. Barbedette, Ing. dipl., Directeur technique S.I.F., Paris (France)

#### Principe et Domaine d'emploi

Le principe de la congélation d'un sol est très simple: il consiste à introduire dans ce dernier des tubes métalliques étanches convenablement disposés et rapprochés dans lesquels on fait circuler une saumure refroidie à  $-20$  ou  $-30^{\circ}$  par une centrale frigorifique. La saumure (généralement solution de chlorure de calcium) est habituellement acheminée au fond de chaque tube congélateur au moyen d'une tubulure coaxiale: elle ressort par l'orifice du congélateur après avoir cédé des frigories au terrain par l'intermédiaire de ce dernier; elle retourne enfin à la centrale pour un nouveau cycle, et ainsi de suite. On réalise ainsi un «mur» de protection congelé à l'abri duquel on peut excaver et réaliser l'ouvrage prévu. La machine frigorifique utilise le principe bien connu de la détente, après refroidissement, d'un gaz liquéfié par compression.

La congélation ne peut généralement pas économiquement concurrencer les procédés spéciaux d'application maintenant courants, comme les injections, les rabattements, les drainages; elle peut cependant parfois les supplanter dans des cas délicats ou difficiles; elle est en tous cas souvent la planche de salut de l'ingénieur lorsque ces procédés s'avèrent inefficaces ou inemployables (cas de silts ininjectables et non drainables, ou de sites dans lesquels le rabattement est prohibé).

#### Développement de l'emploi de la congélation

Les premières applications de la congélation remontent aux années 1880, pour le fonçage de puits de mine. C'est au début du 20<sup>e</sup> siècle que le procédé fit son apparition dans le domaine du Génie Civil, et notamment dans les villes. Depuis cette époque, les techniques se perfectionnèrent, permettant de réaliser de nombreux travaux dans des formations silteuses aquifères au voisinage immédiat de constructions industrielles en service ou en pleine zone urbaine; dans les vingt-cinq dernières années, notamment, les cas ne sont pas rares où la congélation permit de se tirer d'affaire dans des situations fort compromises, voire désespérées:

- Egouts sous voies ferrées et canaux (New York, 1951; Widnes en Lancashire, 1954)
- Puits pour reconstruction d'un réseau d'égouts à Farnworth (Lancashire, 1960) après les désastreux écroulements de maisons de 1957

- Sauvetage d'un immeuble de 25 étages à São Paulo (1941) au moyen de puits foncés à travers 19 mètres de mauvais terrains congelés.

#### Quelques indications techniques et économiques

Dans un projet de congélation de sol, le plus difficile est certainement l'établissement du schéma de disposition des tubes congélateurs: relativement simple en général pour les puits, cette disposition peut devenir très complexe dans le cas d'autres ouvrages, selon la conformation et la situation de ceux-ci, les difficultés d'implantation et de réalisation des forages et de leur équipement, etc. . . Une adaptation soigneusement étudiée est en tous cas toujours nécessaire.

La distance entre congélateurs dépend essentiellement de la nature du terrain, de la puissance frigorifique disponible et du délai possible d'exécution. Elle est généralement comprise entre 1 mètre et 1 mètre 50.

L'épaisseur du «mur» de terrain congelé nécessaire doit évidemment être calculée pour chaque cas particulier, à partir de la résistance mécanique pouvant être conférée au terrain; le graphique représenté par la figure 1 montre un exemple de l'évolution de cette résistance avec la température pour différents types de sols (d'après Mohr).

