

Zeitschrift:	Bulletin technique de la Suisse romande
Band:	93 (1967)
Heft:	4
Artikel:	Les ancrages en rochers ou dans le sol et les effets de la précontrainte
Autor:	Ott, J.-C.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-69059

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: 26.01.2026

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 (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 poly-
technique 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, 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. 40.— Etranger Fr. 44.—

Sociétaires » » 33.—

Prix du numéro » » 2.— » » 2.50

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, 1000 Lausanne

ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page Fr. 423.—

1/2 » » 220.—

1/4 » » 112.—

1/8 » » 57.—

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



SOMMAIRE

Les ancrages en rochers ou dans le sol et les effets de la précontrainte, par J.-C. Ott, ingénieur-conseil, Genève.
Les congrès. — Divers. — Société suisse des ingénieurs et des architectes. — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.
Documentation générale. — Informations diverses.

LES ANCRAJES EN ROCHERS OU DANS LE SOL ET LES EFFETS DE LA PRÉCONTRAINTE¹

par J.-C. OTT, ingénieur-conseil, Genève

I. Introduction

Le thème de la réunion de la Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondation du 14 mai 1965 était « Les organes de traction incorporés dans le sol et dans la roche ».

En le choisissant, le comité de la SSMSF entendait favoriser l'étude et l'application de procédés qui se sont développés rapidement ces dernières années, qui sont utiles, mieux, qui ont souvent sauvé la situation dans des cas de fondations difficiles.

Le terrain alluvionnaire ou meuble est par définition dépourvu de résistance à la traction.

La roche considérée en grande masse l'est aussi, tout au moins selon certaines directions défavorisées par le processus discontinu de sa formation géologique.

Il est bien naturel que l'on ait cherché depuis quelques décennies à remédier à cette faiblesse en incorporant au sol des organes de traction jouant le rôle des armatures du béton armé.

La conception des tirants a évolué. Partant de la recherche d'un organe de traction sur lequel on puisse exercer des efforts extérieurs, le tirant ou l'ancrage dans le sol s'est progressivement transformé en un organe de précontrainte.

L'effet du boulonnage du rocher est analogue. Il en sera question plus loin.

Les particularités de chaque type de tirant et leur système de scellement relève du domaine du constructeur ou du fabricant de tirants.

Les entreprises spécialisées ont décrit en détail des procédés, souvent extrêmement ingénieux, pour favoriser l'accrochage des tirants ou plus exactement l'accrochage du scellement par les moyens les plus divers. Nous nous y référerons.

La première partie de notre exposé fera un retour en arrière sur les premières réalisations des tirants exécutés pour la plupart par une entreprise spécialisée avant la dernière guerre, autour de l'année 1935.

Nous tenterons ensuite de faire un rapprochement entre boulons et tirants longs précontraints en examinant la répartition des contraintes qu'ils appellent dans le sol homogène et leur effet sur les sols hétérogènes feuilletés.

¹ Le présent article reproduit et complète la conférence de l'auteur faite à la Société suisse de mécanique des sols et de travaux de fondation (SSMSF), le 14 mai 1965, à Zurich.

II. Caractéristiques et choix de divers types de tirants

L'élément commun à tous les organes de traction est de provoquer un effet d'étreinte latérale qui bloque le scellement. Il faut, pour que cet effet se produise, que le sol soit suffisamment serré ou compact.

Pour les boulons, c'est l'expansion du coin qui provoque cet effet.

Pour les tirants scellés au mortier ou les pieux, c'est l'amorce du mouvement qui provoque l'expansion du sol et le coincement.

Pour les tirants injectés à la base c'est l'injection qui provoque l'expansion à condition que la pression de confinement puisse atteindre une valeur suffisante.

Ainsi un tirant scellé par injection dans un sable dont l'indice de vide est plus grand que l'indice critique est voué à l'échec.

La tenue d'un tirant sera d'autant meilleure que la pression de confinement pourra atteindre des valeurs plus élevées.

Un peu d'ordre doit être fait dans les innombrables systèmes de tirants (fig. 1).

Une classification basée sur divers éléments est présentée au tableau suivant :

- avec ou sans mise en tension préalable ;
- mode de perforation ;
- nature du tirant ;
- nature du scellement.

Les distinctions entre les divers types d'organe de traction ne sont pas absolument nettes : en effet, on peut dès maintenant exécuter des boulons longs qui se rapprochent des tirants précontraints. Parmi les tirants précontraints on trouve également des organes avec tirant unique long lorsque l'exécution se fait en plein air avec des barres soudées au chantier.

Les pieux de traction qui comportent une précontrainte interne ne figurent pas sur notre classification car la répartition des contraintes dans le sol n'est pas modifiée vis-à-vis des pieux de traction simple.

Le choix du diamètre de l'organe de traction qui dépend de sa capacité et du nombre de fils ou de torons à placer dans un même trou, détermine d'une façon plus ou moins étroite le mode de perforation.

A son tour celui-ci détermine les possibilités d'inclinaison du tirant.

Le forage de gros diamètre présente là beaucoup moins de souplesse. Ainsi les pieux de traction ne peuvent pas être inclinés au-delà de 25°, voire 35° sur la verticale.

De son côté le mode de scellement détermine les limites d'inclinaison possible.

Le clou peut être placé dans tous les sens, par contre le tirant scellé par remplissage de mortier s'exécute difficilement en remontant.

