

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 89 (1963)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Quelques applications du coulis chimique AM-9  
**Autor:** Fern, K.-A. / Montgomery, W.-H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-66345>

#### **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:** 12.01.2026

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

# 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 (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
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'E.P.F. (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. Grosgrain, 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, 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, Lausanne

## ABONNEMENTS

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

Chèques postaux : « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N<sup>o</sup> II 57 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
n<sup>o</sup> 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 " . . . . . " 46.—

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



## SOMMAIRE

Quelques applications du coulis chimique AM-9, par K.-A. Fern et W.-H. Montgomery.  
Association amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.  
Divers. — Bibliographie. — Société suisse des ingénieurs et des architectes.  
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Nouveautés, informations diverses.  
Supplément : « Bulletin S.I.A. » n<sup>o</sup> 34.

## QUELQUES APPLICATIONS DU COULIS CHIMIQUE AM-9

par K.-A. FERN et W.-H. MONTGOMERY<sup>1</sup>

Au cours d'études aux laboratoires sur coulis chimique pour la stabilisation des sols, les chercheurs de Cyanamid découvrirent qu'une solution liquide contenant de l'acrylamide et de la méthylène-bisacrylamide se transforme en une substance gélatineuse, rigide, insoluble, ressemblant au caoutchouc, par l'addition du produit catalytique « redox ». On s'aperçut aussi que le temps s'écoulant entre le moment où le produit catalytique est ajouté jusqu'au commencement de la prise du coulis était contrôlable et reproduisible. De plus, la viscosité du mélange liquide des deux produits chimiques est presque celle de l'eau jusqu'au moment de la prise. Après un vaste et long programme de développement, le mélange d'acrylamide et de méthylène-bisacrylamide fut introduit dans la technique de l'ingénieur civil comme coulis chimique de faible viscosité. Ce produit est actuellement sur le point d'être lancé sur le marché à échelle mondiale sous le nom de « coulis chimique AM-9 ». Son utilisation dans un programme de stabilisation bien étudié offre au génie civil une méthode sûre et économique pour établir des voies

d'étanchéité en économisant du temps et des investigations en laboratoire.

Les caractéristiques du produit AM-9 et celles des sols stabilisés avec ce coulis sont mentionnées ci-après, sous forme de table (fig. 1).

- Le coulis est composé d'une seule solution ; il est injecté au moyen d'une seule lance d'injection.
- Le coulis, sous forme de solution, a presque la même viscosité que l'eau jusqu'au moment de la prise.
- Le temps nécessaire pour arriver à sa prise est contrôlable et reproduisible.
- La résistance limite est atteinte en quelques minutes après le commencement de la prise.
- La prise du coulis se fait aussi bien dans l'eau courante que dans l'eau souterraine très minéralisée.
- Le coulis solidifié est permanent pour des applications effectuées au-dessous de la nappe aquifère et dans des zones humides.
- Le coefficient de Darcy pour un coulis solidifié de 10 % est approximativement  $10^{-10}$  cm/sec.
- Aucune synérèse n'a été observée dans des terrains traités à l'AM-9.
- Des supports devront être prévus lorsque de grandes surfaces traitées à l'AM-9 seront exposées aux intempéries.

<sup>1</sup> Conférence tenue en juin 1961, à la réunion de la Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondation, à Saas-Fee (VS).

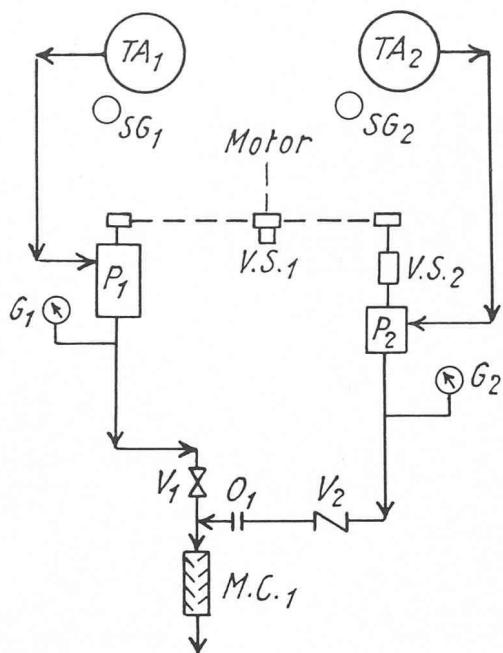


Fig. 2. — Schéma d'un équipement de pompes.

**TA<sub>1</sub>** bac à mélanger du coulis chimique AM-9 et du produit catalytique DMAPN  
**TA<sub>2</sub>** bac à mélanger du persulphure d'ammonium  
**SG<sub>1</sub>** indicateur à vue  
**P<sub>1</sub>** et **P<sub>2</sub>** pompes  
**V.S.<sub>1</sub>** et **V.S.<sub>2</sub>** réglages de vitesse  
**G<sub>1</sub>** et **G<sub>2</sub>** manomètres  
**V<sub>1</sub>** et **V<sub>2</sub>** soupapes  
**O<sub>1</sub>** orifice  
**M.C.** bac à mélanger  
 De **TA<sub>2</sub>** à **M.C.**, les conduites doivent être en aluminium, en acier 316, en caoutchouc ou en plastique  
 De **TA<sub>2</sub>** à **V<sub>1</sub>**, les conduites peuvent être en acier doux, en aluminium, en acier 316, en caoutchouc ou en plastique

Les injections à l'AM-9 nécessitent un équipement de pompes simple et facilement contrôlable, comme le montre le schéma, figure 2. Dans le bac **TA<sub>1</sub>**, une solution liquide est préparée contenant de l'AM-9 et une composante du système catalytique DMAPN (diméthylaminopropionitrile) et parfois du potassium ferricyanide (KFe), dont la fonction est de ralentir la réaction chimique. Le personnel qui mélange les produits chimiques est normalement protégé par des habits spéciaux.

