

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 85 (1959)
Heft: 26

Artikel: Le tunnel de Donnerbühl à Berne: construction d'un tunnel ferroviaire par la méthode du bouclier
Autor: Desponds, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-64153>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique
de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole
polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. 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. Grosgrin, arch. ; E. Martin, arch.
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. ; Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: A. Stucky, ing.
Membres: M. Bridel ; R. Neeser, ing. ; P. Waltenspühl, arch.
Adresse: Ch. de Rosneck 6, Lausanne

RÉDACTION

D. Bonnard, ing.
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse Fr. 26.—	Etranger	Fr. 30.—
Sociétaires	» » 22.—	»	» 27.—
Prix du numéro	» » 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,
N° II 87 75, Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29
Lausanne

ANNONCES

Tarif des annonces:
1/1 page Fr. 275.—
1/2 » » 140.—
1/4 » » 70.—
1/8 » » 35.—

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

**SOMMAIRE**

Le tunnel de Donnerbühl à Berne, par R. Desponds, ing. dipl., chef de bureau de reconstruction de la gare de Berne, près la Direction générale des CFF.

Etude expérimentale de la poussée des terres sur le tunnel de Donnerbühl, par D. Bonnard, ingénieur, professeur à l'EPUL, et E. Recordon, ingénieur principal au Laboratoire de géotechnique de l'EPUL.

Divers. — Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

LE TUNNEL DE DONNERBÜHL A BERNE

Construction d'un tunnel ferroviaire par la méthode du bouclier

par R. DESPONDS, ing. dipl., chef du bureau de reconstruction de la gare de Berne,
près la Direction générale des Chemins de fer fédéraux

1. Introduction, projet général

Les travaux pour la reconstruction totale de la gare de Berne ont commencé le 29 mai 1957. La première phase d'exécution, qui durera environ cinq ans, doit permettre la transformation et l'extension de tout l'appareil technique du réseau des voies et des quais (fig. I/1). L'étape en cours actuellement a pour but la construction du futur sixième quai, destiné à recevoir les chemins de fer privés bernois (Berne-Neuchâtel-Schwarzenbourg-Gurbe).

Ce premier groupe de travaux, qui peut s'exécuter pratiquement en dehors de l'exploitation de la gare actuelle, comporte, entre autres ouvrages intéressants, le percement du tunnel de Donnerbühl, qui permettra l'entrée des chemins de fer privés bernois en gare de Berne sans aucun croisement avec d'autres voies (fig. I/2).

2. Tracé du tunnel, caractéristiques générales

Afin de permettre le passage de la double voie des chemins de fer bernois sous les voies d'accès au dépôt des locomotives, ainsi qu'à une profondeur suffisante sous les maisons du quartier de Donnerbühl, le tunnel, long de 400 m, est précédé de deux rampes d'accès en tranchées inclinées à 20⁰/₀₀ environ (fig. I/2).

Les têtes est et ouest du tunnel, sur 60 m, respectivement 80 m de longueur, peuvent être construites à ciel ouvert. Il s'agit d'ouvrages en cadre prenant appui sur des semelles de fondation ou sur un radier, suivant la qualité du terrain rencontré (fig. I/3).

Le tronçon du tunnel à construire en galerie, sur une longueur de 260 m environ, n'a qu'une faible couverture ne dépassant pas 12 m, avec un point de passage sous un immeuble dont le niveau de la cave ne se trouve que 2,50 m au-dessus de la voûte du tunnel.

