

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	91 (1973)
Heft:	12: SIA-Heft, Nr. 3/1973: Untertagebau
Artikel:	Étude de corrélations entre la géologie, les propriétés mécaniques et la forabilité des roches de Crespera-Gemmo
Autor:	Descœudres, F. / Rechsteiner, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-71830

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: 23.02.2026

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

reicht, und dies ist durch die starke Verzahnung der Hornblende im Gesteinsgefüge verursacht.

Interessant in bezug auf die Stabilitätsverhältnisse ist der Vergleich mit dem darunterliegenden Stollen Lugano-Piano del Vedeggio, der mit konventionellen Mitteln vorgetrieben wurde.

In beiden Fällen haben die Zunahme der Schiefrigkeit, die ungünstige Lagerung der Schieferung und der Schichtung gegenüber der Stollenachse, die Zunahme der Intensität der Diaklase, das ungünstige Zusammentreffen der Trennflächen und noch mehr das Zusammenwirken von zwei oder mehreren ungünstigen Faktoren die Standfestigkeit des Gewölbes und der Paramente deutlich beeinträchtigt. Ganz verschieden war dagegen die Reaktionsgeschwindigkeit: die ungünstigen Erscheinungen sind im konventionell vorgetriebenen Stollen unmittelbar nach dem Sprengen aufgetreten, währenddem sie im gebohrten erst mit einer Verzögerung von Wochen oder Monaten zum Ausdruck gekommen sind.

Die experimentell gewonnenen felsmechanischen Daten werden in der folgenden Arbeit interpretiert und mit den Vortriebsleistungen in Beziehung gebracht.

Adresse der Verfasser: Prof. ETHZ Dr. E. Dal Vesco, Zürcherstrasse 62, 8102 Oberengstringen, und Hannes Wanner, Geologisches Institut ETH Zürich.

Résumé

On décrit le système de galeries réalisé par la ville de Lugano pour la pose de câbles à haute tension et téléphoniques, de conduites d'eau potable et de canalisations d'eau usées. On examine quelques problèmes relatifs à la construction. La première galerie construite en 1965/66 avec des

méthodes conventionnelles relie le centre de la ville avec la plaine du Vedeggio. La deuxième dont la première étape de Crespera à Gemmo a été construite en 1971 à l'aide d'une foreuse Robbins relie Massagno à Paradiso et Pambio-Noranco. A Gemmo les deux galeries sont reliées par un puits entr'elles et avec la surface.

Dans une deuxième partie de l'article on essaye de mettre en évidence la multiplicité des conditions géologiques et géotechniques de la galerie Crespera-Gemmo, afin de créer les bases pour une interprétation de mécanique des roches. On compare en outre le comportement de deux galeries creusées dans la même roche, une avec une foreuse mécanique, l'autre par la méthode traditionnelle.

Summary

The system of galleries built by the Town of Lugano, in order to place power and telephone cables, drinking-water ducts and sewers is described. Some questions related to the construction are exposed. The first gallery built 1965/66 with traditional means leads from the center of the town to the Vedeggio-Valley. The second tube of which the first part was bored 1971 by mean of a Robbins Tunnel-Machine, will join Massagno with Pambio-Noranco. Both galleries are connected with the surface by a shaft in Gemmo.

In a second part of the paper the complex geological and geomechanical conditions of the tunnel Crespera-Gemmo are dealt with, in order to create the basis for a rock-mechanic interpretation of the construction. The behavior of the first tunnel built by mean of blasting and that of the second one bored mechanically in the same rocks are compared with one another.

Étude de corrélations entre la géologie, les propriétés mécaniques et la forabilité des roches de Crespera-Gemmo

DK 624.19:624.121

Par F. Descœudres, Lausanne et G. Rechsteiner, Locarno

A l'occasion du percement de la galerie de Crespera-Gemmo, on a procédé à un ensemble d'observations et de mesures comprenant: un levé géologique du profil en long; la mesure de l'avancement et de la poussée de la machine à forer dans 62 sections; des essais d'écrasement ponctuel en laboratoire sur des échantillons prélevés dans ces mêmes sections.

Des corrélations ont été établies entre ces différents éléments dans le but d'apporter une contribution à l'étude du problème de la forabilité des par des machines à pleine section massifs rocheux.

Introduction

La recherche de corrélations entre les caractéristiques géologiques des massifs rocheux et leurs propriétés mécaniques constitue l'une des tâches importantes de la mécanique des roches actuelle. Il s'agit de trouver, en complément de la description qualitative du géologue ou du pétrographe, une caractérisation numérique du comportement mécanique d'un massif à partir d'essais simples sur échantillons en laboratoire ou *in situ*.

L'application de telles recherches au domaine particulier des machines à forer a été souvent tentée, notamment par Deere [1], Gaye [2] et Muir Wood [3]. On en comprendra l'intérêt pratique si l'on considère qu'elles devraient permettre de répondre aux questions essentielles de la décision d'utilisation du procédé, du choix de la machine et de la

prévision des rendements qu'on peut attendre dans un complexe rocheux donné.

Le creusement de la galerie de Crespera-Gemmo a permis de mettre en œuvre une méthode d'approche de ce problème fort complexe en recourant à la géologie (levé du profil de la galerie), à la surveillance des travaux (mesure systématique de l'avancement de la machine et de la poussée exercée) et à la mécanique des roches (essais d'écrasement ponctuel avec mesure de l'énergie de déformation sur échantillons carottés). L'ensemble des résultats est représenté schématiquement sur la fig. 1.

Le but de cet article est de présenter cette étude intéressante dans la mesure où une bonne corrélation permettrait de prévoir grossièrement la vitesse d'avancement de la machine à forer utilisée dans des roches semblables à celles de Crespera-Gemmo sur la base d'essais en laboratoire.

Une première partie est consacrée aux essais d'identification mécanique effectués au Laboratoire de géotechnique de l'EPFL; la corrélation entre la vitesse de forage et la résistance à l'écrasement fait l'objet de la seconde partie.

