Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 98 (1972)
Heft: 6

Artikel: Nouveau système suisse de soutènement en tunnel
Autor: Müller, Chr.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71537

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

Nouveau système suisse de soutènement en tunnel [1]

par Chr. MÜLLER, ingénieur diplômé EPFZ/SIA

Il y a trois ans, l'ingénieur Jean Bernold, de Walenstadt, a mis au point un nouveau sytème de soutènement visant à assurer une meilleure sécurité des cavités souterraines. Le système existe sur le marché sous la désignation de « système Bernold de construction en coquille de béton ». Il est protégé par la loi et il est déjà appliqué en Suisse et à l'étranger dans toute une série de chantiers plus ou moins importants. Comme les expériences le montrent, il possède de grands avantages par rapport aux autres systèmes plus conventionnels. Le texte que voici s'adresse particulièrement aux ingénieurs spécialisés dans la construction des tunnels. Une brève description sera d'abord donnée du principe régissant ce système. Suivront des explications plus détaillées concernant son application pratique sur les chantiers du Flonzaley et de Chauderon situés sur l'autoroute du Léman (Nationale 9), dans le canton de Vaud.

Le principe

La construction en coquille de béton permet de revêtir, en un minimum de temps, un massif rocheux dont la stabilité n'est que temporaire. Le système consiste, au fur et à mesure des étapes d'excavation et aussitôt après elles, à poser quelques anneaux de béton de façon judicieuse. La nouveauté réside dans l'emploi de tôles d'acier ajourées de forme spéciale qui sont agencées de telle sorte qu'elles constituent une coque blindée. Ces tôles, travaillées à froid en forme de V, sont fixées d'abord provisoirement, durant le durcissement du béton, derrière des cintres de montage, puis restent là définitivement comme armature au béton. Grâce à leur forme spéciale, elles sont suffisamment rigides pour supporter la pression sur le coffrage. Elles ont par ailleurs une texture assez fine pour empêcher un béton de consistance plastique ferme de s'écouler. Les tôles normales sont presque carrées et peuvent parfaitement épouser le rayon du tunnel, de telle sorte qu'elles permettent un montage simple et rapide. Le système Bernold remplit simultanément deux fonctions, celle d'armature d'acier et celle de revêtement définitif de la roche.

Le bétonnage complet du revêtement (il ne laisse aucun espace libre) évite encore les éboulements ultérieurs de roche ainsi que les dégâts imputables aux influences de l'air et de l'humidité. Roche, béton et coquille forment un ensemble homogène qui répartit les charges à supporter par un massif de moindre résistance, sur des couches de roche dont la résistance est plus grande. La zone critique située à l'arrière du point d'avancement est ainsi maîtrisée en peu de temps. Les possibilités d'application de ce principe très prometteur ne se limitent d'ailleurs pas à la construction de tunnels.

[1] Cet article a également paru dans le supplément technique de la *Neue Zürcher Zeitung*, n° 282 (21.6.1971).

Application

Pour ce qui est de la construction de tunnels, le système Bernold est applicable partout, que la roche soit peu ou très friable. Une condition cependant est à respecter du point de vue de la rentabilité économique : ne pas seulement conférer au système une fonction d'étayage provisoire, mais également prendre en considération le rôle définitif qu'il remplit dans la phase de bétonnage de l'édifice. Une simple comparaison avec d'autres méthodes montrera quelle limite le système Bernold peut atteindre, compte tenu de la forte différence de qualité de la roche. Cette dernière, jugée selon la solidité, est classée d'après le sytème Lauffer, Norme SIA 179, tableau 2 :

	Classe 3 (roche très sujette à s'effriter)		Classe 4 (roche friable)		Classe 5 (roche très friable)	
L	Limite (mois)	T Moyenne (semaines)	Limite (jours)	T Moyenne (heures)	Limite (minutes)	T Moyenne (minutes)
5 m	0,5	1	0,25	3	7	—
4 m	↓	↓	↓	↓	10	5
3 m	1	2	0,5	6	15	
2 m	↓	↓	↓	12	30	15
1 m	3,5	8	2	24	90	45

L = Longueur de la libre portée depuis le dernier cintre de montage jusqu'au front d'attaque

T = Délai entre l'excavation et le début des gros éboulements

Comme le délai après lequel la roche s'affaisse varie selon son état, le temps T entre le bétonnage du dernier anneau et le point d'avancement est mesuré de telle sorte que les délais suffisent à bétonner un nouvel anneau. En appliquant ce critère, la construction en coquille de béton convient particulièrement aux classes de roche 3 et 4, c'est-à-dire aux roches très sujettes à la friabilité et a celles qui sont déjà friables.