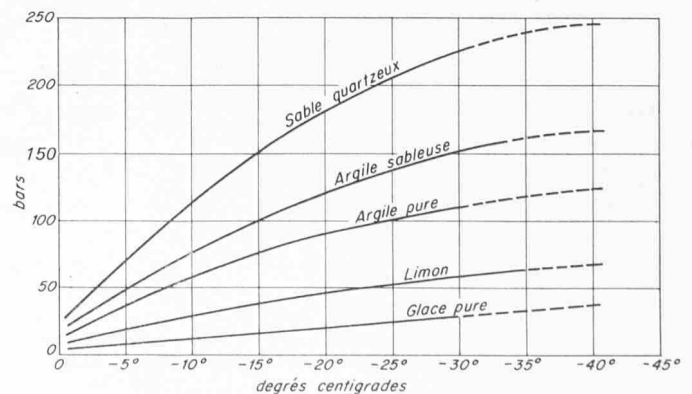


Figure 1. Résistance à l'écrasement de quelques sols en fonction de la température (d'après Mohr)

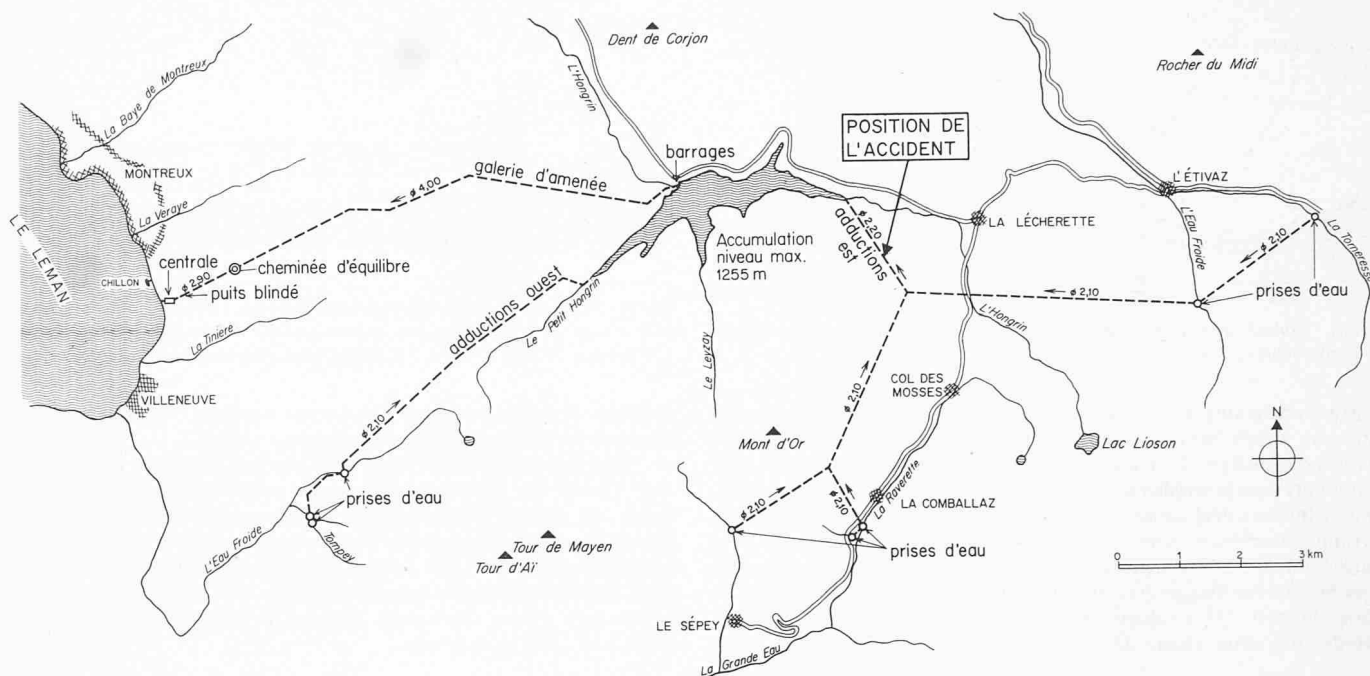


Figure 2. Aménagement hydroélectrique de l'Hongrin-Léman: plan général de situation, échelle 1 : 125 000 (document C. E. T. P.)

