Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 90 (1964)
Heft: 23

Artikel: Particularités du creusement de la galerie de Lyssimachias, Grèce
Autor: Rallis, R.G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-67017

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: 13.07.2025

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

90e année Lausanne, 14 novembre 1964 N° 23

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)
de la Section genevoise de la SIA
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: E. Martin, arch. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgurin, arch.; J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: D. Bonnard, ing.
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre, arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua, architecte
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 34.—	Etranger	Fr. 38.—
Sociétaires	»	» 28.—		
Prix du numéro . . .	»	» 1.60	»	» 1.80

Chèques postaux : « Bulletin technique de la Suisse romande », N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à : Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 350.—
1/2 »	» 180.—
1/4 »	» 93.—
1/8 »	» 47.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. 1000 Lausanne et succursales

SOMMAIRE

Particularités du creusement de la galerie de Lyssimachias, par R. G. Rallis, ingénieur EPUL, Athènes.
Divers. — Bibliographie. — Les congrès. — Société suisse des ingénieurs et des architectes.
Documentation générale. — Nouveautés, informations diverses.

PARTICULARITÉS DU CREUSEMENT DE LA GALERIE DE LYSSIMACHIAS, GRÈCE

par R. G. RALLIS, ingénieur EPUL, Athènes

La galerie de Lyssimachias — 6,4 km de longueur et 5 m de diamètre — est située dans la partie occidentale de la Grèce centrale, à proximité de la ville de Missolonghi. Elle a été conçue pour drainer le lac de Lyssimachias, couvrant une superficie d'environ 15 000 ha (plan d'eau à +17 m) et permettant la bonification de 45 000 ha, par dérivation de ses eaux vers les lagunes d'Aetolikon. A sa sortie, il est prévu une petite usine hydro-électrique.

Quelques sondages, effectués le long de l'axe de la galerie depuis la surface du terrain naturel, ainsi qu'un examen géologique de l'ensemble de la région, ont permis de prévoir qu'à l'exception de la partie centrale (comprise entre les km 2,200 et 4,800 depuis l'amont), qui peut éventuellement être considérée comme constituée de calcaires éocènes, la galerie traversera sur le reste de sa longueur du flysch à l'état le plus compact dans le massif même et altéré vers les extrémités.

Plus particulièrement, les abords amont de la galerie, et jusqu'au km 0,200, se présentent successivement sous forme de limon gris, avec une proportion importante de sable siliceux lacustre, superposé à une couche de sable limoneux jaune avec petits galets alluvionnaires et, enfin, d'une formation de flysch silico-marneux de l'époque crétacée.

Depuis l'aval, par contre, et jusqu'au km 1,000 environ, la roche est constituée surtout de conglomérats d'origine alluvionnaire diverse, à liant de calcite et avec plusieurs interstratifications de marnes grises d'une épaisseur atteignant jusqu'à 3-4 m.

A ces deux extrémités, on a dû faire face, dès le début du creusement, à des venues d'eau assez importantes, dont l'effet néfaste s'est surtout fait sentir dans les zones de contact, à l'aval, entre les couches marneuses et le conglomérat, et à l'amont entre les diverses couches de sédimentation successives.

Il est clair que, dans ces conditions, des difficultés n'ont pas tardé à se présenter.

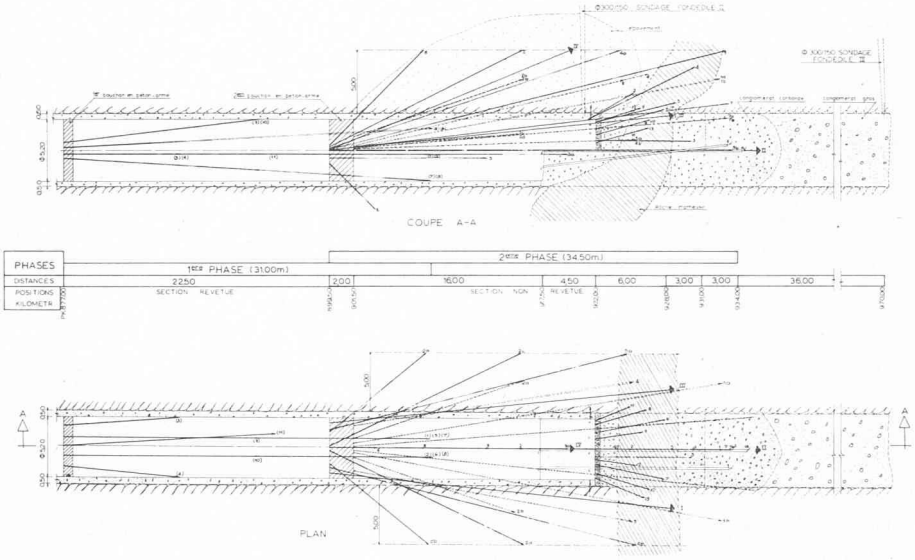


Fig. 1. — Front aval.

Front aval

Les travaux de creusement de la galerie se sont poursuivis au début sans difficulté majeure jusqu'au km 0,930, premier contact entre les conglomérats et une couche marneuse à forte déclivité vers l'aval, en présence de venues d'eau d'environ 2-3 lit/sec. Le revêtement de béton avait atteint le km 0,900 environ sur tout le profil de la galerie.

En ce point, sous l'effet du délavage par les eaux de la surface inclinée de cette couche marneuse et d'une ségrégation simultanée du conglomérat, il s'est produit un important éboulement souterrain, qui remplit la galerie de boue sur une longueur de 300 m. Cet éboulement aura probablement créé, dans le toit de la galerie, un vide assez important qu'il était toutefois hors de question de combler depuis la surface ou autrement. Par ailleurs, le traitement d'une pareille boue, comportant une grande proportion d'agrégats fins, constituait un problème nouveau et bien différent des cas ordinaires de consolidation de roches plus ou moins fissurées mais compactes.

Pour faire face à cette situation, on a commencé par extraire la boue composée d'un mélange intime de conglomérat et marne décomposés, jusqu'à environ 22,50 m en deçà du front atteint précédemment.