I. Essais d'identification mécanique des roches

1. Choix du type d'essai

La recherche d'une corrélation entre des essais sur échantillons et les performances d'une machine à forer pourrait inciter à développer un essai spécifique simulant aussi

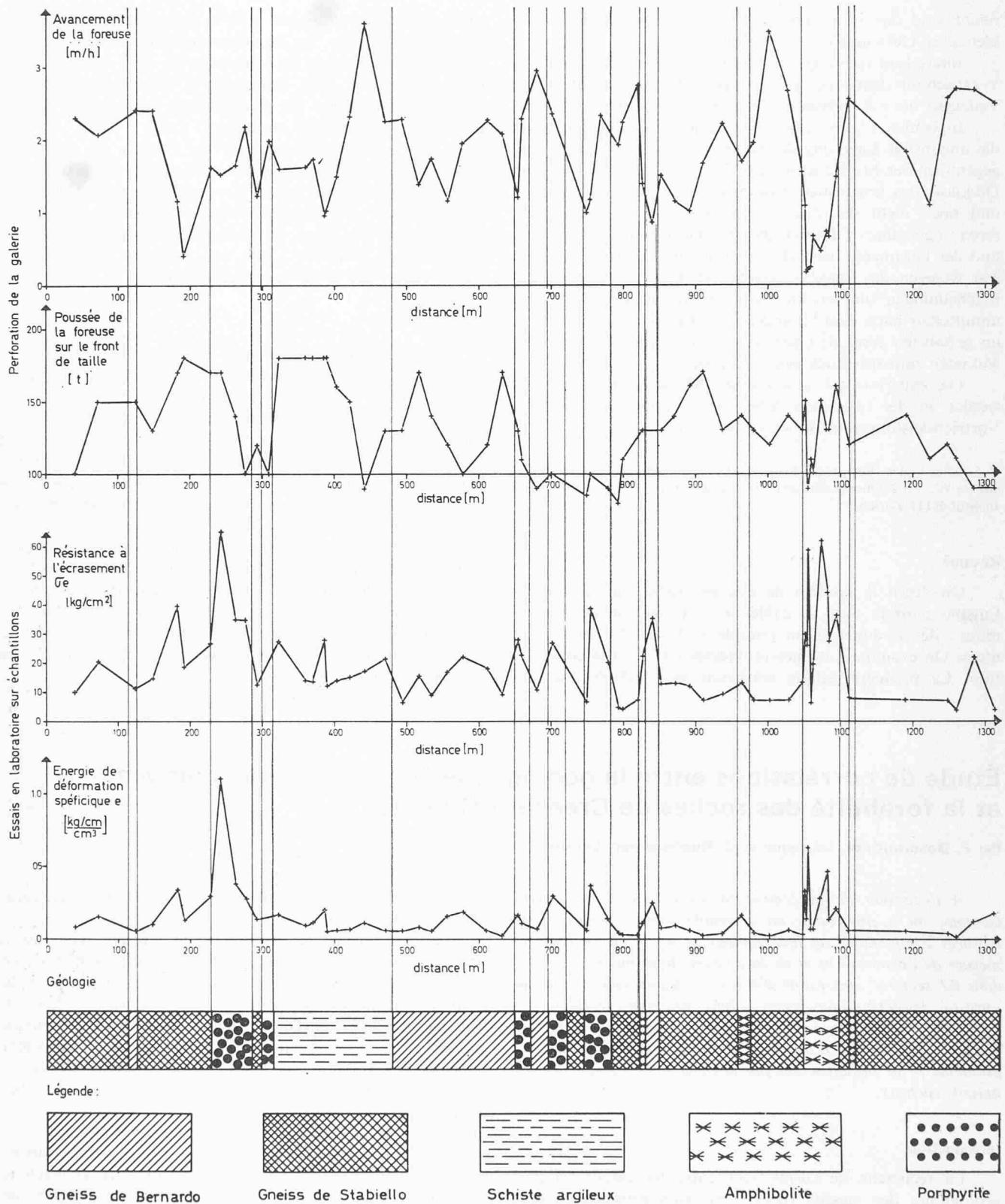


Fig. 1. Ensemble des mesures effectuées pour la galerie de Crespera-Gemmo

bien que possible l'action mécanique de la foreuse d'un type donné. Cette voie nous paraît fausse: outre son manque de généralité, elle se heurte immédiatement à la complexité du phénomène mécanique à simuler, à l'effet d'échelle – d'autant plus important que le massif rocheux est fissuré – et à des difficultés d'exécution des essais.

L'autre attitude, que nous avons adoptée, consiste à rechercher un essai simple et éventuellement standard qui

présente l'avantage d'être universel pour les corrélations avec la géologie, tout en restant si possible représentatif de l'action mécanique de la machine avec le respect de l'orientation des efforts exercés dans le massif rocheux.

L'essai d'écrasement ponctuel finalement choisi n'est pas nouveau et son utilisation en laboratoire est très courante aussi bien aux Etats-Unis que dans les pays d'Europe de l'Est et dans nos régions. En Angleterre, cet essai a même été

Fig. 2 (à gauche). Effet de l'élançement des éprouvettes dans l'essai d'écrasement ponctuel (sur du plâtre)

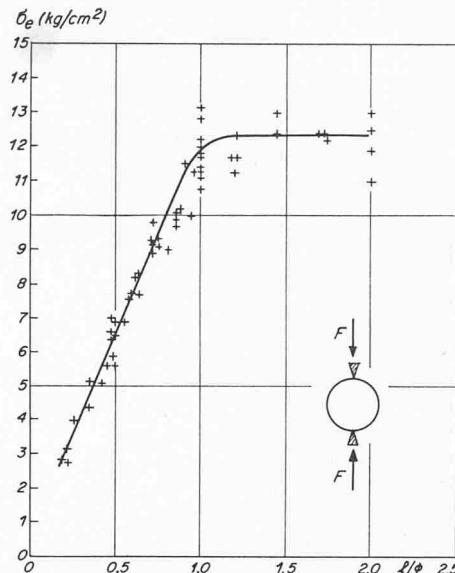


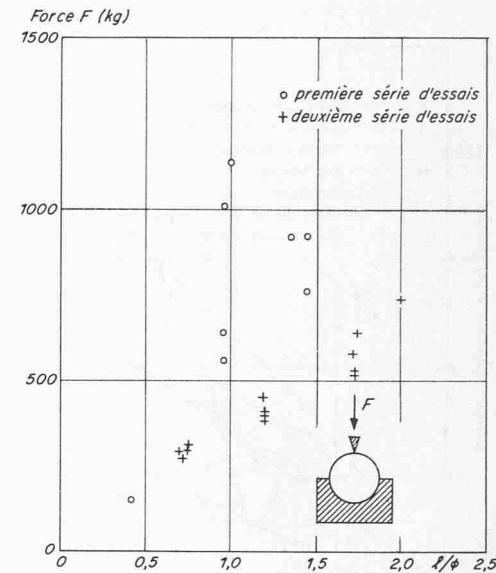
Fig. 3 (à droite). Effet de l'élançement des éprouvettes frettées dans l'essai d'écrasement ponctuel (sur du plâtre)

introduit par *Franklin et al.* [4] sur les chantiers pour tester les carottes de sondages au moyen d'un appareil développé à l'Imperial College.

