

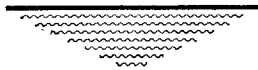
LE  
TUNNEL DU SIMPLON

PAR

G. DE FOOZ



(Extrait des Mémoires de l'Union des Ingénieurs de Louvain, 1904)



**BRUXELLES**  
Imprimerie de l'Economie Financière  
RUE DE LA MADELEINE, 26

1905

# LE TUNNEL DU SIMPLON





# LE TUNNEL DU SIMPLON

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- II. SCHARDT . . . **Note sur le profil géologique et la tectonique du massif du Simplon comparés aux travaux antérieurs.** *Eclogæ Geologicae Helvetiae*, vol. VIII, n° 2, oct. 1903.
- A. HEIM . . . . **Ueber die geologische Voraussicht beim Simplon-Tunnel.** *Eclogæ Geologicae Helvetiae*, vol. VIII, n° 4, nov. 1904.
- M. LUGEON. . . **Les Venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle.** *Bulletin technique de la Suisse romande*. Lausanne, déc. 1902.
- S. PESTALOZZI . **Die Bauarbeiten am Simplon - Tunnel.** *Schweizerische Bauzeitung*. Zürich, 1904.
- P. HOFFET . . . **Extraits des rapports trimestriels sur l'état des travaux du Simplon.** *Bulletin technique de la Suisse romande*. Lausanne.
- P. DE BLONNAY. **Le Tunnel du Simplon.** *Bulletin technique de la Suisse romande*. Lausanne, sept. 1904.
- M. GOEGG . . . **Les Grands Travaux de perforation dans les Alpes.** *Société normande de Géographie*. Rouen, 1904.
- R. KELLER. . . **Die Bau des Simplon-Tunnels** von ED. SULZER-SIEGLER. *Mittheilungen der naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Winterthur*, 1904.
- A. DUMAS . . . **Le Tunnel du Simplon.** *Le Génie civil*. Paris, 27 oct. 1900.
-



# LE TUNNEL DU SIMPLON <sup>(1)</sup>

---

Depuis plusieurs mois la presse de l'Europe centrale s'occupe du Simplon. Les journaux politiques ont relaté les dernières difficultés rencontrées. Des sources d'eau chaude ont fait irruption, aux mois de mai et septembre; les travaux d'avancement ont été arrêtés, jusqu'à la fin d'octobre, alors qu'il ne restait plus que 244 mètres à percer.

Pour poursuivre le percement, il a fallu contourner l'obstacle en perçant une galerie transversale. La perforation dans l'axe du tunnel a été reprise à 23 mètres au delà de la grande source d'eau chaude. Depuis lors la marche en avant est redevenue régulière et le 24 février le Simplon a été virtuellement percé. L'eau chaude accumulée du côté suisse drainait à travers les crevasses de la roche et s'écoulait vers l'orifice italien du tunnel. Lorsque la poche d'eau sera vidée, les derniers coups de mine réaliseront la percée. Les chemins de fer fédéraux suisses seront ainsi dotés d'une ligne internationale nouvelle.

Les journaux se sont même intéressés aux polémiques scientifiques dont cette entreprise a fourni l'occasion : ils ont rapporté le discours de M. Ed. Sulzer-Siegler, prononcé au commencement de cette année, à la fondation de la *Société de Sciences naturelles* à Saint-Gall, en Suisse. Dans ce discours, l'orateur manie la fêrule et tance d'importance messieurs les géologues qui se sont permis de dresser, avant les travaux, un profil des terrains traversés que les faits, au cours du percement, n'ont pas ratifié dans ses détails.

Plus souvent encore, dans des articles s'adressant aux ingénieurs, les revues techniques ont entretenu leurs lec-

---

(1) Conférence faite à Louvain, au Cercle Industriel, le 11 novembre 1904.

teurs du tunnel du Simplon, mais en se plaçant au point de vue purement descriptif. Nous utiliserons ces documents ; mais nous avons pensé qu'une visite des travaux les compléterait utilement et donnerait plus de valeur à leur mise en œuvre. De fait, les renseignements nombreux et précis que nous avons recueillis au cours de cette visite, nous mettent à même, croyons-nous, de présenter, sur cet intéressant sujet, une étude plus complète et mieux au point.

