Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 99 (1973)

Heft: 9: L'autoroute du Léman et ses ouvrages

Artikel: Les tunnels de Belmont-Chauderon-Criblette et les murs ancrés de Chauderon et Criblette

Autor: Betschen, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71659

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: 14.07.2025

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

Les tunnels de Belmont - Chauderon - Criblette et les murs ancrés de Chauderon et Criblette

par G. BETSCHEN, ingénieur civil, Société Générale pour l'Industrie, Lausanne

1. Introduction

Entre Lausanne et Chexbres, la Nationale 9-Autoroute du Léman doit franchir une série de crêtes plus ou moins parallèles, barrant le versant et qui sont toutes des reliefs rocheux molassiques. Trois de ces crêtes notamment, situées sur le territoire des communes de Belmont, Grandvaux et Cully, sont traversées par des tunnels jumeaux : il s'agit des tunnels de Belmont, de Chauderon et de Criblette. Deux d'entre eux sont précédés ou suivis par d'importants murs de soutènement.

2. Situation des ouvrages

Les tunnels de Belmont traversent la crête rocheuse sur laquelle est contruit le village de Belmont, sur une longueur de 394 m pour le tunnel amont et 348 m pour le tunnel aval. A cet endroit, le tracé de l'autoroute suit une direction générale NO-SE avec une pente descendante en direction de Chexbres variant entre 3,20 % et 3,50 %. Les deux tunnels suivent une courbe à gauche (clotoïde), l'écart maximum entre leurs axes est de 34 m.

L'ensemble des ouvrages des tunnels de Chauderon est situé au km 15. A cet endroit, l'autoroute suit une direction générale NO-SE et les tunnels ont une longueur de 222 m à l'amont et de 193 m à l'aval. Le tunnel amont accuse une pente de 0,6 % en direction de Lausanne, il est en alignement sur toute sa longueur. Le tunnel aval a une pente variable en direction de Lausanne également, selon un arc de cercle (rayon 8000 m) il suit une courbe à gauche (clotoïde). L'écart maximum entre leurs axes est de 23 m. Ces ouvrages sont précédés tant au NO qu'au SE par des tranchées d'accès dont les parois amont, d'une hauteur maximum de 14 m, sont soutenues par des murs ancrés d'une longueur de 144 m au NO et de 294 m au SE.

Au lieu-dit « En Criblette », les tunnels ont une longueur de 295 m à l'amont et 280 m à l'aval. L'orientation du tracé de l'autoroute à cet endroit est O-E, avec une pente en direction de Chexbres variant entre 2,5 et 4,0 %. Les deux tunnels suivent une courbe à droite de 1800 m de rayon à l'amont et de 2000 m à l'aval. Leurs axes sont distants de 23 m au maximum. A l'est, une tranchée de 24 m de hauteur maximum fait suite à ces deux ouvrages sur une longueur de 150 m, tranchée dont la paroi amont est également soutenue par un mur ancré.

3. Conditions géologiques

Les terrains excavés sont de deux sortes :

1. La roche molassique.
2. Les terrains meubles de couverture.

3.1 *Molasses*

Si d'une façon générale les molasses rencontrées dans les tunnels et leurs ouvrages annexes présentent des conditions géologiques assez semblables, elles accusent cependant quelques particularités.

Les molasses de Belmont se distinguent par leur dureté relativement faible d'une part et d'autre part par l'intercalation, entre les bancs de grès et de marnes, de couches minces de calcaire et de charbon surtout, couches qui sont de l'ordre de 1 à 50 cm pour les calcaires et de quelques mm à 20 cm pour les charbons.

Les molasses rencontrées à Chauderon ou à Criblette se caractérisent par l'absence d'épais bancs de grès ; les bancs de marne ont une épaisseur de l'ordre du mètre tandis que les bancs de grès ont une épaisseur de l'ordre du décimètre.

