

COMPTES-RENDUS DES JOURNEES D'ETUDES INTERNATIONALES  
PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ASSOCIATION FRANÇAISE DES TRAVAUX EN SOUTERRAIN  
LYON/1984

Le creusement des tunnels en  
terrains meubles et aquifères  
Tunnelling in Soft  
and Water-Bearing Grounds

*Rédacteur / Editor*  
M. LEGRAND  
*Centre d'Etudes des Tunnels, Bron*



A.A.BALKEMA / ROTTERDAM / BOSTON / 1985

MÉTHODES DE PRÉ-SOUTÈNEMENT ET  
PRÉ-ÉTANCHEMENT POUR LES TRAVAUX EN  
SOUTERRAIN

# Méthodes de présoutènement et pré-étanchement pour les travaux en souterrain

P. LUNARDI

*Université de Florence, Italy*

C. LOUIS

*Simcsol, Paris, France*

**RESUME** : Le présent article décrit le principe, les avantages et inconvénients... des différentes méthodes actuellement disponibles pour réaliser un présoutènement et/ou un pré-étanchement en terrains meubles et aquifères avant le creusement de tunnels. Ces traitements préalables doivent permettre d'avoir recours, lors du creusement, à des techniques classiques d'abattage et de soutènement : en général abattage mécanique et soutènement par béton projeté, cintres, blindage, éventuellement boulons dans certains cas particuliers. Le creusement à l'aide de boucliers à la bentonite n'est pas traité. Parmi les deux objectifs cités ci-dessus, certaines méthodes n'apportent que le pré-soutènement comme, par exemple, vibrofonçage de profilés à l'avancement, pré-découpage mécanique avec remplissage de la saignée par béton projeté... D'autres, plus élaborées, atteignent les deux objectifs : présoutènement et pré-étanchement, comme par exemple injection de produits divers, Jet Grouting, congélation. Les limites d'application de ces méthodes, leurs performances et les risques encourus ainsi que leur coût de mise en oeuvre sont par ailleurs évoqués.

**ABSTRACT** : The paper describes the principles, advantages and inconveniences of various methods that are currently available to pre-support and/or pre-tighten loose ground and aquifers before excavating tunnels. These processes enable during excavation the use of classical methods of tunnelling and ground support : in general mechanical earthmoving and shotcrete lining, arch ribs, logging, and possibly bolting in certain special cases. Excavation using a bentonite shield is not considered. Towards the objectives given above, some only provide pre-support as for example the vibrating of steel beams ahead of the face, or mechanical pre-cutting with filling of the cut with shotcrete. Others are more refined and reach the objectives : pre-support and pre-watertightening with for example grouting using different grouts, jet grouting, or freezing. The limits of application of these methods and the range of results and installation costs are also discussed.

## 1 POSITION DU PROBLEME

Il est de plus en plus fréquent, dans le domaine des travaux en souterrain, d'avoir à franchir des formations instables soit par manque de résistance du terrain, soit par l'action néfaste de l'eau souterraine. Pour traverser de tels terrains, les méthodes classiques de creusement et de soutènement ne sont généralement pas applicables et il convient alors de mettre en oeuvre, avant excavation, des techniques spécifiques de présoutènement et/ou de pré-étanchement, ceci de manière, d'une part, à stabiliser le front de taille pendant les phases d'abattage et de soutènement, et d'autre part, à limiter l'importance des venues d'eau, tout en maîtrisant les poussées d'écoulement.

Les principales techniques qui peuvent être appliquées dans de telles situations sont présentées dans le présent article en faisant une nette distinction entre les effets de présoutènement et de pré-étanchement. Il est précisé cependant que les méthodes basées sur l'utilisation de tunneliers avec bouclier à boue bentonitique ou autres, vaste sujet abordé au cours des présentes journées, restent en dehors de notre propos. Ces dernières méthodes sont en effet tout à fait particulières. Elles sont généralement l'objet d'études importantes et de mises au point aux divers stades du projet ; elles nécessitent d'ailleurs des reconnaissances géotechniques spécifiques. Elles font de plus appel à des matériels d'un coût élevé qui ne se justifie que pour des longueurs de tunnel à exécuter relativement importantes.

Par contre, certaines des méthodes de présoutènement et/ou de pré-étanchement évoquées ci-après peuvent être mises en oeuvre rapidement pour la traversée d'accidents géologiques localisés dans lesquels les méthodes traditionnelles d'exécution

prévues au projet ne sont plus applicables. Certaines d'entre elles sont en effet d'une grande légèreté d'application et ne nécessitent pas la mobilisation de matériel trop conséquent et donc trop coûteux.