Utilisation des tôles Bernold dans le cadre de la construction de l'autoroute du Léman

Objet

Le tronçon actuellement en construction de l'autoroute du Léman (N 9) entre Montreux et Lausanne comprend 4 tunnels doubles : Flonzaley (700 m), Criblette (250 m), Chauderon (180 m) et Belmont (340 m). Le canton de Vaud, représenté par le Bureau de construction des autoroutes (BAR), a confié l'étude du projet et la direction locale des travaux à deux bureaux d'ingénieurs : la Société générale pour l'industrie S.A. (SGI) et la Compagnie d'études de travaux publics S.A. (CETP).

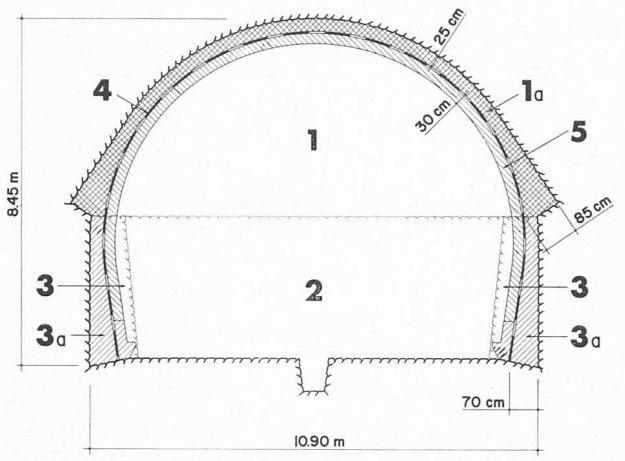

Fig. 1. — Profil du tunnel du Flonzaley : schéma d'excavation et de bétonnage.

1 — excavation de la calotte (40 m²)
1a — revêtement de roche de la voûte (de 25 à 85 cm), béton BH 300 — tôles Bernold (2 mm d'épaisseur)
2 — abattage du noyau
3 — profilage des parois
3a — revêtement de roche des piédroits (de 25 à 70 cm), béton BH 300 — tôles Bernold (2 mm)
4 — Gunite (min. 2 mm)
5 — voûte intérieure de 30 cm avec couche de Vandex

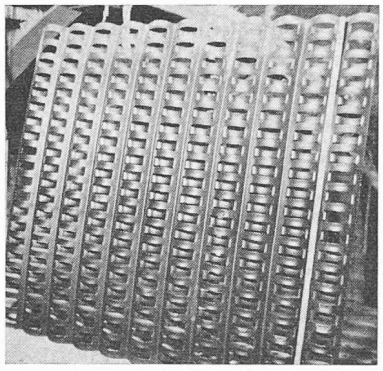

Fig. 2. — Une tôle d'acier à nervures.

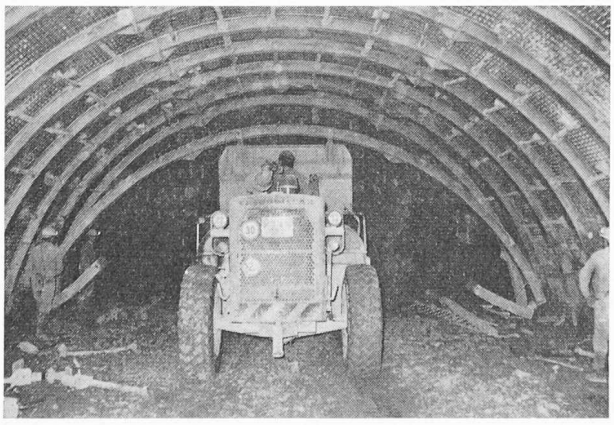

Fig. 3. — Déplacement d'un cintre de montage. On aperçoit ses parties inférieures munies d'articulations.

Projet

Pour l'essentiel, les quatre tunnels répondent aux mêmes conceptions, qui sont celles des prescriptions fédérales relatives aux routes nationales. Il s'agit de deux tubes de tunnel parallèles proches l'un de l'autre, avec une voie de roulement de 7,75 m, deux trottoirs larges chacun de 0,75 m, une hauteur de 4,50 m. Le Flonzaley sera muni d'une ventilation avec soufflerie à injection (fig. 1).