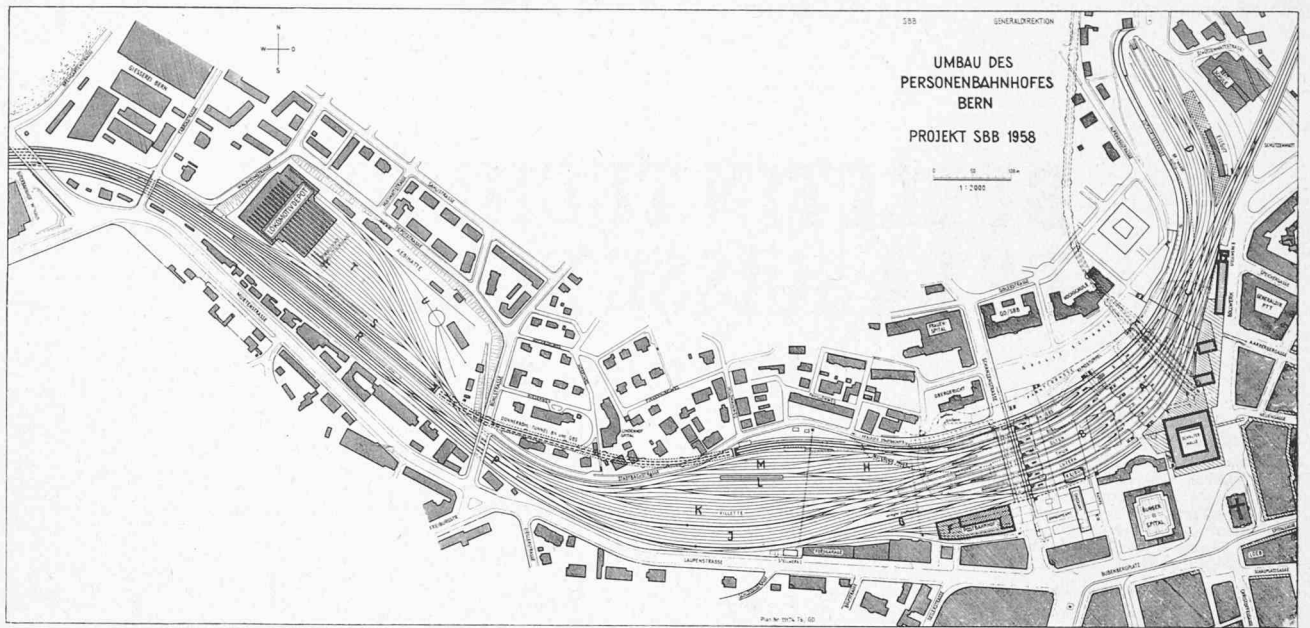


Fig. I/1. — Plan de situation des installations de la future gare de Berne.