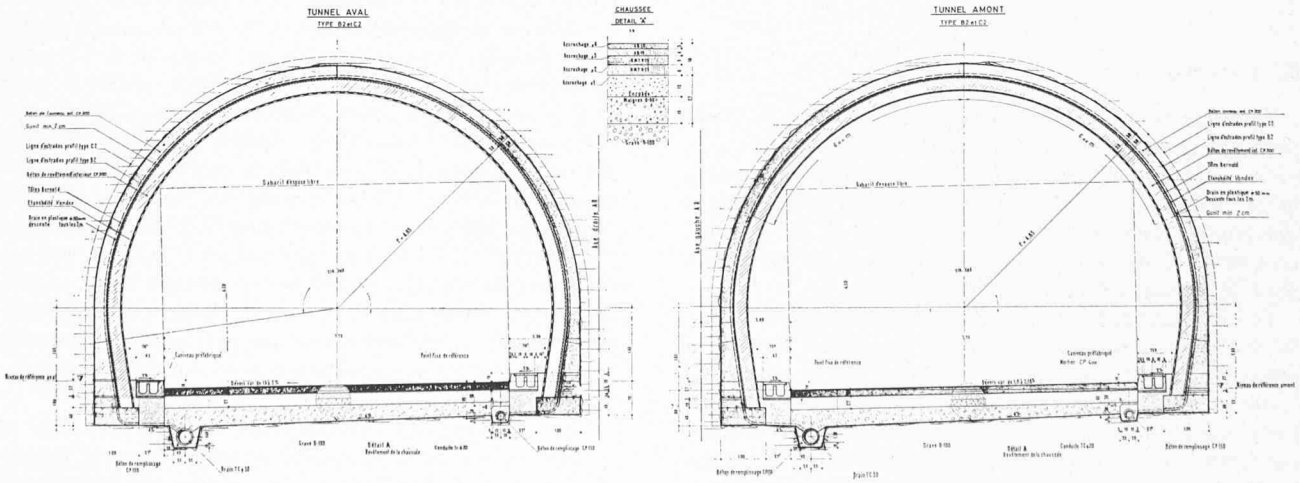


Fig. 1. — Profil type du tunnel.

(Photo Germond)

Fig. 2. — Tunnel de Chauderon, tôles Bernold au front d'attaque.

Généralement, les couches sont fortement inclinées. Elles sont coupées de failles et de diaclases. Ces couches ne forment donc pas des panneaux continus mais des panneaux disjoints et cette dislocation facilite les éboulements.

3.2 *Terrains de couverture*

Les terrains meubles de couverture sont essentiellement argilo-limoneux, formés de moraine de fond et de produits d'altération des couches molassiques sous-jacentes. Ils sont souvent aquifères, un peu graveleux, en apparence homogènes mais contenant des intercalations de sable limoneux humide et de tourbe. Ces terrains se réduisent en général à peu de chose sur les flancs Est où ils ont disparu par glissement ou érosion. Par contre, sur les flancs Ouest, ils sont très épais et pour une part en glissement. Ils ont d'autant plus de propension au glissement que le contact terrain-molasse est généralement argileux et qu'il constitue ainsi un plan de glissement facile.