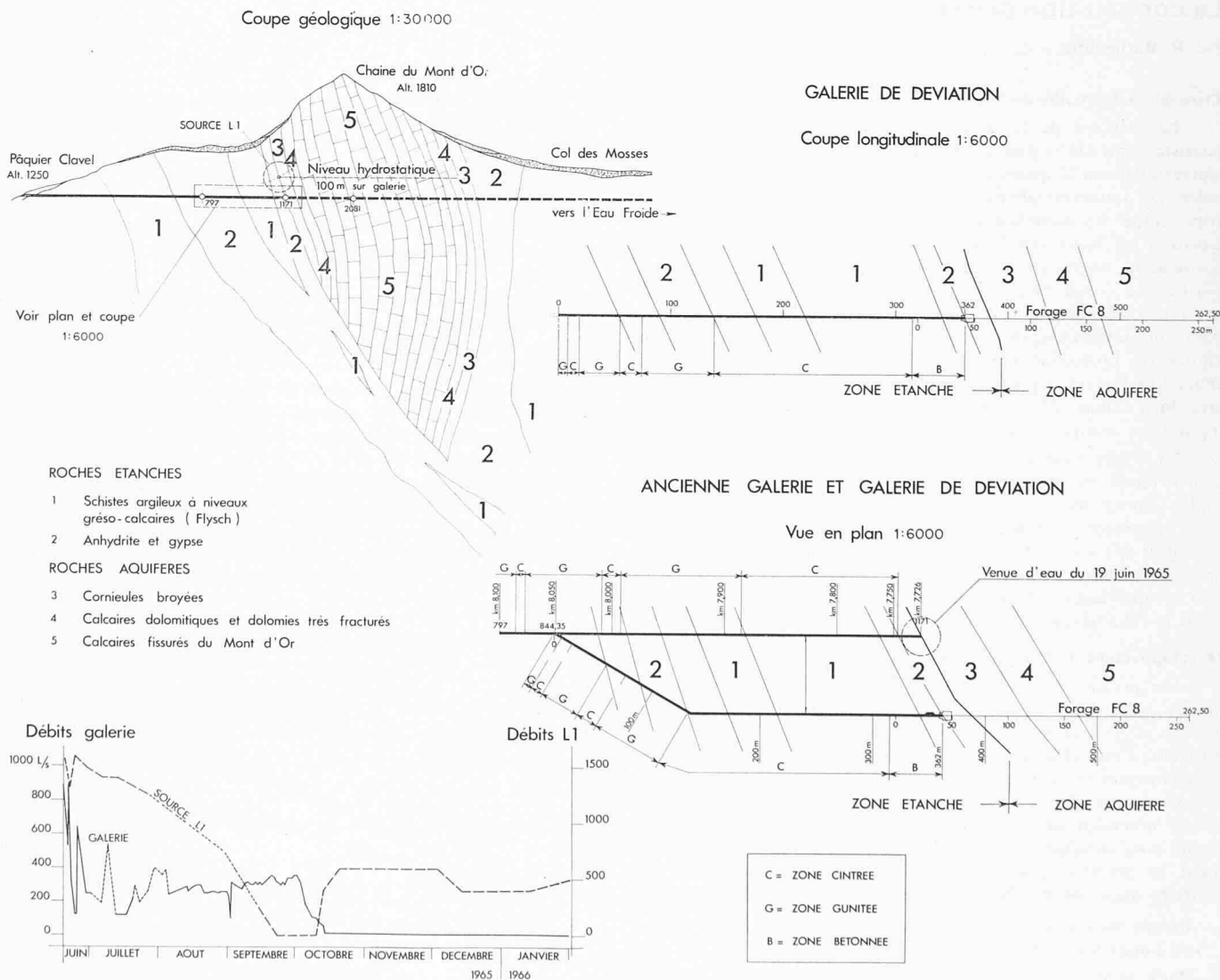


Figure 3. Aménagement de l'Hongrin-Léman, galerie d'adduction Est. Etat des travaux de galerie en mars 1967; on notera la position de la chambre de départ de la congélation, PM. 362 (document C. E. T. P.)

On prévoit s'il y a lieu des forages de décompression évitant la naissance, sur l'encainte congelée, de poussées dangereuses dues au gonflement du terrain emprisonné par cette encainte lorsque ce dernier se congèle à son tour; et l'on s'efforce de favoriser un dégel progressif et homogène en fin de travaux en vue d'éviter des efforts concentrés sur les ouvrages.