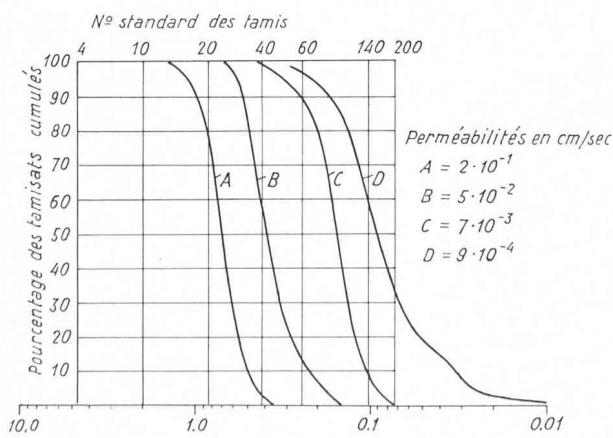


Fig. 4. — Courbes granulométriques des sables utilisés pour les essais en laboratoire.

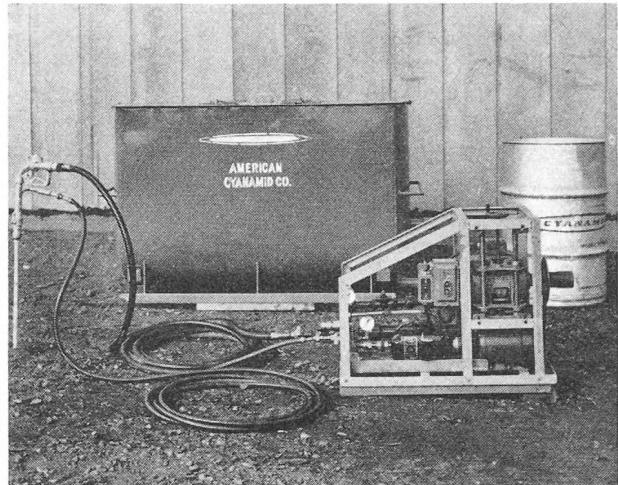


Fig. 3. — Equipement typique pour l'injection de l'AM-9.

ciaux. Dans le bac **TA<sub>2</sub>** du persulphure d'ammonium (AP) est dissous dans l'eau. P1 et P2 pompent les deux solutions dans un bac dans lequel le mélange se fait dans les proportions de 5-20 unités de volume du produit AM-9 avec du réactif DMAPN pour une unité de volume de AP, selon le temps voulu pour la prise. La figure 3 montre en photo un équipement typique de pompes. On peut se procurer les plans pour construire un pareil équipement de pompes auprès de S.A. Cyanamid.

Avant de passer en revue les applications de l'AM-9, il est désirable de présenter quelques résultats des essais en laboratoire qui ont permis de recommander l'AM-9 pour les projets de construction sur une vaste échelle. Ce travail a été effectué par M. R. H. Karol, ingénieur spécialisé, qui dirige les recherches en mécanique des sols de Cyanamid. Il est l'auteur de l'ouvrage *Soils and Soils Engineering*, publié par Prentice-Hall. Pour ces essais en laboratoire, des couches composées de différents sables dont les courbes granulométriques sont présentées dans la figure 4 ont été placées dans un bac à injections en bois. Le procédé pour ces injections est illustré en schéma dans la figure 6. Les injections ont été exécutées avec un coulis contenant 10 % de AM-9, avec un temps de prise de 1 1/2 minute. La lance à injection a été introduite jusqu'au fond du bac et le coulis a été injecté à raison de 200 cm<sup>3</sup> par minute. La lance a été retirée de 2,5 cm toutes les 30 secondes.

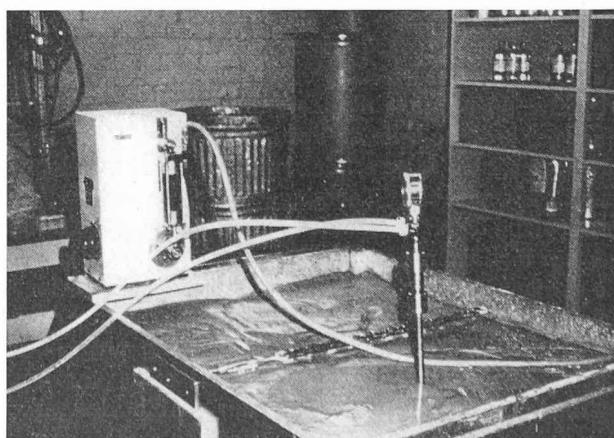


Fig. 5. — Bac à injection au laboratoire.

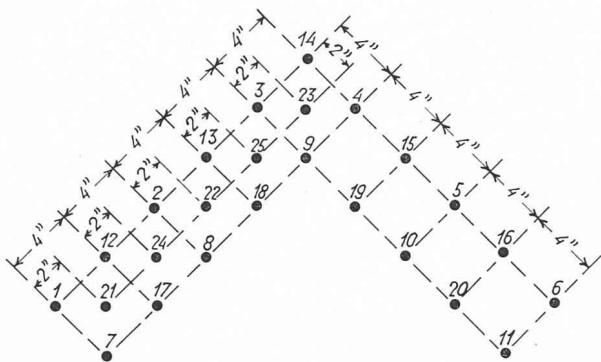


Fig. 6. — Schéma des injections en laboratoire dans le bac d'essai.

Une coupe transversale typique d'une seule injection dans la partie droite du modèle est montré dans la figure 7. Comme on s'y attendait, la pénétration minimum s'est produite dans les zones du sable fin et du silt (4). Par contre, la figure 8 montre que la pénétration du coulis dans les zones du sable fin et du silt était complète dans la partie gauche du modèle. Ici, le coulis pénètre dans la partie fine de l'échantillon à cause d'un effet d'étreinte des zones adjacentes stabilisées (4). La connaissance de cet effet explique la conception d'injections avec l'AM-9 employée pour l'étanchement final du voile d'étanchéité du « Rocky Reach Hydroelectric Project ».

Ces essais ont également montré que la pénétration la plus uniforme du sol stratifié par une seule injection était obtenue avec un coulis dont le temps de prise est plus court que la moitié du temps pendant lequel la lance à injection est maintenue à un niveau fixe (4). La figure 9 montre deux échantillons qui ont été injectés en pompant 200 cm<sup>3</sup> de coulis par minute et en retirant la lance à injection de 2,5 cm toutes les 15 secondes. L'échantillon de droite a été injecté avec un temps de prise de 15 secondes, celui de gauche avec un temps de prise de 6 secondes.