Géologie

Les quatre tunnels traversent une roche essentiellement composée de molasse de nature diverse (friable, pressée). Il s'agit d'une formation géologique composée de couches de grès et de marne en proportions variables, allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Dans les diverses couches, on trouve toutes les variétés de roche : grès dur et grès pur, grès marneux, marne de grès avec présence de glaise. Nature et proportions de ces diverses variétés changent en quelques mètres. Fentes et fissures parcourent le rocher. La présence d'eau se limite à quelques poches et suintements. Des analyses ont donné les résultats suivants pour ce qui est de la composition de la molasse :

— grès	15 %
— grès marneux	40 %
— marne, glaise	45 %
— résistance à la pression	200-500 kg/cm²

Etant donné les conditions géologiques et la longueur réduite des tunnels, la construction fractionnée s'imposait d'emblée.

Au début, les soumissions prévoyaient partout un étayage en acier : des cintres d'acier plus ou moins lourds selon la qualité de la roche, les uns avec une voûte de béton projeté, les autres avec des tôles et une voûte externe coffrée. En été 1969, l'Association des entreprises S.A. Conrad Zschokke et H. R. Schmalz S.A. fut chargée de la construction des deux lots du tunnel du Flonzaley et de celui de Chauderon. Vu la situation du marché de l'acier, la pénurie de ce métal, l'incertitude des délais de livraison et le renchérissement rapide des prix, le consortium proposa l'utilisation des tôles Bernold. Le coût de la construction, comparé à celui de la soumission, permettait une économie d'au moins 10 % dans le cas d'une roche friable. Grâce à l'appui de la Direction locale des travaux, le tunnel de Chauderon fut ainsi le premier où l'on utilisa de telles tôles. Les excellents résultats obtenus lors de cet essai ont permis de généraliser l'application du système Bernold aux quatre tunnels en construction. Comme le mode de construction est pratiquement le même pour tous les chantiers, le tunnel du Flonzaley est choisi pour l'exemple.

Le chantier du Flonzaley

Comme on l'a dit plus haut, ce chantier construit deux tubes parallèles de 700 m à une distance moyenne de 35 m.

Après le passage dans la roche meuble sous les lignes ferroviaires Berne — Lausanne et Puidoux — Vevey, l'avancement dans la molasse proprement dite a pu être commencé fin 1970.

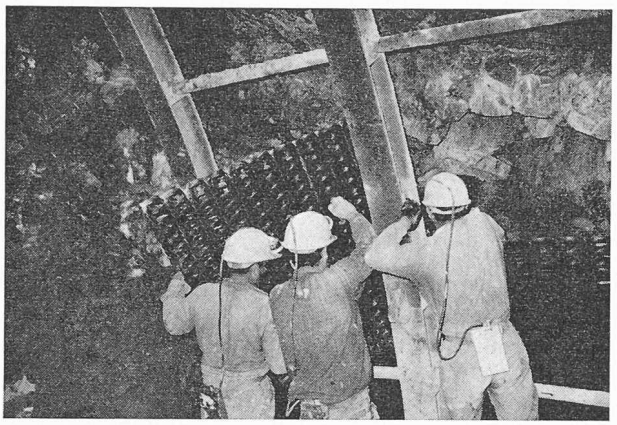

Fig. 4. — Pose d'une tôle.

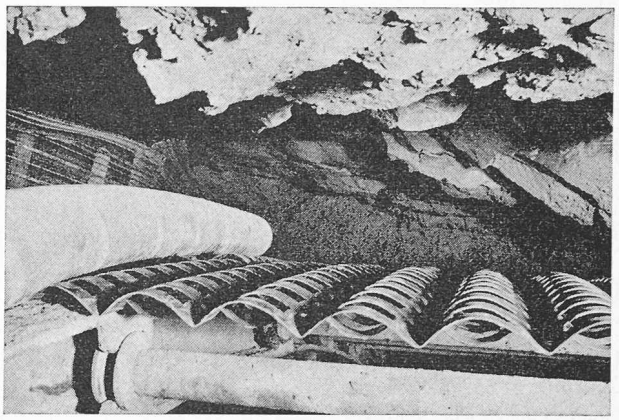

Fig. 5. — Vue derrière une tôle. Le béton, de consistance plastique, est coulé au fur et à mesure du montage des tôles. A gauche un tuyau à béton.