Des forages équipés de sondes thermométriques permettent de suivre la formation du «mur» congelé. La congélation n'est évidemment possible qu'en terrain saturé: sa réussite exige toutefois l'absence de circulations actives d'eau.

Le coût de la congélation peut varier considérablement selon la complexité du problème posé, et les difficultés d'exécution (notamment pour les forages et leur équipement); il est donc très difficile d'avancer un chiffre, même très approximatif; disons cependant que, dans les cas courants, la dépense se situe généralement entre 150 et 300 francs suisses par mètre linéaire de congélateur, pour terrain congelé livré au Génie Civil, mais non compris l'entretien de la congélation pendant ces travaux.

### Exemples d'application

#### Galerie d'adduction «Est» de l'aménagement de l'Hongrin-Léman

Bien que cet exemple ne soit pas situé en zone urbaine, j'ai tenu à le décrire (avec l'autorisation du Maître de l'Œuvre et de la Compagnie d'Etudes de Travaux Publics à qui je présente mes remerciements) pour trois raisons:

- Son importance exceptionnelle, certainement unique dans ce type d'application,
- son caractère d'actualité (les travaux de forage et de mise en place des tubes congélateurs ont commencé en juin 1967),
- enfin sa situation, précisément en Suisse.

La galerie d'amenée des adductions «Est» de l'Hongrin, percée depuis l'aval dans le massif du Mont-d'Or (figure 2) a rencontré à 1170 mètres, sous 300 mètres de couverture, un accident triasique important; le débouillage qui se produisit alors, nécessita une déviation à partir de laquelle une reconnaissance soignée permit de déceler la présence, sur 51 mètres, d'une bande oblique de cornieules broyées, très décomprimées, inconsistantes et gorgées d'eau sous onze bars de pression; de l'anhydrite compacte et des calcaires dolomitiques aquifères constituent respectivement les épontes aval et amont de cet accident (figure 3).

Les nombreux essais effectués et les études comparatives montrèrent que seule la congélation pouvait permettre la traversée de l'accident dans des conditions satisfaisantes de sécurité, de délai et de prix.

La galerie doit avoir un diamètre intérieur de 2,50 mètres, et extérieur de 3,50 mètres. L'opération est prévue en deux phases (figure 4): la première comporte 49 congélateurs répartis sur quatre surfaces coniques coaxiales, ou «auréoles» (longueur: 42 mètres) et réalisés à partir d'une première chambre de travail située dans l'éponte d'anhydrite compacte; la seconde comprend 39 forages répartis sur trois surfaces coniques (longueur: 42 mètres) partant d'une seconde chambre exécutée à l'abri de la première phase: elle permet de réaliser au bout une troisième chambre pour la poursuite de l'avancement par d'autres techniques dans l'autre éponte (calcaires dolomitiques).

Pour chaque phase, les congélateurs de l'auréole interne sont convergents, afin d'assurer une fermeture complète à l'extrémité de la gaine congelée. Pour chaque phase également, il est prévu quatre forages pour mesure des températures, et un forage de

décompression (ce dernier étant nécessaire du fait de la fermeture complète du bout du tronçon, fermeture emprisonnant au «cœur» une zone à congélation retardée pouvant provoquer des surpressions dangereuses sur le «mur» déjà formé).

Pour le calcul de stabilité du mur de glace, le taux de travail admis pour le terrain congelé varie de 15 à 30 bars selon les hypothèses: or, les terrains similaires donnent 75 bars pour  $-10^{\circ}$ ; des essais de laboratoire sur prélèvements ont confirmé cette valeur, et donné 100 bars pour  $-15^{\circ}$ .

Les forages sont exécutés au moyen de deux perforatrices puissantes sur glissières montées sur un jumbo rotatif spécial extrêmement rigide (figure 5); toutes dispositions sont prises pour réduire au minimum les déviations, qui sont contrôlées par un appareil spécialement conçu pour ces travaux.