La seule solution économiquement possible pour traverser l'obstacle dans cette zone consistait à réaliser une consolidation de la masse boueuse par une série d'auréoles injectées au coulis de ciment et sur un rayon de 5 m au-delà du profil de la galerie. Les travaux ont été confiés à la Société Ing. Giov. Rodio & Co., S. p. A., qui a procédé comme suit, avec succès :

La consolidation a été effectuée en deux phases : la première de 31 m de longueur, dans le tronçon de galerie déjà revêtu, et la deuxième, de 34 m de longueur, dans le tronçon non revêtu, jusqu'au-delà de la couche marneuse ; sur ce dernier tronçon, les cintres métalliques de renforcement du revêtement avaient été entraînés par la boue lors de l'éboulement (fig. 1).

Dans *la première phase*, après exécution d'un masque de 80 cm en béton armé ancré dans le revêtement de la galerie au km 0,877, suivi d'un blocage de pierres de 2 m d'épaisseur, on a exécuté une série de 11 forages disposés en trois auréoles, ∅ 65/45 mm, avec des inclinaisons verticales et horizontales telles que la section de la galerie soit couverte le plus possible. Tous les forages avançaient par passes de 5 m environ, de façon que les injections, qui suivaient par alternance et également par passes de 5 m, permettent la prise du coulis avant la reprise du travail pour la passe suivante.

Les forages inclinés ont été percés jusqu'au revêtement de la galerie et les forages horizontaux jusqu'à une distance de 31 m environ, c'est-à-dire jusqu'au km 0,908 non revêtu ou 6 m au-delà de la fin du revêtement.

Le coulis était constitué d'un mélange ciment-eau, dans des proportions C/E = 4 : 1 à 2 : 1. La pression d'injection a été augmentée progressivement jusqu'à 30 kg/cm².

Au commencement de ce traitement, et jusqu'au cinquième jour, la pression fut minime et l'absorption importante ; puis la pression augmenta brusquement, donnant lieu à un début de fuite du coulis par les tuyaux de drainage 6 ∅ 3″ prévus dans le masque ; ces tuyaux ont été immédiatement bouchés. En poursuivant le traitement, et par suite de l'augmentation progressive de la pression, les eaux souterraines ont trouvé une sortie par un point du piedroit gauche situé à environ 15 m en aval du masque où il existait d'anciens trous de drainage. Pour faciliter le drainage de ces eaux, nous avons foré en ce point encore deux trous, de façon à pouvoir évacuer aisément le débit de 1,85 lit/sec. Quand les injections eurent avancé jusqu'à la profondeur de 26 m, les fuites d'eau à l'aval se sont arrêtées, c'est-à-dire que les eaux ont été refoulées vers l'amont, au-delà du secteur revêtu de la galerie.

Enfin, à l'aide d'un forage de contrôle ∅ 100/75 mm, nous avons procédé à des essais d'eau dans la dernière tranche de 6 m (soit entre les profondeurs de 25 et 31 m) à des pressions de 3-6-10 kg/cm². La perte d'eau qui en découlait s'est élevée à 1 ½ unité Lugeon en moyenne.

La durée totale du traitement de cette première phase a été de vingt jours.

Le creusement de la galerie a pu alors être repris et poursuivi régulièrement jusqu'à l'extrémité du tronçon

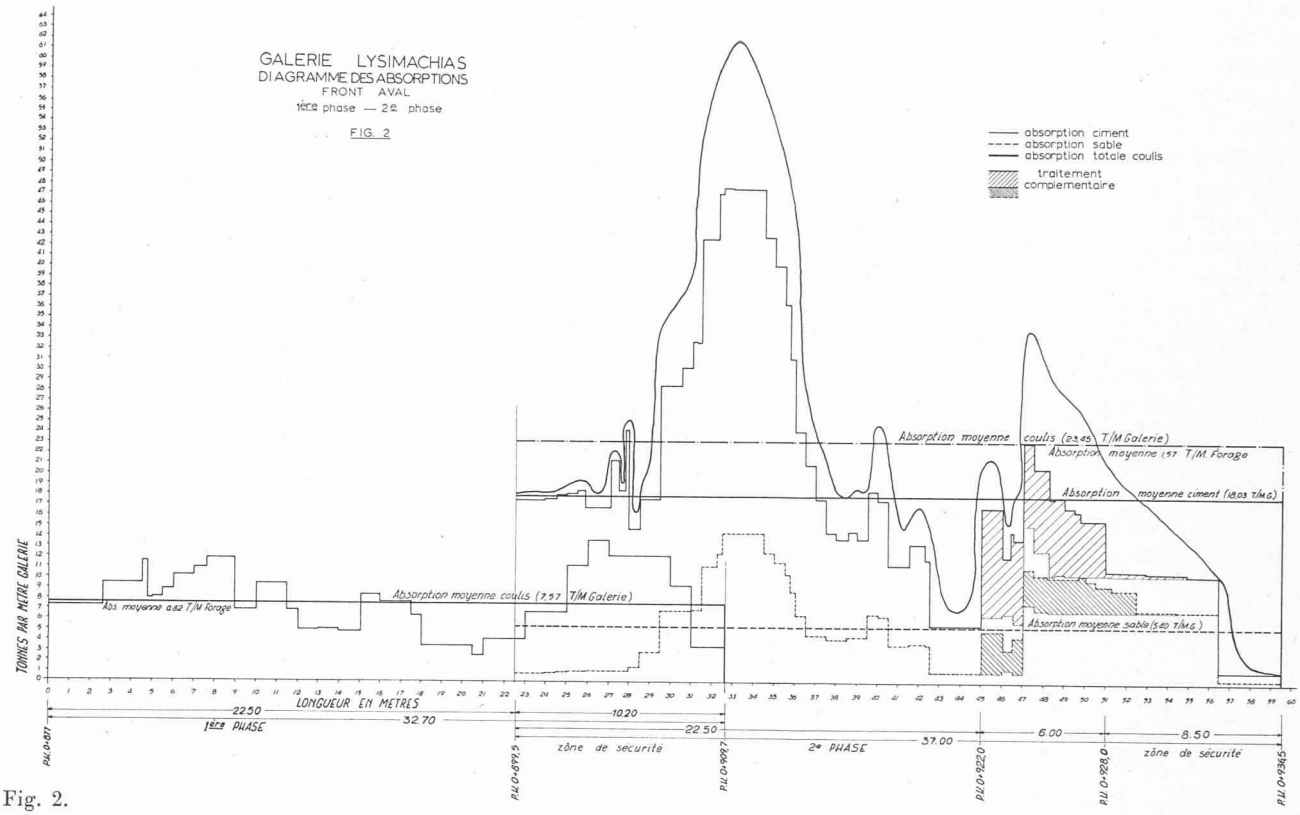


Fig. 2.

de première phase (km 0,902), qui présentait une consolidation satisfaisante.