Données techniques

— profil	78 m²
— revêtement de roche :	
— épaisseur théorique du béton	
— faîte	25 cm
— butées	85 cm
— piédroits	25-70 cm
— tôles Bernold	2 mm
— gunit de protection	2 cm
— voûte intérieure	30 cm
— couche isolante	

Exécution

Comme il faut s'attendre à trouver de la mauvaise roche, l'excavation s'effectue en deux étapes. Selon la méthode dite belge, la première étape consiste à creuser sur toute la longueur du tunnel une calotte de 40 m², et la seconde un abattage du stross de 38 m² (fig. 1, chiffres 1 et 2).

Durant cette seconde étape, le noyau et les parties latérales sont évacués successivement pour assurer un contrefort à la voûte. Dans l'adaptation à ce mode de construction, les butées ont été élargies jusqu'à 85 cm. Si la nature de la roche l'exige, un radier incurvé de 30 cm d'épaisseur peut être bétonné complémentairement et cela de façon continue ou discontinue. Par la suite, on applique la gunite aux tôles Bernold et on passe au revêtement intérieur définitif. Pour assurer l'étanchéité, il est prévu l'application sur la paroi intérieure de la voûte d'un revêtement de Vantex.

Avancement

Comme on l'a dit, le revêtement destiné, dans le système Bernold, à soutenir la roche jusqu'au point d'avancement se fait par étapes. Selon la solidité du rocher, on procède à des volées de 2 m, 2,5 m ou 3 m. Si la roche est friable, on se contente d'un mètre seulement. Pour le forage, minage et marinage de 100 à 120 m³ de roche, il faut 4 à 5 heures.

A cela s'ajoute chaque fois le temps nécessaire à la mise en place des anneaux de béton. Le déblayage terminé, on fixe 1 à 3 cintres de montage, selon la longueur de l'étape d'avancement.

La distance d'un cintre à l'autre est généralement de 0,96 m ou de 1,20 m, d'après la longueur des tôles choisies. Des tubes d'écartement sont fixés entre les cintres d'acier. Ces derniers se soutiennent ainsi réciproquement (fig. 3). Les cintres de montage sont adaptés au rayon du tunnel et munis d'articulations. Ces articulations permettent le déplacement des cintres sans démontage préalable (fig. 3). Si on utilise la chargeuse pour opérer ce déplacement, on a besoin d'environ 10 minutes par arc. La pression présumée du rocher, avant que l'anneau de béton ne soit en mesure d'exercer sa pleine résistance, est capitale pour le dimensionnement des profils. Pour le revêtement de la calotte du Flonzaley, on a choisi intentionnellement un profil un peu plus fort, le HEB 180.

Par la fréquence des manœuvres de déplacement et l'effet des explosions, des profils plus légers pourraient subir des déformations et des dégâts. On tient à ce que les cintres de montage gardent leur forme exacte et à ce que leur déplacement se fasse soigneusement, car ils servent à déterminer l'exactitude du profil pour le revêtement de la roche.

Le nombre de cintres de montage nécessaires dépend de l'avancement quotidien. En général, 8 à 12 suffisent. Les tôles sont posées des deux côtés du cintre de montage, à partir du bas (fig. 4). En principe, des tôles de 2 mm suffisent à supporter de lourdes charges de roche et de béton. Les dimensions des tôles sont standardisées. Actuellement deux grandeurs sont utilisées :
1,08 sur 1,20 m pour des cintres distants de 0,96 m, 1,32 m sur 1,20 m pour ceux distants de 1,20 m. Des tôles de semi-dimensions sont également livrées.

Lors de la pose, les tôles sont recouvertes des deux côtés et fixées les unes aux autres de façon à résister à la traction. Simultanément à la pose des tôles, on remplit de béton l'espace situé entre elles et la roche (fig. 5). Le béton mis en œuvre est secoué au moyen de vibrateurs jusqu'à ce qu'il s'écoule à travers les moulures.