Il est enfin précisé que les méthodes de présoutènement et/ou de pré-étanchement décrites peuvent permettre d'améliorer les cadences d'avancement obtenues avec application de méthodes classiques, en particulier en augmentant les longueurs de passes en travaillant ainsi avec plus de sécurité avec maintien du soutènement de base. Par ailleurs, les insuffisances de certaines méthodes classiques (cintres lourds et blindage) contribuent, par le biais de la décompression des terrains, à accentuer les phénomènes d'instabilité au front. En effet, de tels soutènements sont rarement en contact continu avec le terrain, surtout dans les zones instables avec hors profils, ce qui contribue à accroître les portées libres et entraîne, par ruptures progressives, le développement inexorable de la décompression ainsi que le déclenchement d'éboulements. Le terrain devant le front se trouve donc ainsi "pré-décomprimé" avant même que le soutènement soit mis en place, ce qui accroît considérablement les risques de rupture au front.

Toujours lors d'application de méthodes traditionnelles de soutènement et en vue d'atténuer les désordres évoqués ci-dessus, il est de prime abord recommandé, quelle que soit la technique mise en oeuvre, de limiter lesdites décompressions par projection immédiate d'une couche de sécurité de béton projeté (de quelques centimètres d'épaisseur) sur toutes les faces de la cavité nouvellement ouverte, y compris front de taille et radier provisoire, même pour les petites sections. Les éboulements sont ainsi limités et l'efficacité du soutènement est notablement accrue,

en raison du contact parfaitement continu entre les éléments de soutènement et le terrain. Par ce biais, la portée libre du terrain sous-cavé est au plus égale à une passe d'avancement alors que, compte tenu des hors profils et des éboulements, on peut avoir, sans béton projeté, plusieurs passes comme portée libre non soutenue, du moins localement.

Les mesures évoquées ci-dessus sont bien sûr à adopter avant mise en oeuvre de présoutènement et/ou de pré-étanchement.

## 2 QUELQUES METHODES DE PRESOUTENEMENT

Les méthodes de présoutènement décrites ci-après sont présentées dans un ordre correspondant à des difficultés croissantes d'exécution dues à l'instabilité du front de taille. On suppose que les problèmes liés à l'eau ont été réglés par ailleurs (captage des eaux d'exhaure, réduction des débits et des poussées d'écoulement), cf. chapitre 3.

### 2.1 Présoutènement par profilés vibrofoncés en calotte

Lors de creusement d'ouvrages souterrains par des méthodes traditionnelles, les longueurs de passe d'avancement sont généralement de l'ordre de 1,5 m à 1,6 m en section totale ou divisée selon la géométrie de la cavité à exécuter. Dans les sols peu cohérents ou dans les roches broyées ou trop fracturées, il arrive fréquemment que le front de taille soit instable avec de telles passes d'avancement. L'entreprise a alors le choix :

- soit de réduire la passe d'avancement, ce qui fait chuter les cadences sans résoudre complètement le problème,

- soit d'assurer un présoutènement dudit front avant d'entreprendre la phase d'excavation. Cela permet ainsi de conserver avantageusement les mêmes passes d'avancement et d'assurer la sécurité des ouvriers et du matériel travaillant au front.

La stabilité du front peut être obtenue par mise en place de profilés longitudinaux en réalisant une "voûte parapluie", comme le montre schématiquement la fig. 1. Ceux-ci peuvent être mis en place à l'aide d'une machine spéciale permettant soit une préforation, soit un vibrofonçage direct des armatures dans les terrains très instables.

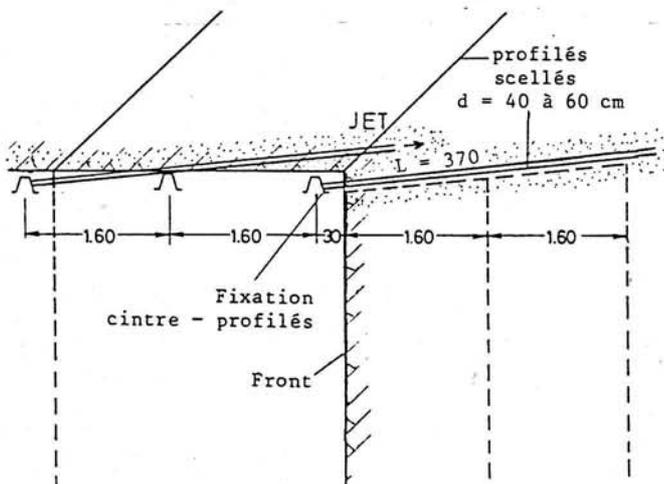


Fig. 1 - Présoutènement par vibrofonçage au front de taille de profilés métalliques formant "voûte parapluie"

La longueur présoutenue est également prise égale à 1 à 3 passes maximum. Les profilés s'appuient côté excavation sur le dernier cintre mis en place, et côté massif sur le terrain non excavé. La distance entre profilés, choisie avec une forte inertie (tubes, profilés cruciformes, etc...), est de l'ordre de 40 à 60 cm, ce qui permet d'assurer une stabilité suffisante de la cavité excavée avant la mise en oeuvre du soutènement. La stabilité est améliorée si l'on procède, pendant ou en fin de vibrofonçage, à une injection de scellement, et éventuellement de traitement, dans le terrain. La cavité, dès son ouverture, est l'objet d'une projection immédiate de béton projeté de manière à enrober les profilés parapluie.