Le plus grand soin est en outre apporté à la sécurité, tant du personnel que du fonctionnement des installations et équipements (porte de sécurité; possibilité de mettre hors service des congélateurs défectueux et d'y introduire des éléments de secours, ...).

La centrale frigorifique est installée dans le tronçon de galerie abandonné; de ce fait, il a été nécessaire de se limiter à des groupes peu encombrants, donc de puissance moyenne: quatre groupes (à ammoniac) totalisent 170 CV environ et permettent de congeler chacune des phases en une trentaine de jours.

Le délai d'exécution prévu pour les opérations proprement dites de forage et de congélation est de l'ordre de huit mois (98 forages à exécuter, totalisant environ 4000 mètres); il y a naturellement lieu d'ajouter le temps nécessaire aux opérations de creusement et de bétonnage.

Le coût de ces opérations de forage et de congélation (compte tenu d'une prévision de cinq mois pour l'entretien du terrain congelé pendant le creusement et le bétonnage) est estimé au total à environ 1 500 000 francs, y compris les sondages de reconnaissance complémentaires envisagés en cours de travaux.

#### Ligne Est-Ouest du Réseau Express Régional de Paris: Raccordement rive droite de la traversée sous la Seine

Ce second exemple, également d'actualité, est décrit avec l'autorisation de la Régie autonome des Transports parisiens, à qui je présente également mes remerciements.

La traversée sous la Seine, à Neuilly, de la nouvelle ligne Est-Ouest du Réseau Express Régional, est réalisée au moyen de caissons préfabriqués immergés dans une souille draguée.

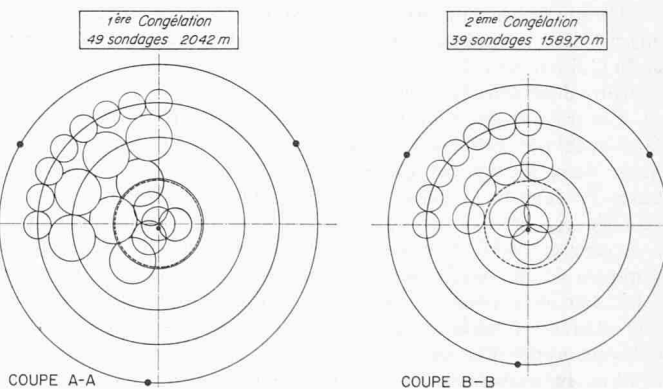


Figure 4b. Coupes A—A et B—B (voir fig. 4a), échelle 1:300

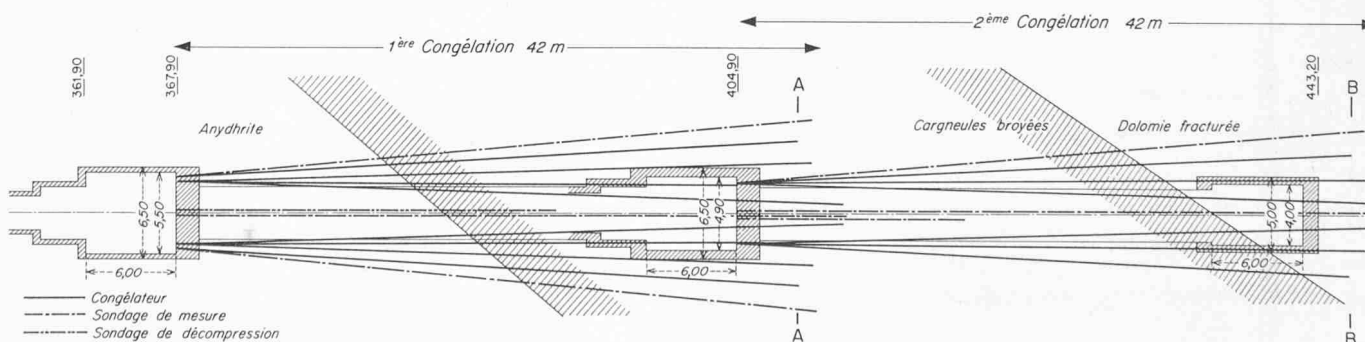


Figure 4a. Aménagement de l'Hongrin-Léman, galerie d'adduction Est. Schéma général du dispositif de congélation, échelle 1:500 (document S. I. F. — Foramines)