De la sorte, tôles, béton et roche forment un tout étroitement lié et résistant. La qualité et la préparation du béton sont décisives pour la résistance future de l'ouvrage et son étanchéité. Au Flonzaley, on utilise un béton transportable BH 300 dont la teneur en grain est la suivante :

0-3	35 %
3-8	20 %
8-15	22 %
15-30	23 %

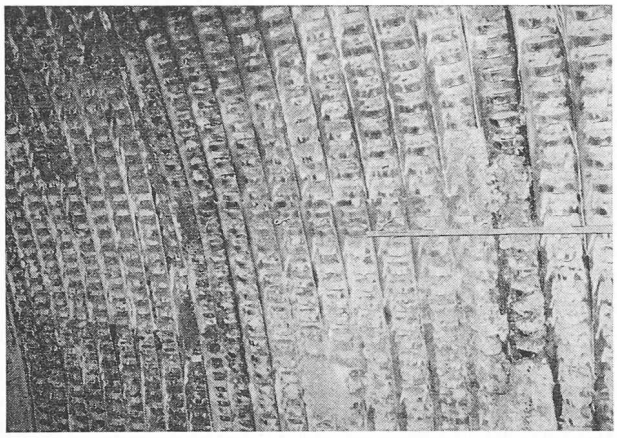

Fig. 6. — Tôles Bernold et mortier forment un étroit alliage.

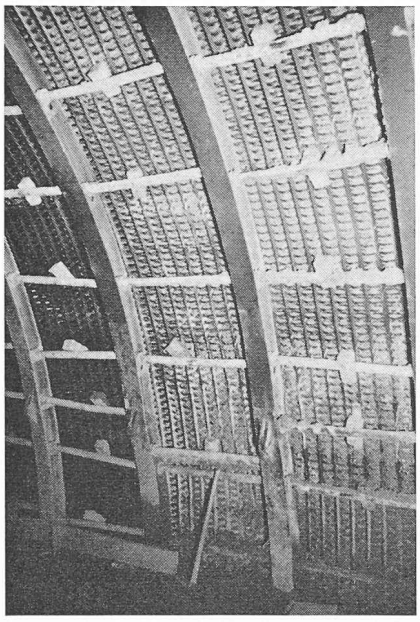

Fig. 7. — Les cintres de montage servent provisoirement de soutien à la voûte de béton. A droite, partie déjà bétonnée.

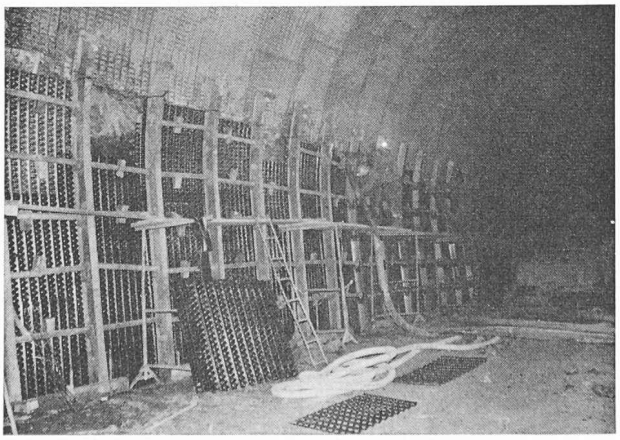

Fig. 8. — Bétonnage des parois.

Pour un transport par camion de plus de 11 km, on ajoute 125 à 130 litres d'eau par m^3 de béton, ce qui correspond à un facteur eau/ciment de 0,41. Comme le traitement du béton en état d'humidité terreuse est difficile, on y ajoute encore sur le chantier 15 litres d'eau par m^3 que l'on mélange dans le tambour du malaxeur à béton, ce qui donne un facteur eau/ciment de 0,48.

L'augmentation de la teneur en sable aux dépens du gravillon favorise l'étroit alliage du mortier et des tôles (fig. 6, 7 et 8). La résistance à la pression des cubes d'essai s'en trouve affaiblie, mais suffit encore à supporter des charges de 260 kg par cm^2 après 7 jours et de 380 à 400 kg par cm^2 après 28 jours. Des forages *in situ* ont produit des échantillons dont la résistance va de 450 à 500 kg par cm^2. En ce qui concerne l'effet du vibrage, il n'est pas toujours possible, au sommet, d'assurer des conditions irréprochables au béton. Dès lors l'étanchéité du béton à cet endroit pose aussi des problèmes. Lorsque l'eau suinte, il est indiqué de poser, aux endroits des arrêts de béton, tous les 2 à 3 m, un tuyau en plastique perforé garni d'un fil de laine, par exemple un Drainflex de 65 mm de diamètre. Ce tuyau sera placé derrière la tôle, de façon à en couvrir l'ensemble du pourtour et sera ensuite relié au système de drainage.