Nous tenons ici à rendre hommage à l'obligeance de MM. les ingénieurs E. Rolla et R. Rossi, respectivement chef et sous-chef de section, et, tout spécialement, à M. A. Zollinger, ingénieur en chef du Simplon, pour leur précieux concours dans la visite des chantiers sud, à Iselle (Italie), que nous avons faite en leur compagnie, au mois d'octobre dernier. Nous remercions aussi M. Isaak, ingénieur, chef de section, et M. Gschlacht, ingénieur du Simplon, pour les services qu'ils nous ont rendus dans notre visite des chantiers nord, à Brigue (Suisse). Les renseignements fournis par M. le professeur H. Schardt, membre de la Commission géologique du Simplon, nous ont également beaucoup aidé pour le développement de la partie scientifique de notre travail. Nous le remercions bien sincèrement de son amabilité.

Notre travail comprendra trois parties. La première sera un coup d'œil général et comparatif sur les percements du Mont Cenis, du Saint-Gothard, de l'Arberg et du Simplon. Nous consacrerons la seconde à l'étude du profil géologique, de la thermique du sol et de l'hydrologie souterraine du massif du Simplon. La troisième contiendra l'étude technique des travaux. Ce sera la plus importante. Nous la subdiviserons en trois sections, où nous étudierons les installations hydrauliques et mécaniques aux entrées du tunnel, et le transport de force ; les travaux intérieurs : mode de construction, perforation, réfrigération, évacuation des eaux ; la traction, pour le transport des déblais et des matériaux, et l'avancement des travaux.

Enfin nous indiquerons les modifications qui nous sem-



blent de nature à réaliser un progrès dans la construction des grands tunnels.

I

**Coup d'œil général et comparatif  
sur les percements du Mont Cenis, du Saint-Gothard  
de l'Arlberg et du Simplon.**

Le massif des Alpes forme une barrière naturelle entre l'Italie et l'Europe centrale. Au début de la seconde guerre punique, Annibal la fit franchir à son immense armée, mais sans le souci de laisser derrière lui la route définitivement ouverte, ni même simplement plus aisée à qui eût voulu renouveler cet exploit.)

A l'époque napoléonienne la route du Simplon fut jugée nécessaire aux opérations militaires; elle devint dès lors la voie préférée pour la traversée des Alpes. Napoléon I<sup>er</sup> y établit la première route carrossable, longue de 66 kilomètres, de Brigue, en Suisse, à Domo d'Ossola, en Italie; son point culminant est à 2,000 mètres d'altitude, celle de ses extrémités ne dépassant pas 700 mètres. C'est aussi à Napoléon I<sup>er</sup> que l'on doit la route du Mont Cenis.

Cinquante ans à peine après leur construction, le trafic international prenait une telle importance qu'il fallut lui ouvrir des débouchés plus aisés et plus rapides. C'est alors qu'on décida le percement de voies souterraines. Le tableau suivant donne quelques éléments de comparaison entre le tunnel du Simplon et les grands tunnels qui traversent les Alpes, ceux du Mont Cenis, du Saint-Gothard et de l'Arlberg.

	Mont Cenis	Saint-Gothard	Arlberg	Simplon
Longueur du tunnel, en mètres . . . . .	12.849	14.984	10.240	19.731
Durée du percement, en années . . . . .	14	9	3,5	6,5

	Mont Cenis	Saint-Gothard	Arlberg	Simplon
Température intérieure, en degrés centigrades .	29,5	30,8	18,5	45
Hauteur maximum du terrain au-dessus du tunnel, en mètres . . . . .	1.654	1.706	720	2.135
Altitude maximum du tunnel, en mètres . . .	1.295	1.155	1.310	705
Altitude du massif montagneux suivant l'axe du tunnel, en mètres. .	2.949	2.861	2.030	2.840
Altitude de l'entrée N. ou E., en mètres . . . . .	1.148	1.109	1.302	687
Altitude de l'entrée S. ou W., en mètres . . . . .	1.269	1.145	1.218	634
Rampe maximum ‰ . .	22	5,82	15	7

Voici d'autres éléments de comparaison qui complètent ce tableau :

Le premier percement des Alpes, celui du Mont Cenis, est dû à un ingénieur français, M. Sommeiller. Le travail fut entrepris en 1857. On y employa la perforation mécanique à air comprimé. A cette époque on faisait de 90 à 100 trous de mine sur le front d'attaque ; ces trous avaient 0<sup>m</sup>,04 de diamètre et 0<sup>m</sup>,80 de profondeur et on les chargeait à la poudre. Un trou central de 0<sup>m</sup>,09 de diamètre non chargé facilitait l'explosion de l'ensemble. Actuellement on fait tout au plus une dizaine de trous de mine de dimensions à peu près doubles, et on les charge à la dynamite.