Dans les terrains trop compacts, il est procédé au vibrofonçage après foration préalable de trous axiaux (d'un diamètre de 70 à 80 mm) pour faciliter la pénétration des armatures. Un tel procédé de présoutènement est très simple et rapide de mise en oeuvre. Il a permis de traverser, sans difficulté majeure, des zones instables, par exemple pour la construction du tunnel des Tauern, dans les zones d'entrée constituées d'éboulis et de moraines dans les Alpes autrichiennes, le tunnel de Rostì sur l'autoroute A8 à l'Est de Nice, le tunnel autoroutier de la Rubira à Barcelone, etc... Il se traduit par ailleurs par un coût de mise en oeuvre très modeste.

Les limites de la méthode sont conditionnées par la tenue du massif entre les profilés parapluie. Cela suppose donc que les terrains aient une cohésion suffisante pour que cette stabilité soit assurée. Cette dernière est améliorée en rapprochant les profilés.

La méthode ne s'applique pas en particulier dans les sables bouillants sans cohésion. Le présoutènement apporté par ces profilés risque par ailleurs d'être insuffisant dans le cas de terrains instables gonflants ou terrains à forte poussée. La résistance à la flexion du présoutènement reste limitée, ceci pour des raisons pratiques dues à la difficulté de mettre en place des profilés de forte inertie.

### 2.2 Méthode de "marche-avant" (bouclier à couteaux)

Lorsque la longueur à forer dans des terrains sans tenue au front est importante, il convient de mécaniser le présoutènement. On peut alors faire appel à une méthode de "marche-avant" avec utilisation de bouclier à couteaux. Cette méthode s'apparente en fait à la méthode de présoutènement évoquée ci-dessus. Dans le cas présent, les profilés foncés à l'avancement sont alors quasiment jointifs, comme le montre la machine représentée sur la fig. 2. L'enfoncement des profilés dans le terrain reste cependant nettement inférieur à celui intervenant dans la méthode présentée en 2.1.

### 2.3 Présoutènement par saignées prédécoupées

Une méthode très originale a été développée en France par les sociétés SIPREMEC - PERFOREX. Elle utilise le prédécoupage mécanique à l'aide d'une haveuse pouvant réaliser un prédécoupage au front de taille sur une profondeur atteignant 3 m. La saignée ainsi réalisée, d'une épaisseur de 14 à 20 cm, peut ensuite être immédiatement remplie d'un béton projeté accéléré (fig. 3).

La capacité de soutènement peut être ajustée en fonction du chevauchement des prévoûtes légèrement coniques : ce chevauchement peut être nul dans les bons terrains et représenter par exemple la moitié de la profondeur de sciage dans les mauvais terrains. Cela revient ainsi à doubler l'épaisseur de la coque sur 50 % de la longueur du tunnel. Cette méthode a été utilisée avec beaucoup de succès, en particulier dans des terrains cohérents (formations de la région parisienne et également dans la craie altérée du

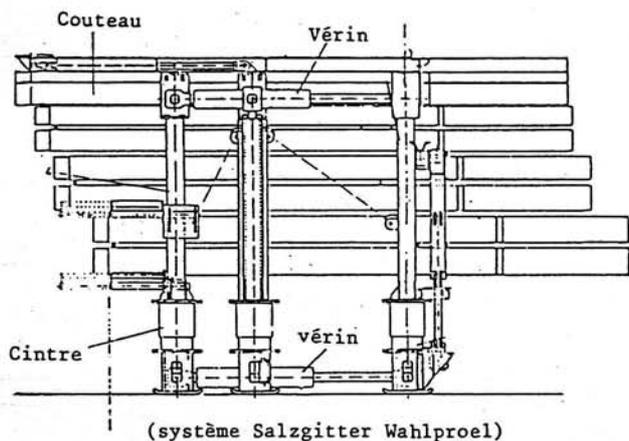
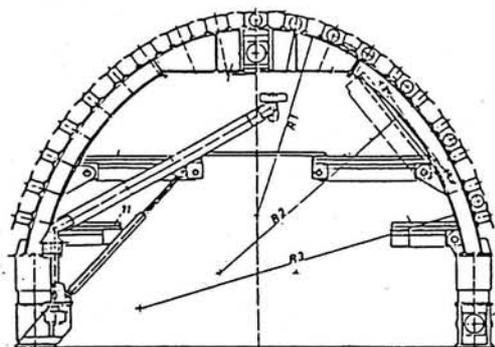


Fig. 2 - Prèsoutènement automarquant orientable

métro de Lille). Elle a permis en particulier de réduire considérablement les tassements consécutifs aux creusements (réduction de un tiers par rapport à la nouvelle méthode autrichienne). Par ailleurs, des améliorations récentes, par exemple fermeture de la prévoûte en pleine section, permettent encore de réduire les tassements, comme le montre la fig. 4 (tassements quasiment nuls dans le lot pleine section, lot 7 pour la première ligne du métro de Lille).