Caractéristiques de divers types d'organes de traction incorporés dans le sol

DESIGNATION	A . Clouage ou boulonnage .			B . Tirants pré-contraints .	C . Tirants non précontraints .	D . Pieux de traction .
CAPACITE LONGUEUR MODE DE PERFORATION	10 à 15 t. 3 à 6 m. Marteau perforateur, ø 40 mm.			100 à 1000 t. 15 à 50 m. Sond. rotation . ø 100 mm. Sond. grenade . ø 300 mm. Marteau perforateur	15 à 25 t. 10 à 20 m. Sond. rotation . ø 60 à 120 mm.	50 à 100 t. 10 à 20 m. Sond. percussion . ø 300 à 650 mm.
TIRANT	Unique . ø 16 à 22 mm. Acier 37 ou spécial. Rigide .			Fils multiples . ø 4 à 7 mm. Acier h. l. élastique étiré 150 ou 180 kg/mm ² Souple .	Crénelé ou lisse . ø 15 à 30 (50) mm. Acier 37. Rigide .	Crénelé ou lisse . ø 15 à 30 mm. Acier 37. Rigide .
ENROBAGE	Néant			Bitume . Coulis de ciment	Coulis de mortier	Béton
SCELLEMENT	A 1 Expansion par coin	A 2 Mixte . Coin & mortier	A 3 Mortier seul	Injection	Injection ou mortier coulé	Bétonnage
LONGUEUR SCELLEE	Point	Partielle	Totale	Partielle	Totale	Totale
MISE EN TENSION	Immédiate		Différée	Différée	Point	Point
TENSION	Permanente			Permanente	Temporaire	Temporaire
OUVRAGE	Provisoire		Durable	Durable	Durable	
TERRAIN	Roche dure mais fracturée. Roche feuilletée .		Roche tendre	Roche tendre et roche dure . Schisteuse . Terrains alluvionnaires graveleux et sableux .	Roche très plastique . Argile-marne compacte .	Roche très altérée . Terrain alluvionnaire .

Fig. 1. — Tableau des caractéristiques de divers types d'organes de traction incorporés au sol.

La mise en tension préalable, elle, détermine le choix des nuances d'acier, haute limite d'élasticité ou normal, selon qu'il y aura précontrainte ou non du tirant.

Enfin, les tirants longs à fils multiples ne peuvent pas, jusqu'à présent, être placés dans des forages remontants.

Le type de scellement dépend essentiellement de la qualité du sol ou de la roche. Les terrains alluvionnaires ou plastiques sont le domaine du scellement par injection.

La roche dure convient aux procédés par expansion du scellement.

L'expansion pure n'est pas admissible pour des organes permanents à cause de la corrosion.

Ces dernières années, des types intermédiaires sont apparus.

Certains types de tirants plus récents placés en terrain alluvionnaire peuvent s'exécuter au marteau perforateur sans la pose préalable de tube de revêtement (G. Bauer).

Les divers types du commerce peuvent être groupés comme suit :

A. Boulons d'ancrages

A1 — Carbofer - Ancrall - Bayliss, Boltex, Goldenberg, etc.

A2 — Anchorage suédois.

A3 — Perfo de Sika.

Ancrage Bauer (intermédiaire entre A et B). Perforation à percussion sans tube de revêtement.

B. Tirants précontraints

En rocher

Système VSL (Suisse)
» BBRV (Suisse)
» Baudin (France)
» Freyssinet

En alluvions

VSL
BBRV
MT de S.I.F.
« Tubfix » de Swissboring

C. Tirants non précontraints

« Tubfix » de Swissboring.

MT de S.I.F.

« Pale radice » (pieux racines) de Fondedile (Italie).

D. Pieux de traction (Type moulés dans le sol) :

Rodio, Hochstrasser, Wiese, Zeissel, MV de Zschokke, etc.

La nature du terrain et le calibre du forage déterminent dans une certaine mesure la longueur et l'inclinaison possible du forage.

Alors que la perforation de petit diamètre au marteau ou à la soudeuse supporte d'être orientée en tous sens, les forages de gros calibre pour les tirants les plus puissants ne peuvent pas être inclinés beaucoup de part et d'autre de la verticale.

Ainsi, les très gros tirants à câbles multiples sont-ils actuellement moins en faveur et les trouvera-t-on surtout dans des applications relativement anciennes.

La précontrainte appliquée aux tirants longs ou aux clous implique un gainage plastique, c'est-à-dire la liberté de mouvement sur la partie médiane du tirant.

Les tirants courts et les clouages admettent que l'on utilise des barres rigides.

Les tirants longs sont composés nécessairement des câbles à fils multiples pour conserver la souplesse nécessaire au stockage et à la mise en place en espace limité.

L'injection des gaines, le bétonnage ou le remplissage en matière plastique sont de rigueur pour les ouvrages durables. Les clous expansés et scellés remplissent cette condition.

Le mode de scellement, lui, est conditionné par la nature de la roche ou du sol.

Dans les sols plastiques tels que argiles ou marnes, les organes précontraints sont contre-indiqués, à moins d'accepter la sujexion de fréquentes remises sur vérin. Sinon, il faut alors recourir aux pieux de traction.

Dans le tableau 1, nous avons distingué quatre types principaux d'organes de traction et une subdivision des types de boulons selon le mode de scellement.

III. Evolution dans l'application et la fabrication de tirants longs

Les tirants longs à fils multiples ou à câbles se sont développés les premiers vers les années 1934-1940, sous l'impulsion énergique du groupe « Rodio » et de « Sondages, Etanchement, Consolidations » (actuellement Soléthane), qui mit en application à la fois les idées de Coyne et de Freyssinet et qui surmonta toutes les difficultés pour la réalisation pratique des têtes et des scellements avec des dimensions et des capacités exceptionnelles pour l'époque (jusqu'à 1200 tonnes à l'essai).