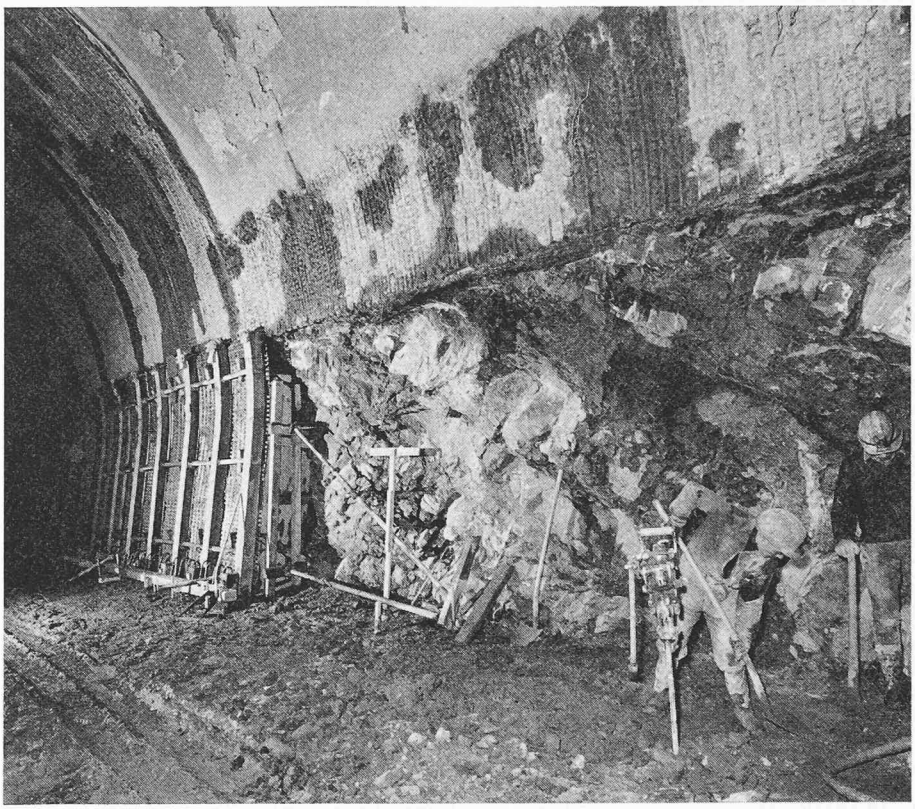
4. Tunnels

Les tunnels de Belmont, Chauderon et Criblette comprennent chacun deux tubes dont la section d'excavation varie de 74 à 80 m^2 selon la nature de la roche. La largeur de la chaussée est de 7,75 m, le gabarit d'espace libre a une hauteur de 4,50 m. De part et d'autre de la chaussée, un trottoir d'une largeur de 0,75 m contient des caniveaux pour le passage de conduites diverses (fig. 1).

Le profil comporte un premier anneau de béton, anneau de support, d'une épaisseur de 30 ou 50 cm suivant la tenue du terrain. Un deuxième anneau de 30 cm forme l'anneau de finition, soutenant l'élément d'étanchéité. Cette étanchéité, de type sandwich à Belmont, est réalisée par l'intercalation entre les deux anneaux de béton d'une feuille thermoplastique de 2 mm d'épaisseur. A Chauderon et à Criblette, cette étanchéité est apparente. Elle est réalisée par l'application d'un ciment chimique, le VANDEX. Ce VANDEX est un bouche-pores qui possède des propriétés d'autoréparation. En effet, le produit se réactive au contact de l'eau et la réaction chimique qui s'ensuit a pour effet de colmater la microfissure par laquelle l'eau pouvait s'infiltrer. Le produit est giclé sur l'intrados de l'anneau de finition. La méthode de percement choisie par les entreprises est la même pour tous les ouvrages, à savoir la méthode belge qui consiste à percer d'abord la calotte sur toute la longueur du tunnel puis à excaver le noyau et les piédroits.

Etant donné les caractéristiques générales des molasses à percer qui, comme nous l'avons vu, sont non seulement très faillées et diaclasées mais encore se décomposent très rapidement à l'air, un étayage systématique est nécessaire. Cet étayage doit non seulement combattre les éboulements à l'avancement mais aussi le pourrissement de la roche au contact de l'air. C'est la raison pour laquelle on a choisi le nouveau système d'étayage dit « système BERNOLD ». Ce système ne nécessite aucun cintre métallique d'étayage, sauf quelques cintres de montage légers (8 à 12 selon l'avancement journalier), très maniables grâce à leurs articulations. Volée après volée, on réalise l'étayage en bétonnant un anneau coffré et rigidifié au moyen de tôles *Bernold* façonnées à la courbure du profil. Ce coffrage-armature est mis en place panneau par panneau, selon le rythme de bétonnage. Le béton peut être ainsi soigneusement pervibré. Ce mode de faire permet d'assurer l'étayage immédiat du tunnel et de réaliser en même temps l'anneau de support. Autre grand avantage, le rocher est immédiatement bloqué, ce qui empêche d'une part son pourrissement et d'autre part le développement de la pression de dislocation (fig. 2 et 3).

Tout au long du percement des tunnels, on a pu se rendre compte de la valeur du système d'étayage choisi, particulièrement bien adapté aux conditions géologiques des ouvrages.



(Photo Germond)

Fig. 3. — Tunnel de Chauderon.