Malgré le soin avec lequel on les pose, on ne peut empêcher les tôles de bomber par endroits.

Il en résulte, par rapport à la ligne de voûte théorique, des déviations pouvant aller jusqu'à 5 cm. Chose à laquelle il faut prêter attention lors du dimensionnement de l'anneau intérieur. Quant à la qualité du béton, le mode de la mise en place et par le fait même le type de convoyeur à béton sont déterminants. On observera qu'il ne s'agit pas seulement de faire vite pour bétonner, mais encore de construire avec soin cette partie de l'ouvrage. Le Spirocret S 2000 est à ce point de vue l'appareil tout indiqué. L'air comprimé permet de déverser sans danger un béton humide de consistance plastique. Le Spirocret S 2000 est capable d'acheminer entre 15 et 18 m^3 de béton à l'heure, et si l'on tient compte du temps de montage des tôles, cette quantité reste en moyenne de l'ordre de 10 à 12 m^3 à l'heure. Pour bétonner une étape de 2 à 3 m, il faut environ 4 à 6 heures, selon la quantité de béton nécessaire, le profil et la longueur de l'étape. Soit à peu près 1,5 heure de travail par m^2 de revêtement (installation, tôles, béton). Au Flonzaley, les tôles Bernold sont posées sur toute la longueur du tunnel et sur l'ensemble de la voûte. L'avancement a révélé l'existence d'une molasse tantôt faiblement tantôt fortement friable, avec prédominance de roche sèche entrant dans les catégories 3 et 4 mentionnées ci-dessus. De la sorte le montage systématique se justifie. Le temps d'usage est juste suffisant pour préparer et revêtir une longueur de 2,5 à 3 m au maximum. Durant les temps de creusement et de bétonnage (environ 8 à 11 heures), il est possible avec deux équipes d'accomplir deux cycles de travail par jour. Ce qui permet un avancement moyen de l'ordre de 5 m par jour ou de 100 m par mois. Certaines conditions sont à remplir pour respecter ce programme maximal :

— état satisfaisant de la roche (stabilité, structure, source d'eau) ;

— présence de machines au point (avec machines de réserve) ;

— bonne organisation, esprit d'équipe ;

— équipes rompues au travail d'avancement.

Il est à relever que sur ce chantier, ces équipes ont posé jusqu'à ce jour plus de 15 000 m² de tôles.

Comparaison avec les procédés conventionnels de construction

La pratique l'a montré, ce nouveau système « suisse » de construction en coquille de béton présente, au point de vue technique et économique, une série de sérieux avantages.

Avantages techniques

Selon le principe généralement admis à l'heure actuelle, l'exigence première qui s'impose à une méthode d'extraction en roche stable, ou instable, consiste à appliquer dans le plus bref délai un revêtement de béton offrant les garanties suffisantes. On prévient ainsi la pression du rocher, laquelle ne commence en général à s'exercer que quelque temps après l'extraction.

La méthode d'étayage décrite plus haut satisfait parfaitement à cette exigence. La pose rapide des cintres de montage, le maniement aisé des tôles et l'utilisation d'un outillage adéquat de bétonnage permettent d'opérer efficacement en un temps minimum. Jusqu'au durcissement du béton, les cintres de montage remplacent ce dernier dans le cas d'une pression du rocher. Contrairement au procédé de béton projeté, le béton frais est ici maintenu en place et protégé d'éventuels dégâts consécutifs au minage, par les tôles qui fonctionnent à la fois comme coquille de coffrage et comme armature.

Capacité d'adaptation

Lorsqu'il fait percer un massif rocheux, le constructeur de tunnels se trouve toujours confronté à une diversité de conditions géologiques. Structure, emplacement, fissures influencent souvent de façon locale, en passant d'une volée à l'autre, le comportement du rocher. Le nombre de cintres à poser, leur distance réciproque et l'épaisseur des tôles peuvent être choisis à chaque reprise en fonction de la qualité de la roche. Il est possible de monter la coquille et de bétonner jusqu'au point même de l'avancement. La reprise des tôles en cas de sous-œuvres, la formation de courbes, de réductions de profil et de pénétrations de différents grands profils nécessités par des galeries latérales, des élargissements, des bifurcations et des niches peuvent être exécutés sans grands problèmes et sans dépenses excessives.