Au barrage du Cheurfas, pour la première fois on a mis en place des tirants de très grande capacité, soit de 1000 tonnes. Chaque tirant, de conception entièrement artisanale, était préfabriqué sur place. Les fils étaient parallèles et le scellement était fait dans un élargissement dans le rocher. Leur but était de précontraindre l'ancien

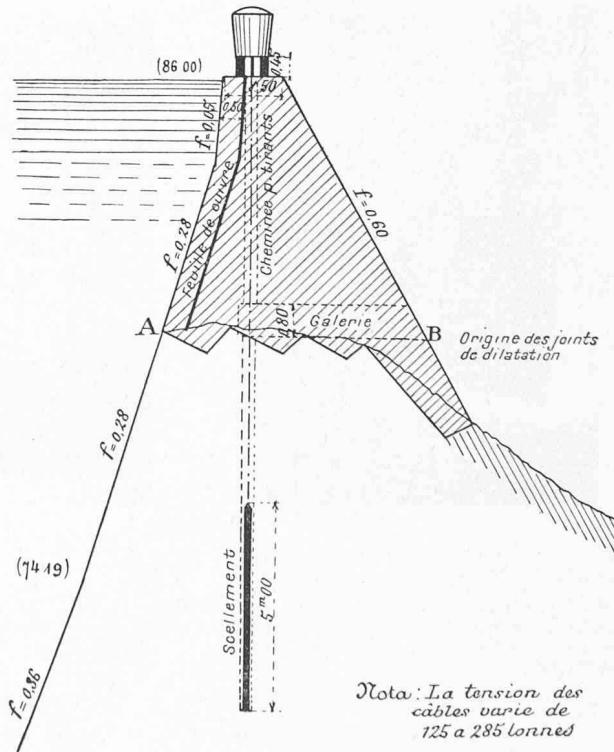


Fig. 2. — Tirants de 285 tonnes. Renforcement du barrage de l'oued Fergoud (Algérie).

P. & C. - Oran. - Entreprise « SEC Procédés Rodio », - 1934. Scellement dans de l'ancienne maçonnerie. Fils multiples parallèles. Tête en béton armé avec plaque de base en acier coulé.

barrage de Cheurfas dont la maçonnerie était en mauvais état, en vue d'une surélévation. En fait, il s'agit donc d'un ensemble de tirants type Coyne, ancrés dans le sol (fig. 3).

La présence de lits de marne dans le calcaire laissait penser qu'on aurait une perte de précontrainte due à la consolidation de ces terrains. C'était un motif d'inquiétude.

C'est pourquoi on envisagea d'emblée la possibilité de contrôler la tension à des époques ultérieures. Heureu-

sement, les pertes de tension, soigneusement contrôlées au cours des années, furent localisées.

Un autre objet de souci était l'adhérence du scellement injecté. L'auteur a participé à des essais sur les fils. On avait constaté alors que les fils galvanisés décapés à l'acide adhéraient mieux que les fils nus.

Les câbles de consolidation du mur de pied du barrage de Bou-Hanifia (Algérie), qui eux sont ancrés dans un ouvrage de béton, sont dans la filiation de ce développement : la tête n'est plus en béton, elle est en acier coulé moins lourd, et le câble lui-même est préfabriqué, c'est un câble toronné souple (fig. 4).

Voici quelques enseignements tirés de cette dernière réalisation : A notre grande surprise, les allongements réels étaient beaucoup plus grands que les allongements calculés, la perte de précontrainte était importante durant les premiers jours.

Nous avons cru, à l'époque, qu'il y a un fluege du scellement du câble. Ce n'était pas le cas. En réalité, l'allongement exagéré était dû au toronnage du câble ; à la longue, les fils s'imbriquaient les uns dans les autres. Et il y avait encore un autre phénomène secondaire ignoré à l'époque : le fluege de l'acier à la tension de service (qui était pourtant inférieure à la limite d'élasticité).

Ce n'est que beaucoup plus tard, lors des réalisations ultérieures en Suisse, que ces flueges de fils d'acier furent effectivement confirmés au cours d'essais de longue durée.

Ces premiers tirants toronnés ont été réalisés avec la collaboration d'un constructeur et selon sa technique propre utilisée pour les ponts suspendus : c'était l'entreprise française Baudin qui avait indiqué et résolu la question : Comment arrêter la tête du câble ? Elle avait prévu une tête en acier coulé avec des alvéoles où se logeaient des culots d'amarrages coulés au plomb-antimoine.

En 1948, une consolidation intéressante (fig. 5), celle de l'appui de la rive droite du barrage voûte de Castillon (France), vise non plus à créer un tirant d'attache mais à modifier l'état de contrainte dans le sol : les tirants travaillent dans une direction perpendiculaire aux lignes de poussée de l'arc et exercent une pression artificielle de confinement. C'est donc une fonction bien différente de celle de tirants d'attaches.