Ces essais ont été approfondis en utilisant une éprouvette de sol avec une stratification plus complexe. De plus, l'échantillon dans le bac a été soumis à une percolation horizontale avec de l'eau à une vitesse de 1 cm par minute, ceci contrairement aux premiers essais qui avaient été effectués sans percolation d'eau. La lance à injection a été retirée de 2,5 cm toutes les 30 secondes. Quatre injections ont été effectuées avec des coulis dont

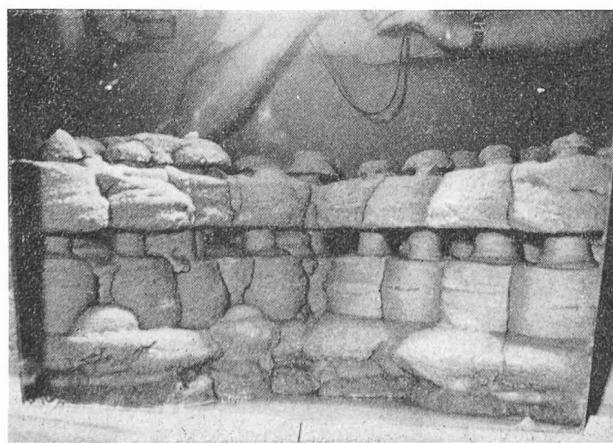


Fig. 8. — Echantillon injecté extrait du bac.

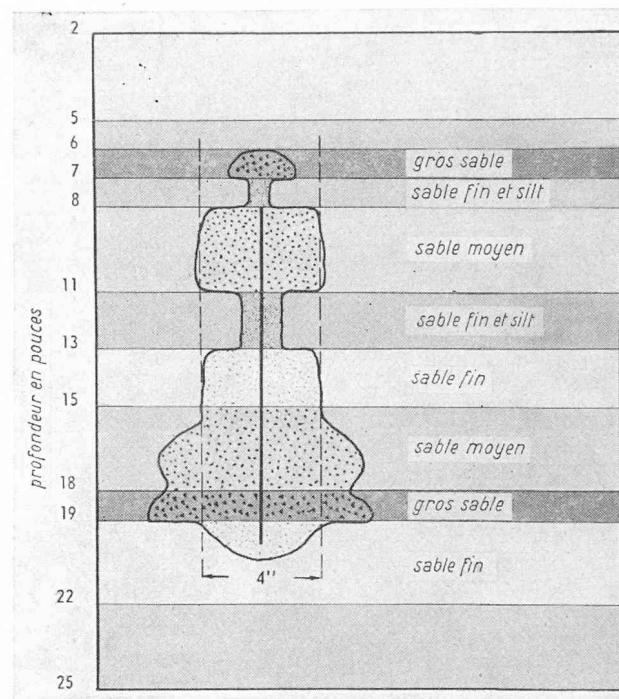


Fig. 7. — Coupe transversale typique d'un point d'injection.

le temps de prise était de 15 secondes, 1 minute, 4 minutes et 10 minutes respectivement (fig. 10). Ces essais confirment les premiers résultats : une pénétration uniforme, illustrée dans la figure 9, est obtenue par un temps de prise très court. De plus, la prise rapide diminue notablement la perte du coulis due à la désaturation dans l'eau souterraine. Les autres coulis ne possèdent pas cette propriété.

L'avantage de la prise rapide, démontré par ces essais, a permis d'effectuer avec beaucoup de succès des projets à grande échelle. Dans un de ces projets, on était en train de faire des travaux d'excavation d'une fouille circulaire d'un diamètre d'environ 20 mètres et d'une profondeur d'environ 18 mètres, en utilisant des palplanches avec des poutres annulaires comme étage horizontal. Malgré des puits et des puits wellpoints, un grand trou se produisit au bord de la fouille, à l'endroit où des couches de sable et de silt étaient au contact avec une couche d'argile. Dans ces conditions, l'excavation

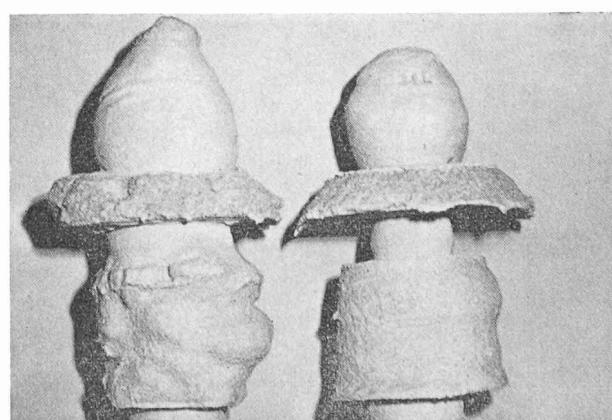


Fig. 9. — Influence du rapport du temps de la prise à la vitesse avec laquelle la lance à injection a été retirée sur la pénétration uniforme du coulis.