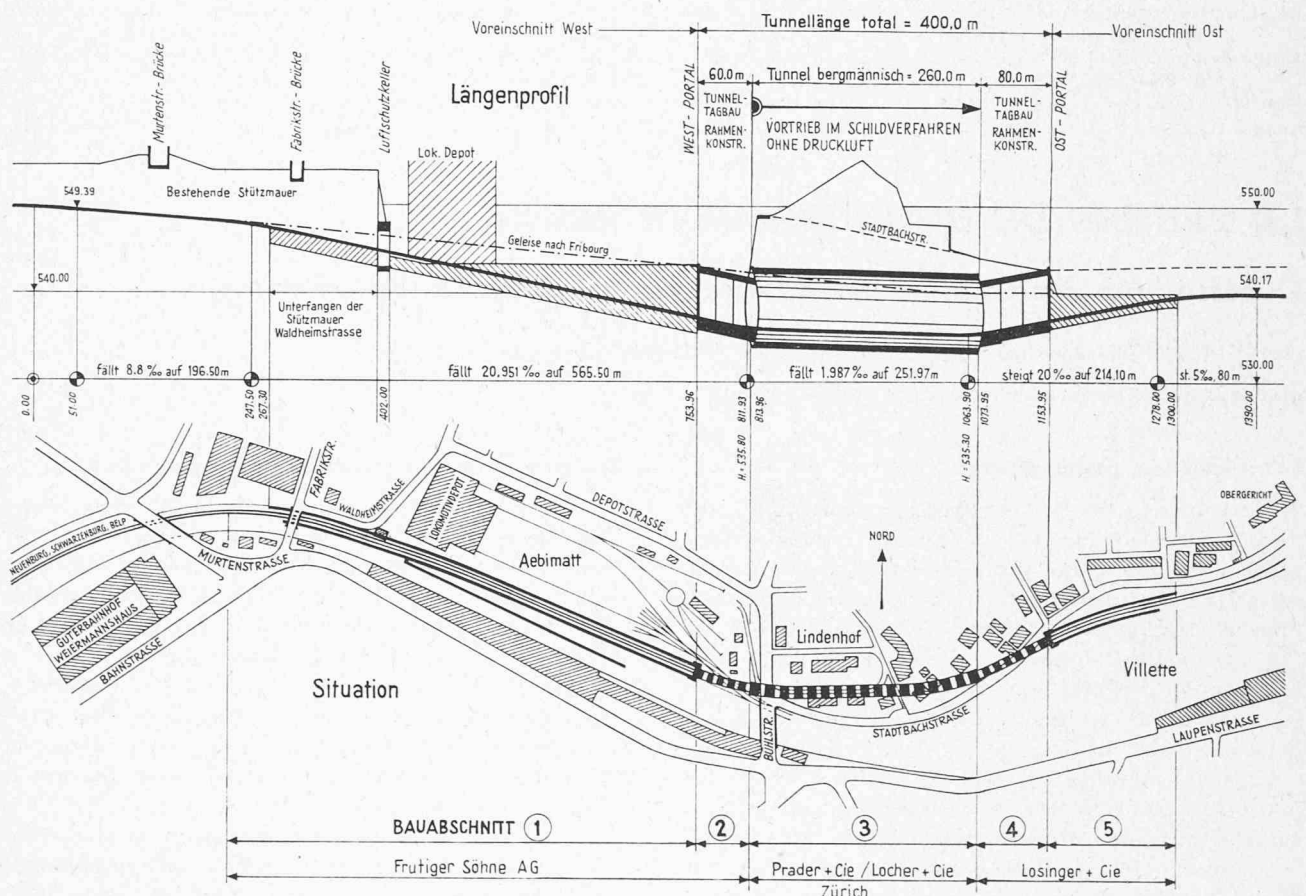


Fig. I/2. — Entrée des chemins de fer privés bernois en gare de Berne.

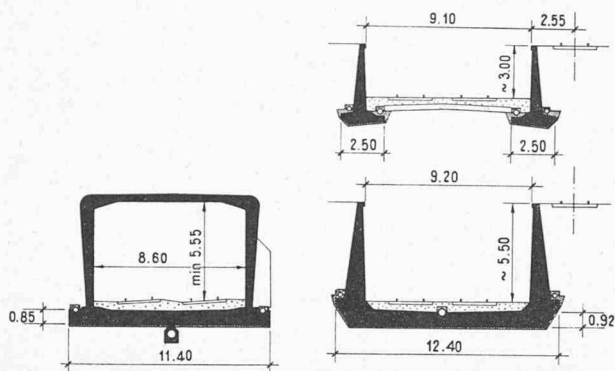


Fig. I/3. — Coupes caractéristiques des tranchées d'accès et du tunnel dans la partie construite à ciel ouvert.

3. Terrain encaissant, géologie

(d'après le rapport du professeur Dr W. Nabholz, géologue à Berne)

Le tunnel de Donnerbühl traverse le flanc sud-ouest de la colline Finkenhübel et se trouve, ainsi que des sondages l'ont montré, directement dans la moraine frontale de l'ancien glacier de l'Aar, qui atteint précisément les environs de la ville de Berne au cours de la dernière glaciation.

Le tracé du tunnel traverse donc sur toute sa longueur des terrains morainiques formés plus particulièrement de moraines de fond, de qualité variable, reconnaissables aux galets striés emprisonnés dans la glaise sableuse, mais aussi de dépôts diluviaux de gravier et de sable plus ou moins délavés. De grandes variations apparaissent dans les dépôts et d'une manière rapide aussi bien dans le sens vertical qu'horizontal ; des couches horizontales de quelque régularité sont quasi inexistantes.

Ainsi qu'on peut le voir sur le profil en long de la figure I/4, les caractéristiques géotechniques se présentent dans les grandes lignes de la manière suivante : le matériau, passablement graveleux dans les couches supérieures, a tendance à devenir toujours plus fin avec la profondeur ; en effet, au niveau de la calotte du tunnel, on rencontre généralement du sable ou sable légèrement glaiseux, tandis qu'au niveau du radier c'est une glaise sableuse ou limoneuse. Le sable a une grande compacité, avec des densités apparentes dépassant $2,1 \text{ kg/dm}^3$, mais il n'est pas aggloméré. La perméabilité du sol, très grande dans les couches supérieures, a tendance à devenir toujours plus petite avec la profondeur. Les sondages ont permis en outre de déterminer l'existence d'une nappe phréatique dont le niveau oscille entre la cote 535 et 536 m, c'est-à-dire approximativement au niveau des futures voies. Le débit de cette nappe peut être localement assez élevé, ainsi qu'on put le voir au début des travaux, où des débits compris entre 20 et 25 litres par seconde ont été mesurés dans le puits de départ (fig. I/6).