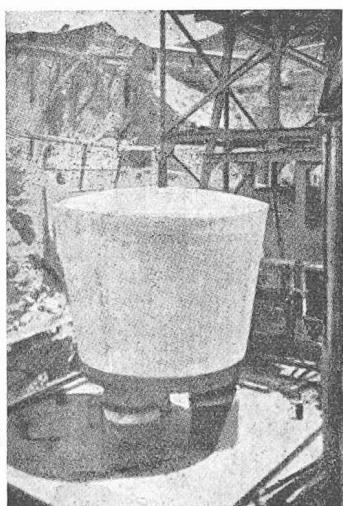
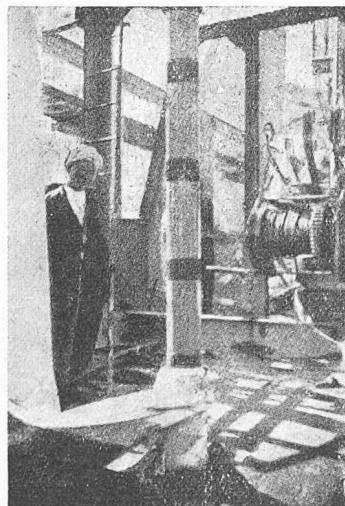
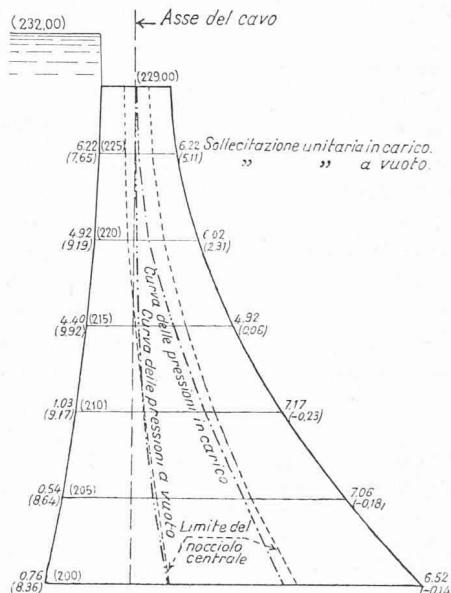
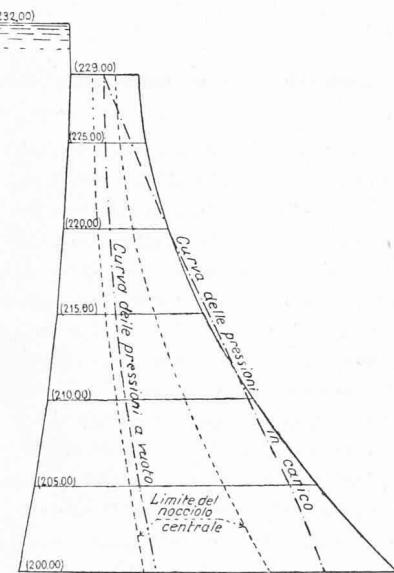


Fig. 3. — Tirants longs de 1000 t. Système Coyne. Renforcement du barrage de Cheurfas (Algérie).

P. & C. - Oran. - Entreprise « SEC Procédés Rodio ». - 1934.
Scellement dans le sol : calcaire et bancs de marne. Fabrication artisanale sur place. Fils multiples parallèles. 635 fils \varnothing 5 mm. Acier h.l.e. 110-130 kg/mm², allongement à la rupture = 6 %. Contrainte en service 80 kg/mm².

Haut gauche et droit : profil du barrage.
Bas à gauche : gaine d'enrobage.
Bas à droite : tête d'ancre monumentale en béton armé et fretté.

Fils galvanisés décapés avec HCl.
Adhérence à la rupture au coulis de ciment de scellement :

7 jours = 9 kg/cm² ;
13 jours = 13 kg/cm².

Forage à grenade élargi à la base pour favoriser l'accrochage dans le sol.
Mise en tension par trois vérins de 400 tonnes.

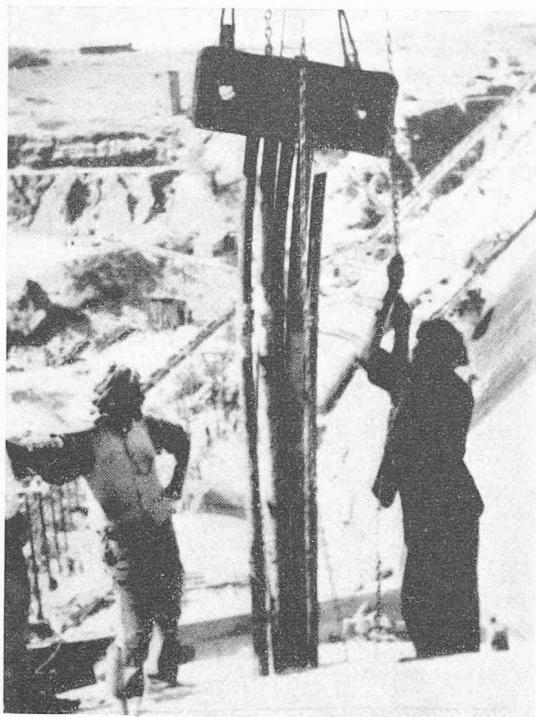
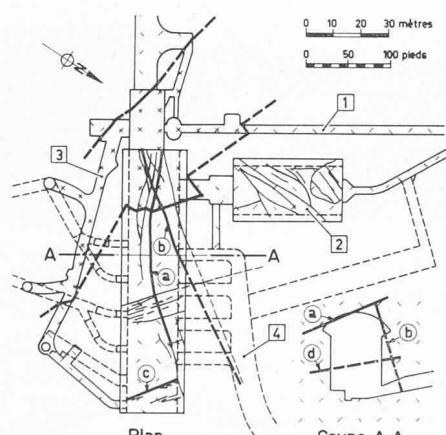


Fig. 4. — Tirants longs de 1000 t. Renforcement du mur de pied du barrage de Bou-Hanifia (Algérie).

Entreprise « SEC Procédés Rodio ». - 1938.

Scellement dans le béton non armé. Sept câbles toronnés à fils multiples préfabriqués en usine. Tête en acier coulé. Scellement des culots supérieurs au plomb-antimoine. Scellement inférieur par injection. Frettes contre l'éclatement. Forage à rotation à la grenade. Pas d'élargissement du trou à la base.



Légende

- | | |
|-------------------|-------------------------------------|
| [Dotted Pattern] | Gneiss granitique |
| [Cross-hatch] | Granite à biotite |
| [Arrow] | Direction des fractures principales |
| [Circle with '1'] | Galerie de reconnaissance |
| [Circle with '2'] | Hall des transformateurs |
| [Circle with '3'] | Galerie de travail |
| [Circle with '4'] | Collecteurs |

Fig. 12. — Centrale souterraine de « Tumut ».

Ibidem.

Etude géologique exemplaire de la disposition tectonique des systèmes de fractures.

Pour bien faire saisir la différence, nous citerons, à titre d'exemple, la disposition d'un ensemble de tirants d'attaches mis en œuvre en 1954 par les Forces motrices de la Maggia, à la centrale souterraine de Cavergno (voir aussi [17]). Là, il s'agissait de transmettre au sol l'importante poussée horizontale du collecteur, quelques milliers de tonnes, en mobilisant le frottement sur les appuis horizontaux au moyen de tirants verticaux. L'effort tranchant au contact du rocher put ainsi être repris.