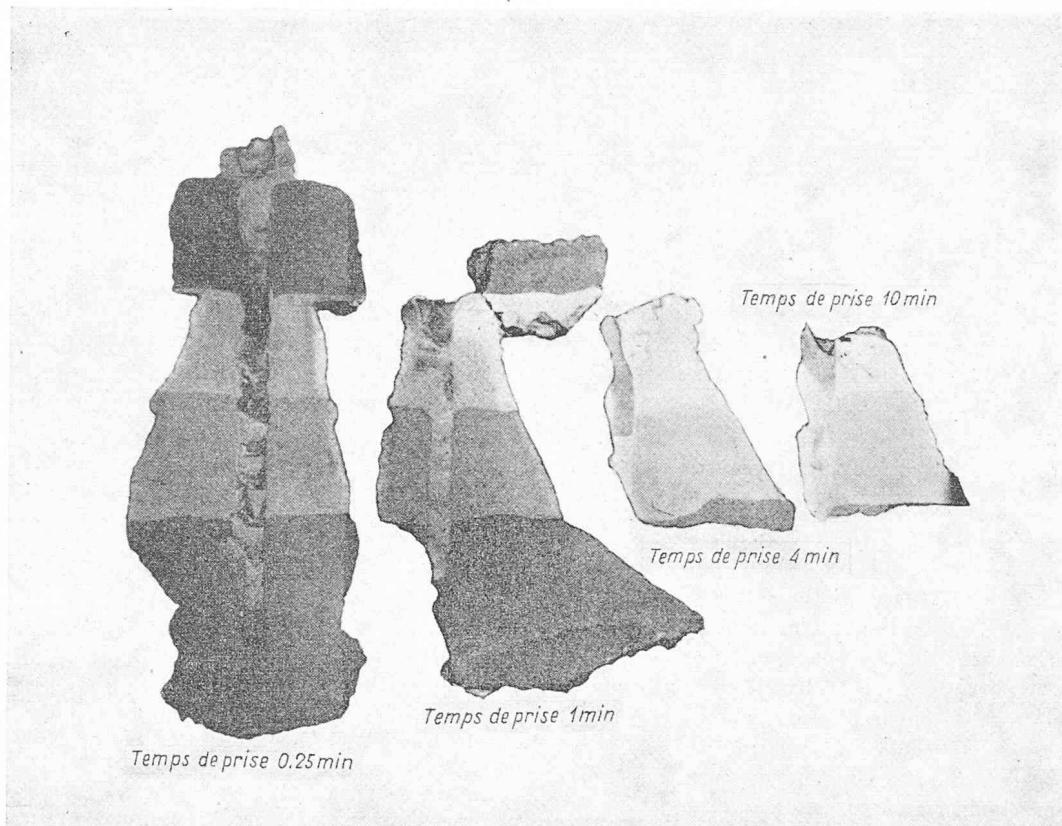


Fig. 10.  
Influence du temps de prise sur le volume du sol stabilisé. Essai effectué dans un courant d'eau.

Percolation de l'eau, de gauche à droite, d'une vitesse de 0,017 cm/sec. Injection de AM-9 à 200 cm<sup>3</sup>/min. La lance a été retirée de 2,54 cm toutes les 30 secondes.

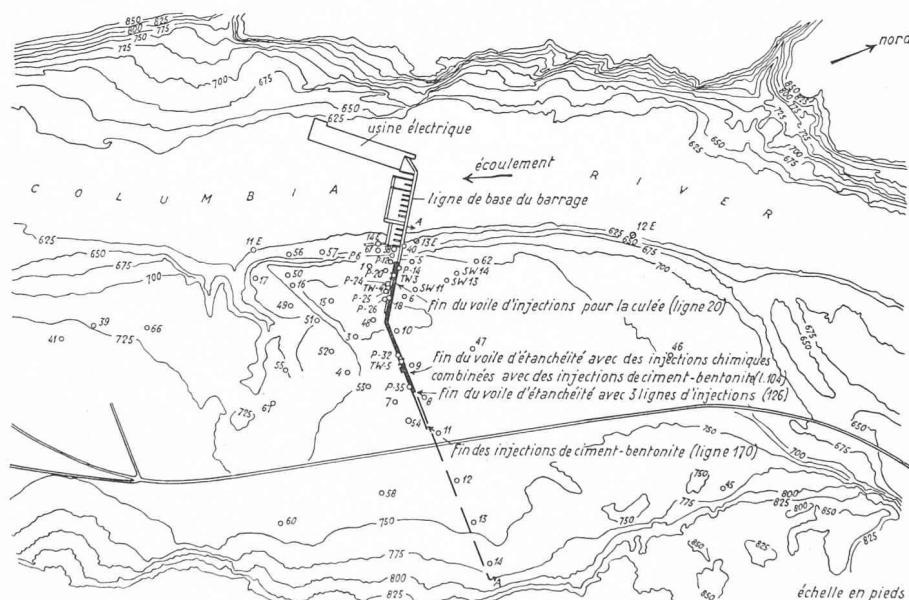


Fig. 11.  
Vue d'un plan du Rocky Reach Hydroelectric Project.

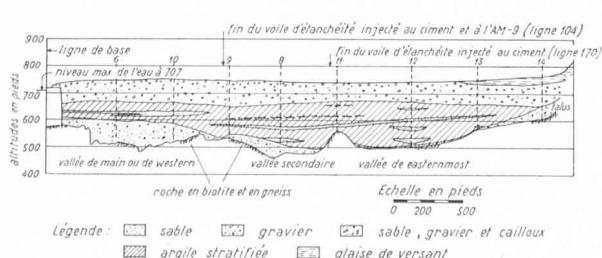


Fig. 12. — Coupe transversale de la terrasse de East Bank.

vation complète de la fouille n'était pas possible. De plus, l'argile normalement consolidée, en conservant sa teneur en eau, a perdu assez de résistance cohésive pour qu'un glissement dans l'argile derrière les palplanches et dans le fond de la fouille puisse se créer. La perte du matériau des couches de sable et de silt a provoqué des cratères à la surface du terrain autour de la fouille. Un mélange de ciment et de bentonite a été injecté depuis la surface du terrain, afin de remplir les creux dus à ce renard. Ensuite, on a injecté du AM-9 égale-

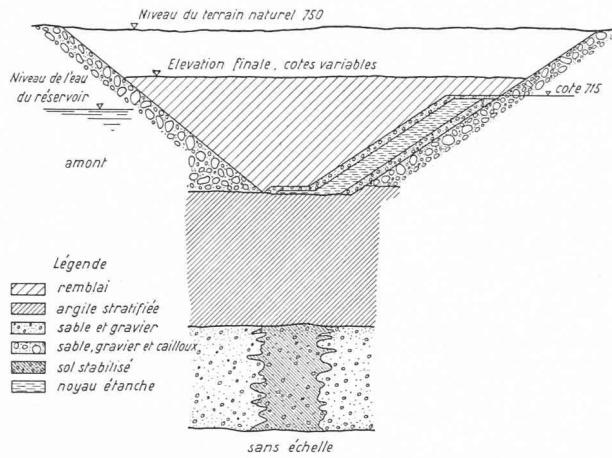


Fig. 13. — Coupe transversale du voile d'étanchéité.