4. Choix de la méthode de construction du tunnel

Le projet mis en soumission par les CFF prévoyait une exécution classique avec construction préalable de la voûte au moyen de cintres Kunz et marches-avants, puis une exécution en tranchées des pieds-droits, pour finir par l'exécution par tranche, du radier. Etant donné

la mauvaise qualité du terrain encaissant, la faible couverture, l'existence d'une nappe phréatique en profondeur, il était clair que l'emploi de cette méthode ne pouvait aller sans tassements, ce qui eût représenté des inconvénients sérieux, étant donné la présence de bâtiments, de canalisations et conduites diverses sur le tracé du tunnel. L'expérience montre, dans des cas similaires, que ces tassements sont au minimum de l'ordre de 10 à 20 cm. Avec de grandes précautions, ils peuvent être diminués, mais en aucun cas supprimés. Notre intention primitive était d'assumer les risques de dégâts provoqués par des tassements aux bâtiments, aux constructions routières et aux canalisations, car d'après les renseignements que nous avons obtenus, l'exécution du tunnel par une méthode absolument sûre, telle que gel du terrain, bouclier, injections, etc., en aurait dû doubler environ le prix. Dans le but toutefois de susciter une émulation constructive parmi les entreprises soumissionnaires, nous avons laissé à celles-ci toute liberté quant au choix du mode d'exécution du tunnel.

Il est peut-être intéressant d'étudier sommairement les offres les plus intéressantes qui nous sont parvenues.

Trois propositions tout d'abord se rapprochaient du projet officiel avec construction préalable de la calotte, puis des pieds-droits et enfin du radier. Quelques variantes apparaissent dans la conception de l'étaillage de la voûte, de l'excavation du « stross » ou des mesures destinées à abaisser la nappe phréatique, tels que forage de puits filtrants, ou pompage par la méthode de « Wellpoint » (fig. I/7).

Deux projets prévoyaient tout d'abord le percement de galeries latérales et le bétonnage des pieds-droits, précédant l'exécution de la voûte et du radier.

Une proposition, enfin, du consortium Prader & C^{ie} S.A. et Locher & C^{ie} S.A., de Zurich, prévoyait le percement du tunnel à l'abri d'un bouclier sans air comprimé (fig. I/5). Cette méthode est appliquée depuis longtemps avec succès pour la construction de tunnels de métropolitains dans les conditions les plus difficiles et dans des zones fortement bâties ; elle constitue incontestablement le procédé le mieux approprié dans notre cas particulier, ce d'autant plus que les entreprises qui la proposèrent, seules de tous les soumissionnaires, étaient en mesure, grâce à la sûreté du système proposé, de trouver une société d'assurance prête à assumer contractuellement les risques de dommages éventuels pouvant résulter des travaux. C'est cette méthode que nous avons finalement retenue, bien que son prix soit dans le cas présent d'environ 10 % plus élevé que celui des méthodes classiques, parce qu'elle nous a paru la plus sûre et qu'elle supprimait pratiquement tous les risques de dégâts, qui n'auraient pas manqué de se produire ensuite de tassements.

5. Description sommaire de la méthode du bouclier

Le percement d'un tunnel par la méthode du bouclier consiste à travailler à l'abri d'un cylindre de tôle d'acier, enfoncé progressivement dans le terrain au moyen d'une couronne de vérins prenant appui sur la partie terminée du tunnel (fig. I/8).

La surface d'attaque circulaire est divisée en champs par des raidissements métalliques verticaux et horizontaux, champs qu'il est facile d'étaier suivant les besoins et la nature des terrains rencontrés.