C'est à l'occasion de la construction des centrales souterraines que l'on voit apparaître, vers 1957, l'utilisation conjuguée de tirants longs et de boulons courts.

A la même époque, différents constructeurs des centrales souterraines Tumut T 1 dans les « Snowy Mountains » (Australie) (fig. 12 et 13), de Nendaz, par G. D. Grande-Dixence et d'autres en Suisse, font largement appel aux organes de traction, tirants ou boulons.

Les fonctions des tirants et des boulons sont très diversifiées à Nendaz.

Lors de l'étude du premier projet de Nendaz, l'auteur avait présenté une centrale de section ovoïde dont le

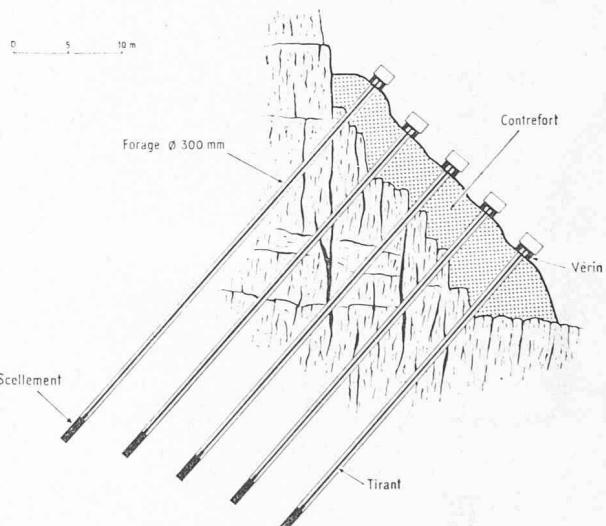


Fig. 5. — Tirants obliques au pied de la retombée rive droite du barrage de Castillon (France).

Doc. Soléthane, Paris.

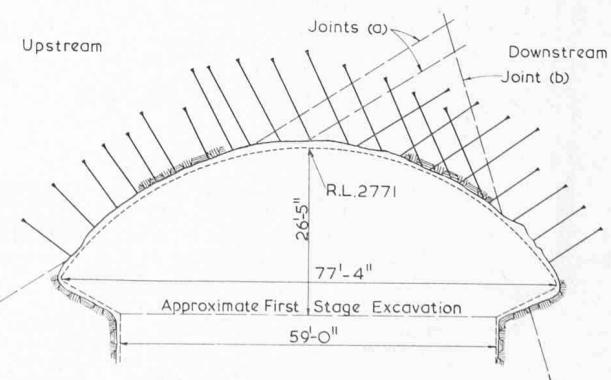


Fig. 13. — Aménagement des « Snowy Mountains » (Australie). Voûte de la centrale souterraine de « Tumut ».

Reproduit d'après le rapport de Th. A. Lang, 1957, « Symposium on Underground power stations ».

Soutènement provisoire du ciel de la centrale par boulonnage adapté à l'orientation des diaclases.

revêtement était apte à supporter à la fois des poussées verticales et horizontales, vu la médiocre qualité des schistes carbonifères. Pour des raisons pratiques, cette section fut abandonnée au profit d'une section tracée avec des piédroits verticaux. Un étayage en cours d'excavation des piédroits apparaissait comme nécessaire. Mais il ne pouvait être question d'encombrer l'intérieur de la centrale par un étayage horizontal important. C'est la raison pour laquelle on avait alors songé aux tirants.

Le procédé d'exécution des excavations envisagé par la suite était le suivant : faire d'abord la voûte, ensuite descendre par étages avec l'excavation du stross. On

avait l'intention de remplacer les étayages par des piliers verticaux construits par tronçons successifs analogues à des marches-avant de très grande dimension, chaque tronçon de pilier étant ancré au fur et à mesure que l'excavation descendait d'un étage. A l'exécution, ce principe a été le plus souvent appliqué (fig. 6 et 7).