Lors du creusement, il a été constaté que le coulis d'injection s'était en grande partie entassé sur le pourtour du revêtement en une couche de 5-8 cm d'épaisseur, comprimant ainsi la boue, elle-même consolidée presque uniformément dans sa masse. L'avancement n'a ainsi présenté aucune difficulté sur ce premier tronçon.

Au cours de cette phase, il a été exécuté 297,60 m de forages, 195,80 m de reperforation, et la consommation de ciment injecté s'est élevée à 247,60 t. L'absorption moyenne a été de 7,57 t/m de galerie (ou : 0,32 t/m de forage). La répartition des absorptions est représentée sur la figure 2.

Dans *la deuxième phase*, intéressant un tronçon de 34,5 m de longueur, les travaux ont été repris douze jours plus tard, après l'exécution du deuxième masque en béton armé de 2 m d'épaisseur, soit depuis le km 0,899.50. Cette phase devait être exécutée en deux étapes : la première était considérée comme une recherche visant à déterminer les éléments permettant de décider du système de travail à adopter, d'estimer le temps nécessaire à la consolidation de la boue jusqu'au km 0,934 et les frais correspondants. La deuxième étape devait achever le traitement préliminaire, en complétant les cinq auréoles destinées à la consolidation complète du tronçon de 34,5 m de longueur (fig. 1).

A cet effet, cinq forages de reconnaissance ⌀ 100/45 mm ont été exécutés sur la demi-section supérieure de la galerie et disposés en forme d'une ébauche d'auréoles, les trois premiers en direction de l'axe avaient des inclinaisons verticales 0 à 5 %, le quatrième était situé sur la gauche et le cinquième sur la droite de la galerie, avec des inclinaisons verticale de 24 % et horizontale de 17 %. A l'aide de ces forages, qui couvraient entièrement le secteur soumis à nos recherches, il nous a été possible de déterminer avec une approximation suffisante la nature du matériau à consolider, son coefficient de perméabilité, l'absorption moyenne de coulis, ainsi que les pressions d'injection nécessaires.

Ainsi, dans le tronçon situé immédiatement derrière le masque, et jusqu'à une profondeur de 6 à 7 m, le matériau était constitué essentiellement de marne compacte de couleur gris foncé, qui sous l'influence de l'eau se décomposait rapidement. En outre, ce tronçon, notamment dans la calotte, comprenait des cailloux mélangés à du sable fin de couleur jaune ocre. Au-delà du km 0,907, la proportion de marne diminuait au profit d'un mélange de cailloux et de sable plus grossier jusqu'au km 0,920. Cette circonstance peut s'expliquer par le fait que lors du délavage, les eaux souterraines ont en même temps entraîné le matériau plus fin vers l'aval. En outre, la marne était essentiellement imperméable et sa consolidation ne pouvait être réalisée que par compression, à haute pression, sur les couches plus dures ou sur celles consolidées par le traitement d'injection précédent. La région constituée par du matériau de composition granulométrique plus grosse avait présenté une absorption importante de coulis au ciment-sable sous des pressions d'injection relativement faibles (25 à 30 kg/cm²). A l'extrémité du forage central, on avait atteint une pression de coulis allant jusqu'à 65 kg/cm². Ce fait pourrait être expliqué par l'existence d'une couverture de résistance importante ou, en tout cas, par le résultat obtenu grâce au traitement de consolidation sur le pourtour de la galerie.

Les différents essais de perméabilité qui ont été exécutés au-delà de 9 m en amont du masque (puisque ce tronçon de 9 m avait déjà été consolidé pendant la première phase), avaient donné une perte d'eau importante, qui atteignait le débit total de la pompe.

A la fin de cette première étape de la deuxième phase

et à la suite des travaux décrits ci-dessus, les eaux souterraines — qui initialement s'échappaient par les barbacanes du bouchon et avaient été refoulées vers l'amont à la fin de la première phase — ne s'étaient plus présentées. En tout cas, pour maintenir un contrôle continu de la source d'eau souterraine, et pour empêcher qu'elle ne soit éventuellement mise en charge, nous avons exécuté divers trous de drainage, mais leur débit avait été infime.

Dans la deuxième étape, la formation des six auréoles avançait progressivement et par alternance, de façon à réduire les absorptions de coulis au minimum, jusqu'au km 0,934. Chacune des six auréoles comprenait trois à six forages, disposés de manière à couvrir le plus complètement possible la masse à consolider. Le coulis était injecté d'ordinaire dans la proportion C/E 4:1, considérée comme satisfaisante pour l'imprégnation aisée et complète de la boue d'éboulement. Dans les cas où les absorptions présentaient une forte tendance à augmenter, sous faible pression, on avait prévu l'adjonction de sable fin jusqu'à la proportion de C/S 1:1, de façon à éviter tout gaspillage de ciment. Les pressions d'injection avaient atteint, dans tous les forages, jusqu'à 60-63 kg/cm². Sous l'effet de ces fortes pressions, on a seulement constaté :

a) une fissure (très faible) dans le revêtement près de la clef de la calotte, à une distance d'environ 6 m en aval du second bouchon, qui a tout de suite été saturée de coulis de ciment ;

b) une amorce de fuite de coulis dans le radier, environ 5 m à l'aval de ce bouchon, qui s'est arrêtée après l'interruption des injections, sous l'effet de la prise du coulis.

Les résultats obtenus sont illustrés pour chacun des six faisceaux d'injection dans la figure 2.

Il en résulte que l'absorption de coulis (ciment + sable) par mètre courant de galerie, sur la longueur de 34 m, a atteint en moyenne 23,43 t/m de galerie, ou en moyenne 1,57 t/m de forage.

Si nous considérons que le rayon d'action des injections est d'environ 5,5 m, alors la masse consolidée atteignit approximativement un volume de 3500 m³ et, par conséquent, son imprégnation en coulis s'éleva à environ 250 kg/m³ de masse d'éboulement.