Les performances et les possibilités de la méthode de prèsoutènement par saignées remplies de béton projeté peuvent encore être étendues en y associant des profilés longitudinaux de prèsoutènement, voire de pré-étanchement. Cela consiste à sceller dans les prévoûtes en béton projeté des tubes plastiques servant ensuite de guides pour procéder à un vibrofonçage de profilés dans le terrain au-delà de la prévoûte. Ce vibrofonçage s'effectue ainsi selon les mêmes techniques que celles décrites en 2.1. Il peut par ailleurs être procédé à des étanchements, au moins partiels, des terrains par injection au cours du vibrofonçage ou encore par utilisation de tubes à manchettes. Ce dispositif spécifique est représenté sur le schéma de la fig. 3.

Les limites d'application de la présente méthode sont conditionnées par la stabilité de la saignée pendant le court délai séparant le sciage et le remplissage de béton projeté, sur une distance transversale d'au moins 1 m. Cela suppose donc que le terrain ait une cohésion suffisante, de l'ordre de 10 à 20 kPa et que l'éventuelle action néfaste de l'eau souterraine ait été éliminée par des techniques appropriées (injections, rabattements, etc...), comme ce fut le cas à Paris pour la ligne B du RER (section Châtelet - Les Halles - Gare du Nord) (fig. 5).

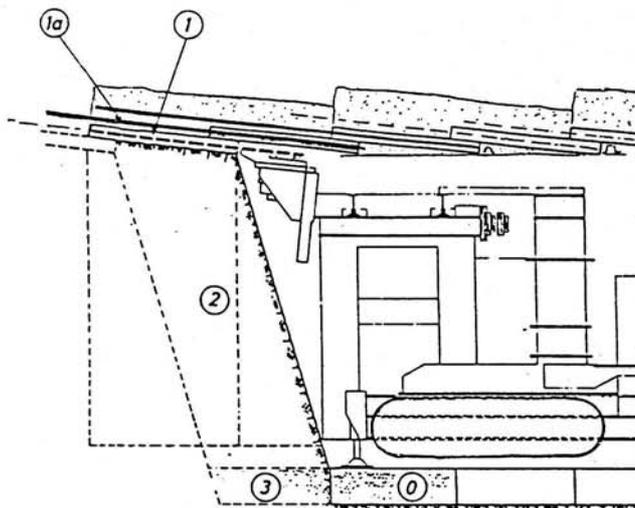


Fig. 3 - Prèsoutènement par saignées remplies de béton projeté avec si nécessaire profilés longitudinaux (variante avec fermeture de la prévoûte au front)  
 (0) Radier précédent réalisé en contrevoûte  
 (1) Saignée et prévoûte  
 (1a) Profilés pour prèsoutènement complémentaire  
 (2) Zone à excaver  
 (3) Radier futur

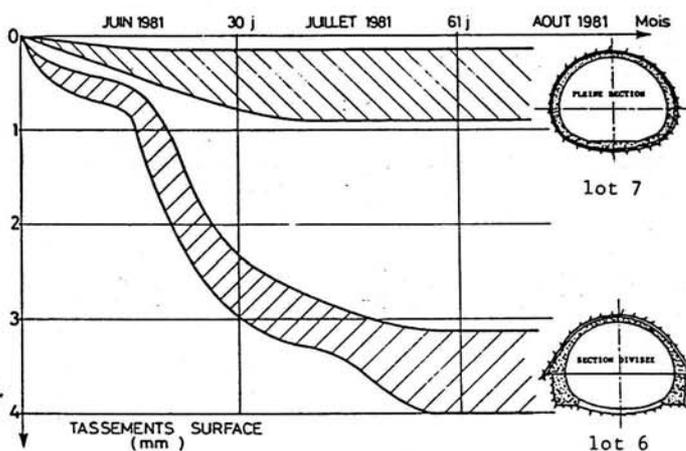


Fig. 4 - Tassements lors de la construction du métro de Lille, lots 6 et 7 - Amélioration obtenue avec prèsoutènement en pleine section

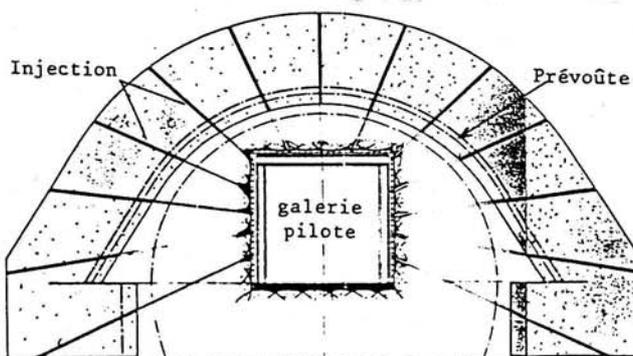


Fig. 5 - Prétraitement par injection (consolidation, étanchement) en vue de la mise en oeuvre de la méthode de prèsoutènement par saignées remplies de béton projeté dans les marnes et caillasses et sables de Beauchamp - RER ligne B - Châtelet - Gare du Nord