ment depuis la surface du terrain afin de créer une couche imperméable entre les couches de sable et de silt et celle d'argile. L'injection du AM-9 a été effectuée avec des lances d'injection situées dans deux anneaux concentriques avec une distance de 50 cm d'un point à l'autre. L'anneau intérieur avait une distance radiale de 3 m environ de la fouille. Les points d'injection de l'anneau extérieur ont été placés par rapport à ceux de l'anneau intérieur. Le volume du coulis contenant 7 1/2% d'AM-9 et injecté dans l'anneau intérieur stabilisait dans le sol des cylindres de 60 cm en diamètre et de 1,20 m à 1,50 m de hauteur. Dans l'anneau extérieur, le volume du coulis était suffisant pour créer des cylindres de sol stabilisé d'une hauteur de 120-150 cm et d'un diamètre de 120 cm. Ces injections ont été effectuées en fonçant la lance à injection jusque dans la couche d'argile et en injectant le AM-9 en retirant la lance. Ce système permettait de créer une zone étanche entre les couches de sable et de silt et la couche d'argile. De plus, ce voile étanche autour de la fouille a surélevé la nappe phréatique et a permis aux puits et aux wellpoints de pomper plus efficacement. Il n'y avait pas assez de piézomètres pour confirmer avec certitude que le voile étanche était continu. Malgré ceci, après avoir injecté, on a enlevé quelques palplanches au fond de la fouille et constaté que le sol était stabilisé. La fouille a été terminée sans autres difficultés.

L'utilisation de l'AM-9 comme étanchement final d'un sol injecté avec du ciment adoptée au Rocky Reach Hydroelectric Project au nord-ouest des Etats-Unis démontre la valeur de l'AM-9 comme coulis pour des sols à granulométrie fine. Le projet et la construction de ce voile d'étanchéité ont été exécutés par M. W. F. Swiger of Stone & Webster Engineering Corporation, qui l'a décrit dans le *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, April 1961 (7), sous le titre « Design and Construction of Grouted Cutoff — Rocky Reach Hydroelectric Project ». Une étude approfondie du voile d'étanchéité a fait l'objet d'une thèse du capitaine J. E. Wagner, U.S. Army, Corps of Engineers, dont le titre est *Construction and Performance of the Grouted Cutoff, Rocky Reach Hydroelectric Project*, thèse qui a été présentée au Graduate College of the University of Illinois. L'exposé suivant est basé sur les

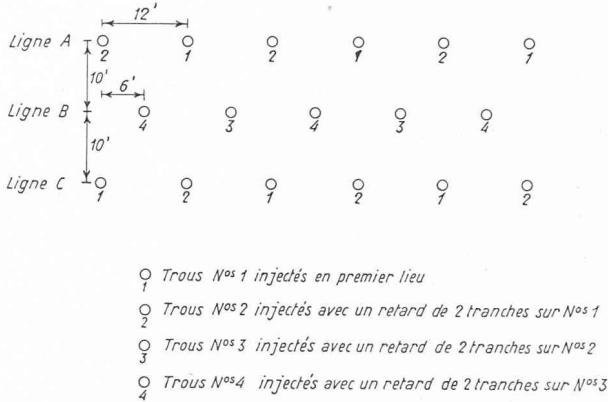


Fig. 14. — Schéma général des injections de ciment.

deux ouvrages de M. Swiger et M. Wagner mentionnés ci-dessus.

La figure 11 montre la vue en plan du barrage et la figure 12 une coupe transversale de la terrasse de la rive gauche. La construction du voile d'étanchéité nécessitait l'enlèvement du gravier supérieur jusqu'aux couches d'argile stratifiées et l'étanchement des couches de sable et de gravier entre l'argile stratifiée et la roche avec des injections. Les injections ont été effectuées à partir des couches d'argile stratifiée. Le projet consistait à établir un voile d'étanchéité d'une largeur minimale de 9,5 mètres et qui s'étend de la culée du barrage jusqu'au point où l'argile stratifiée est au contact avec la roche (fig. 12). Ce voile a une longueur d'environ 600 mètres et un décalage au bout. La figure 13 montre la coupe transversale du voile d'étanchéité complet.

La fonction de ce voile d'étanchéité est différente d'une zone injectée dans la roche. La petite perméabilité de ce voile et le long chemin de percolation doivent éviter en premier lieu la formation d'un renard hydraulique, ensuite diminuer le développement d'une pression interstitielle et en conséquence la possibilité de glissements au pied du barrage et, finalement, diminuer la perte d'eau due à la percolation souterraine (7).

La figure 14 illustre le schéma pour les injections d'argile-ciment et de bentonite-ciment. Ces trous ont été injectés par passes descendantes de 1,50 m, c'est-à-dire immédiatement après forage. Les trous portant le numéro 1 (fig. 14) des lignes A et B ont été injectés avec 3 m d'avance sur les trous n° 2. Les trous n° 3 de la ligne B suivaient les trous n° 2 à une différence de deux passes à 1,50 m en hauteur et les trous n° 4 suivaient les trous n° 3 également à une différence de deux passes de 1,50 m. On a modifié ce procédé aux endroits où le gravier et le sable étaient très peu denses. On a également eu grand soin de ne pas dépasser une pression d'injection de 4 atm, en particulier aux endroits où les couches de sable-gravier sont en contact avec l'argile stratifiée, ceci afin d'éviter le soulèvement et la rupture de la couche d'argile.

La perméabilité à l'intérieur du voile d'étanchéité a été déterminée à l'aide de la théorie des puits artésiens. Il a été possible de calculer le coefficient de perméabilité en mesurant le niveau de l'eau dans des piézomètres, le volume de l'eau percolée et la largeur de la zone

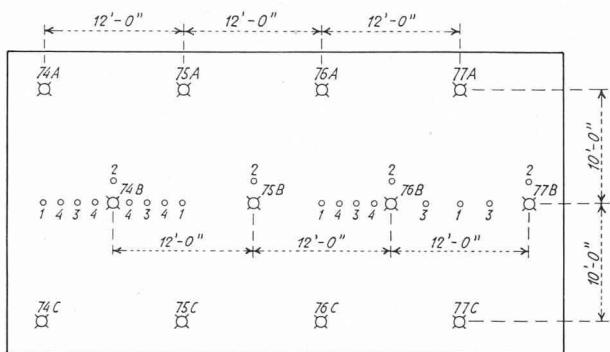


Fig. 15. — Schéma général des injections chimiques.  
Les chiffres donnent l'ordre dans lequel les forages et les injections ont été effectués

Fig. 15. — Schéma général des injections chimiques.