Après l'achèvement du traitement ci-dessus, nous avions exécuté quatre forages de contrôle traversant adéquatement la zone consolidée de la galerie (voir plan, forages I, II, III, IV). Au cours de l'exécution de ces forages, il ne s'était présenté aucune perturbation de la cohésion de la masse consolidée. Le rendement du carottage avait été en moyenne de 35 % (max. 50 %), en raison de la rapidité d'exécution de ces forages de contrôle.

Alors que pendant le traitement il ne s'était pas présenté d'eau souterraine, vraisemblablement en raison de son refoulement vers l'amont sous l'effet des hautes pressions d'injection, les forages de contrôle ont présenté un débit total d'eau de 6,30 lit/sec, après la stabilisation du secteur correspondant de la galerie.

En tout cas, dans la partie la plus bouleversée et délicate du forage IV, au-delà de la calotte, il ne s'était même pas présenté de trace d'eau, et les essais d'eau n'avaient également décelé aucune absorption.

Les décharges d'eau vers l'aval, à travers les forages I, II et III tenant lieu de drainages, devaient être maintenues également pendant le creusement de ce tronçon.

La deuxième phase de traitement de la galerie a duré 44 jours. A l'achèvement de celle-ci, on a procédé à la destruction du deuxième masque et on a poursuivi le creusement de la galerie par tranches de 3 m, d'abord sur sa demi-section supérieure, puis sur la demi-section inférieure, celle-ci restant toujours en retrait de 3 m, avec exécution parallèle du revêtement en béton.

Ce travail s'est poursuivi régulièrement jusqu'au km 0,917.5. En ce point, qui correspond à peu près à la position du deuxième sondage de gros diamètre effectué depuis la surface du terrain, le front en calotte se présentait sous forme d'un mélange de sable assez fin et de déchets de marne, fortement délavés par l'eau ; une masse de boue marneuse d'environ 8 m³ s'était détachée de la calotte. Ceci s'explique par le fait que ce sondage constituait un drain interceptant les eaux (de surface et souterraines), sur toute la hauteur du trou et délavant ainsi le coulis précédemment injecté dans cette zone.

L'avancement a donc été arrêté pour permettre l'exécution d'un traitement local complémentaire depuis ce point et sous forme d'une auréole plus dense pour mieux consolider cette zone jusqu'à la couche marneuse déjà consolidée, et d'un drainage plus systématique des eaux.

A cet effet, après construction d'un masque sommaire en gros madriers sur la demi-section supérieure de la galerie, nous avons exécuté 13 forages (nos 1 à 13) disposés en auréole : le forage no 1 devait servir de drain permanent, tous les autres ayant été injectés par alternance, comme précédemment, en commençant par les plus inclinés en calotte, et en poursuivant vers les flancs.

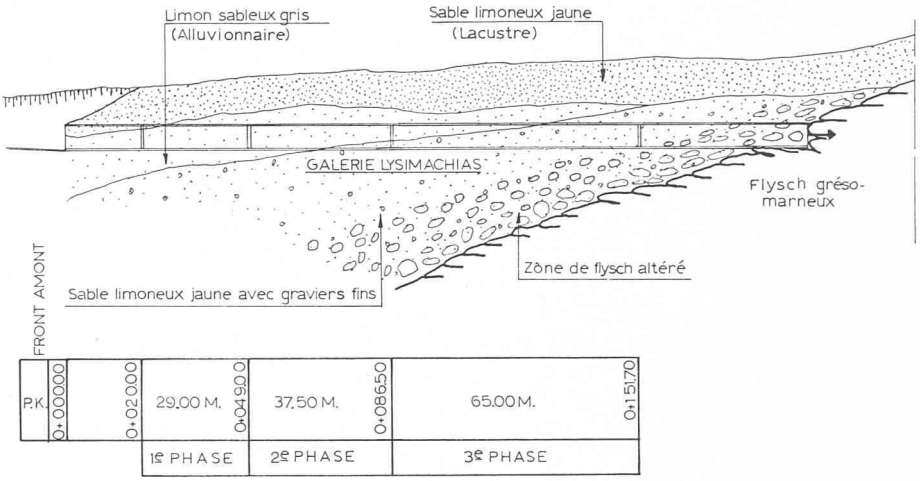
Pour contenir les fuites vers l'aval, en calotte, nous avons dû interrompre à trois reprises le programme de base, en injectant chaque fois un écran en éventail vertical de trous forcés au marteau, à l'aval immédiat du masque de bois. Ces écrans, exécutés au mélange ciment-sable (2 : 1), ont absorbé au total 8,9 t de ciment et 3,42 t de sable, remplissant ainsi le vide créé par le détachement à l'origine des 8 m³ de matériau boueux. Alors que les deux premiers écrans se firent sous pression nulle, cette dernière atteignit par la suite 20 kg/cm² au maximum.

Au début de l'injection de l'auréole en direction, le travail qui s'effectuait à basse pression dut être interrompu plusieurs fois pour être repris plus tard, à cause des fuites de coulis qui se présentaient à travers le masque de bois. Par contre, après le bouchage du troisième écran, en calotte, les pressions d'injection purent être augmentées progressivement, pour atteindre jusqu'à 40 kg/cm². On a toujours commencé par injecter un coulis ciment/sable, pour terminer par un coulis plus fin ciment/eau (1 : 1), à des pressions plus élevées. Pendant tout ce traitement, le drainage no 1 débitait environ 5 lit/sec. Vers la fin du traitement, ce débit a presque doublé, ce qui nous a obligés de reperforer les trous nos 3, 4, 6 et 7, en vue d'assurer un drainage plus aisé.

Les dispositions adoptées et les résultats obtenus sont représentés sur les figures 1 et 2.

L'absorption supplémentaire était donc, en moyenne, de 0,80 tonne de coulis par mètre de forage, dans ce tronçon local.

Fig. 3. — Front amont.



A la fin de ce traitement complémentaire, le creusement a pu être poursuivi sans difficulté jusqu'au km 0,931 en calotte (et 0,928 au piedroit) par tranches de 3 m, comme précédemment, et dans des conditions normales, en tout cas jusqu'au km 1,190.