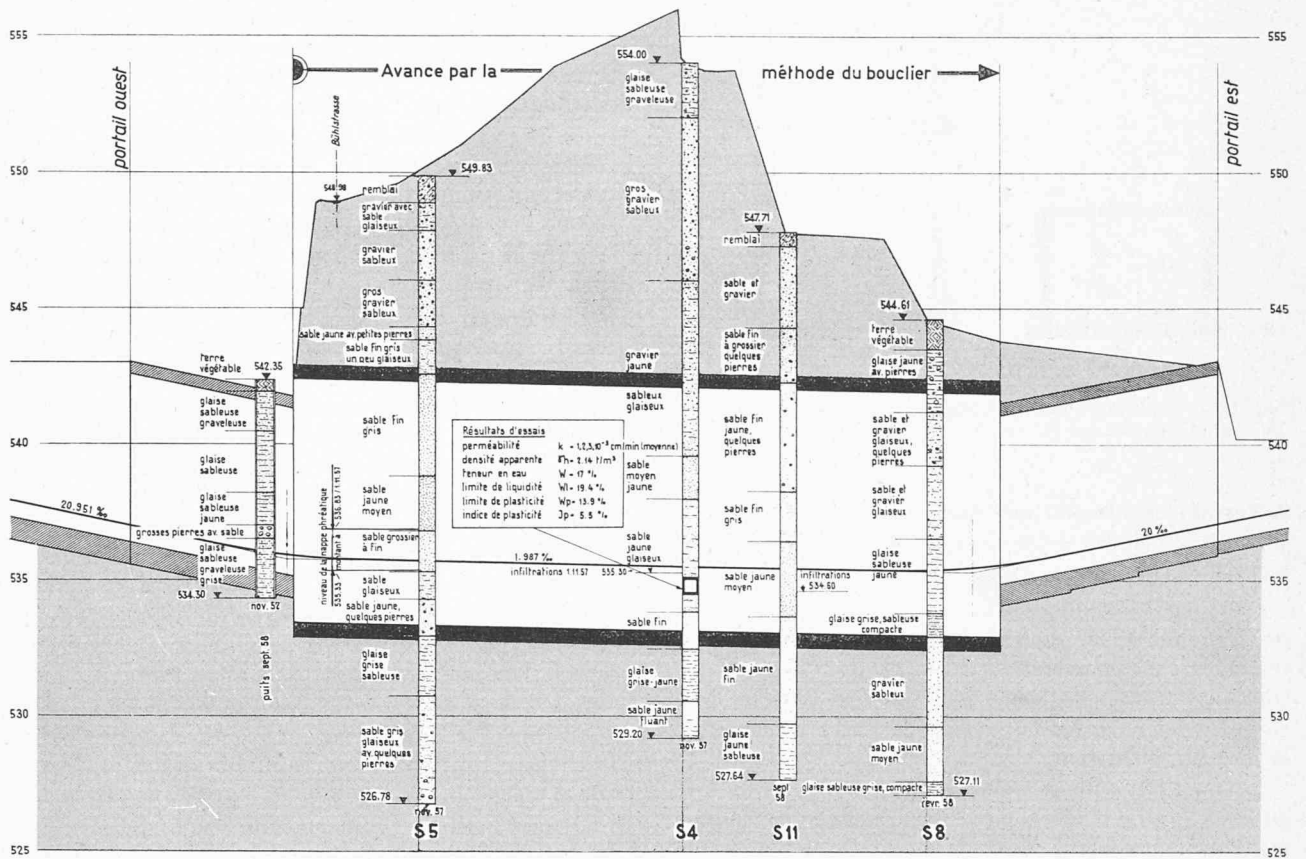


Fig. I/4. — Tunnel de Donnerbühl : profil en long géotechnique.