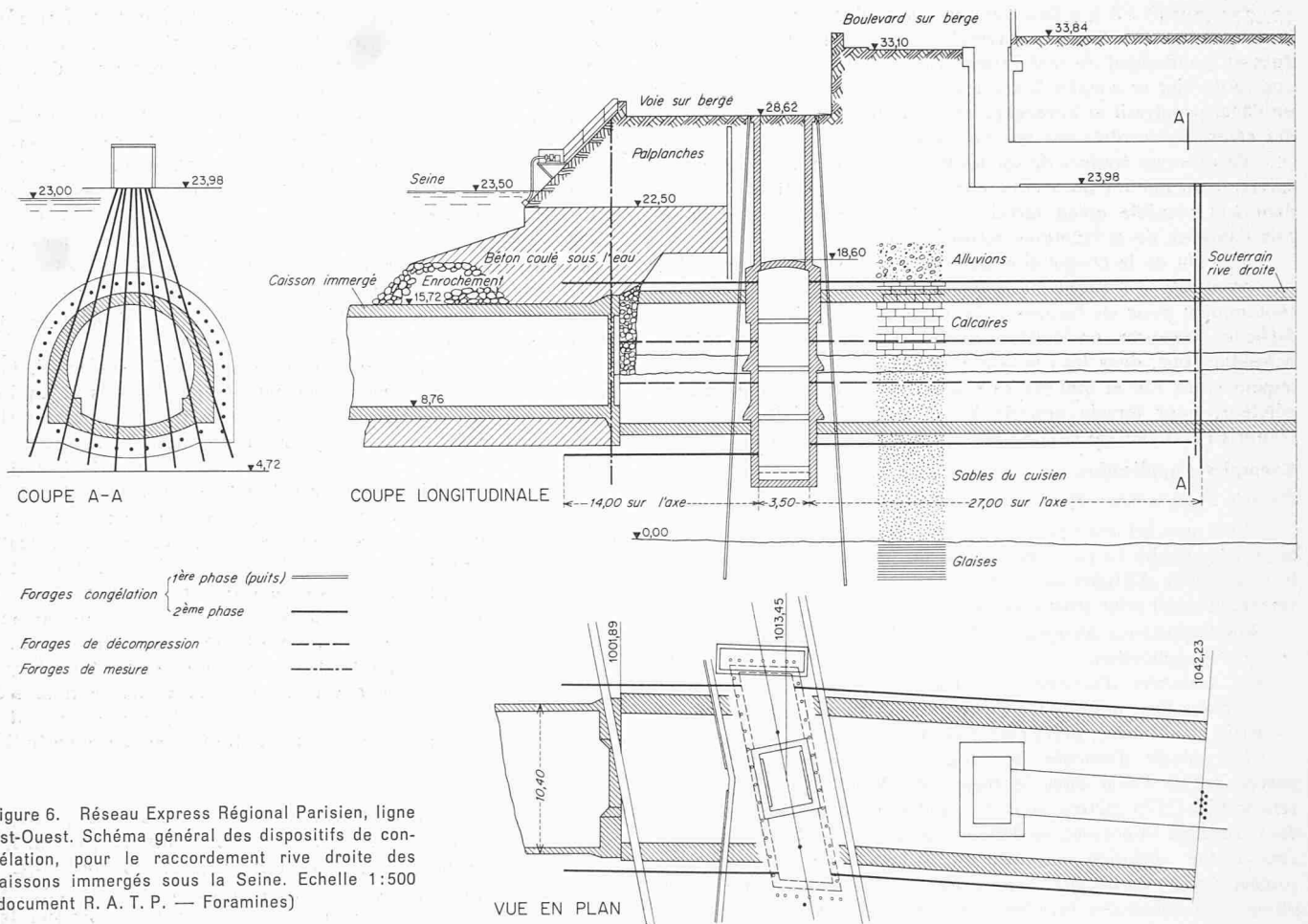


Figure 6. Réseau Express Régional Parisien, ligne Est-Ouest. Schéma général des dispositifs de congélation, pour le raccordement rive droite des caissons immergés sous la Seine. Echelle 1:500 (document R. A. T. P. — Foramines)