étanche. L'essai a été effectué en remplissant le tubage et en mesurant l'abaissement du niveau de l'eau en fonction du temps. Cet essai a renseigné sur la percolation dans cette zone et a permis d'obtenir le coefficient de perméabilité d'après une famille de courbes dessinée au préalable.

Un essai *in situ*, à un endroit où la présence de couches de sable en forme lenticulaire a rendu les injections très difficile, a démontré que l'AM-9 pénètre dans ces sables et que la stabilisation de ce sol peut être contrôlée parfaitement par ces essais *in situ*.

Les injections de l'AM-9 ont été effectuées dans la ligne *B* (voir fig. 14) dans de nouveaux trous situés entre les trous d'injection au ciment. Des essais ont démontré en effet que l'utilisation des trous d'injection au ciment reforés pour injecter le coulis chimique AM-9 n'était pas possible. Les trous ont été forés par tranches de 1,50 m de profondeur et rincés ; la perméabilité de chaque tranche a été déterminée par les essais mentionnés plus haut. Dans les trous où le coefficient de perméabilité était supérieur à  $1,5 \cdot 10^{-2}$  cm/sec, la tranche a été injectée avec de la bentonite. Les zones ayant un coefficient de perméabilité entre  $0,6 \cdot 10^{-2}$  cm/sec et  $1,5 \cdot 10^{-2}$  cm/sec ont été injectées avec un coulis chimique de 7,5 % d'AM-9 à raison de 0,26 l/sec jusqu'à une pression de 2,1 atm. Quand le coefficient de perméabilité était inférieur à  $0,6 \cdot 10^{-2}$  cm/sec, on a continué

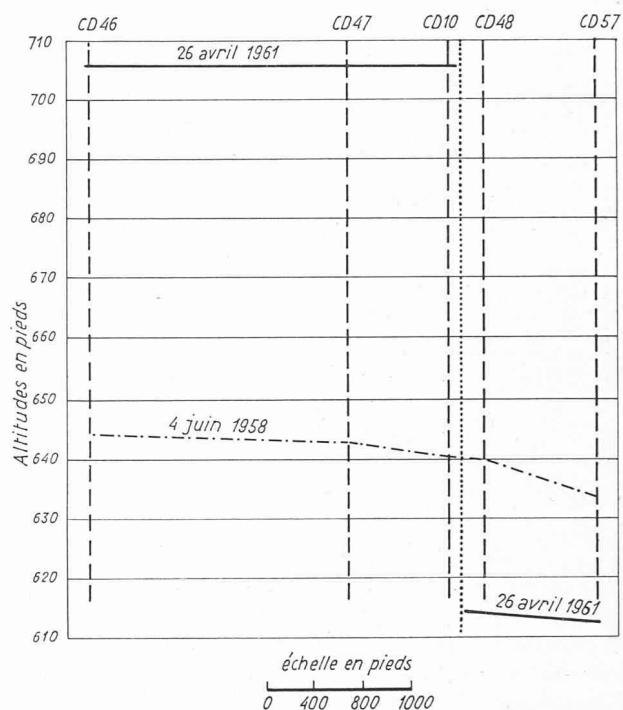
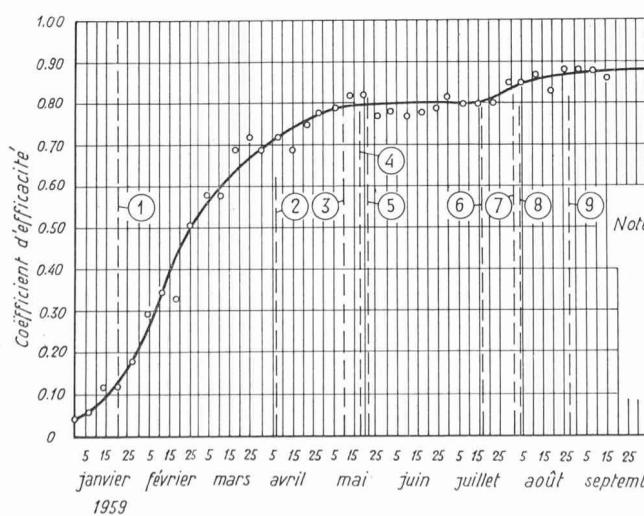


Fig. 16. — Niveaux de la nappe phréatique mesurés dans le gravier.

le forage d'une tranche de 1,50 m et effectué l'injection selon le procédé mentionné précédemment. Après le forage de trois tranches d'une profondeur totale de 4,50 m, on a effectué l'injection avec le produit AM-9. Le temps de prise de l'AM-9 a été calculé de façon à permettre à toute la masse de coulis d'arriver à une tranche donnée avant la prise. On a injecté le volume minimum de coulis nécessaire pour remplir les vides restants dans une tranche de 3,60 m du voile d'étanchéité, et cela dans l'hypothèse que la porosité du sol était de 38 % et que la distribution d'après les lois de probabilité de Gauss du ciment autour du trou avait un rayon de 4,50 m.

Des trous de contrôle ont été forés entre les trous d'injection n°s 1 (fig. 14). Si le forage de contrôle perdait moins de 75 l par mètre de profondeur (critère porté plus tard à 110 l par mètre) à raison de 0,23 l/sec



Note: Le coefficient d'efficacité est le rapport de la différence des niveaux d'eau dans les puits CD10 et CD48 divisée par la différence des niveaux d'eau du fleuve mesurés aux endroits 12E (750m en amont du barrage) et 11E (500m en aval du barrage)

Fig. 17. — Efficacité du voile injecté.