### 3 CREUSEMENT EN TERRAINS AQUIFERES - PRESOUTÈNEMENT ET PRE-ÉTANCHEMENT

Le creusement des tunnels dans les terrains aquifères est rendu plus difficile encore en raison des venues d'eau au front de taille et de leurs effets sur la stabilité. Par ailleurs, l'eau au front gêne considérablement les travaux et les gradients hydrauliques se traduisent par des poussées d'écoulement très préjudiciables à la tenue du front de taille. On est donc amené à mettre en oeuvre des méthodes visant à éliminer ce double effet néfaste de l'eau souterraine. Diverses méthodes peuvent être envisagées, à savoir : les rabattements, les étanchements et les consolidations.

#### 3.1 Rabattements

Les rabattements de la nappe phréatique au voisinage du front de taille ne sont évidemment possibles que si les débits pompés restent limités (maximum quelques centaines de m<sup>3</sup>/h) et si également l'amplitude du rabattement est significatif. Il convient en effet de rabattre les niveaux aquifères à une cote inférieure à celle du radier de l'ouvrage, ce qui n'est pas toujours possible lorsque l'on traverse des aquifères puissants, comme par exemple : sous-sol lillois, les plaines alluviales du Rhin ou du Rhône où la perméabilité peut être beaucoup trop élevée, 10<sup>-4</sup> à 10<sup>-2</sup> m/s. Par ailleurs, de tels rabattements peuvent se traduire par des tassements préjudiciables à l'environnement (tassements consécutifs aux rabattements importants dans les formations compressibles en raison de la variation des contraintes effectives suite au pompage).

Dans le cas extrême contraire (terrains aquifères de faible perméabilité), les rabattements se trouvent quelquefois inopérants lorsque le rayon d'action est insuffisant, comme le montre la fig. 6, pour des travaux en souterrain réalisés dans la basse vallée de la Seine dans des limons peu perméables.

#### 3.2 Etanchements par injections

Les travaux en souterrain en milieux aquifères sont le plus souvent rendus possibles grâce à un traitement d'étanchement des terrains par injections. Les injections sont réalisées avant les travaux, la plupart du temps depuis la surface lorsque la hauteur de couverture reste limitée (ouvrages à faible profondeur, de l'ordre de quelques dizaines de mètres maximum).

De tels traitements peuvent être réalisés par séquences avec le creusement depuis le front de taille

dans le cas d'ouvrages profonds. Il est certain que de tels travaux supplémentaires se traduisent par une augmentation importante du coût de l'ouvrage, mais également par des nuisances lors de travaux d'injection en surface et par une chute importante des cadences d'avancements lorsque les injections sont réalisées en souterrain. Le coût des ouvrages avec un tel traitement est souvent multiplié par deux ; il peut en être de même pour les délais d'exécution.

Par ailleurs, les méthodes classiques d'injection ne sont pas toujours applicables. Ainsi pour l'utilisation de coulis classiques de bentonite-ciment, il convient que les formations traitées soient homogènes, sans discontinuités de perméabilité et que cette perméabilité reste moyenne (ni trop forte, ni trop faible).

Dans les milieux aquifères trop perméables (10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup> m/s), le coulis risque d'être dilué dans la nappe, surtout si cette dernière est le siège d'un gradient hydraulique naturel. De plus, l'étanchement devient délicat, imparfait, voire impossible lorsque la perméabilité du sol est trop faible (cas de la fig. 6). Les débits certes restent faibles mais les phénomènes de bouillonnement ou de renard demeurent. Il convient alors de recourir à des injections spéciales de produits chimiques, souvent onéreuses et pouvant se traduire par des nuisances sur les eaux souterraines (utilisation des silicates contenant des produits annexes inacceptables, etc...) La neutralisation de ces effets chimiques (pollution, agressivité, etc...) peut certes être envisagée, par exemple par utilisation de réactifs. Cette opération reste cependant d'un coût non négligeable.

Il ne sera pas donné davantage de précisions sur ce procédé étant donné qu'il est relativement bien connu et qu'il a été l'objet de très nombreuses publications, voire d'ouvrages spécifiques (par exemple CAMBEFORT et autres, etc...).