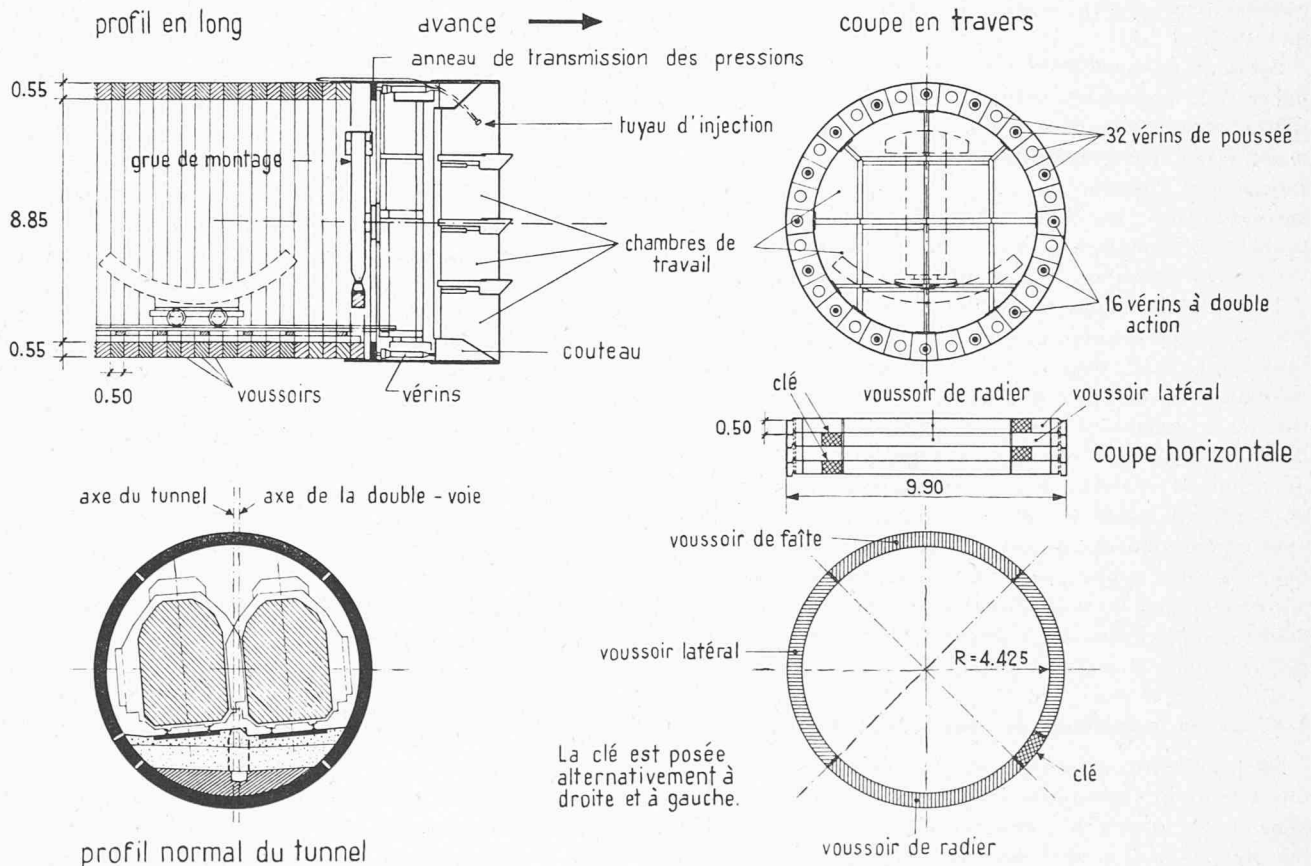


Fig. I/5. — Avance au bouclier, coupes du bouclier et des voussoirs préfabriqués.

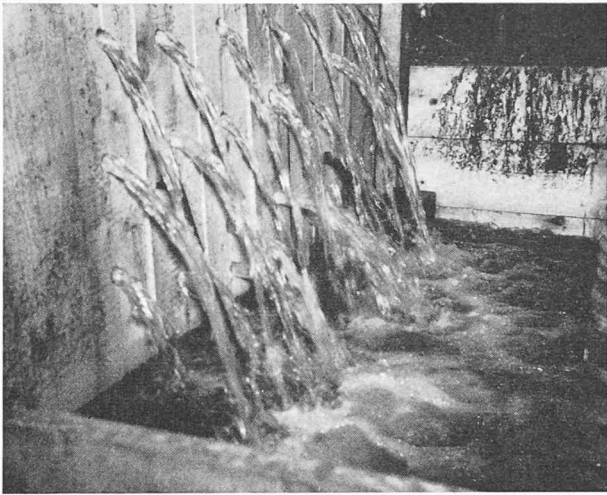


Fig. I/6. — Irruption d'eau lors du fonçage du puits de montage du bouclier.

Les anneaux successifs du tunnel sont formés de voussoirs préfabriqués montés à l'intérieur du cylindre d'acier, à l'aide d'une grue spéciale, puis, au fur et à mesure de l'avance, collés au terrain par des injections.

6. Etudes théoriques pour le calcul du tunnel

Lorsqu'il s'agit pour nous de calculer les anneaux circulaires formant le tunnel de Donnerbühl, calcul confié à M. Paul Kipfer, ingénieur-conseil à Berne, il est apparu tout de suite que les diverses méthodes de calcul des pressions des terres proposées dans la littérature étaient essentiellement contradictoires, ainsi par exemple :

La méthode de Caquot, décrite dans le « Traité de mécanique des sols » de Caquot et Kerisel, permet de calculer les pressions radiales et tangentielles dans un massif de sol entourant un tunnel de section circulaire. Elle correspond bien à la forme géométrique de notre tunnel.