- (1) Les premiers trous d'injection effectués entre les puits d'observation
- (2) Réunion de conseil
- (3) Début des travaux d'injection sur la ligne *C*
- (4) Injections du ciment terminées
- (5) Injections chimiques commencées à la culée
- (6) Injections supplémentaires commencées en dehors de la culée
- (7) Rangée amont terminée
- (8) Ligne *C* terminée

jusqu'à une pression de 2,1 atm, le trou était considéré comme satisfaisant. Si le volume de 110 l par mètre était dépassé, des trous de contrôle intermédiaires étaient injectés jusqu'à ce que l'absorption soit inférieure à 110 l par mètre. La situation schématique des trous d'injections est illustrée dans la figure 15. A certains endroits, les forages indiquaient une grande perméabilité, bien que le volume du coulis de ciment injecté fût petit. Dans ce cas, trois lignes supplémentaires de trous d'injection ont été utilisées. Celle située le plus à l'amont se trouvait à une distance de 1,20 à 1,80 m du centre du voile d'étanchéité.

A la suite de quelques essais, le temps de la prise a été fixé à 75 % du temps nécessaire pour que la quantité calculée de la masse du coulis chimique soit injectée.

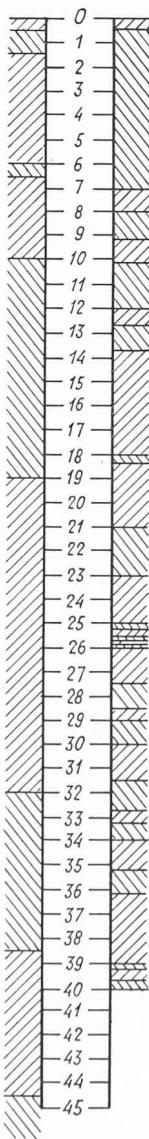
L'efficacité du voile d'étanchéité est illustrée dans la figure 16 ; y sont représentés les niveaux de la nappe phréatique mesurés dans des piézomètres avant et après la construction du voile d'étanchéité.

La figure 17 renseigne sur une méthode plus détaillée pour mesurer l'efficacité du voile d'étanchéité. La

Echantillon prélevé à la cuillère à fente

Sable fin, gris  
Sable moyen, brun  
  
Sable fin, moyen et gros, brun, traces de silt  
  
Sable fin et moyen, peu de silt, brun foncé  
Sable fin, moyen et gros, brun, traces de silt  
  
Sable fin et moyen, peu de gros sable, gris foncé, traces de silt  
  
Sable fin, moyen et gros, brun, bien gradué  
  
Sable fin et moyen, légèrement gris et blanc  
  
Sable fin, gris et brun, traces de silt, bien gradué  
  
Sable fin et moyen, gris et blanc, bien gradué

Profondeur en pieds



Echantillon stabilisé avec du AM-9

Sable fin, légèrement gris  
Sable fin et moyen, brun  
  
Sable gris silt et gravier fin, peu de silt brun  
Sable fin et gros  
Sable fin et moyen, peu de silt, brun-olive  
  
Sable moyen et fin, un peu plus de silt, peu de gravier fin, légèrement brun  
Sable fin, gris et légèrement brun  
  
Sable fin et gris, peu de gravier fin et blanc  
  
Sable fin et moyen, gris foncé à gris clair, avec du silt noir  
Sable fin et moyen, légèrement gris  
  
Sable fin et silt, brun  
  
Sable grossier, gris, couches en silt jaune  
Sable fin, brun  
Sable fin, moyen et grossier, brun (voir détail)  
Sable fin, brun, avec quatre couches de 0,5 cm d'épaisseur de sable et de gravier fin  
Sable grossier avec du sable fin et brun  
Sable fin, gris et jaune, avec du silt  
  
Gravier fin avec du sable brun et peu de silt  
Gravier fin et gris, avec du gros sable et du sable moyen et du silt très fin  
Pas d'identification  
Sable fin et légèrement brun avec peu de gros sable et de gravier, traces de silt  
Gravier fin et blanc, peu de sable fin et brun, traces de silt blanc, « hardpan » cimenté 1°  
Sable fin et moyen, gris et blanc  
Sable fin et brun, peu de sable moyen  
Pas d'identification  
Sable fin et gris, avec des couches minces de silt brun et jaune  
Sable fin et brun, couches verticales de silt brun et jaune

Echantillons stabilisés avec du AM-9

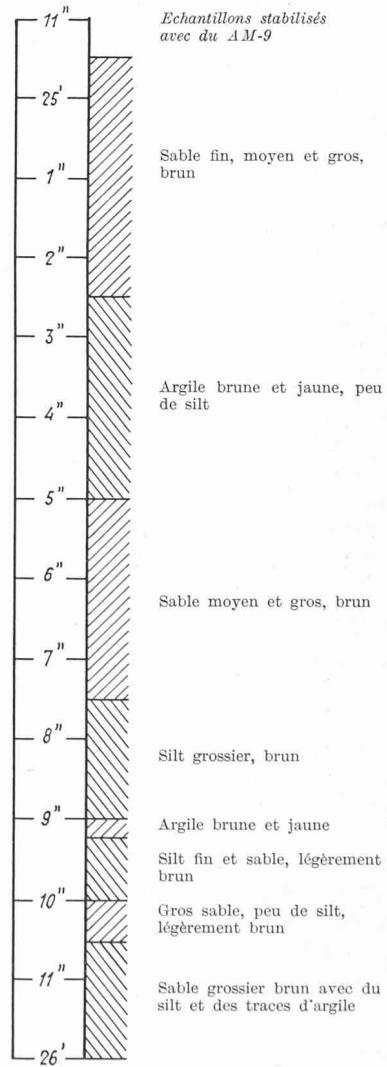


Fig. 18. — Echantillon prélevé à la cuillère à fente des zones stabilisées à l'AM-9 et des zones non stabilisées.

courbe représente le coefficient d'efficacité en fonction du temps et montre l'effet des différentes phases des travaux. Le coefficient d'efficacité est le rapport du gradient hydraulique à travers le voile divisé par la différence des niveaux du fleuve en deux endroits définis, situés à l'amont et à l'aval du barrage. On ne peut pas considérer ce coefficient comme mesure absolue de l'efficacité du voile d'étanchéité, et cela à cause du changement de régime d'écoulement de l'eau souterraine dans les terrasses en amont et en aval du barrage.