#### 3.3 Préconsolidation et étanchement par Jet Grouting

Le Jet Grouting pour les travaux en souterrain se rapporte à la fois aux techniques de pré-soutènement et également aux techniques de pré-étanchement. La méthode consiste à réaliser, de manière auréolaire en avant du front, une zone de terrain à traiter par Jet Grouting (projection de coulis de ciment à partir d'un train de tiges de forage à très haute pression). Cette projection fragmente le terrain, pousse les particules fines et l'eau et assure un remplissage des vides par un coulis enrobant les agrégats du terrain naturel restés en place. Par un jet rotatif,

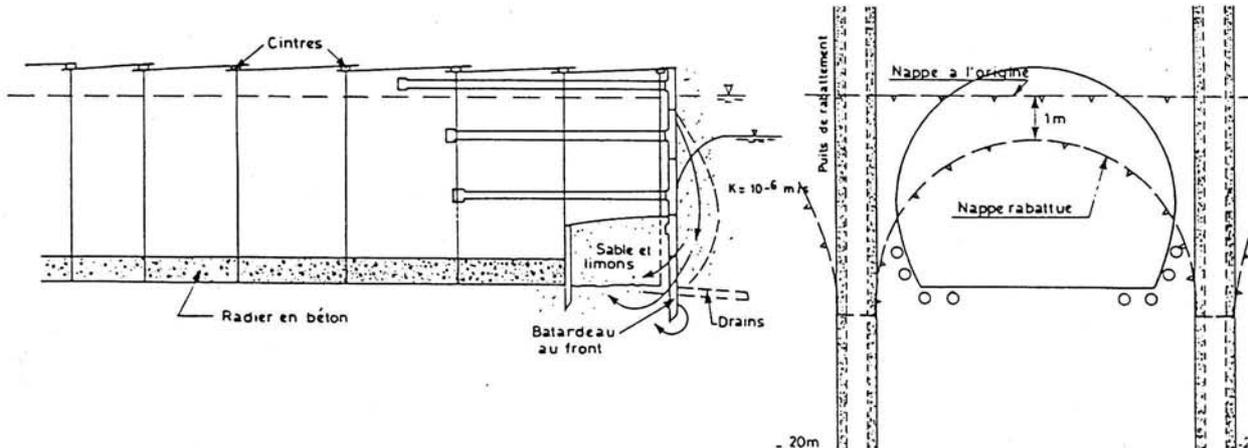


Fig. 6 - Collecteur Nord de Rouen - Attaque aval - Schéma d'exécution dans les alluvions limoneuses aquifères. Blindage du front instable - Injections et rabattement inefficaces. Solution finalement retenue : Travaux sous air comprimé

il est possible ainsi de réaliser horizontalement des colonnes consolidées d'un diamètre de 60 à 80 cm. Ces colonnes peuvent être jointives et former ainsi une paroi quasi étanche. En cas de besoin, une étanchéité totale peut être obtenue sous réserve que l'on traite à l'avancement à la fois la calotte, le radier et le front. Un tel traitement peut être réalisé également depuis la surface du sol.

Plusieurs exemples d'application de cette méthode sont à signaler actuellement en Italie avec un présoutènement réalisé selon les schémas de la fig. 7, en particulier pour l'exécution de tunnels de chemin de fer dans des éboulis de pente marno-calcaires broyés dans le Frioul en Italie, en présence d'une nappe de versant. Des chantiers similaires sont également en cours d'exécution à Naples, en Sicile et pour le métro de Milan. Les passes élémentaires (fig. 7b) de traitement sont de l'ordre d'une quinzaine de mètres et les prévoûtes réalisées en colonnes sécantes légèrement ouvertes sont prévues avec un chevauchement de 3 à 5 m. Cela permet de réaliser des avancements hebdomadaires de l'ordre d'une dizaine de mètres correspondant à une travée de pré-traitement. Ce n'est qu'en cas de besoin qu'un tel pré-traitement est réalisé en radier.

De manière à obtenir des cadences d'exécution élevées, des machines spéciales ont été mises au point pour la réalisation de tels présoutènements horizontaux en tunnels (fig. 8). Avec un tel traitement, les terrains totalement instables peuvent ainsi être traversés sans difficultés. La consolidation ainsi réalisée est telle que seul un soutènement léger après excavation est nécessaire (cintres et béton projeté), comme le montre la fig. 9.