L'essai consiste à appliquer à la surface d'une éprouvette généralement cylindrique une charge de compression aux deux extrémités d'un diamètre dans une section médiane de l'éprouvette. Au Laboratoire de géotechnique de l'EPF de Lausanne, l'essai est complété par l'enregistrement de la courbe charge-déformation diamétrale jusqu'à la rupture où l'on définit la résistance à l'écrasement σ_e comme la force de rupture divisée par le carré du diamètre de l'éprouvette. L'essai mesure en fait essentiellement la résistance à la traction de la roche, de façon à peu près analogue à l'essai brésilien, tout en impliquant un broyage ponctuel préalable sous les deux points d'appui.

Dans le cas de l'étude de forabilité de Crespera-Gemmo, l'essai décrit plus haut présentait de nombreux avantages:

- La nature schisteuse des roches se prêtait mal au carottage in situ d'éprouvettes assez longues pour qu'on puisse tailler les extrémités et effectuer des essais tels que la compression uni ou triaxiale par exemple. L'essai d'écrasement ponctuel ne nécessite aucune préparation des éprouvettes et donne des valeurs de résistance stables dès que la longueur de l'échantillon est de l'ordre du diamètre, comme nous l'avons vérifié sur des éprouvettes en plâtre d'élançement variable (fig. 2). Les essais ont pu ainsi être exécutés pratiquement sur tous les morceaux de carottes obtenus.
- Sur une roche homogène, la dispersion des résultats est remarquablement faible puisque sur des éprouvettes en plâtre le coefficient de variation est de 6% sur une vingtaine d'essais. Par contre nous avons essayé – et abandonné – des mesures de résistance sur des éprouvettes cylindriques scellées sur leur moitié inférieure dans du mortier, cela pour tenter de simuler l'action de frettage du massif rocheux lors du travail des disques de la foreuse. La fig. 3 montre les résultats de deux séries d'essais, en fonction de l'élançement des éprouvettes, qui sont trop dispersés pour la première série et non satisfaisants pour la deuxième car ils correspondent à l'apparition d'une première fissure dans l'éprouvette avec décollement du frettage et pas à l'éclatement de la roche. D'autre part, la préparation des essais était fort longue et délicate, ce qui n'est pas indiqué pour des essais d'index.
- L'orientation des carottes était repérée au moment du prélèvement dans des sections perpendiculaires à l'axe de la galerie; l'écrasement fut opéré dans la direction de travail



de la machine à forer. Cela n'aurait pas été possible avec des éprouvettes écrasées axialement.

- La rupture en traction de l'éprouvette correspond probablement mieux à l'action de la foreuse utilisée à Crespera-Gemmo que l'écrasement en compression simple. De toute façon, l'excellente corrélation entre essais d'écrasement ponctuel et essais de compression simple sur les roches homogènes cristallines ou sédimentaires est un fait aujourd'hui acquis, depuis les travaux de *d'Andrea et al.* [5] en particulier. Même dans le cas des carottes provenant des sondages de Crespera-Gemmo (préalables à l'exécution de la galerie) où les roches sont très hétérogènes, anisotropes et fissurées, on retrouve malgré une dispersion explicable une assez bonne corrélation entre essais d'écrasement ponctuel et essais de compression simple, ainsi qu'entre essais d'écrasement ponctuel et essais de traction transversale. Le rapport des résistances est de 1:17 dans le premier cas – donc parfaitement habituel – et de 1:3 dans le second.
- La simplicité et la rapidité d'exécution des essais d'écrasement ponctuel en font une base idéale pour la corrélation avec la géologie d'autant plus que les résultats ne dépendent pratiquement pas des conditions d'appui et des caractéristiques de la presse comme dans d'autres essais plus élaborés. L'intérêt des essais d'écrasement ponctuel est d'autre part rehaussé par le fait qu'ils peuvent être comparés avec les essais d'écrasement selon *Protodiakonov* [6] exécutés sur des échantillons de forme absolument quelconque, et qui sont pratiqués un peu partout.

2. Déroulement des essais

Les échantillons de 55 mm de diamètre furent prélevés sur 62 sections de galerie, distantes en moyenne de 20 m les unes des autres, à raison de deux échantillons par section, l'un carotté horizontalement, l'autre obliquement à 30° sur l'horizontale. L'idée initiale était de carotter dans deux directions perpendiculaires pour éliminer autant que possible l'effet du pendage – très variable –, mais des raisons pratiques s'y sont opposées. L'orientation des échantillons était notée sur place.

Les sections ont été soigneusement situées le long de la progressive, ce qui a permis, à l'aide du levé géologique, de noter leur appartenance à l'un des cinq types de roches rencontrés:

- *Gneiss de Stabiello*
- *Gneiss de St-Bernardo*

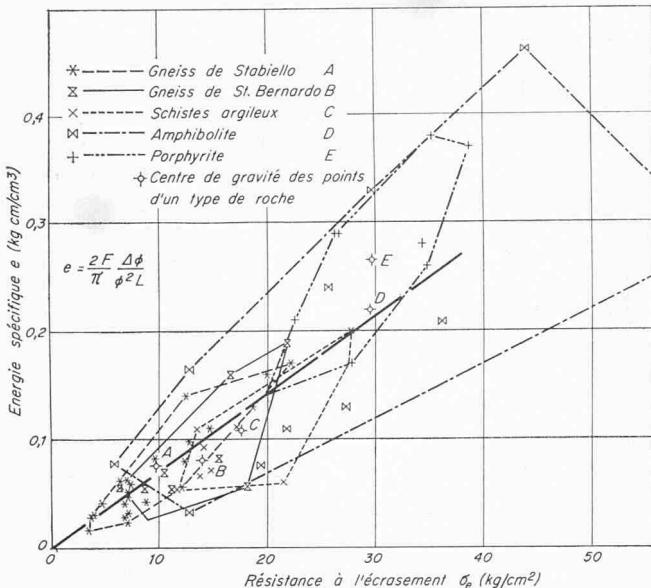


Fig. 4. Corrélation entre la résistance à l'écrasement ponctuel et l'énergie de déformation spécifique (sur des échantillons de la galerie de Crespera-Gemmo)

- Schistes argileux et phyllonite
- Amphibolite épidotique et schistes de hornblende
- Porphyrite et porphyrite quartzique

Par la suite les noms en italiques seront utilisés pour désigner les types de roche.