Front amont

Comme mentionné au début du présent exposé, la partie amont de cette galerie, depuis la prise d'eau jusqu'à une distance d'environ 200 m vers l'aval, traversait un terrain d'argiles limoneuses ou de limons sableux de très faible cohésion. Dès le début, il fut donc impossible de procéder au creusement par des méthodes ordinaires ; cela d'autant plus qu'il s'agissait de traverser deux zones de contact dangereuses, soit une première au km 0,065 environ, entre la couche de limon gris avec sable lacustre et la couche de sable limoneux jaune à cailloux, et une seconde au km 0,170 environ, qui représentait le contact entre cette dernière couche et le flysch décomposé (fig. 3).

A part la solution d'avancement au bouclier, abandonnée dès le début en raison des frais disporportionnés qu'elle engendrerait, une autre solution avait encore été envisagée. Elle consistait à adopter le procédé Rodio-Marconi pour l'exécution de parois étanches en béton armé sur une profondeur pouvant atteindre 27 m depuis la surface du terrain naturel. Le travail aurait été exécuté en quatre phases successives :

1. Exécution de parois de 60 cm d'épaisseur sur la profondeur totale en vue de la protection contre les renards ; ces parois constitueraient les piédroits de la galerie.
2. Attaque de la galerie, de la cote — 18,00 à — 21,00, et pose des étais horizontaux pour la protection contre des poussées latérales.
3. Bétonnage du radier de la galerie à la cote — 21,00 (donc protection contre le soulèvement du fond) et attaque du creusement en calotte.
4. Bétonnage de la calotte par passes très courtes.

Toutefois cette solution avait été également éliminée, à cause des délais plus longs qui auraient été nécessaires à sa réalisation et probablement aussi du prix de revient encore trop élevé.

Pour des raisons d'urgence, il a finalement été décidé de tenter un traitement direct de compactage du terrain dans la demi-section supérieure de la galerie, en trois phases d'injection consécutives : la première sur une longueur de 20 m (soit jusqu'au km 0,044), après avoir réalisé une couverture de terrain d'au moins 20 m au-dessus de la calotte et un collage efficace autour du masque en béton et de la partie revêtue de l'entrée de la galerie. La seconde phase s'étendrait sur une longueur supplémentaire de 40 m environ jusqu'au premier contact et entre les terrains de nature différente. Enfin, la troisième phase couvrirait la longueur restante jusqu'au second contact, soit jusqu'au flysch.

La disposition générale adoptée et la succession des traitements sont représentées à la figure 4. Dans ce qui suit, nous allons décrire les conditions d'exécution de chacune de ces phases et les résultats obtenus pour chacune de celles-ci.

1. *Première phase*

Avant de procéder à l'exécution du traitement proprement dit, on a exécuté quatre séries de travaux préliminaires pour l'étanchement et la consolidation de la zone jusqu'à une distance de 10 m en arrière du masque en béton armé de 2 m d'épaisseur, comme suit :

a) Une première série de six écrans verticaux de collage (E1-E6) par injections à basse pression (3 kg/cm²), intéressant surtout la demi-section supérieure de la galerie, depuis le masque jusqu'à une distance de 10 m en arrière. Les 25 trous correspondants de 1 m de longueur ont été forés au marteau. Le coulis utilisé était un mélange de ciment/sable (1 : 1) ; l'absorption moyenne fut de 3,10 t/ml de forage (C/E = 2 : 1).

b) Une première auréole (A1) verticale de consolidation, à 1 m du masque et autour de ce dernier, comprenant 7 trous de 4 m de longueur. L'injection de coulis ciment/eau 2 : 1 a atteint jusqu'à une pression de 15 kg/cm². L'absorption moyenne était de 2,1 t/ml forage.

c) Une deuxième série de cinq écrans verticaux intermédiaires de collage (E7-E11) injectés à 2-8 kg/cm² de pression, sur une longueur de 10 m en arrière du masque. L'absorption moyenne de coulis ciment/sable (1 : 1) était de 2,50 t/ml de forage (C/E = 2 : 1).

d) Enfin, une deuxième auréole (A2) verticale de consolidation complémentaire à 0,20 m en arrière du masque, comme ci-dessus (*b*), pour contenir les fuites. L'absorption moyenne était de 6,35 t/ml de forage.