Voici quelques données statistiques pour le voile d'étanchéité :

Forages d'injection au ciment . . . . .	554
Forages d'injection chimiques . . . . .	527
Longueur des trous de forage à rotation :	
A travers des couches d'argile . . . . .	2 860 m
Dans les couches inférieures de gravier . . . . .	17 500 m
Volume du coulis de ciment injecté :	
Par mètre de profondeur . . . . .	3,5 m <sup>3</sup>
Total . . . . .	30,200 m <sup>3</sup>
Volume du coulis chimique injecté :	
Par mètre de profondeur . . . . .	0,185 m <sup>3</sup>
Total . . . . .	1 690 m <sup>3</sup>

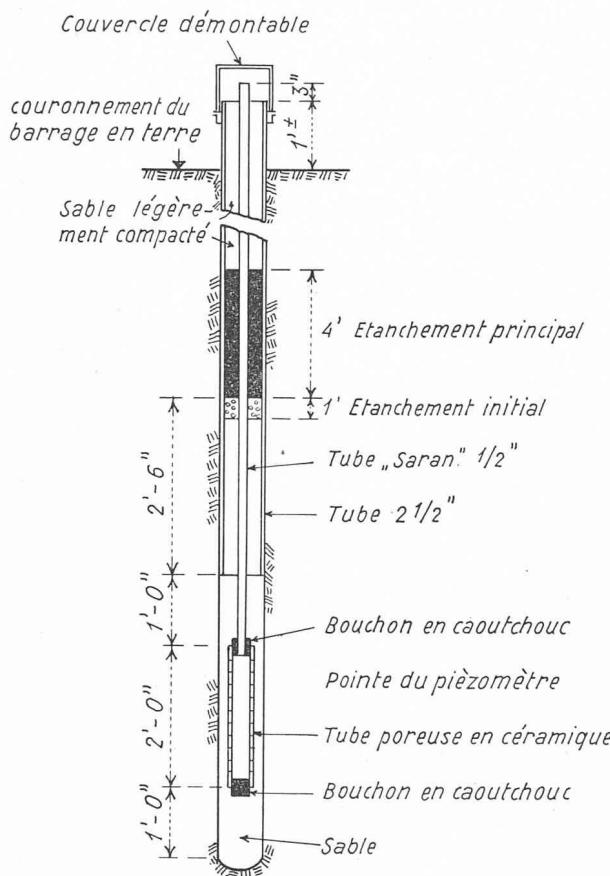


Fig. 19. — Etanchement d'un piézomètre modifié (Casagrande) avec du AM-9.

Nous mentionnerons encore quelques autres applications qui intéressent l'ingénieur spécialisé en mécanique des sols :

L'AM-9 a été employé avec succès pour éviter l'effondrement de trous forés en procédant comme suit : le trou lui-même et le terrain avoisinant est traité avec l'AM-9, injecté à travers le tube carottier. Puis on lave la tige et le tube de forage avec un volume d'eau bien déterminé. On enlève facilement le coulis qui reste dans le trou en soulevant et abaisson le tube carottier plusieurs fois. En forant et en injectant alternativement, on arrive à forer à travers des zones peu stables et le danger d'éboulement des parois est réduit au minimum (6).

Un autre usage intéressant de l'AM-9 est son emploi pour obtenir des échantillons du sol avec la méthode de la cuillère à fente. A la figure 18, une comparaison est faite entre les définitions des diverses couches du sol obtenues par la méthode à cuillère à fente conventionnelle et celles obtenues après la stabilisation du sol avec l'AM-9. Les définitions obtenues dans la zone entre 7,60 m (25 pieds) et 7,90 m (26 pieds), montrées

dans le détail à part, présentent un intérêt particulier. Avant d'effectuer l'analyse granulométrique, on enlève l'AM-9 par ignition de l'échantillon.

L'AM-9 a été employé avec succès pour l'installation de piézomètres. Le procédé pour étancher avec AM-9 un piézomètre de Casagrande modifié a été décrit par le professeur T. William Lambe, du Massachusetts Institute of Technology, publié dans *Civil Engineering* en avril 1959. La figure 19 montre l'installation typique d'un bouchon d'étanchéité avec l'AM-9, long de 1,20 m dans le piézomètre de Casagrande modifié. Ce procédé est beaucoup plus satisfaisant que le système précédemment employé qui consiste dans la mise en place laborieuse d'un bouchon d'étanchéité avec de la bentonite (3).

Dans cet exposé, nous avons présenté les nombreuses applications du coulis chimique à faible viscosité, dont le temps de prise peut être parfaitement contrôlé et réglé. Il faut espérer que ces applications en suggéraient d'autres et que le coulis chimique AM-9 — dont les recherches se poursuivent dans les laboratoires de la Cyanamid — permettra à l'ingénieur civil de trouver d'autres solutions efficaces et économiques du problème, toujours d'actualité, du contrôle de l'écoulement de l'eau dans un sol à granulométrie fine et dans la roche à petites fissures.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. *AM-9 Chemical Grout — Technical Data*. American Cyanamid Co., p. 32.
2. *Ibid.*, p. 50 et seq.
3. KAROL, R. H. : *Use of AM-9\* Chemical Grout for Sealing Piezometers*, rapport non publié de l'American Cyanamid Company, avril 1960 ; livrable sur demande.
4. KAROL, R. H. et SWIFT, A. M. : *Symposium on Grouting : Grouting in Flowing Water and Stratified Deposits*. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 87, No. SM2, avril 1961, Rapport No. 2797.
5. KAROL, R. H. : *Short Gel Times with Long Pumping Times*. Rapport non publié de l'American Cyanamid Company, avril 1961 ; livrable sur demande.
6. McBEAN, J. W. et CUNNINGHAM, L. J. : *Canadian Experiences with AM-9\* Chemical Grout*. Ninth Annual Drilling Symposium, Pennsylvania State College, octobre 1959.
7. SWIGER, W. F. : *Symposium on Grouting : Design and Construction of Grouted Cutoff — Rocky Reach Hydroelectric Project*. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 87, No. SM2, avril 1961, Rapport No. 2796.
8. WAGNER, J. E. : *Construction and Performance of the Grouted Cutoff, Rocky Reach Hydroelectric Project*, United States Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA. Miscellaneous Paper No. 2-417, mars 1961.