Pour le percement on eut recours à la méthode avec avancement à la base. Il n'y eut au Mont Cenis aucune venue d'eau importante, et la température interne fut peu élevée, grâce à la bonne ventilation que facilitait l'air provenant des perforatrices.

Le tunnel du Mont Cenis fut inauguré en 1871. L'œuvre

était admirable, mais elle ne devait pas tarder à être dépassée par le tunnel du Saint-Gothard.

La ligne du Gothard, décrétée de commun accord entre l'Italie, la Suisse et l'Allemagne, et commencée en 1872, mit aux mains de l'Allemagne une arme économique redoutable, que l'on chercha plus tard à émousser.

Un trait caractéristique de la ligne du Gothard est l'unité nationale de son parcours : elle reste constamment sur le territoire de la Confédération suisse, de l'extrémité de la plaine de Lombardie, à Chiasso, jusqu'au lac des Quatre-Cantons, à Lucerne.

Au point de vue technique l'œuvre est grandiose et hardie; les lignes d'accès au tunnel suivent la vallée de la Reuss, sur le versant rhénan jusqu'à Goeschenen, et la vallée du Tessin jusqu'à Airolo, sur le versant italien. L'altitude du tunnel, comme le montre le tableau précédent, est telle qu'on dut allonger artificiellement la ligne à partir du point où elle quitte la plaine, afin de ne pas dépasser la rampe maximum de 26 ‰. C'est pour atteindre ce but, que l'on a intercalé, sur les deux versants, des boucles ou tunnels dits « hélicoïdaux ».

La construction du tunnel du Saint-Gothard présenta des difficultés plus grandes que celles du Mont Cenis, à cause de l'absence de voies d'accès pendant sa construction et de la nature des terrains traversés. Les roches se composaient de granit du côté nord et de gneiss du côté sud.

Sous la vallée d'Andermatt, les revêtements en maçonnerie, malgré leur épaisseur extraordinaire, cédèrent plusieurs fois à la pression de la montagne. Les venues d'eau furent considérables : elles dépassèrent, en moyenne, 230 litres à la seconde, contre 1 litre seulement au Mont Cenis. La dynamite remplaça définitivement la poudre et l'abatage se fit à l'aide des perforatrices Ferroux à air comprimé (1).

Pour le percement, on utilisa le procédé d'attaque par galerie en calotte, appelée aussi méthode belge (2).

---

(1) Haton de la Goupillière. — *Cours d'exploitation des mines*, tome I. Paris, 1896.

(2) Ibid.

Dès que le percement du Gothard fut achevé, l'Autriche voulant rendre ses relations avec la Suisse et la France indépendantes des chemins de fer allemands, décida de relier la vallée de l'Inn à celle du Rhin, à travers les Alpes du Tyrol. Elle fit donc construire 135 kilomètres de voies ferrées nouvelles, et effectuer une percée de 10 kilomètres à travers l'Arlberg. Le travail fut commencé en 1880. Les terrains traversés par ce nouveau tunnel furent beaucoup moins durs qu'au Saint-Gothard. Dans les chantiers ouest on utilisa la perforatrice Brandt, et dans les chantiers est la perforatrice Ferroux (1).

Quant au mode de percement, on appliqua une méthode mixte (2), appelée aussi méthode par galerie de pied ou méthode anglaise (3).

L'idée de percer le Simplon remonte à une cinquantaine d'années. Plusieurs projets prévoyant des tunnels établis à des altitudes assez élevées furent successivement rejetés. Ce n'est qu'en 1898 que les gouvernements italien et suisse concédèrent la ligne à la Compagnie du Jura-Simplon.

L'entreprise du creusement du tunnel fut confiée, pour le prix de soixante-neuf millions et demi, à un groupe composé des maisons A. Brandt et Brandau de Hambourg, Sulzer frères de Winterthur, Lôcher et C<sup>ie</sup> de Zurich, et la banque de Winterthur.

Aux termes de la convention, les travaux devaient commencer le 13 novembre 1898; le tunnel et la galerie de base du grand tunnel devaient être livrés à l'exploitation le 15 mars 1904; on stipulait une prime ou une pénalité de 5,000 francs par jour d'avance ou de retard sur la date fixée pour l'achèvement des travaux. Un cautionnement de cinq millions garantit la bonne exécution de l'entreprise pendant trois années après sa mise en œuvre.