Sur chaque échantillon plusieurs essais d'écrasement ont été exécutés selon le nombre et la longueur des morceaux, en général 2 à 3 par échantillon. Les valeurs $\sigma_e = F/d^2$, reportées sur la fig. 1, correspondent donc à des résistances moyennes obtenues pour 2 directions à partir de 4 à 6 essais. Il en va de même pour l'énergie spécifique de déformation e , qui, du fait que la courbe charge-déformation était pratiquement une droite jusqu'à la rupture, peut s'écrire:

$$e = \frac{2F}{\pi} \frac{\Delta d}{d^2 L}$$

où:

F = charge de rupture

d = diamètre de l'échantillon

Δd = raccourcissement à la rupture

L = longueur de l'échantillon

3. Interprétation des essais

La fig. 1 montre clairement une certaine corrélation entre les essais et la géologie. La correspondance apparaît plus précisément si l'on examine statistiquement les résultats comme le résume le tableau 1 où l'on a reporté pour chaque groupe géologique la moyenne arithmétique \bar{X} , l'écart-type S et le coefficient de variation $\bar{S} = S/\bar{X}$ en %.

On constate deux faits importants:

- La dispersion des résultats pour chaque groupe géologique est plus faible que pour l'ensemble des échantillons et la classification a donc une signification.
- Les 4 premiers groupes concernent des roches de nature schisteuse alors que le cinquième est constitué par les porphyrites à structure microlitique. La dispersion pour ce dernier groupe est nettement inférieure à celle de tous les autres, ce qui s'explique parfaitement par la différence de structure, l'une étant isotrope, les autres tourmentées et fortement anisotropes, affectant par conséquent les résultats d'essais.

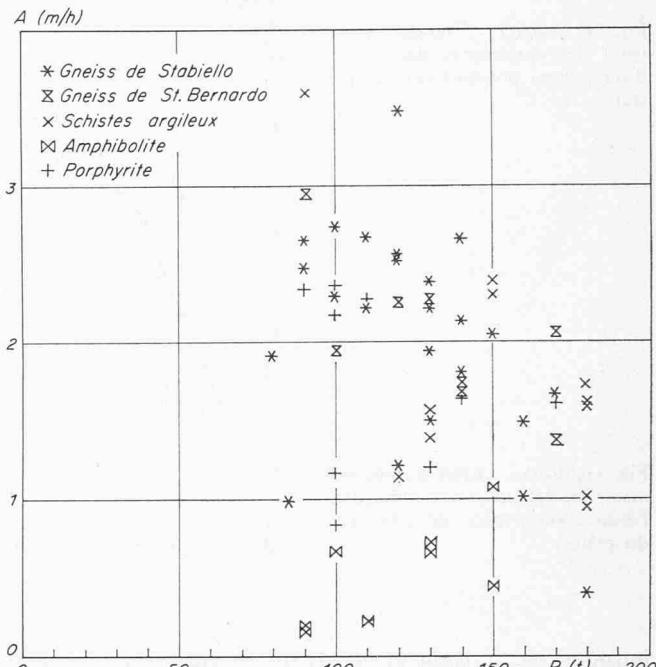


Fig. 5. Relation entre l'avancement A et la poussée P

La relation entre la résistance à l'écrasement et l'énergie de déformation a été d'autre part étudiée (fig. 4). La corrélation est plus ou moins bonne suivant que les résistances sont faibles ou relativement élevées, mais si l'on considère les valeurs moyennes des différents groupes géologiques, on observe que les porphyrites s'écartent de la loi générale des 4 autres groupes schisteux, ce qui vient en confirmation de la remarque précédente.

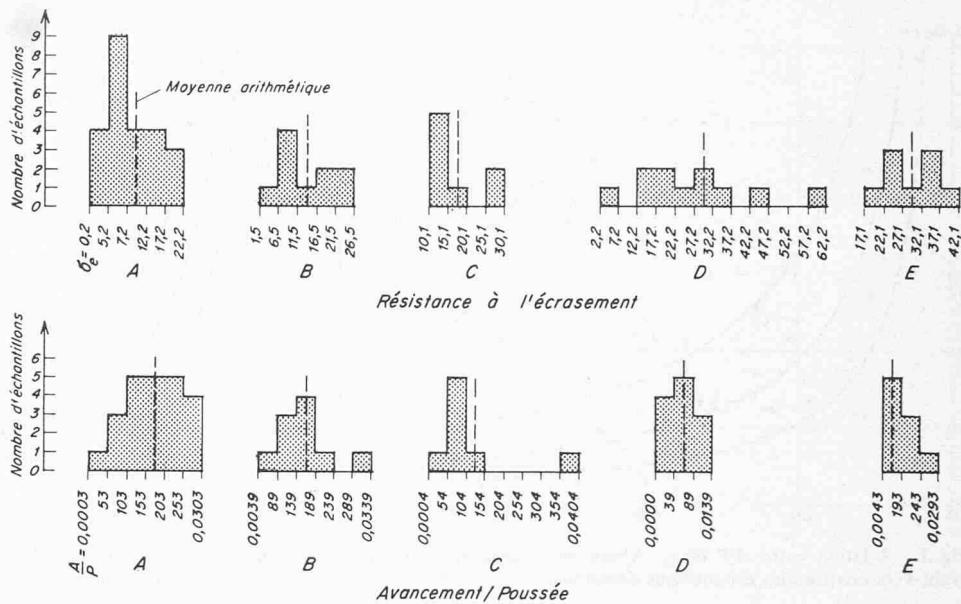
En conclusion, l'essai d'écrasement ponctuel constitue un essai d'index satisfaisant pour l'établissement de corrélations avec la géologie des massifs rocheux, en respectant les conditions de simplicité d'exécution, de reproductibilité et d'utilisation universelle sur tous les types de roche et de carotte de sondages. Dans les massifs fissurés, il devrait être associé à un coefficient du type RQD ou espacement des fractures.