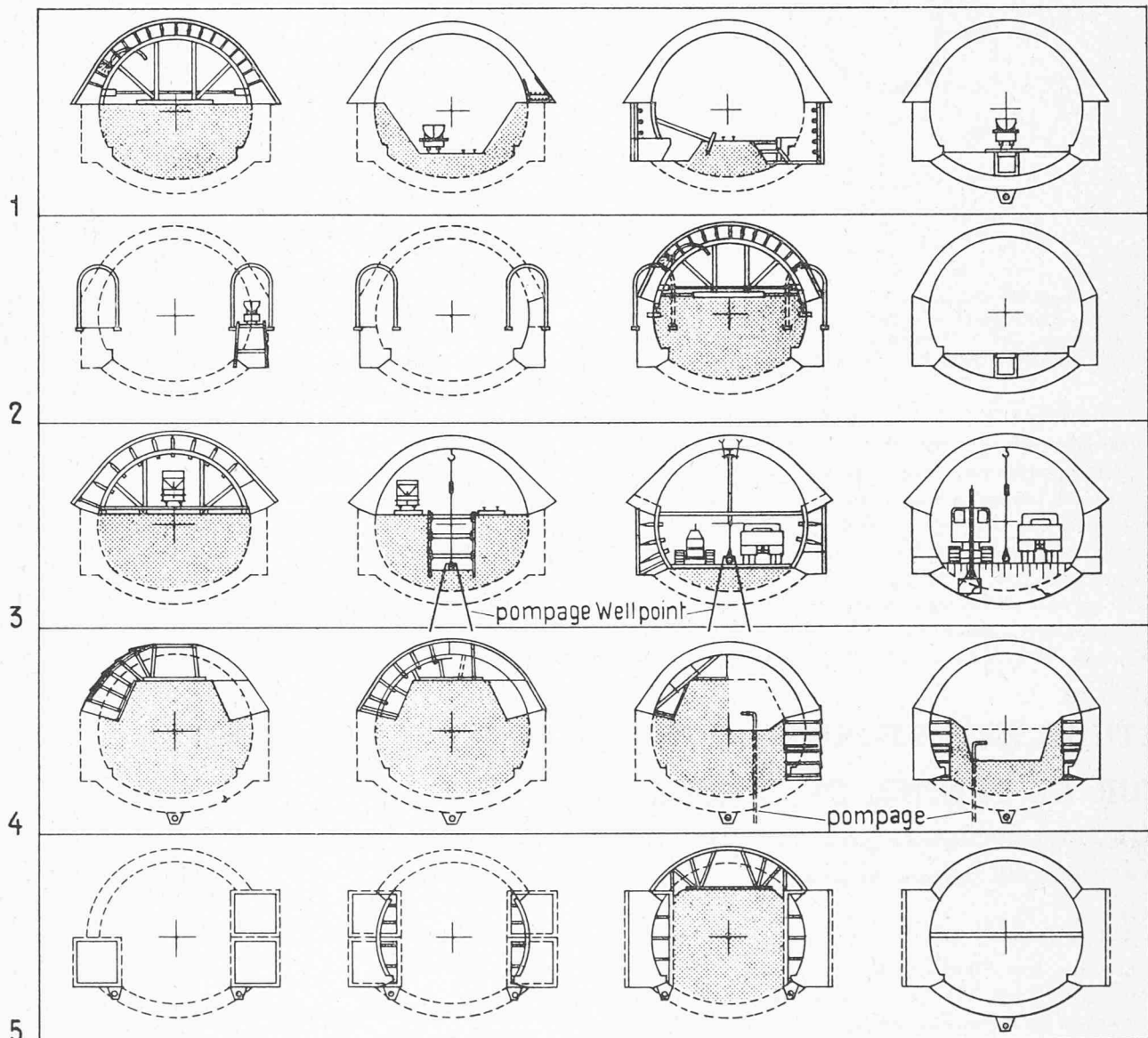


Fig. I/7. — Quelques modes d'exécution proposés par les entreprises soumissionnaires.

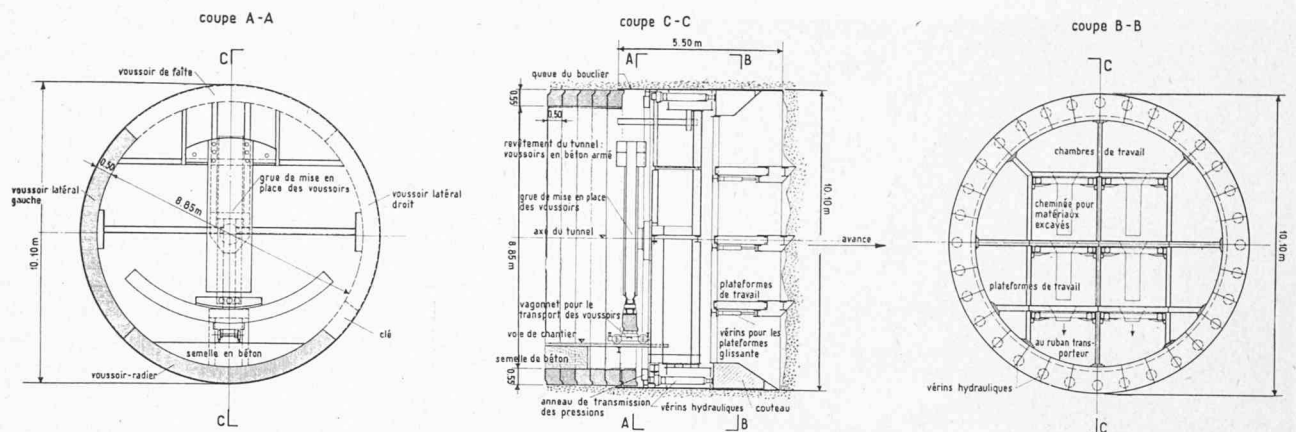


Fig. I/8. — Avance au bouclier, coupes en long et en travers.