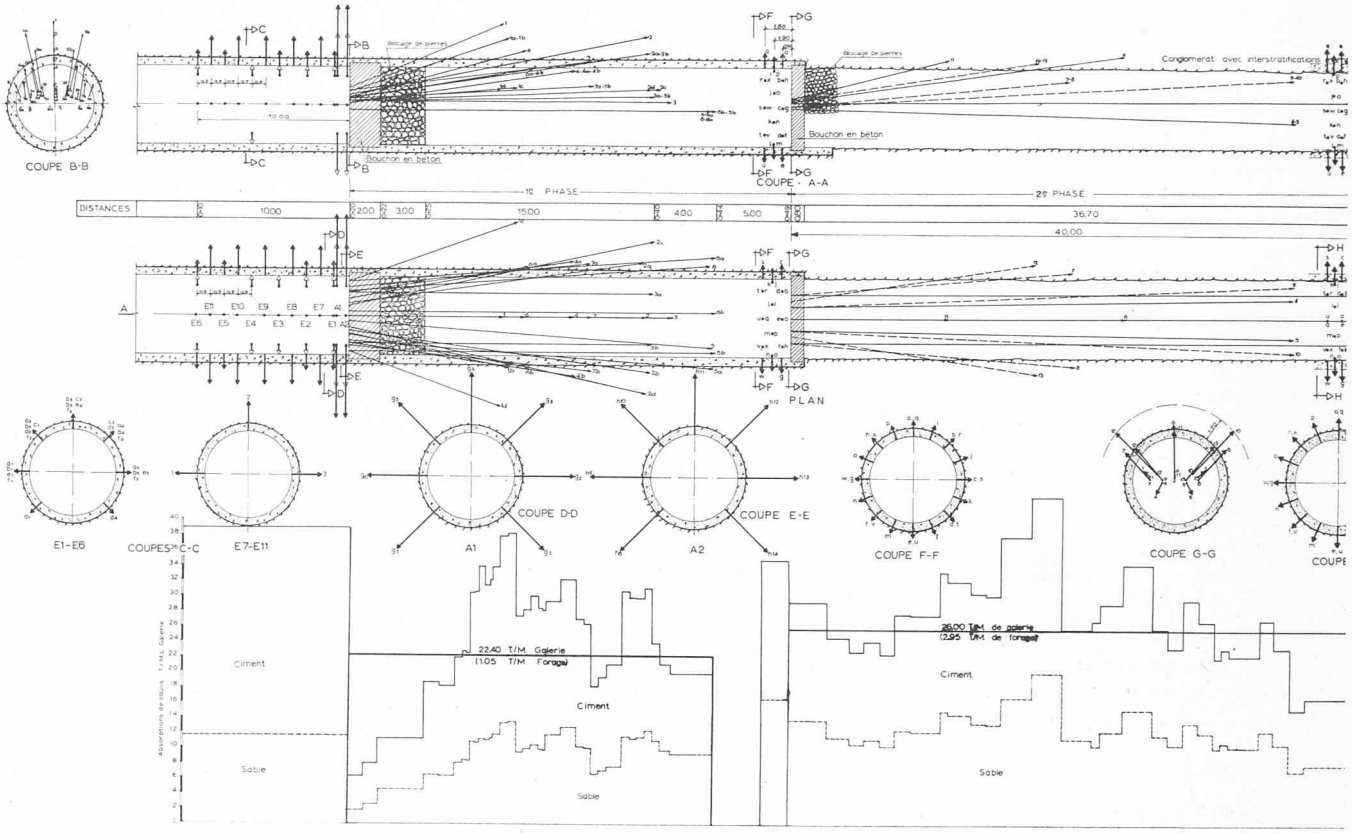


Fig. 4. — Front amont.

Ainsi, ces traitements préliminaires ont présenté au total une absorption moyenne de 3,52 t/m de forage, ou 38,80 t/m de galerie.

A la fin de ces travaux préparatoires a commencé le traitement de compactage proprement dit du front supérieur : Les forages étaient exécutés aux diamètres 100/75 mm en forme d'une auréole unique mais dense. Dans les séries de trous nos 1 (1*a*, 1*b*, 1*c*, 1*d*), 2 (2*a*, 2*b*, 2*c*, 2*d*) et 3 (3*a*, 3*b*, 3*c*), les injections s'effectuaient en avancement par tranches de 1 m seulement, la série de trous no 4 (4*a*, 4*b*) était injectée par tranches de 2 m et les séries de trous nos 5, 6, 7 et 8 par tranches de 3 m, afin d'assurer une compression aussi uniforme que possible du terrain.

Dans la partie du km 0,020 (origine) au km 0,031, c'est-à-dire sur le premier tronçon de 11,0 m de la galerie, le coulis ciment/sable (1 : 1) injecté à basse pression (2-7 kg/cm²), dans les séries de trous 1 à 3, apparaissait souvent en surface : on a donc dû procéder à de fréquentes interruptions et reprises d'injection dans d'autres trous.

On a ensuite poursuivi les injections sur le tronçon du km 0,031 au km 0,040, toujours dans la même proportion ciment/sable ; la pression a pu y atteindre progressivement 10-20 kg/cm², pratiquement sans fuites en surface, pour les séries de trous nos 1 à 4, mais avec de légères fuites pour les séries nos 6 et 7. Après compactage de ce tronçon, on a pu revenir sur le premier tronçon de 11 m et achever son injection à pression plus élevée, sans enregistrer de fuites.

Enfin, dans le but de former une zone horizontale renforcée et destinée à servir d'appui aux ceintures du revêtement ultérieur de la calotte, on a exécuté les séries de forages nos 5 (5*a*, 5*b*) et 8 (8*a*, 8*b*) jusqu'au km 0,044. Le terrain ayant déjà été préconsolidé par les injections précédentes, il a été possible d'atteindre, dans les séries de trous nos 5 et 8, des pressions allant jusqu'à 40 kg/cm². Le coulis utilisé était toujours constitué d'un mélange ciment/sable (1 : 1).

Au cours du traitement ci-dessus, nous avions toujours rencontré de l'eau dispersée dans le limon sableux, qui de ce fait se présentait sous forme plus ou moins fluide. Le débit total mesuré ne s'élevait toutefois qu'à 0,5 lit/sec.

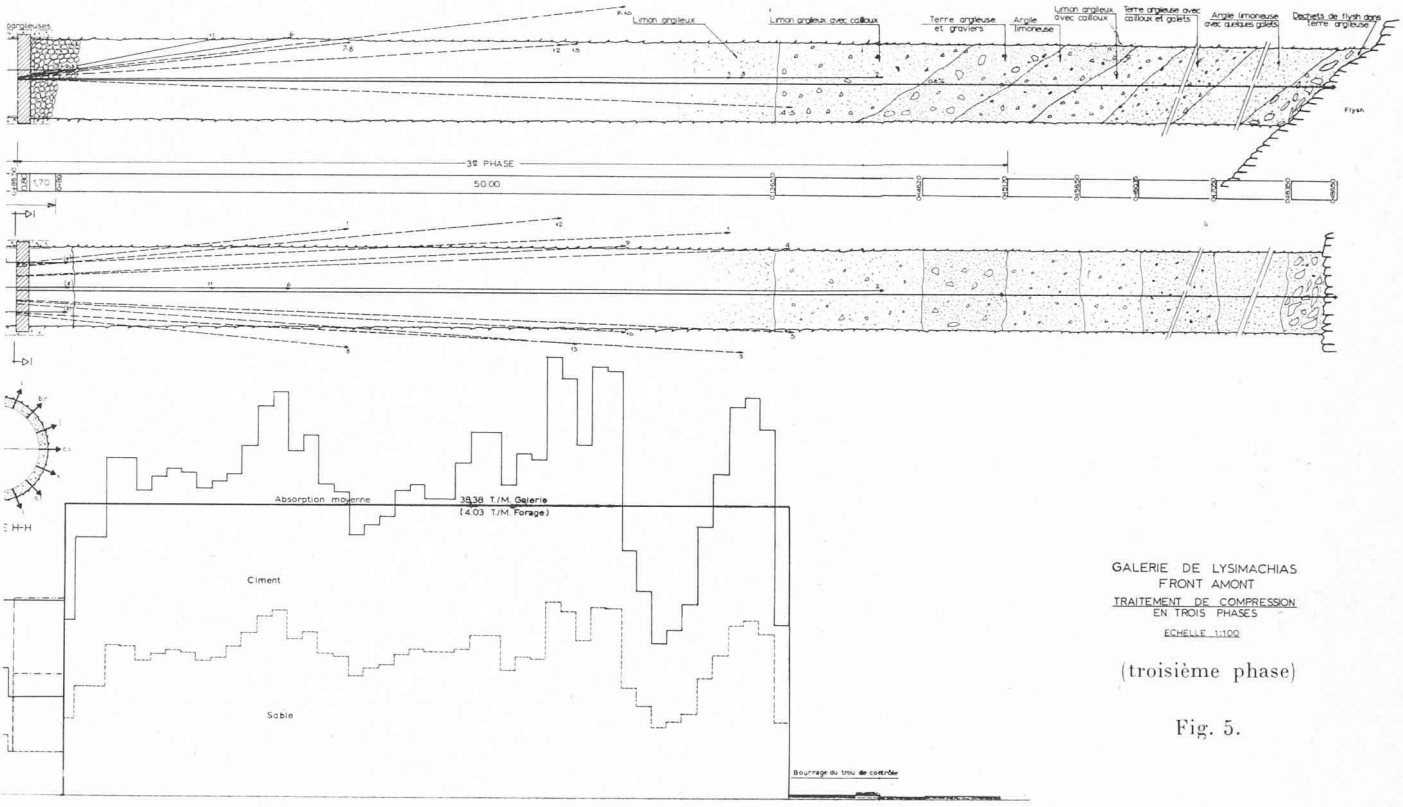
Les résultats d'injection obtenus dans le traitement proprement dit sont illustrés sur la figure 4. L'absorption moyenne de coulis C/S a été de 1,05 t/ml de forage ; ou sur la longueur totale de 24 m de cette phase à raison de 22,40 t/ml de galerie.