Tableau 1. Interprétation statistique des essais d'écrasement

Groupe géologique	Résistance σ_e (kg/cm²)	Energie spéc. e (kg cm/cm³)	Nombre d'essais
Gneiss de Stabiello	\bar{X} 9,7	0,076	83
	S 5,2	0,049	
	\bar{S} 54 %	65 %	
Gneiss de St-Bernard	\bar{X} 14,0	0,081	36
	S 5,6	0,052	
	\bar{S} 40 %	64 %	
Schistes argileux	\bar{X} 17,6	0,110	29
	S 6,4	0,051	
	\bar{S} 37 %	47 %	
Amphibolite	\bar{X} 29,7	0,220	43
	S 17,6	0,178	
	\bar{S} 59 %	81 %	
Porphyrite	\bar{X} 29,6	0,266	32
	S 6,4	0,082	
	\bar{S} 22 %	31 %	
Total	\bar{X} 18,1	0,136	223
	S 12,5	0,118	
	\bar{S} 69 %	86 %	

Fig. 6. Diagrammes de répartition

- A Gneiss de Stabiello
- B Gneiss de St-Bernardo
- C Schistes argileux
- D Amphibolite
- E Porphyrite



II. Corrélation entre la vitesse de forage et la résistance à l'écrasement

1. Généralités

Les foreuses à pleine section ont fait leur apparition il y a quelques années déjà. Utilisées à bon escient, elles offrent des avantages certains par rapport aux méthodes traditionnelles, ne serait-ce que par l'économie de main-d'œuvre sur le chantier, la rapidité d'avancement et la propreté d'exécution. Il existe actuellement une grande variété de foreuses qui diffèrent par la forme de la tête, la disposition, le nombre, le type et la forme des couteaux, la puissance, la vitesse de rotation, le diamètre, etc.

Le grand nombre de paramètres et le manque d'études systématiques et d'informations disponibles dans ce domaine nouveau rendent difficile la prévision des performances à l'avancement des foreuses, contrairement aux méthodes traditionnelles. A une époque où la planification des chantiers est toujours plus poussée, cette lacune constitue un grave inconvénient; en même temps, elle est difficile à combler, tant il est vrai qu'une loi valable pour toutes les foreuses, permettant de prévoir leur vitesse de perforation, est actuellement impensable. Le problème se simplifie dès qu'il est posé pour une machine précise. Il s'agit ici de chercher s'il existe une corrélation entre la vitesse de perforation de la machine Robbins et la résistance à l'écrasement d'échantillons de roche prélevés dans la galerie et essayés en laboratoire.

2. Brève description de la foreuse

Les principales données techniques sur la foreuse Robbins utilisée sont les suivantes:

Modèle	111-117
Longueur de la foreuse	11,5 m
Diamètre foré	3,5 m
Poids total	58 t
Puissance des moteurs de rotation:	4 x 100 CV
Puissance du moteur hydraulique (presses et pistons)	20 CV
Vitesse de rotation	7 T/min

3. Inventaire des renseignements

A part les renseignements géologiques et de laboratoire déjà mentionnés dans la première partie, on a recueilli des renseignements mécaniques «*in situ*», consistant à mesurer l'avancement horaire dans chaque section. Pour cela, on a

chronométré le temps nécessaire à perforer une longueur de 50 cm pour 60 sections, et une longueur de 1 m pour les deux autres. On a, de plus, noté chaque fois la poussée exercée par les pistons hydrauliques. Enfin, on a reporté dans la coupe géologique les endroits où l'on a changé des couteaux en précisant leur nombre. La fig. 1 contient la récapitulation des grandeurs mesurées en chaque section.

4. Petite étude statistique

Avant de commencer l'étude de corrélation proprement dite, il nous a paru utile de procéder à un examen statistique des grandeurs mécaniques qui caractérisent les sections, pour juger de l'homogénéité de chaque type de roche.

Il apparaît d'emblée que l'on ne peut étudier séparément l'avancement A et la poussée P . Ces deux grandeurs sont liées entre elles, car l'une croît avec l'autre, ceci du moins pour les faibles poussées. On peut essayer de dégager la nature de la relation entre A et P à l'aide du graphique qui les lie (fig. 5).

Le domaine de variation de P est compris entre 80 et 180 t. Les courbes (P, A) passent certainement par l'origine. La fig. 5 ne permet pas de les définir plus exactement. On a admis, à défaut de mieux, que la relation entre A et P est linéaire. La première grandeur à analyser est ainsi A/P . L'erreur commise en admettant la linéarité est d'ailleurs faible, car le domaine de variation de P est restreint.

La deuxième grandeur, comme nous l'avons vu dans la première partie, est la résistance à l'écrasement σ_e . Pour chaque type de roche, on a calculé la moyenne arithmétique, l'écart-type et le coefficient de variation sur A/P . Les résultats du calcul apparaissent dans le tableau 2, où l'on a repris les mêmes grandeurs statistiques pour σ_e à titre de comparaison.

Dans la fig. 6, on a représenté les diagrammes de répartition des valeurs A/P et σ_e pour chaque type de roche.

Une remarque s'impose d'emblée: le nombre de résultats pour chaque type de roche est faible. D'une façon générale, les coefficients de variation sont élevés. Ils le sont plus pour A/P que pour σ_e . Cela peut s'expliquer par le fait que la loi entre A et P n'est probablement pas linéaire, comme nous l'avons admis. La seule roche ayant deux diagrammes de répartition qui se rapprochent de la loi normale est le gneiss de Stabiello. Pour les autres roches, lorsqu'un diagramme est satisfaisant, l'autre ne l'est pas. Le petit nombre d'échantillons rend illusoire une analyse plus poussée des diagrammes de répartition. En conclusion, l'étude a mis en évidence le rôle important joué par la schistosité sur les coefficients de

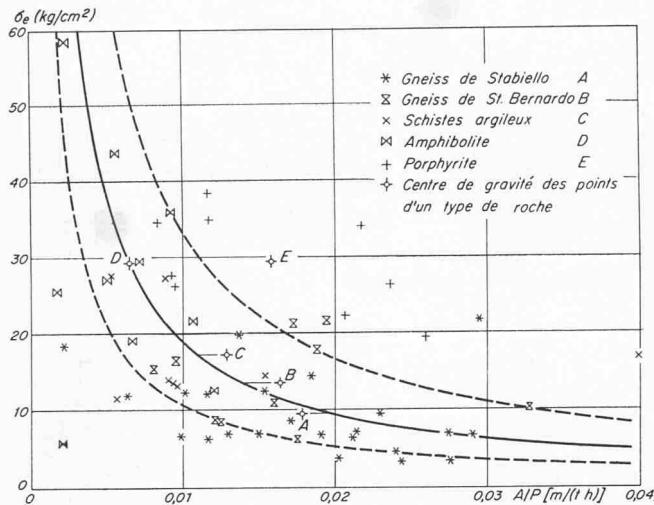


Fig. 7. Relation entre A/P et σ_e . Allure de la répartition des points avant l'élimination des échantillons défectueux