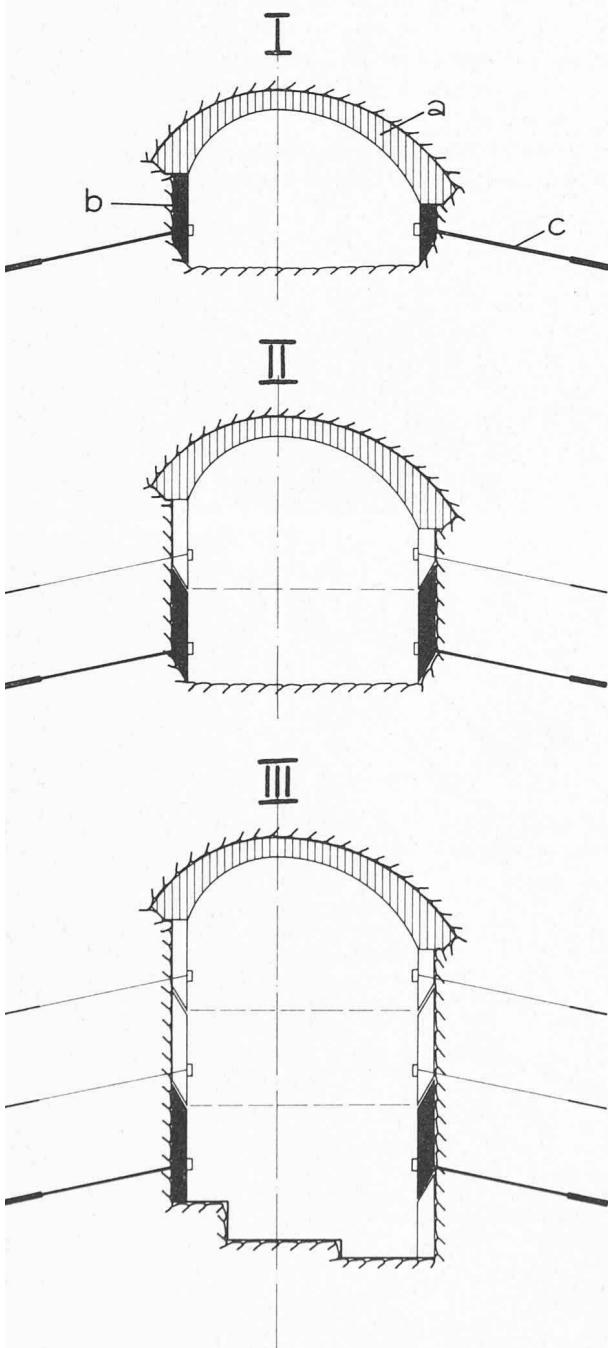


Fig. 7. — Centrale souterraine de Nendaz. 1957.

Grande-Dixence.

Succession des opérations d'excavation et de soutènement au moyen de piliers exécutés par tronçons retenus par des tirants longs.

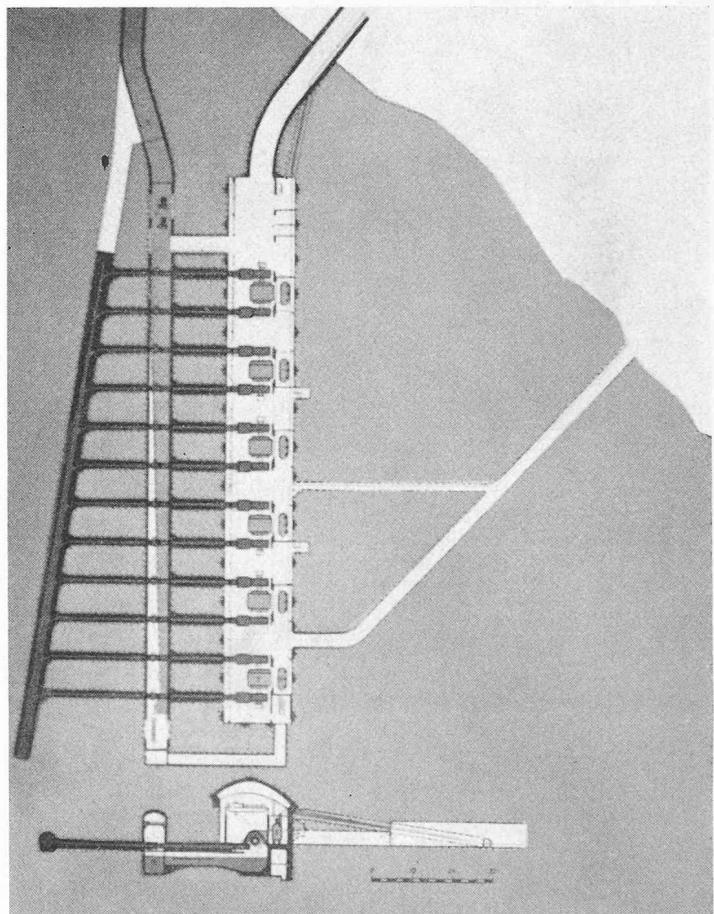
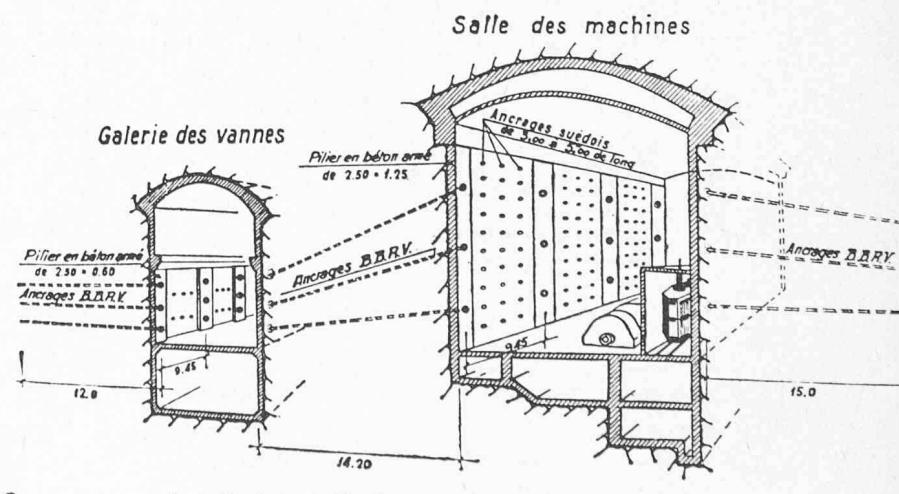


Fig. 6. — Centrale souterraine de Nendaz. 1957.
Doc. « Grande-Dixence ».



Coupe en travers de la Centrale de Nendaz

Fig. 8. — Centrale souterraine de Nendaz.

D'après la *Gazette de Lausanne* du 7 mars 1958. (M. Cosmetatos). Application combinée de tirants longs et d'un gunitage armé cloué avec des ancrages suédois de 3 à 5 m, formant une peau tendue entre les piliers.