Le traitement de cette première phase du front amont a été terminé dans un délai de 28 jours environ, la couche de limon sableux étant considérée comme suffisamment compacte.

Après la destruction du masque, le creusement de ce tronçon de galerie a ensuite été exécuté sans difficulté, par tranches de 3 m comme précédemment, avec revêtement simultané. Au cours de ce creusement, on a noté sur le front des larmes de suintement, qui sont à attribuer à l'état de forte compression du matériau par suite du traitement. Dans ces conditions, le creusement avait pu se poursuivre sans aucun risque jusqu'à 5 m au-delà du tronçon compacté, soit jusqu'au km 0,049.

2. *Deuxième phase*

En ce point (km 0,049), les travaux de creusement ont été suspendus en vue de l'exécution d'une seconde phase de traitement, qui devait permettre de franchir le premier contact de couches hétérogènes, soit entre



GALERIE DE LYSIMACHIAS
FRONT AMONT
TRAITEMENT DE COMPRESSION
EN TROIS PHASES
ECHELLE 1:100

(troisième phase)

Fig. 5.

le limon gris à sable lacustre et le sable limoneux jaune à cailloux.

Cette deuxième phase, qui s'étendait sur une longueur de 40 m, a duré 27 jours. Elle avait commencé après exécution d'un second masque de béton armé d'épaisseur réduite à 80 cm seulement et après un traitement préliminaire de collage aux abords aval du masque. Ce traitement préliminaire, d'ailleurs beaucoup plus limité que celui de la phase précédente, consistait simplement en trois écrans verticaux écartés entre eux de 0,60 m à faible distance du masque, comportant chacun une série de huit trous ; les trous de l'écran intermédiaire étaient décalés de 22° 30′ par rapport à ceux des écrans extrêmes. Le coulis C/S était injecté dans des proportions variant de 1 : 1 à 1 : 2 et à de faibles pressions de 1-3 atm. L'absorption moyenne de ces écrans était de 2,62 t/ml de forage (fig. 4).

Après ce travail préliminaire a commencé le traitement de compactage par compression proprement dit du deuxième tronçon de galerie de 40 m de longueur.

A cet effet, treize forages de ∅ 75 mm, disposés comme indiqué sur la figure 4, ont été exécutés de manière à couvrir la demi-section supérieure de la galerie, par une succession de trois cônes de compactage. A l'aide de ces forages, le premier contact entre terrains hétérogènes a bien été traversé.

Les injections de ces trous se faisaient par alternance et par passes avançantes de 1,50 à 2,00 m environ, à cause de la faible cohésion du matériau à injecter, à des pressions allant progressivement jusqu'à 15 atm. (max. 35 atm.). Le coulis était composé également de ciment/sable, mais dans des proportions plus élevées en ciment, soit de 2 : 1 à 1 : 1, de façon à obtenir une plus grande résistance de la masse consolidée. Les résultats de la distribution des absorptions sont illustrés sur la figure 4.

Pour un total de 353 m de forage, il a été consommé environ 569 tonnes de ciment et 473 tonnes de sable, ce qui conduit à une absorption moyenne de coulis de 2,95 t/m de forage ou environ 26 tonnes de coulis par mètre de galerie.

Cette absorption relativement importante signifie que la masse sablo-limoneuse, et mélangée à de l'argile à partir du km 0,065 environ dont est constitué le terrain sur la première partie, a été correctement comprimée.

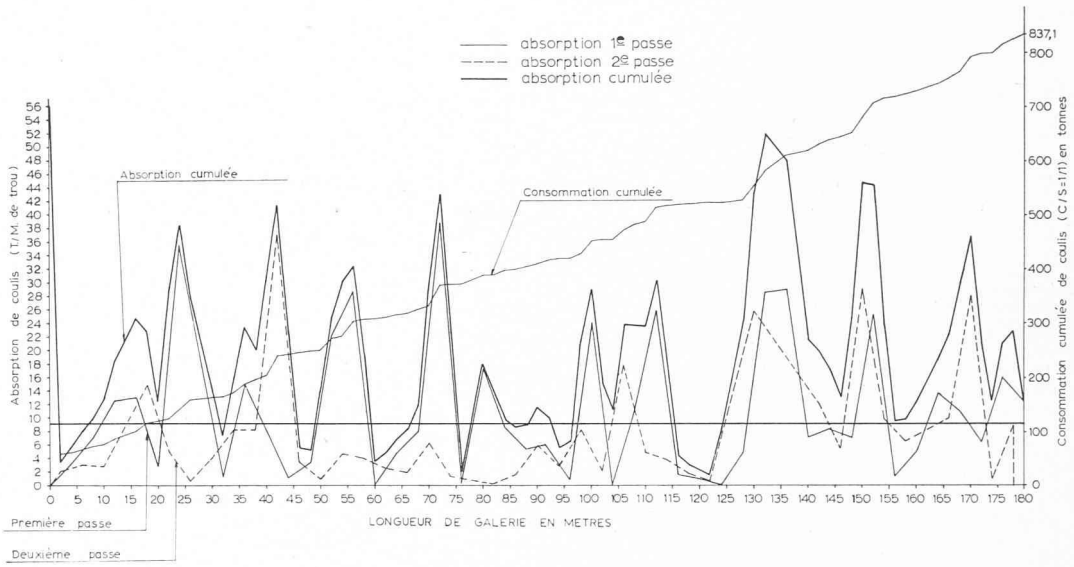
Les travaux de creusement qui ont été entrepris immédiatement à la suite de la fin du traitement de cette deuxième phase se sont poursuivis sans difficulté jusqu'au km 0,087.30, c'est-à-dire jusqu'à quelques mètres en deçà de la zone affectée par ce traitement.