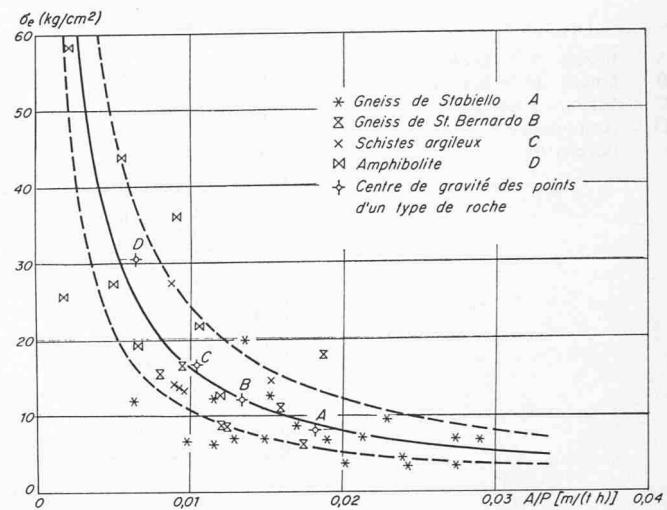


Fig. 8. Relation entre A/P et σ_e . Allure de la répartition des points après l'élimination des échantillons défectueux

variation de σ_e ; une roche, la porphyrite, a un coefficient de variation faible parce qu'elle est isotrope. Par ailleurs, autant les coefficients de variation que les diagrammes de répartition sont statistiquement peu satisfaisants. Nous ne pouvons par conséquent faire intervenir dans l'étude de corrélation d'autres grandeurs statistiques que les moyennes arithmétiques.

5. Etude de corrélation

Dans la suite nous allons analyser la relation entre A/P et σ_e exclusivement. Les raisons du choix de ces variables ont été exposées plus haut. Le choix de A/P doit être considéré pour l'instant comme un expédient, en attendant de mieux connaître la loi qui lie A et P .

L'utilité de l'étude de corrélation est de deux ordres: technique et financier.

- Comme mentionné plus haut, l'essai d'écrasement devrait permettre de connaître la vitesse d'avancement de la foreuse, à partir d'échantillons prélevés depuis la surface sur l'axe de la future galerie. On aurait ainsi une base solide pour l'établissement des programmes de travail et pour la planification de tous les postes dépendants du chantier de la galerie.
- L'essai d'écrasement en relation avec la vitesse d'avancement, pourrait constituer une base pour établir un décompte équitable des prestations de l'entreprise. Ce décompte ne pourra évidemment pas être basé uniquement sur l'essai d'écrasement, car d'autres facteurs, comme le pouvoir abrasif de la roche sur les couteaux, jouent un rôle important dans le calcul des prix.

Cet article n'a pas la prétention de permettre à lui seul d'atteindre ces buts. Il tend à montrer que d'autres études de corrélation, faites dans d'autres galeries, devraient contribuer à les atteindre à longue échéance.

Relation présumée entre A/P et σ_e

Pour un massif formé de plusieurs roches de structure semblable et de résistances à l'écrasement différentes, allant de zéro (cohésion nulle, par exemple) à des valeurs très élevées, la courbe graphique entre A/P et σ_e possède deux asymptotes qui coïncident avec les deux axes de coordonnées. Entre les deux asymptotes, l'évolution de A/P et σ_e a tout lieu de se dérouler sans anomalie. Il semble donc raisonnable de supposer que la relation entre A/P et σ_e est une hyperbole équilatérale rapportée aux axes de coordonnées. Son équation est

$$a \cdot (A/P) \cdot \sigma_e = 1$$

a est une constante pouvant dépendre en particulier de la structure de la roche.

Confrontation entre la relation présumée et la relation réelle

Dans la fig. 7, on a reporté les valeurs de A/P et σ_e des 62 échantillons: force est de constater que la répartition des points ainsi obtenus ne rappelle pas, à première vue, une hyperbole. En regardant la figure d'un peu plus près, on remarque cependant que les échantillons appartenant à un même type géologique sont assez groupés. Ainsi, les échantillons de gneiss de Stabiello se trouvent assez bas, à droite. Les gneiss de St-Bernardo, plus haut, à gauche. Cette constatation conduit à rechercher les centres de gravité des points de chaque type de roche. Ceux-ci sont représentés dans la fig. 7 par les points A, B, C, D et E.

Deux observations importantes peuvent dès lors être faites:

- Les centres de gravité de la porphyrite (point E) et de l'amphibolite (point D) sont nettement séparés des autres.
- Les quatre centres de gravité autres que celui de la porphyrite (points A, B, C et D) peuvent être reliés sans commettre une grande erreur par une hyperbole, représentée dans la fig. 7. Sa constante a est la moyenne pondérée des constantes des quatre hyperboles passant par chacun des points A, B, C et D. Le critère de pondération est le nombre d'échantillons de chaque classe.

Tableau 2. Résultats des calculs statistiques sur A/P et σ_e

Roche	Nombre de sections	A/P m/t.h	σ_e kg/cm²
Gneiss de Stabiello	23	\bar{X} 0,0178	9,7
		S 0,0074	5,2
		\bar{S} 42 %	54 %
Gneiss de St-Bernardo	10	\bar{X} 0,0164	14
		S 0,0069	5,6
		\bar{S} 42 %	40 %
Schistes argileux	8	\bar{X} 0,0129	17,6
		S 0,0113	8,4
		\bar{S} 88 %	36 %
Amphibolite	12	\bar{X} 0,0064	29,7
		S 0,0038	17,6
		\bar{S} 59 %	59 %
Porphyrite	9	\bar{X} 0,0158	29,6
		S 0,0070	6,4
		\bar{S} 44 %	22 %

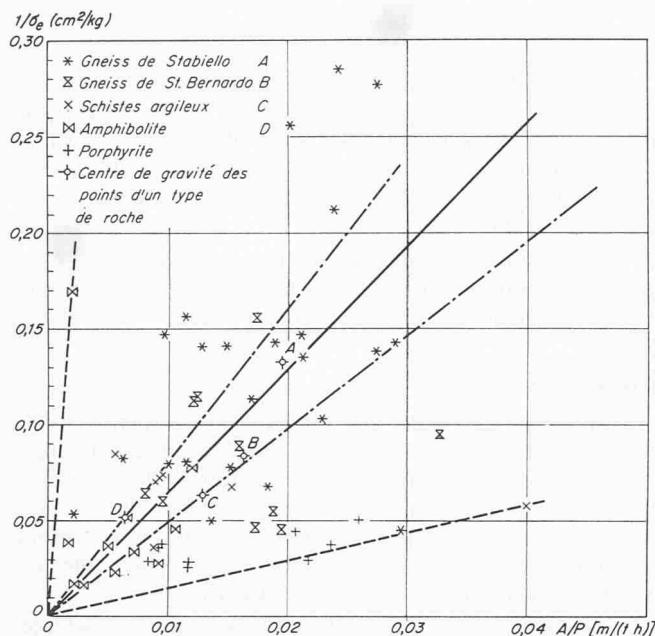


Fig. 9. Représentation linéaire des hyperboles. Allure de la corrélation avant l'élimination des échantillons défectueux

Le point E est ainsi isolé des autres, ce qui n'a rien de surprenant. Il faut en effet se rappeler que la porphyrite est la seule roche non schisteuse. La supposition que a est un coefficient caractérisant en particulier la structure de la roche se trouve confirmée. Il faut donc éliminer les échantillons de porphyrite de l'étude de corrélation pour ne plus s'attacher qu'aux roches schisteuses.