Sécurité

Un soutènement ou tout autre travail d'étayage de roche n'ont de sens que s'ils offrent des garanties absolues contre les écroulements et les chutes de roche. Lorsqu'une telle sécurité est assurée, toute méthode remplit cette exigence. On sait toutefois que dans les zones très friables, c'est précisément durant le montage que réside, pour l'équipe au travail, le danger le plus immédiat. Trop souvent de graves accidents se produisent pendant ce laps de temps. C'est ici que le système Bernold démontre encore ses avantages. La pose d'un cintre de montage au moyen d'une chargeuse n'occupe qu'une fraction du temps nécessaire à la mise en place d'un arc d'acier ou d'une mince couche de béton projeté. Conjugés avec quelques feuilles de tôle posées à titre provisoire, les cintres de montage forment une calotte efficace de protection durant les travaux de montage proprement dits.

Avantages économiques

Pour le maître d'œuvre comme pour l'entreprise, l'aspect économique de toute méthode de construction revêt une importance déterminante. On peut ici comparer en pourcentages trois procédés courants. L'exemple s'inspire des conditions mêmes qui ont été celles du Flonzaley et doit donc être jugé comme tel.

Des données présentées dans le tableau, il ressort clairement que l'utilisation du procédé Bernold n'a de sens qu'en présence de roches friables ou très sujettes à friabilité. Le système s'avère alors le meilleur marché. Le procédé financièrement le plus intéressant après lui entraîne déjà une dépense supplémentaire d'environ 1 000 fr. par mètre ou de 2 millions de francs pour un tunnel d'autoroute à deux tuyaux et long d'un kilomètre. Toutefois la rentabilité économique devient problématique dès que les zones de roche friable font place à des tronçons relativement de rocher sain et solide. A ce moment-là, le montage continu en tôles armées ne se justifie plus. En quelques mots, on peut dire que la méthode Bernold est mauvaise pour une bonne roche et bonne pour une roche mauvaise ! Par ailleurs, il ne faut pas que l'eau de roche (qu'il s'agisse de sources ou d'eaux de fissures) soit trop abondante, car — et c'est la condition d'un revêtement irréprochable — son drainage s'exécute à la main, ce qui entraîne de gros frais et contrarie par trop le rythme rationnel du travail.

Comparaison de plusieurs méthodes d'étayage en tunnel
(section de 78 à 87 m², développement de 22 m²)

Classe de roche	Procédé	Maçonnerie brute en % de la méth. Bernold	Traitement de roche et étayage en % de la méth. Bernold
Roche sujette à friabilité	Etayage avec tôles Bernold et 25 cm de béton, *sans* radier incurvé	100	100
	Etayage mi-lourd HEB 180, tôles (en partie) et 16 cm de béton projeté, *sans* radier incurvé	116	148
Roche friable	Etayage avec tôles Bernold et 25 cm de béton, *avec* radier incurvé	112	100
	Etayage lourd HEB 200, tôles (en partie) et 18 cm de béton projeté *avec* radier incurvé	136	166
	Etayage lourd HEB 200, avec voûte extérieure de 50 cm et *avec* radier incurvé	141	173

Pour un traitement de moindre importance (dans le cas d'une roche solide ou n'ayant que peu tendance à s'effriter) comprenant clous, treillis, éventuellement gunite de protection ou voûte extérieure, le coût revient à environ 50 à

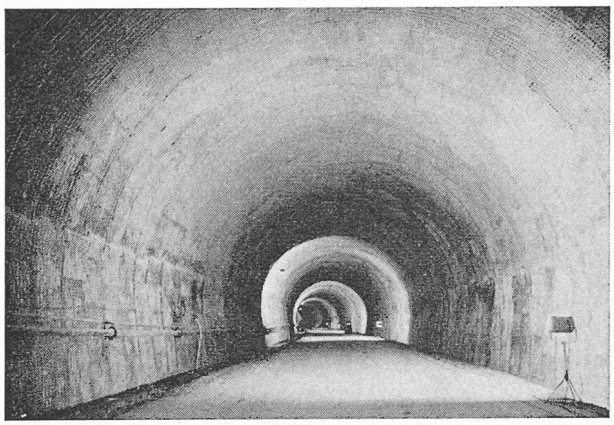

Fig. 9. — Tunnel du Flonzaley. Profil général avec revêtement en tôles Bernold.

80 % de celui du revêtement de roche exécuté selon le système Bernold.