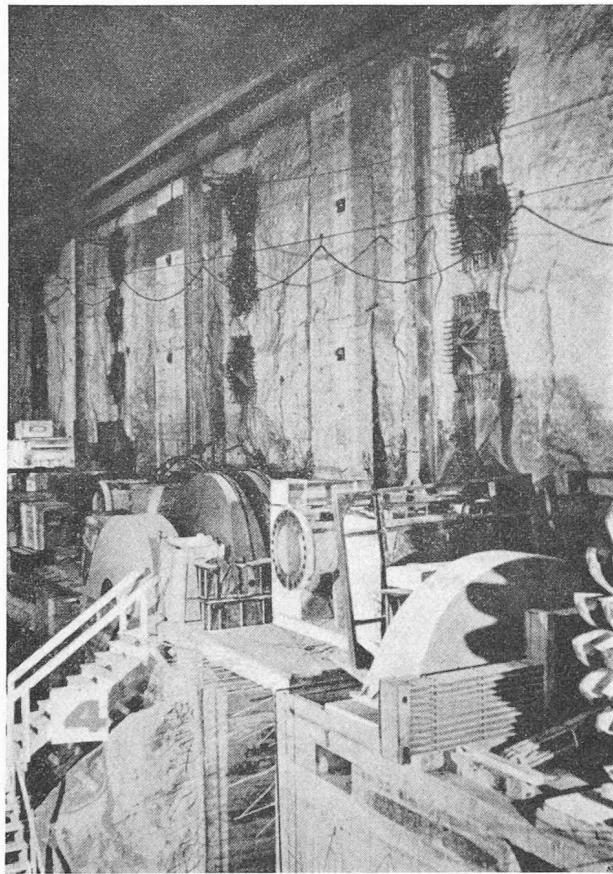


Fig. 11. — Centrale souterraine de Nendaz. 1957.

Doc. « Grande-Dixence ».

Têtes de tirants complémentaires de 135 t placés entre piliers.

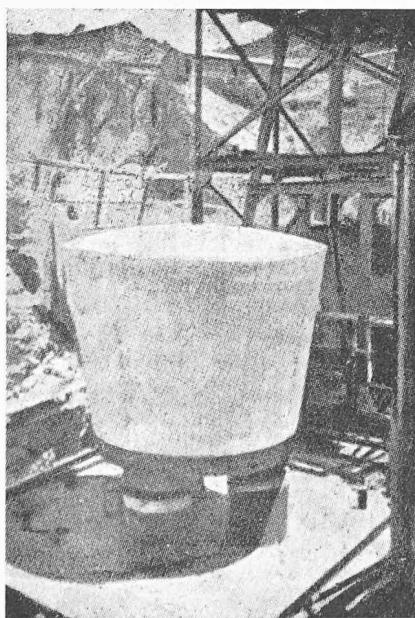


Fig. 9.
Tête de câbles de 1000 t en béton armé.
1935. Barrage de Cheurfas.

Doc. « SEC - Procédé Rodio ».

2 m³ de béton. Base en acier coulé.

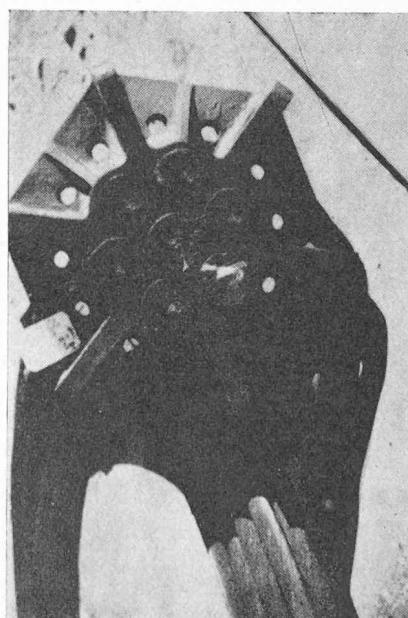


Fig. 10.
Tête de câble de 1000 t en acier coulé,
système Imbault. 1938.

Doc. « SEC - Procédé Rodio ».

Bou-Hanifia (Algérie).

L'orientation de la centrale de Nendaz correspond à la nécessité de placer la salle des machines en « travers banc ».

La tenue du toit formant la voûte de l'excavation fut assez bonne, mais ultérieurement les poussées sur les piédroits donnèrent lieu à des difficultés sérieuses. En plan, on trouve une grande caverne, un collecteur, une galerie des vannes. Ces cavités longitudinales sont reliées transversalement par les embranchements du collecteur qui contiennent aussi les rameaux des canaux de fuite.

Ces galeries transversales ont évidemment favorisé des concentrations des pressions verticales aux points de croisement. Aussi a-t-on vu, phénomène désagréable, l'écrasement de cette région au moment où on a commencé à perfore successivelement les rameaux. Pour lutter contre ce phénomène, on a ajouté un certain nombre de tirants supplémentaires entre les piliers (grosses plaques d'appui sur figure 11).

Evolution des têtes de tirants

Elle est remarquable dans le sens d'une réduction des dimensions et des poids. Depuis la tête en béton tronconique de Cheurfas (fig. 9), pesant environ 5 tonnes, à la tête d'acier de Bou-Hanifia, pesant environ 1,5 tonne, première réduction sensible (fig. 10).

Réduction encore si l'on considère la tête d'un tirant moderne de 233 tonnes dont la tête a seulement 23 cm de diamètre pour le type GF 233 par exemple, et la plaque de base de 34 cm.

Cette réduction est obtenue au prix d'une augmentation de la pression de contact sous la tête d'ancrage conduisant à des contraintes élevées qui sont admissibles grâce aux frettées spirales placées sous l'appui.

Ainsi, actuellement une tête de tirant à 7 câbles d'une capacité de 1600 tonnes peut trouver place dans un cylindre de 1 m de diamètre et 0,20 m de haut.

Boulons d'ancrage

Réservés tout d'abord au domaine minier pour le soutènement provisoire de galeries d'exploitation, les boulons ont gagné le domaine du génie civil après la dernière guerre.

Utilisés en galerie pour le soutènement provisoire de grandes excavations en rocher, les boulons ont franchi une nouvelle étape par une heureuse modification du procédé d'expansion, d'origine suédoise, qui garantit la protection du scellement avec du mortier et permet l'application du boulonnage pour remplacer des revêtements définitifs épais.