Les deux hyperboles en traitillés donnent une image de la dispersion des échantillons. Entre l'hyperbole supérieure et l'hyperbole moyenne sont situés les $\frac{2}{3}$ des points se trouvant au-dessus de l'hyperbole moyenne. De même pour les points en-dessous de l'hyperbole moyenne. Puisque les échantillons compris entre l'hyperbole centrale et chacune des hyperboles en traitillés représentent les $\frac{2}{3}$ des échantillons au-dessus et au-dessous de l'hyperbole centrale, l'écart entre cette dernière et les deux autres est l'écart type et on peut faire intervenir le coefficient de variation.

Elimination de certains échantillons

La dispersion des échantillons est élevée, puisque la constante a de l'hyperbole centrale vaut 5,17 et que celles des hyperboles inférieure et supérieure sont respectivement égales à 9,31 et à 2,96. Cela correspond à des coefficients de variation respectivement de 80 % et de 43 %. Cette dispersion est peut-être causée par quelques échantillons dont les grandeurs A/P ou σ_e souffrent d'erreurs et ne peuvent donc être prises en considération.

- L'étude du relevé géologique révèle des sections ayant, à part la roche appartenant à l'un des quatre types de roches schisteuses, un grand pourcentage de mylonite. La mylonite étant très tendre, l'avancement dans ces sections était plus grand, pour une pression plus faible. On a donc éliminé ces sections, au nombre de cinq.
- Certains points nettement en dehors des fuseaux de la fig. 7 proviennent de sections situées avant ou après un changement de plusieurs couteaux de la foreuse. Aussi a-t-on éliminé les sections situées à moins de 3 mètres avant ou après un changement de 3 couteaux ou plus. Ces sections sont au nombre de huit.
- Enfin, on a éliminé un échantillon de schistes argileux dont la structure, très tourmentée, était différente de celle des autres.

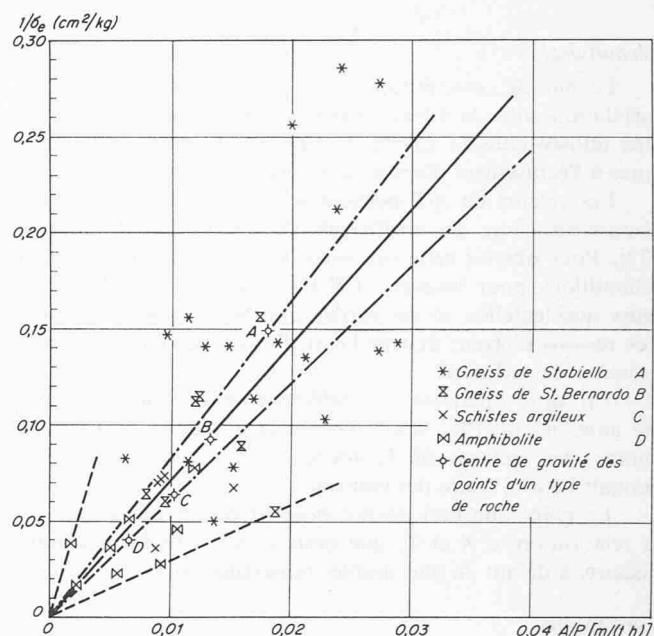


Fig. 10. Représentation linéaire des hyperboles. Allure de la corrélation après l'élimination des échantillons défectueux

Il reste ainsi 38 échantillons, soit le 72 % du nombre initial, les porphyrites n'étant pas comprises dans ces chiffres.

Qualité de la corrélation après l'élimination des échantillons défectueux

La fig. 8 représente les valeurs de A/P et de σ_e des échantillons restants. On constate d'emblée que la répartition des points est nettement hyperbolique. Les quatre centres de gravité A, B, C et D sont, de plus, répartis plus régulièrement qu'auparavant. Comme dans la fig. 7, on a dessiné l'hyperbole moyenne de ces quatre points.

A l'aide des hyperboles en traitillés, on voit que la dispersion a sensiblement diminué. Pour chaque valeur de σ_e , on connaît A/P avec un coefficient de variation de 53 % pour l'hyperbole inférieure et de 32 % pour l'hyperbole supérieure, soit en moyenne une diminution de 19 %.

Représentation simple de la corrélation entre A/P et σ_e

Soit $a \cdot (A/P) \cdot \sigma_e = 1$, l'équation d'une hyperbole. Dans un graphique $(A/P; 1/\sigma_e)$, cette hyperbole peut être représentée par une droite d'équation $1/\sigma_e = (A/P) \cdot a$

Appliquée au cas qui nous occupe, une telle transformation donne une vision assez claire de la corrélation entre A/P et σ_e , comme on le voit dans les fig. 9 et 10. La fig. 9, contenant les 62 points, doit être rapprochée de la fig. 7. La fig. 10 ne contenant que les points restants, doit être apparentée à la fig. 8. L'hyperbole équilatérale passant par un point quelconque devient, dans les fig. 9 et 10, une droite, passant par le point correspondant.

Pour se rendre compte de la dispersion par rapport à la droite moyenne représentée par un trait plein, il faut considérer des angles formés entre cette droite et d'autres droites.

Ainsi, les droites en traits mixtes passent par les centres de gravité les plus éloignés de la droite moyenne. L'angle qu'elles forment est plus faible dans la fig. 10 que dans la fig. 9, ce qui confirme que la répartition des centres de gravité est meilleure après l'élimination des points défectueux. L'angle entre les deux droites en traitillés représente les écarts maximum avant et après élimination des points défectueux.

De plus, il apparaît clairement que les points de la fig. 10 sont beaucoup mieux groupés autour de la droite moyenne que ceux de la fig. 9.

Récapitulation

Le but de cette étude était d'examiner s'il existait une corrélation entre la vitesse d'avancement de la foreuse Robbins utilisée dans la galerie de Crespera-Gemmo et la résistance à l'écrasement d'éprouvettes prélevées sur son passage.