3. *Troisième phase*

Cette phase, qui devait couvrir primitivement une longueur de 40 m comme précédemment, a dû en fait être prolongée, parce que le contact du flysch n'avait pas été atteint avant le km 0,130. Cette prolongation a toutefois été limitée à 13 m (soit jusqu'au km 0,143.50), afin de ne pas inhiber l'efficacité du traitement (fig. 5).

Les travaux ont été exécutés comme précédemment en deux étapes, soit une étape de collage étanche préliminaire à proximité du troisième bouchon de 80 cm d'épaisseur, et l'étape de compactage proprement dit, comprenant cinq auréoles tronconiques couvrant la demi-section supérieure de la galerie. Le collage s'est effectué par injections à faible pression (max. 8 kg/cm²), tandis que le compactage atteignait progressivement la pression maximum de 20 kg/cm². Les proportions du

Fig. 6. — Traitement de collage amont.



coulis étaient les mêmes que précédemment C/S = 2 : 1 à 1 : 1, avec C/E = 2 : 1 pratiquement constant. Le traitement jusqu'au km 0,143.50 a duré 37 jours. Les résultats obtenus sont donnés sur la figure 4, avec une absorption moyenne de 4,03 t/m forage ou 38,38 t/m de galerie pour une longueur de creusement de 50 m.

A la fin de ce traitement, il a été jugé opportun d'exécuter un sondage de reconnaissance horizontal en direction ∅ 100/45 qui, à 100 m de profondeur, soit au km 0,186.50 n'a rencontré que du flysch encore très altéré. Ce sondage a d'ailleurs été injecté sous la pression maximum ci-dessus, avec une absorption moyenne de coulis C/S de 0,92 t/m de sondage.

Le creusement de cette phase a été exécuté comme précédemment sans anomalie, jusqu'au km 0,143.50, et s'est poursuivi jusqu'au contact de la roche saine, c'est-à-dire jusqu'au km 0,200 environ, avec les précautions de rigueur.

4. *Traitement de collage au front amont*

Pendant que le creusement se poursuivait au front amont au-delà de km 0,195, on a procédé à un traitement de collage sur le tronçon des premiers 180 m de galerie. Ce traitement a été exécuté en deux passes, dont la première comprenait des écrans radiaux de trois forages décalés de 135°, à équidistances de 4 m, et la seconde des écrans radiaux intermédiaires de deux forages en calotte. Les injections correspondantes étaient exécutées à basse pression (2-5 atm), permettant ainsi une consolidation supplémentaire de la zone périphérique de la galerie. Ce traitement, qui a duré 16 jours (11 m de galerie par jour), a conduit à une absorption moyenne de coulis (sable-ciment 1 : 1) de 46,00 t/m galerie, soit 29,4 t/m en première passe et 16,60 t/m en seconde passe (fig. 6).

Conclusion

Ainsi, grâce aux traitements des deux phases au front aval et des trois au front amont, la reprise du creusement de la galerie a pu se poursuivre et se poursuit encore normalement. Il est toutefois certain qu'un travail important reste encore à exécuter pour achever le percement de cette galerie. Entre le lac de Lyssimachias et la mer, il y aurait en effet encore 4600 m à franchir sous un massif pratiquement inexploré. A en croire la mythologie, qui situe précisément dans cette région la tragique histoire d'Ancée, fils de Neptune et d'Astypalée, « il y a encore loin de la coupe aux lèvres ». Rappelons en effet que la prédiction d'un de ses vignerons maltraités, selon laquelle son maître ne boirait jamais du vin de sa vigne, se réalisa, dit-on, malgré les railleries de ce dernier. En effet, le jour des vendanges arrivé, et comme il se préparait à goûter le vin nouveau, Ancée fut informé qu'un sanglier ravageait son vignoble ; il posa aussitôt sa coupe, courut sus à l'intrus, reçut un coup de boutoir et mourut sur-le-champ.

Mais nous n'en sommes plus, heureusement, à l'époque des mythes : Aujourd'hui la science dispose de moyens techniques qui permettent d'affronter toute nouvelle difficulté qui se présenterait éventuellement au cours de l'avancement dans cette galerie et de vaincre ainsi tous les obstacles en vue de réaliser la jonction rapide du lac à la mer et par suite aussi la mise en valeur d'importantes étendues de terrains nouvellement gagnés sur le lac.

DIVERS

Assises de l'Association suisse des électriciens et de l'Union des centrales suisses du 24 au 26 septembre 1964 à Sion

C'est en donnant suite à une invitation des Services industriels de la commune de Sion et des sociétés d'électricité de la Lienne S.A., S.A. l'Energie de l'Ouest Suisse (EOS), Forces Motrices Valaisannes S.A., Grande-Dixence S.A., Lizerne et Morge S.A. et Sodeco S.A., Genève, que les assemblées générales 1963 de l'ASE et de l'UCS ont décidé de tenir leur assemblée annuelle à Sion, en 1964.

Il est une tradition, au sein des deux grandes associations, qu'une conférence de presse précède, la veille, les assemblées générales. Les principaux journaux suisses ainsi que la presse technique y furent conviés avec beaucoup d'amabilité. Elle eut lieu à l'Hôtel du