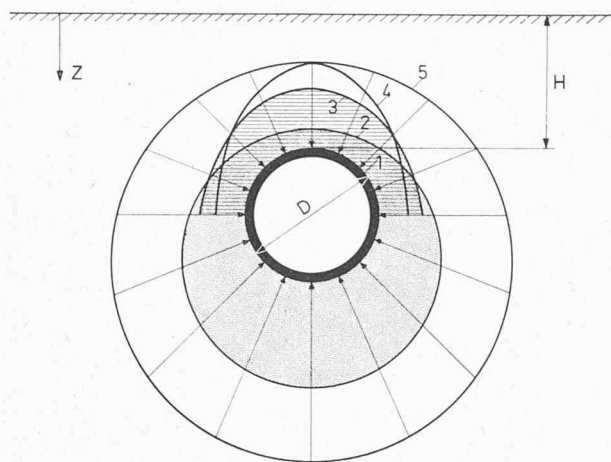


Fig. I/9. — Schéma de répartition des poussées de terres sur l'extrados d'un tunnel de section circulaire (1) selon Caquot (2), Terzaghi (3) et Kommerel-Culmann (4); poussée de référence hydrostatique à la densité du terrain (5).

La méthode de Kommerel-Culmann, décrite dans « Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk »¹, méthode en partie graphique, permet de déterminer les valeurs relatives et la répartition sur la voûte d'un tunnel, mais seulement lorsque l'on a choisi arbitrairement l'influence de l'effet de voûte, ce qui diminue naturellement l'intérêt de la méthode.

La méthode de Terzaghi enfin, donnée dans la « Mécanique théorique des sols », est établie pour une section

rectangulaire mais elle peut être adaptée à une section circulaire.

Ainsi que le montre la figure I/9, ces trois méthodes appliquées à un même cas donnent des résultats si divergents qu'il nous a paru intéressant d'essayer de vérifier par le moyen d'essais sur modèles, en laboratoire et « in situ » si l'une ou l'autre de ces théories sur les poussées serait de plus près la réalité.

Nous avons confié ces essais au *Laboratoire de géotechnique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne (EPUL)*.

Une autre étude, ayant pour but de déterminer, par la photoélasticité, les efforts dans un anneau de tunnel, en supposant divers cas de répartition des pressions sur son pourtour, fut confiée au *Laboratoire de statique de l'EPUL*.

Nous projetons enfin de mesurer les déformations des anneaux du tunnel sous charge au moyen de « strain-gages » embétonnés. Ces déformations devront nous permettre d'estimer la poussée réelle des terres qui s'exercera sur le tunnel et de la comparer avec la poussée calculée. Ces mesures feront l'objet d'une publication ultérieure.

Les résultats des études déjà terminées, de même que leur utilisation par l'auteur du projet ainsi que les expériences faites par l'entreprise, font l'objet des communications qui suivent.

¹ Voir aussi « Quelques aspects du problème de la poussée des tunnels », de J. C. ORT, ingénieur, paru dans le *Bulletin technique de la Suisse romande* des 20 janvier et 17 février 1945.

ETUDE EXPÉRIMENTALE DE LA POUSSÉE DES TERRES SUR LE TUNNEL DE DONNERBÜHL

par D. BONNARD, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne, et E. RECORDON, ingénieur principal au Laboratoire de géotechnique de l'EPUL.

1. But de l'étude

L'étude, dont fut chargé le Laboratoire de géotechnique de l'EPUL, avait pour but de déterminer expérimentalement les valeurs de la pression des terres sur des tunnels d'essais, puis de comparer ces pressions aux chiffres que donnent diverses théories, afin de choisir

la méthode de calcul la mieux adaptée au cas du tunnel de Donnerbühl.

2. Choix des méthodes expérimentales

Les coefficients qui interviennent dans le calcul des pressions sont l'angle de frottement interne, la cohésion