L'exécution

Le rythme de travail constitue précisément un nouvel avantage du système Bernold. L'excavation et l'étayage sont étroitement liés dans le temps. La rationalisation de l'ensemble des travaux d'avancement est liée à l'impression d'un certain rythme quotidien de travail. Le facteur inconnu dans cette cadence excavation/montage, c'est le rocher. Le remplissage des cavités, nécessité par les chutes de roche, prend beaucoup de temps et coûte cher pour toute méthode de construction traditionnelle. Grâce à la pose rapide de la voûte de béton, le système Bernold permet souvent d'éviter une telle opération. L'emploi de puissants convoyeurs à béton permet même de remplir rapidement des hors-profils considérables sans que le programme quotidien de travail en subisse des modifications importantes.

Programme de construction

Dans toute entreprise de construction, le respect des délais fixés dans un programme de travail est l'une des préoccupations premières du maître d'œuvre comme de l'entreprise elle-même. Combien de fois n'a-t-on pas enregistré de retard du fait d'avancements trop lents ! La rencontre de mauvais tronçons de roche influence souvent le déroulement général des travaux, et certaines échéances terminales ne peuvent être respectées. Grâce aux avantages qui ont été mentionnés, le procédé Bernold, rationnel, est capable d'assurer des prestations encore appréciables malgré les conditions défavorables de la roche.

L'utilisation, nécessitée par les besoins de travaux d'excavation, d'un important et coûteux parc de machines s'avère par le fait même d'une qualité supérieure à celle des procédés traditionnels. Si l'on considère que de nos jours, pour des chantiers même de moyenne grandeur, il n'est pas rare d'investir 2 à 3 millions de francs pour les machines et les installations générales, l'entrepreneur comprendra rapidement, s'il peut épargner un mois de travail, combien il économisera financièrement en intérêts et amortissements. C'est également le maître d'œuvre qui devrait s'intéresser à la réduction des dépenses qu'entraînent l'augmentation des salaires et le renchérissement du matériel.

Inconvénients

Tout système de construction a aussi ses inconvénients ou du moins certains désagréments qui ne doivent pas être passés sous silence. Il faudrait, dans le cas du système Bernold, que l'auteur d'un projet de construction sache d'avance, c'est-à-dire avant l'ouverture des travaux, ce qu'il en est de l'état de la roche et de la quantité d'eau qui s'en écoulera. Pour ce qui est de la diversité des conditions rocheuses, des études préliminaires poussées et des comparaisons de coût entre plusieurs procédés utilisables devraient être entreprises. En choisissant le procédé Bernold, on décide au préalable du mode de revêtement du rocher et de l'isolement de la voûte. Le recours, durant le déroulement des travaux, à un autre système de construction par exemple un simple renforcement du rocher avec voûte extérieure, entraîne des difficultés techniques et des frais supplémentaires. L'utilité de l'isolement devrait être examinée avant le lancement des travaux.

L'auteur d'un projet ainsi que l'ingénieur chargé de sa réalisation se posent constamment la question de savoir dans quelle mesure le système Bernold peut remplacer celui de l'étayage en acier, en particulier l'étayage lourd applicable à la roche friable. A ce sujet, il faut remarquer ceci : il est clair qu'en présence d'une roche dont la tendance à l'effritement est très prononcée, on peut réduire la longueur de l'étape d'avancement à 1 mètre et ne poser qu'un cintre par étape. Pour réaliser ce genre de petite étape, poser un cintre de montage, rapprocher les installations et bétonner, il faut en général 4 heures, à condition de ne pas rencontrer de difficultés particulières. Durant ce minimum de temps, la roche ne devrait pas bouger et ne pas trop s'effriter. Le creusement d'une galerie, la pose de poutres d'étayage et le bétonnage par étape de la voûte sont concevables, mais ce système de construction, en soi économique, n'aurait à la longue plus de sens.

A la question souvent posée de savoir si des cintres de montage et des tôles ne pourraient être remplacés par une coquille à éléments, il n'est plus nécessaire, étant donné ce que nous savons, de répondre. On y perdrait les avantages mentionnés plus haut, sans en obtenir d'autres en retour.

La pratique l'a montré, ce système de soutènement d'un nouveau genre, original, constitue un progrès important dans la technique de construction des tunnels.

Adresse de l'auteur :

Chr. Müller
Résidence Fleur de Lys
1605 Chexbres