Les valeurs de A/P peuvent se déduire des résistances à l'écrasement avec des coefficients de variation de 53% et de 32%. Pour obtenir cette précision, il a fallu éliminer certains échantillons pour lesquels A/P ou σ_e étaient entachés d'erreurs accidentelles, et ne garder que les roches schisteuses. Les raisons d'erreur étaient l'état d'usure des couteaux et la présence de mylonite.

Par cette opération le coefficient de variation moyen a été amélioré de 19%. Ceci montre la grande importance de choisir des sections où la roche est homogène et où l'on connaît l'état d'usure des couteaux.

Le point que l'on devrait pouvoir éclairir davantage est la relation entre A et P , que nous avons considérée comme linéaire, à défaut de plus amples renseignements.

Conclusions

Au terme de cette étude, on peut affirmer d'une part que l'essai d'écrasement ponctuel constitue un essai d'index satisfaisant pour l'établissement de corrélations avec la géologie de massifs rocheux, et d'autre part qu'il existe une corrélation du type hyperbolique entre les grandeurs A/P et σ_e .

Il est clair que d'autres paramètres, tels que notamment la dureté de la roche et la structure du massif rocheux, devront être considérés en plus de l'essai d'écrasement pour mieux cerner la complexité du problème.

Il serait, de toute façon, intéressant de poursuivre les recherches, en tenant compte des enseignements de Crespera-Gemmo. Ces recherches devraient permettre de mieux prévoir le coût d'utilisation et les prestations des foreuses à pleine section, outils puissants mais encore peu connus.

Adresse des auteurs: *F. Descœudres*, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Laboratoire de géotechnique, 67, rue de Genève, 1004 Lausanne et *G. Rechsteiner*, ingénieur civil EPFL, Bureau Dr. G. Lombardi, Case postale, 6601 Locarno.

Summary

Driving the Crespera-Gemmo tunnel, a series of observations were carried out: a geological survey giving the nature of the rock encountered along the tunnel; measurements of tunneling speed and of the thrust of the tunnelling machine at 62 sections; point load tests on rock cores drilled in these 62 sections.

Correlations between these parameters have been established to contribute to the knowledge of the performance of tunnelling machines in different types of rocks.

Zusammenfassung

Anlässlich des Baues des Stollens von Crespera-Gemmo wurden folgende Beobachtungen und Messungen durchgeführt: die geologische Aufnahme der ganzen Stollenlänge; die Messung der Vortriebsgeschwindigkeit und des Druckes der Bohrmaschine in 62 Querschnitten sowie die Durchführung von Punktdruckversuchen im Labor auf Proben, die aus diesen 62 Querschnitten entnommen wurden.

Als Beitrag zur Studie der Bohrbarkeit des Gebirges durch Tunnelvortriebsmaschinen wurden zwischen diesen verschiedenen Parametern Korrelationen aufgestellt.

References

- [1] *Deere D. U.*: Indexing Rock for machine tunnelling. Rapid excavation – Problems and Progress Chap. 3, D. H. Yardley, New York, 1970.
- [2] *Gaye F.*: Efficient excavation. «Tunnels and Tunnelling», January–February and March–April 1972.
- [3] *Muir Wood A.*: Faster, cheaper tunnelling. «New Scientist», 45, 1970.
- [4] *Franklin J. A., Broch E. and Walton G.*: Logging the mechanical character of rock. «Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy», Vol. 80, 1971.
- [5] *D'Andrea D. V., Fischer R. L. and Fogelson D. E.*: Prediction of compressive strength from other rock properties. Report 6702 US Bur. Mines, 1965.
- [6] *Protodiakonov M.*: Méthodes nouvelles de détermination des propriétés mécaniques des terrains miniers. «Revue de l'Industrie minérale», Mars 1961.

Tunnel- und Schacht-Abdichtungsverfahren mit PVC-Folien

DK 624.19:678.743

Von A. Peduzzi Zollikon

1. Allgemeines

Aus wirtschaftlichen Überlegungen wird immer mehr versucht bei Tunnelbauten Doppelgewölbe zu vermeiden. Dies bedingt, dass Abdichtungen zur Anwendung gelangen, die auf eine unebene Unterlage aufgebracht werden können. Im nachfolgenden wird ein Tunnel- und Schacht-Abdichtungsverfahren beschrieben, das mittels eines neuen Befestigungsverfahrens ermöglicht, die Abdichtungshaut einigermaßen satt auf die unebene Unterlage zu befestigen. Eine Abdichtungshaut sollte möglichst satt auf der Unterlage, auf der sie aufgebracht wird, anliegen und sich erst nach Einbringen der Betonverkleidung loslösen, damit sie sich auf deren Rückseite unter dem Wasserdruck anschmiegen kann. Diese Anforderungen können bis heute nur von Spritzisolierungen erreicht werden, die jedoch eine trockene und besonders zu behandelnde Unterlage verlangen, was mit sehr hohen Kosten verbunden ist. Bei der Spritzisolierung ist die Ausführung mit gleichmässiger Schichtstärke sehr ungewiss. Es ist deshalb von Vorteil, für die Herstellung einer Abdichtungshaut Kunststoff-Folien oder bereits vorkonfektionierte Kunststoff-Bahnen zu verwenden. Das nachfolgend beschrie-

bene Abdichtungsverfahren kann sowohl im Tunnelbau, als auch im Schachtbau angewandt werden. Die Abdichtungshaut liegt dank dem neuen Befestigungsverfahren sehr satt auf der unebenen Unterlage auf.

Bei der Ausführung der Tunnelabdichtung auf der Innenseite von Gewölbe und Widerlager wird die Abdichtungshaut auf die gunitierte Felsoberfläche aufgebracht. Das Betongewölbe liegt nie satt auf der mit der aufgebrachten Abdichtungshaut überzogenen Gunitoberfläche auf. Dies ist einerseits bedingt durch das Schwinden des Betons, andererseits durch die trotz Scheitelschluss besonders im Gewölbescheitel entstehenden Hohlräume.

Nachdem die Hohlräumfreiheit – die für die Wirksamkeit sämtlicher Abdichtungen mit plastischen Materialien wie Bitumen, Bitumen-Kautschuk-Kombinationen usw. notwendig ist – nicht erreicht werden kann, ist es zweckmäßig, als Abdichtungshaut eine vorkonfektionierte Kunststoff-Folie zu verwenden. Dieselbe ist, um die nachfolgenden Betonierarbeiten nicht zu erschweren, möglichst satt auf die unebene, meistens gunitierte Felsoberfläche zu befestigen. Das bis heute vielfach zur Anwendung gelangende punktweise Be-