Le raccordement du dernier caisson de la rive droite avec le souterrain classique en construction sur cette rive pose un problème particulièrement difficile du fait de l'encombrement de surface (voie de berge en contrebas d'une route riveraine longeant elle-même des constructions industrielles d'accès impossible).

Le souterrain, à deux voies, mesure hors béton 12 m de largeur et 10 m de hauteur; il est fondé dans le sable aquifère très fin du Cuisien, sa calotte se situant dans le calcaire grossier à 12 m de profondeur sous la surface.

Les travaux comportent deux phases (figure 6): a) La création d'une enceinte verticale rectangulaire congelée (17,50 x 4,60 m), ancrée dans les fausses glaises sous-jacentes, et destinée à permettre l'exécution, à partir d'un puits, d'une chambre de travail bétonnée mesurant intérieurement 14,50 m de longueur, 3,50 m de largeur et 14,50 m de hauteur; l'enceinte congelée est réalisée au moyen de 38 congélateurs de 33 m de profondeur (figure 7). — b) En deuxième phase, à partir de cette chambre, réalisation de deux manchons horizontaux congelés, l'un dirigé vers le fleuve et devant s'emboîter sur l'extrémité du caisson (48 congélateurs de 14 m en moyenne), l'autre en sens opposé devant permettre

le raccordement avec le souterrain venant de la rive (42 congélateurs de 27 m en moyenne); ce second manchon est en outre obturé à son extrémité par un écran congelé exécuté à partir d'une galerie horizontale percée sous les constructions industrielles (8 congélateurs en éventail).

Au total 3200 m environ de congélateurs; il est prévu en outre quelques forages pour mesures de température et piézométriques, et pour décompression. La centrale frigorifique comporte deux groupes de 150 CV; cette puissance inhabituellement élevée est justifiée par les délais limités à respecter impérativement; elle permet de congeler chaque enceinte en moins d'un mois.

Le délai total prévu, perçement et bétonnage compris, est d'environ 12 mois. Les travaux ont commencé début mars 1967.

#### Collecteur souterrain de Wattrelos (Nord, France)

Pour la traversée de 130 m sous le cimetière de Wattrelos, ce collecteur de 4 m de diamètre utile devait être creusé et bétonné sous 5 m de remblais et limons, dans une couche de silts bouillants gorgés d'eau reposant sur de l'argile imperméable (figure 8).