L'un des problèmes les plus délicats qui se soient posés lors du percement de ces tunnels fut celui de l'ébranlement des immeubles situés aux alentours. La vitesse d'ébranlement des constructions environnantes ne devait pas dépasser 15 mm/sec à Chauderon et à Criblette, tandis qu'à Belmont, vu la proximité des maisons, cette vitesse était réduite à 8 mm/sec. Ce problème fut résolu de manière satisfaisante grâce à la mise au point de plans de minage appropriés, faisant appel à toute la gamme des détonateurs milliretard.

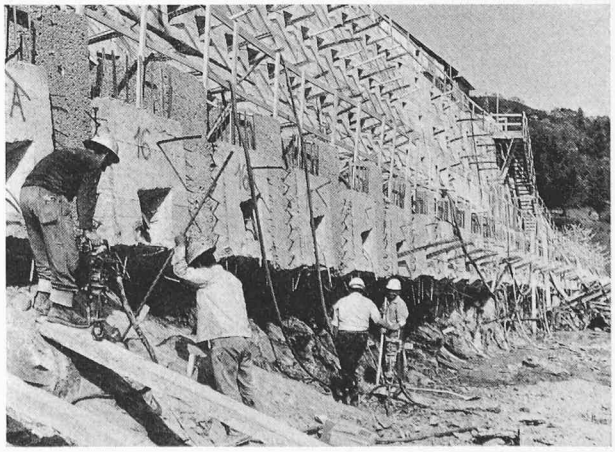
Outre ce problème d'ébranlement, on eut à faire face, dans le tunnel amont de Belmont, à un éboulement assez spectaculaire !

Lors du percement de la calotte, on a croisé à quelque 50 m. du portail Sud-Est, une ancienne galerie de mine de charbon, sensiblement perpendiculaire à l'axe du tunnel. Cet obstacle fut franchi sans trop de difficulté et, pour prévenir un accident possible au moment de l'excavation du noyau, on remplit de béton cette galerie sur quelque 3 m de longueur de part et d'autre du tunnel, réalisant ainsi 2 ergots d'appui solidaires de la voûte. Malheureusement, personne ne pouvait déceler, sous l'un des ergots, la présence d'une cavité, remblayée, il est vrai. Lors de l'excavation du noyau, cette cavité fut mise à jour et le matériel qui la remplissait, gorgé d'eau. s'éboula. L'ergot bétonné juste sur cette cavité se trouva ainsi suspendu à la voûte qui se rompit sous le poids des quelque 10 à 15 m^3 de béton le constituant. A cet endroit, le recouvrement était très faible — les fondations d'une villa située exactement au-dessus, se trouvaient à 4,50 m environ au-dessus de la voûte — de sorte que la rupture se propagea jusqu'en surface et ce fut l'effondrement local du tunnel. Le cratère ainsi provoqué fut immédiatement remblayé afin d'empêcher le glissement du versant, la masse remblayée fut ensuite injectée, ce qui permit de traverser la zone éboulée sans trop de difficulté. Il est intéressant de noter que l'examen de la rupture montre que celle-ci correspondait assez exactement à l'image de rupture proposée par Terzaghi.

5. Murs ancrés

L'exécution de murs ancrés pour le soutènement des parois amont des tranchées d'accès aux tunnels de Chauderon et de Criblette a été rendue nécessaire par l'impossibilité de garantir la stabilité du terrain pendant la construction des soutènements.

L'excavation est exécutée par étapes descendantes successives (fig. 4). Chaque étape garantissant la sécurité d'exécution de la suivante puisque les câbles d'une étape sont placés



(Photo Germond)

Fig. 4. — Mur de Criblette. Reprise des piliers en sous-œuvre.

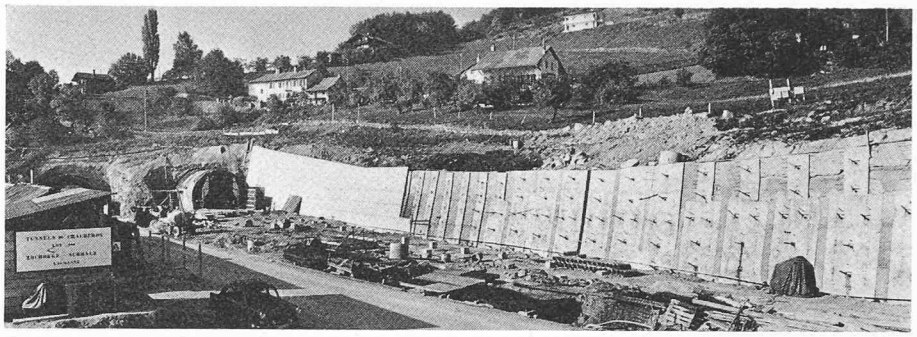


Fig. 5. — Mur de Chauderon. Vue d'ensemble, piliers et placage. (Photo Germond)