Diverses subventions furent accordées à la Compagnie du

---

(1) A. Habets. — *Cours d'exploitation des mines*, tome I. Liège, 1902.

(2) Bridel. — *Examen critique des systèmes d'exécution appliqués à la construction rapide des grands tunnels*. Lucerne, 1883.

(3) A. Habets. — Ibid.

Jura-Simplon : la Confédération Suisse intervint pour quatre millions; les cantons suisses du Valais, du Vaud, de Genève et de Berne et la province italienne de Novare accordèrent dix millions.

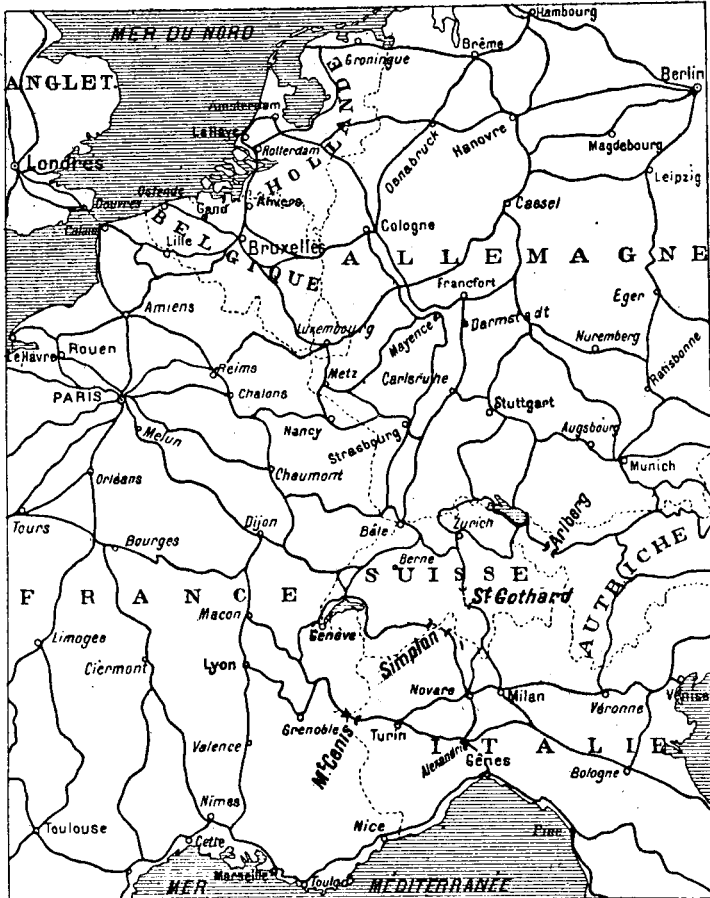


Fig. 1. — Carte des lignes de chemins de fer intéressant le Simplon.

Au point de vue économique, le Simplon enlève au Mont Cenis et au Saint-Gothard une partie de leur trafic. Un coup d'œil jeté sur la carte ci-jointe de l'Europe centrale permet de déterminer les secteurs de chacun de ces tunnels (fig. 1).

On projette la construction de nouvelles lignes ferrées à la frontière franco-suisse pour raccourcir le trajet de Paris à Milan par le Simplon (1). Lorsque ces nouvelles voies seront établies, le Simplon desservira avantagement le nord et le centre de la France et même l'Angleterre, en transit par Paris. Peut-être le Simplon détournera-t-il, par la France et au détriment de notre pays, le trafic d'Angleterre en Italie, qui se fait actuellement par la Belgique, l'Allemagne et le Saint-Gothard. Le prolongement de la ligne de Thun-Frütigen par le Lötschberg, passant à une altitude de 1,200 mètres, relierait directement Bâle au tunnel du Simplon, sans porter préjudice aux chemins de fer belges et allemands.

Le tracé de la nouvelle voie se raccorde, à Brigue, avec le chemin de fer du Valais, longe la rive gauche du Rhône et atteint la tête nord du tunnel à 2 kil. 5 à l'est de Brigue (fig. 2). La ligne traverse le massif du Simplon en tunnel sur une longueur de 19,731 mètres, débouche sur le versant italien près d'Iselle, et se raccorde au réseau italien de la Méditerranée à Domo d'Ossola.

La ligne s'engage dans le tunnel à 686 mètres d'altitude; elle monte en rampe de 2 ‰, ce qui ménage l'écoulement des eaux, jusqu'à 704<sup>m</sup>,20 d'altitude. Là elle se développe en palier sur un parcours de 500 mètres où se trouve établie une gare d'évitement; enfin, elle descend en pente de 7 ‰ vers la sortie sud, qui est à 634 mètres d'altitude. La différence de niveau entre les extrémités du tunnel est donc de 52 mètres.