C'est le mérite des géologues et ingénieurs de la

« Snowy Mountains Hydro-Electric Authority » d'avoir éclairci par des essais très poussés sur maquette et sur modèle grandeur nature, le mode d'action des boulonnages.

Leur étude dépasse d'ailleurs le cadre des boulonnages et les résultats sont aussi valables pour les tirants scellés en terrains alluvionnaires. Ces essais exécutés sur des roches de plus en plus fracturées jusqu'à faire disparaître toute cohésion, s'étendent au domaine des agrégats concassés.

A la centrale de Nendaz, les panneaux situés entre les

piliers n'ont pas été pourvus de revêtement massif ; ils ont été renforcés en consolidant la roche elle-même par des ancrages suédois courts répartis sur toute la surface d'un panneau dont la surface est munie d'un grillage gunité (fig. 8).

On a constitué ainsi, entre les piliers profondément ancrés en arrière, une pellicule superficielle de rocher précontrainte à la place d'un revêtement épais destiné à empêcher la formation de ventres entre les piliers ou le développement d'écaillles.

(A suivre)

LES CONGRÈS

Echos du Congrès mondial de la formation de l'ingénieur tenu à Chicago en juin 1965¹

Ce congrès mondial a siégé du 21 au 25 juin 1965, en même temps que la 73^e Conférence annuelle de l'American Society for Engineering Education, à l'Institut de technologie de l'Illinois, à Chicago. Comme on pouvait s'y attendre, il a vu grande affluence d'ingénieurs et de professeurs des hautes écoles des Etats-Unis. Les autres pays anglophones du monde étaient aussi assez bien représentés, comme encore l'Inde et le Japon. En revanche, les délégués européens se trouvèrent là en relativement petit nombre ; les pays communistes ne participaient pas au congrès, du moins pas officiellement.

Le congrès a comporté principalement quatre séances plénières d'une demi-journée chacune. La première séance a été occupée par des exposés généraux sur les objets du congrès ; les trois autres étaient consacrées à la discussion de rapports détaillés reçus, relatifs aux diverses questions portées à l'ordre du jour. La discussion s'est déroulée autour de la table ronde. Les questions étaient rangées en trois groupes distincts :

- Les méthodes d'enseignement.
- La formation de l'ingénieur et les stages pratiques.
- L'enseignement technique universitaire et les compléments à y apporter durant la carrière.

Ce programme était complété par la visite d'une exposition d'ouvrages et d'appareils pour l'enseignement technique supérieur et par la présentation de films didactiques. Enfin, les congressistes ont pu établir entre eux des contacts personnels rendus aisés par l'ampleur et le confort des locaux mis à la disposition du congrès, à l'Institut de technologie.

Avant tout, le congrès a été pour nous l'occasion d'acquérir une vue d'ensemble sur les problèmes américains touchant à la formation de l'ingénieur et sur les moyens appliqués à les résoudre. Les rapports émanant des autres pays industriels se sont bornés, pour la plupart, à des aperçus plus ou moins complets de l'état des choses dans ceux-ci, principalement pour ce qui concerne l'Europe occidentale et sa multiplicité d'écoles supérieures. Il en a été de même de la part des délégués des pays en voie de développement, qui toutefois se sont attachés à clairement décrire les tout autres problèmes qui sont posés actuellement chez eux.

¹ Texte remis par le Secrétariat de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, en décembre 1966. (Réd.).
Traduction : Ed. Meystre, Lausanne.

Venons-en maintenant à l'essentiel, soit à l'examen des circonstances et des tendances qui règnent aux Etats-Unis. Nous y trouvons un intérêt majeur, d'autant plus que maintes constatations faites là-bas, avec les conclusions qui en découlent, s'appliquent aussi à la Suisse.

Un fait caractéristique à relever est qu'en dépit de la diversité des thèmes proposés, on a constamment, sauf dans quelques rares cas, durant les quatre séances plénaires, vu ressortir les mêmes questions et articuler les mêmes postulats. Ne pouvant entrer dans le détail des discussions, nous passons directement aux conclusions, qui sont les résultats les plus intéressants des travaux du congrès.

De l'avis unanime, comme axe de référence choisi pour apprécier les propositions tant d'améliorations que de réformes, on a posé que la tâche principale de l'ingénieur, aujourd'hui et dans l'avenir, est de pourvoir aux réalisations dans la création industrielle, dans la résolution pratique des problèmes techniques. Cette activité doit, il est vrai, s'exercer dans des conditions et sous des pressions qui en modifient constamment le cadre, tantôt par à-coups, tantôt par lente évolution. Citons, pour leur portée particulière :

- les progrès rapides des sciences fondamentales ;
- l'extension de l'application des méthodes mathématiques à de nouveaux domaines ;
- l'enchevêtrement croissant de disciplines naguère bien séparées ; enfin
- l'intervention de sciences nouvelles qui révolutionnent dans une certaine mesure les données classiques (par exemple la cybernétique).

Ces circonstances ont causé, pendant la dernière décennie, une déviation de plus en plus marquée de la formation de l'ingénieur vers la physique mathématique, liée à un net déplacement de son accent vers une tournure d'esprit plus analytique que constructive. Un nouveau type d'ingénieur en est résulté, ici et là : l'ingénieur de recherche, très bien préparé théoriquement. La formation générale de l'ingénieur a subi elle-même, dans ce sens, un déplacement certain de son centre de gravité, à tel point qu'aujourd'hui la question se pose de savoir si l'on suit encore la bonne voie.

Les débats sur ce point ont fait clairement reconnaître que, dans l'industrie en premier lieu, mais aussi chez beaucoup de représentants du corps professoral, l'opinion s'établit que l'on est allé trop loin dans cette déviation et qu'il est d'urgente nécessité de repenser et de refondre le programme de la formation de l'ingénieur. On a constaté que l'approfondissement de la culture dans les sciences mathématiques s'accompagne très