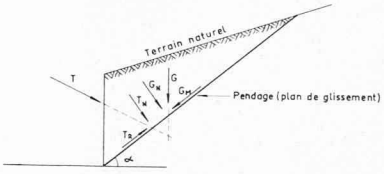


Fig. 6. — Méthode d'équilibre. Schéma des forces.

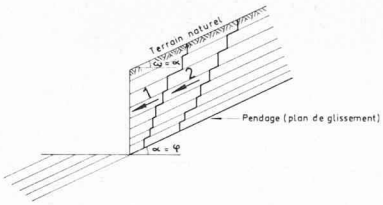


Fig. 7. — Schéma de glissement couche sur couche.

et tendus avant de descendre d'un étage. Les câbles prennent appui sur des piliers exécutés par reprise en sous-œuvre. Dès la mise en tension complète, on procède au clavage des différents éléments du pilier. Entre chaque pilier, un voile de béton poreux est exécuté qui fonctionne comme chemise de drainage. Le tout est ensuite recouvert d'un placage en béton armé, exécuté à partir du bas.

A Chauderon, le problème du soutènement se pose de la façon suivante : retenir les terrains de couverture glissant sur le fond rocheux arrivant à fleur du niveau de la chaussée.

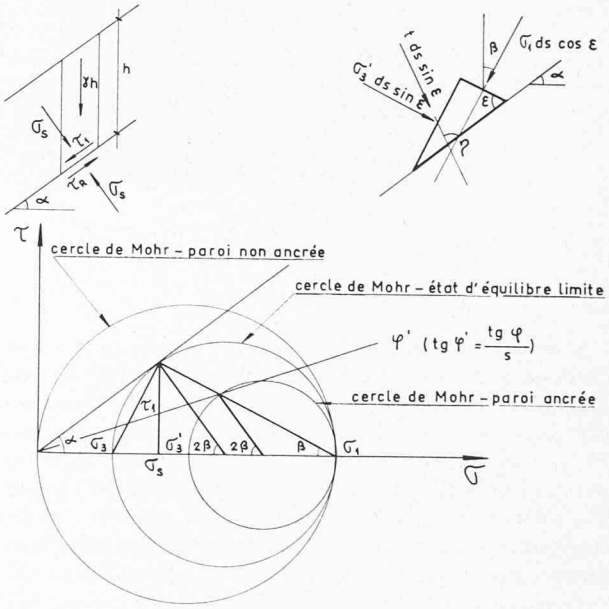


Fig. 8. — Etats de contraintes. Cercles de Mohr.