Les cotes des deux points terminus ont été choisies de façon que l'on fût, au nord, toujours au niveau des plus hautes eaux du Rhône et, au sud, où le tunnel débouche dans la gorge du Gondo, en un point où les installations fussent d'un établissement relativement facile. Le tracé est en ligne droite, sauf aux abords du tunnel, pour permettre le raccordement avec les lignes à ciel ouvert.

Afin de faciliter la ventilation et même l'écoulement des

---

(1) Louis Laffitte. — LE GÉNIE CIVIL, *Simplon et Fauville, rôle économique d'une nouvelle ligne internationale*, août et septembre 1903.

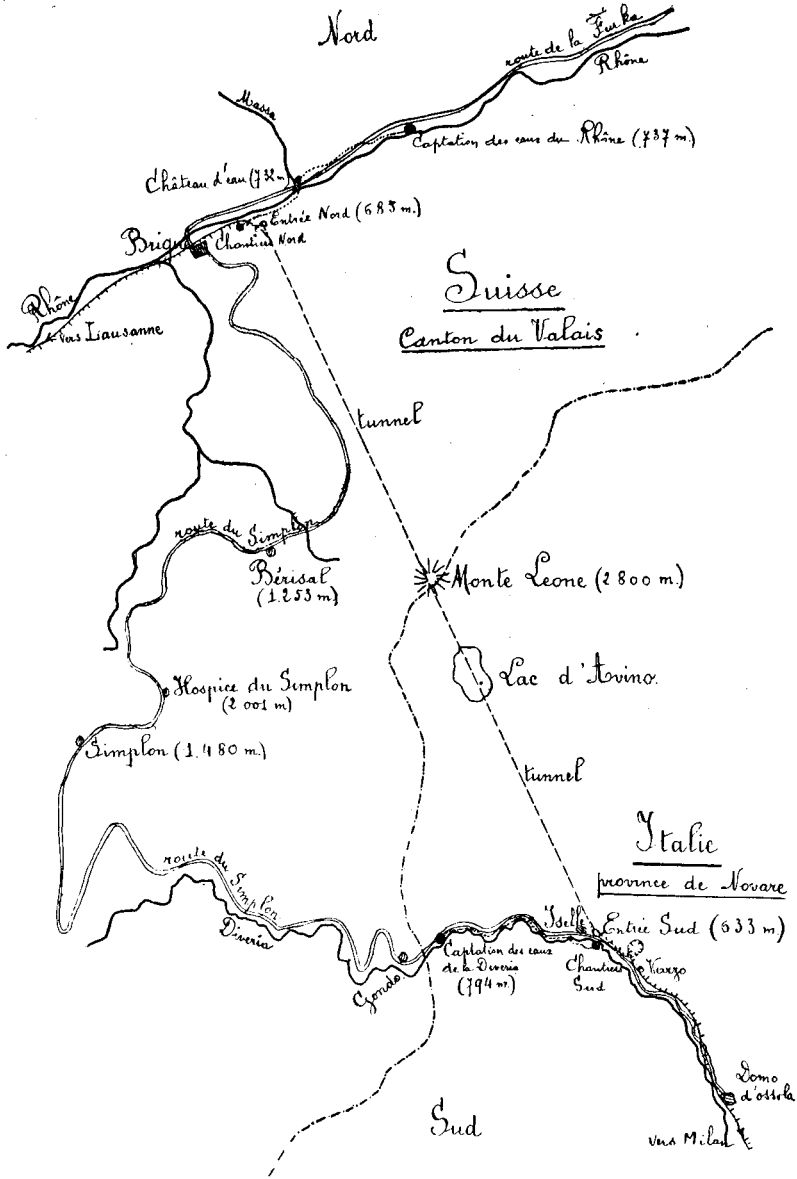


Fig. 2. — Carte de la région du Simplon.

Tracé du tunnel - - -; Emplacement des chantiers N. et S.; Points de captation des eaux du Rhône et de la Diveria; Conduite hydraulique .....

eaux, au lieu d'un tunnel à double voie, tel que ceux du Mont Cenis, du Saint-Gothard et de l'Arlberg, on a construit ici deux tunnels parallèles à simple voie, dont les axes sont distants de 17 mètres et qui sont reliés tous les 200 mètres par des traverses obliques. L'exploitation ne commencera qu'avec un de ces deux tunnels, celui que nous appelons *galerie principale*. Lorsque le trafic brut aura atteint 40,000 francs par kilomètre, le second tunnel, qui sert actuellement à la ventilation et à l'écoulement des eaux, sera élargi au profil définitif et mis en œuvre; nous l'appelons *galerie parallèle*.