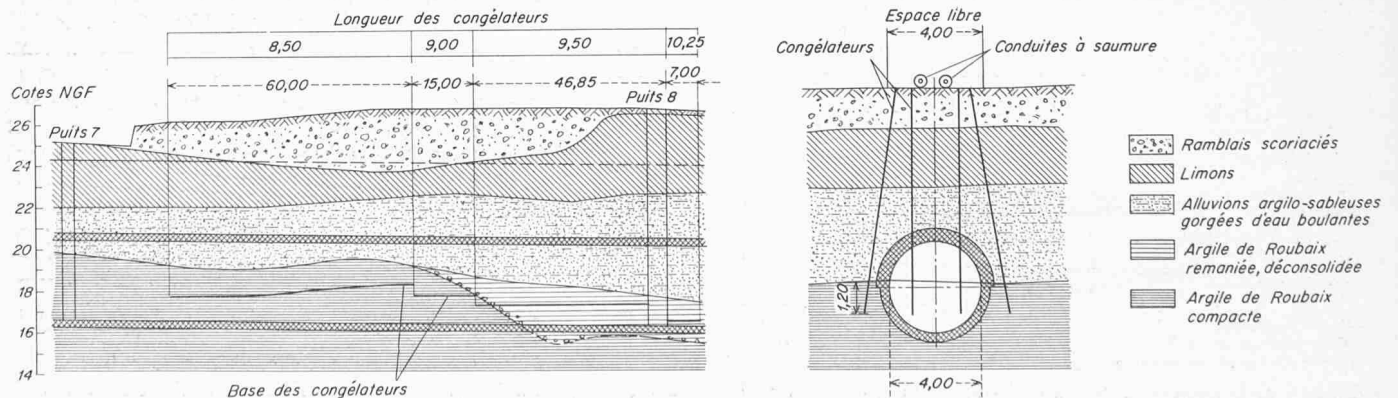


Figure 8. Collecteur souterrain de Wattrelos, profils en long et en travers (document Foramines)

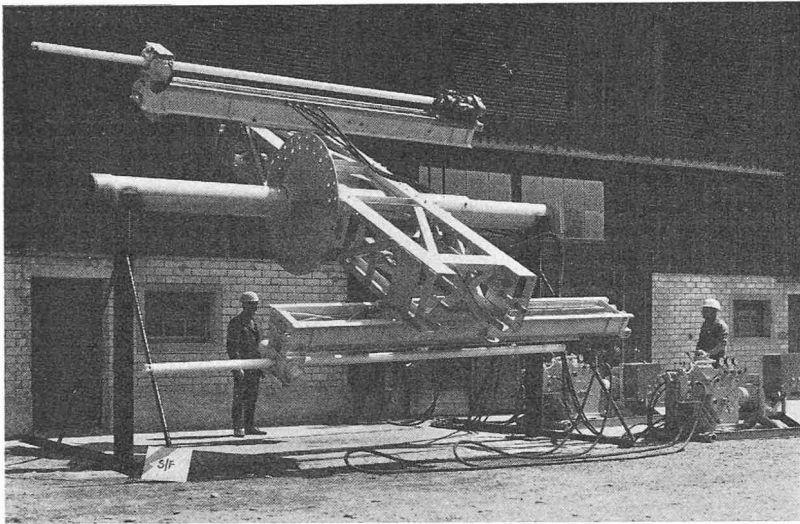


Figure 5. Aménagement de l'Hongrin-Léman, galerie d'adduction Est. Le jumbo rotatif et ses deux perforatrices, pour le forage et la mise en place des congélateurs (document S. I. F. — Photo Germond, Lausanne)

Figure 7 (à droite). Réseau Express Régional Parisien, ligne Est-Ouest, montage des têtes des congélateurs et des conduites de saumure pour la première phase: réalisation du puits vertical et de la chambre de travail (document Foramines)

La grande finesse de ces silts (100 % inférieur à 0,1 mm, et 50 % inférieur à 0,02 mm) et leur très faible perméabilité (ordre de  $10^{-6}$  cm/sec) éliminaient les solutions par injections ou rabattements, les palplanches étant par ailleurs prohibées dans le cimetière. On consolida alors les terrains par congélation.

408 congélateurs de 8,50 m à 10,25 m de profondeur et partant de l'allée du cimetière (figure 9) furent répartis sur quatre rangées parallèles, dont deux extérieures au gabarit de creusement et assurant la protection latérale; après creusement de la demi-section supérieure (figure 10), les congélateurs des deux rangées «internes» furent coupés pour permettre le coffrage et le bétonnage; puis on procéda au creusement et au bétonnage de la demi-section inférieure. Deux centrales frigorifiques furent utilisées, fournissant au total 266 000 frigories/heure à  $-20^{\circ}$ .

Les travaux, bétonnage compris, durèrent environ sept mois.

Adresse de l'auteur: Robert Barbette, Ing. dipl., 11, Avenue du Colonel Bonnet, Paris 16<sup>e</sup>.

Figure 9 (à droite). Collecteur souterrain de Watrelos, vue générale des équipements de surface pour la congélation (document Foramines)

Figure 10. Collecteur souterrain de Watrelos. Creusement de la demi-section supérieure, les congélateurs intérieurs restant en service (document Foramines)