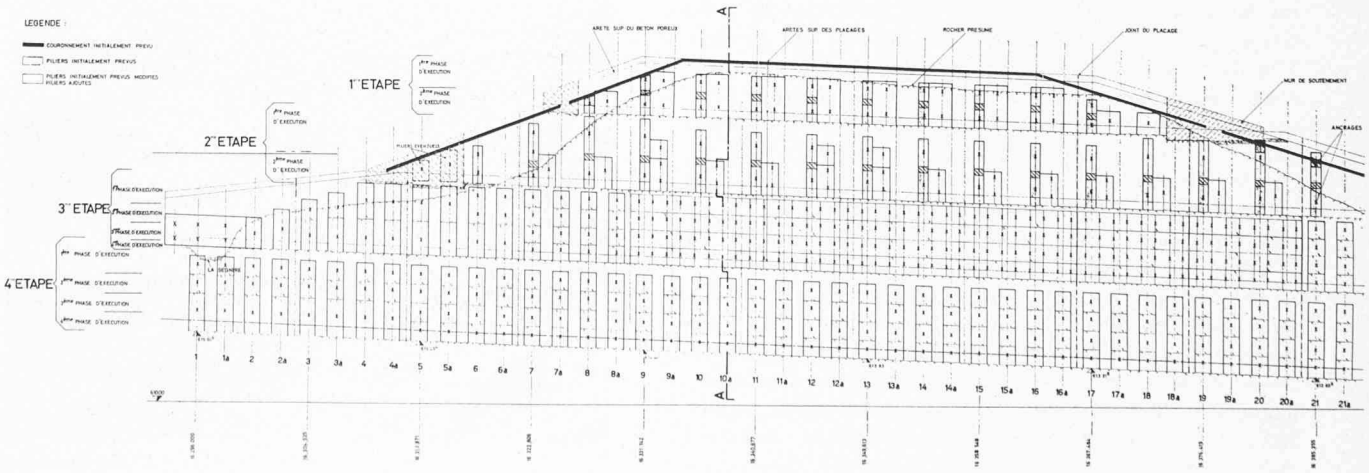


Fig. 9. — Mur de Criblette. Elévation.

Le calcul de la poussée a été fait selon la méthode de Coulomb. Les tirants précontraints ont été calculés en prenant la répartition des poussées proposée par Terzaghi (diagramme trapézoïdal).

Tous les câbles sont ancrés dans le rocher. Ils sont utilisés à 0,65 β_z (β_z = limite de rupture) afin de constituer une réserve de tension : cette réserve est due à la difficulté du choix de la valeur de l'angle de frottement interne φ qui varie de 12° à 28° selon les zones.

Les murs ancrés de Chauderon présentent une face continue sur toute la hauteur. Le placage est découpé en panneaux de 1,50 × 3,0 m correspondant à l'écartement des piliers qu'il recouvre (fig. 5).

La hauteur des étapes d'exécution de ces piliers est en principe de 3,0 m. Cependant, au SE, l'instabilité des terrains de couverture est telle que ces étapes sont réduites de moitié. Par endroits même, les piliers sont remplacés par des voiles. L'exécution de ces parois a nécessité la mise en œuvre de quelque 850 câbles environ dont la valeur nominale varie de 11 à 70 t selon la hauteur. Ces 850 câbles se répartissent de la façon suivante :

— paroi NO (long. 144 m haut. max. 14 m) : 300 câbles environ,
— paroi SE (long. 294 m haut. max. 14 m) : 550 câbles environ.

L'exécution du mur ancré SE n'alla pas sans quelques difficultés, notamment dans la partie médiane où l'on constata en cours de travail d'importantes baisses de tension des câbles. Il ne s'agissait heureusement pas d'un claquage général des scellements mais d'un glissement des piliers vers le bas, accompagné d'une rotation dont la cause devait être trouvée dans la très mauvaise tenue des terrains, puisque les phénomènes observés cessèrent totalement à l'achèvement des piliers.

A Criblette, il s'agit de retenir une paroi de molasse susceptible de former un glissement couche sur couche, dont le pendage accuse une pente sensiblement égale à celle du terrain naturel. Etant donné cette particularité, la détermination de la poussée ne peut guère se faire par la méthode d'équilibre, méthode selon laquelle la masse rocheuse au-dessus d'une discontinuité doit être en équilibre sous l'action du poids propre et des efforts extérieurs (fig. 6).

En effet, l'observation de quelques glissements rocheux, couche sur couche, montre que ce n'est pas le versant entier qui se met en mouvement mais qu'un premier glissement de dimensions réduites se forme d'abord au gré des fissures du massif à l'amont. En enlevant cette masse, un deuxième glissement se déclenche et ainsi de suite (fig. 7).

Il suffit donc d'empêcher le premier glissement pour stabiliser tout le versant. Cette considération amène alors à déterminer les forces d'ancrage nécessaires au soutènement en examinant l'état des contraintes qui règnent dans le terrain avant et après l'ouverture de la tranchée. Il suffit de maintenir à l'intérieur du massif un état de contrainte tel que l'équilibre soit conservé avec une sécurité suffisante. Le problème qui se pose alors est celui de la direction des contraintes principales. Cette direction est comprise entre deux limites. Dans le cas d'un versant dont la pente est égale au pendage et à l'angle de frottement, la contrainte principale σ_1 est au plus inclinée, par rapport à la verticale, d'un angle $\beta = 45 - \frac{\varphi}{2}$. Cette valeur est la limite supérieure tandis que $\beta = 0$ en est la limite inférieure (fig. 8).