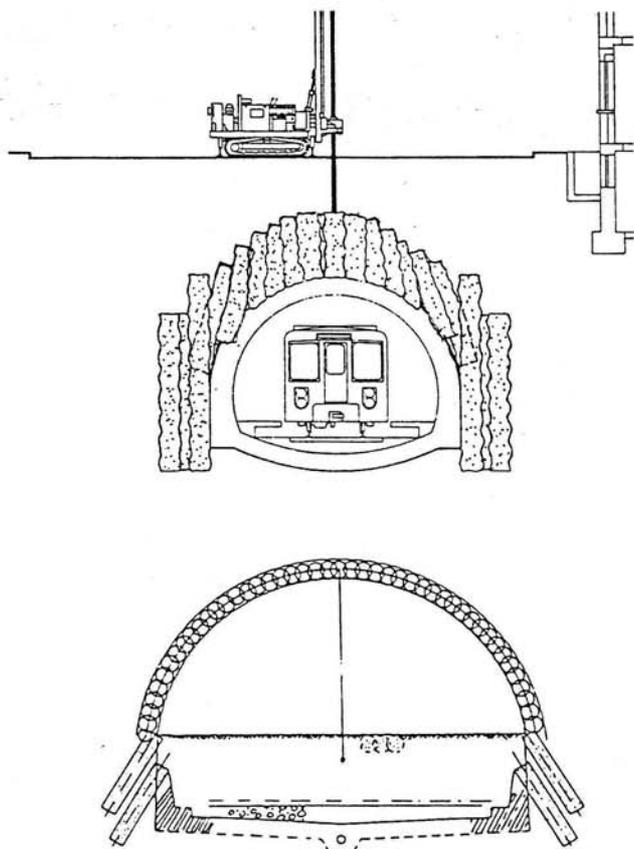


Fig. 7 - Deux exemples, parmi tant d'autres, d'utilisation de consolidation par Jet Grouting en tunnel.

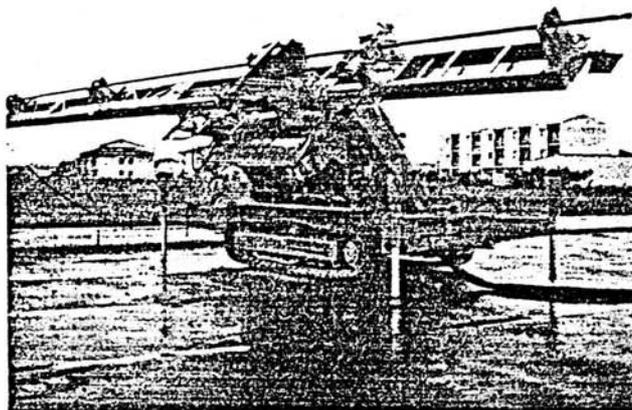


Fig. 8 - Machine spéciale pour exécution de présoutènement horizontal par jet grouting en tunnel (matériel PACCHIOSI)



Fig. 9 - Présoutènement par Jet Grouting - Voisinage du terrain traité

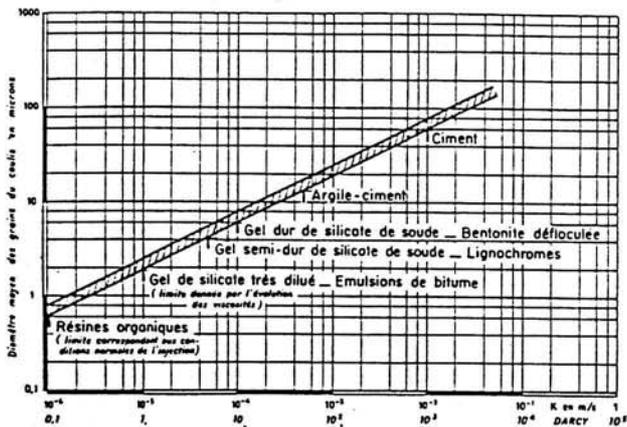
### 3.4 Congélation

Le recours aux techniques de congélation est en fine envisagé lorsque toutes les autres méthodes s'avèrent infructueuses, voire trop risquées. Cette méthode reste cependant très lourde d'application et nécessite la mobilisation d'un matériel important. Elle reste d'un coût relativement élevé, ceci pour l'exécution des forages de congélation depuis la surface ou depuis le front de taille, et également pour le maintien des basses températures de congélation dans le terrain.

Certaines formations aquifères trop perméables, soumises à des gradients hydrauliques, nécessitent de plus un traitement préalable d'étanchement partiel de manière à limiter les fuites des frigori. Ces fuites, ou les traitements préalables nécessaires pour les éliminer ou les réduire, se traduisent évidemment par un coût supplémentaire important.

### 3.5 Air comprimé

L'utilisation de l'air comprimé n'a pas été pris en considération. En effet, cette méthode ne constitue



LIMITES DE PENETRABILITE DES COULIS BASEES SUR LA PERMEABILITE DES TERRAINS

pas à proprement parlé une méthode de présoutènement et/ou de pré-étanchement. Elle reste de plus d'un emploi très réglementé.

#### 4 CONCLUSION

Le choix et la mise au point de méthodes de présoutènement et/ou de pré-étanchement pour faciliter le creusement d'ouvrages souterrains constituent un problème très délicat. Il n'existe en général pas de solution unique, les critères et paramètres sont en effet multiples, en particulier les conditions géotechniques et hydrogéologiques, la nature de l'ouvrage, sa situation et son environnement, l'importance de la zone difficile à traverser, etc...

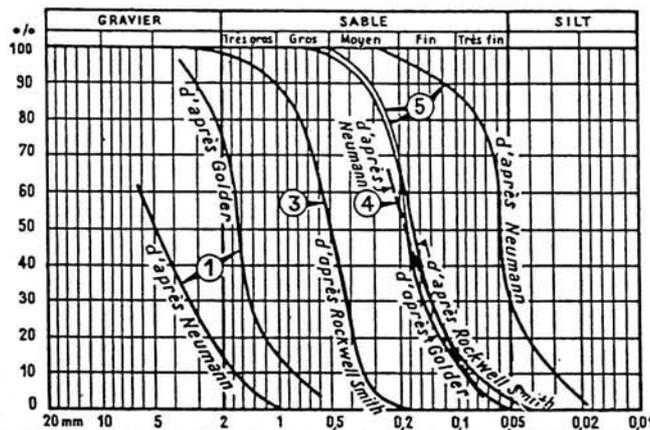
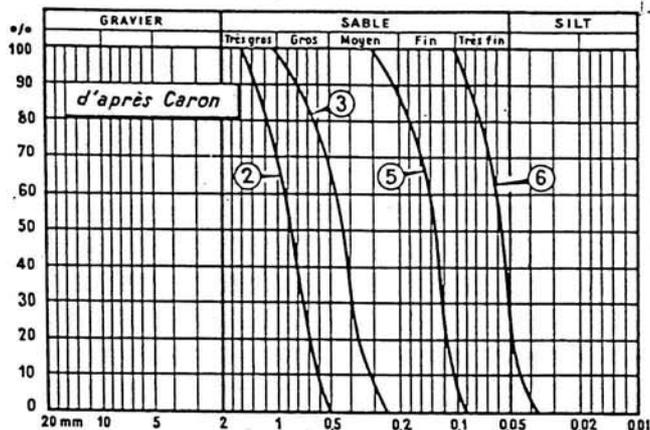
La difficulté s'aggrave lorsque de telles techniques n'ont pas été prévues et étudiées à l'avance et en particulier en cas d'improvisation soudaine, voire hasardeuse, à la rencontre inattendue d'un accident géologique. Dans de telles circonstances, certains procédés certes efficaces ne peuvent parfois être retenus faute de matériels disponibles.

Autant les méthodes de présoutènement par profilés "parapluie" en calotte, les méthodes de traitement par injections ou les techniques de rabattement peuvent être mises en oeuvre rapidement, autant les autres procédés cités (méthode marche avant, présoutènement par saignées remplies de béton projeté, Jet-Grouting systématique, congélation, nécessitent des installations importantes, des matériels d'un coût élevé et des délais de mise en oeuvre non négligeables. Pour ces raisons, ces dernières techniques ne sont en général retenues que pour des zones à traiter sur une longueur suffisante.

La plupart de ces procédés sont enfin d'application délicate, ils requièrent donc des équipes très expérimentées intervenant sur des projets bien étudiés. Cela impose de faire appel à des spécialistes maîtrisant bien les problèmes posés. Des applications hasardeuses avec sous estimation, voire ignorance, des limites des techniques retenues, peuvent en effet être plus préjudiciables que bénéfiques.

#### Annexe : DOMAINES D'UTILISATION DE CERTAINES METHODES

A titre d'information sont données ci-après des indications sur les limites d'application de certaines méthodes de présoutènement et pré-étanchement. Ces recommandations sont dues à Cambefort 1967.



LIMITES DE PENETRABILITE DES COULIS BASEES SUR LA GRANULOMETRIE DU TERRAIN

- |                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| 1. ciment        | 4. procédé Joosten           |
| 2. argile-ciment | 5. gel de silice             |
| 3. argile        | 6. émulsion de bitume-résine |

#### REFERENCES

Bougard J.F., François P., Longelin R. (1977) : Le prédécoupage mécanique - Revue T.O.S. n° 22 - 23 - 24 - juillet à décembre 1977

Cambefort H. (1967) : Injection des sols - Tomes I et II - Editions Eyrolles, Paris (393 p.)

Louis C. et Lunardi P. (1984) : Consolidation des sols par la technique de Jet Grouting - Etat des connaissances et expériences - Conférence ITBTP Paris 15 mai 1984 et Colloque International sur le renforcement en place des sols et des roches - Paris 9-11 octobre 1984 - Tome II (8 p.)

Tallard G.R. and Caron C. (1977) : Chemical grouts for soils - Vol. I Available materials (233 p.) Volume II Engineering Evaluation of available materials (372 p.) - Soletanche Radio Inc., Mc Lean Va prepared for Federal Highway Administration Wa - DC

Tunnels et Ouvrages souterrains TOS (1975) : GT 8 de l'AFTES, (M. JANIN et al. ), Traitement des terrains - Travaux d'injection pour les ouvrages souterrains - TOS n° 10, juillet 75 (pp. 131 - 158)

Aux présentes journées :  
Gouvenot D. (1984) : Progrès récents des techniques d'injection - Journées d'études internationales de Lyon 27/30 Novembre 1984