Le mur de Criblette, dont la hauteur maximale atteint 24 m pour une longueur de 150 m, est réalisé par gradins successifs dont les faces verticales ancrées ont une hauteur unitaire de 6 m et les faces horizontales une largeur de 3 m. Ce mode de faire facilite d'une part l'exécution des travaux et d'autre part tend à éviter aux futurs usagers de l'autoroute une impression d'écrasement (fig. 9 et 10).

En cours de travaux, la mise au jour de plans de glissement tectoniques, composés en général de minces plaques de calcite recouvertes d'oxyde de fer très gras et d'argile humide, provoqua une amorce sérieuse de glissement. Les études préliminaires avaient conduit au choix d'un angle de frottement interne $\varphi = 30°$ pour une cohésion $c = 0$. Les essais réalisés immédiatement sur ces plans de glissement tectoniques ont fait alors apparaître un angle de frottement $\varphi = 15°$, pour une cohésion $c = 0$, aussi fallut-il revoir tout le problème du dimensionnement des tirants.

C'est ainsi que du projet initial l'on dut passer à la mise en œuvre de nouveaux ancrages de toutes dimensions jusqu'à 170 t, certains câbles placés jusqu'ici ayant atteint leur limite de rupture. Les étapes d'exécution des piliers durent être diminuées de 3,0 à 1,5 m de même que l'entre-axe des piliers qui passa de 4,50 m à 2,25 m quand il ne fallut pas exécuter un bandeau continu pour supporter les têtes d'ancrage.

Adresse de l'auteur :
G. Betschen, Société Générale pour l'Industrie
9, ch. des Délices, 1006 Lausanne

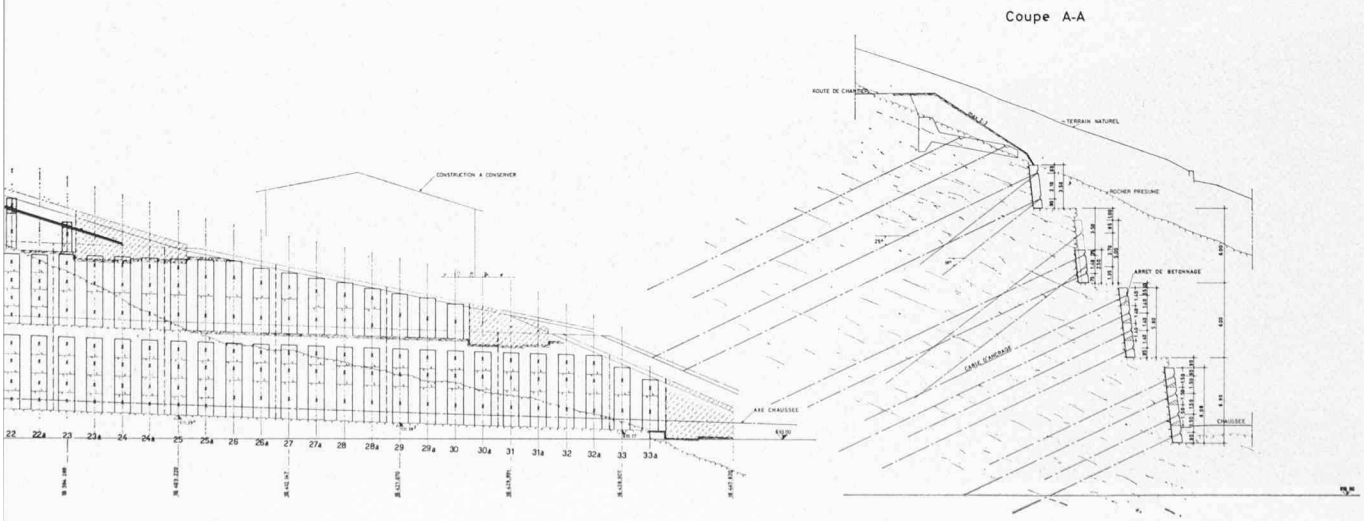


Fig. 10. — Mur de Criblette. Coupe.