La section de la galerie principale a 5 m. de largeur sur 5<sup>m</sup>,50 de hauteur; celle de la galerie parallèle, 3 m. de largeur sur 2 m. de hauteur.

Ce dédoublement du tunnel présente de sérieux avantages : il permet la circulation d'un courant d'air peu résistant, à cause des grandes dimensions de la galerie d'amenée, et par suite une ventilation abondante et aisée; en outre, il assure l'évacuation des venues d'eau éventuelles par une voie spéciale.

Un grand avantage du tunnel du Simplon, c'est d'être un tunnel de plaine. Son altitude maximum est inférieure de 450 mètres à celle du Saint-Gothard; dès lors la déclivité relativement faible des voies d'accès, dans les vallées du Rhône et de la Toce, permettra la circulation des trains à grande vitesse.

Toute entreprise facilitant les relations internationales, suscite des rivalités qui en provoquent de nouvelles. Le Simplon n'est pas encore percé que déjà l'on projette sérieusement la construction d'une nouvelle ligne reliant la Suisse orientale et l'Italie à travers la région comprise entre le Saint-Gothard et le Brenner, distants de 220 kilomètres. M. R. Bernhardt, en un travail très documenté (1), préconise dans ce but la ligne du Splügen, de Coire à Chiavenna et Milan.

---

(1) *Die schweizerische Ostalpenbahn, in historischer, technischer, kommerzieller und volkswirtschaftlicher Beleuchtung*, von Rob. Bernhardt. Zurich, 1903.



Un premier projet comporte un tunnel de 18 kilomètres à une altitude de 1,155 mètres. Le profil de la nouvelle ligne serait analogue à celui du Saint-Gothard. Le devis est estimé à 125 millions.

Un autre projet consiste dans un tunnel de base à une altitude peu considérable — 732 mètres — comme l'est le Simplon. Ce tunnel aurait 40 kilomètres de longueur de Sils, près de Thusis, jusqu'à la vallée de la Mera ; sa construction coûterait 200 millions. Mais quelles difficultés n'aurait-on pas à redouter par suite de la haute température des roches et des sources d'eau chaude étant donnée l'expérience acquise au Simplon.

On a aussi proposé une variante plaçant le tunnel entre Andeer et Callivagio, ce qui le ramènerait à 26 kilomètres, sans notable accentuation de rampes. Ce dernier tracé est un moyen terme entre les deux précédents et réduirait les difficultés et la dépense.

En dehors de la ligne du Splügen on poursuit activement les études pour l'établissement de la nouvelle ligne internationale, soit par le Luckmanier, soit sous le col de la Greina.

## II

### **Etude du profil géologique de la thermique du sol et de l'hydrologie souterraine du massif du Simplon.**

La géologie fait des progrès continuels. Comme toute science naturelle, elle part des faits observés pour s'élever par le raisonnement à la connaissance de ceux qui échappent à l'observation directe. Les données de l'expérience s'accroissent peu à peu rendant plus aisée et plus sûre l'interprétation des phénomènes cachés, plus rares et moins graves les erreurs toujours possibles en un domaine où toutes les forces de la nature concourent à déjouer les prévisions.

Il est intéressant de rappeler brièvement les diverses manières dont on a compris la géologie du massif du Simplon et interprété le plissement enchevêtré de ses assises.

Les roches de ce massif peuvent être partagées en quatre

groupes que nous mentionnerons par ordre de superposition, en allant de la plus ancienne à la plus récente. Ce sont : le *gneiss d'Antigorio*, roche massive contenant, par endroits, des schistes et des filons d'aplite ; le *gneiss du Monte Leone*, gneiss lité avec des micaschistes plus ou moins grenatifères, des schistes amphiboliques, etc. ; les *roches triasiques* comprenant des quartzites, du gypse (anhydrite en profondeur), des schistes argileux tendres micassés, des calcaires dolomitiques ; enfin des *schistes lustrés*, roche schisteuse plus ou moins calcaire, avec de fréquents nodules de quartz. Voyons comment les relations réciproques de ces quatre éléments ont été envisagées.

C'est Bernard Studer, l'un des pères de la géologie suisse,

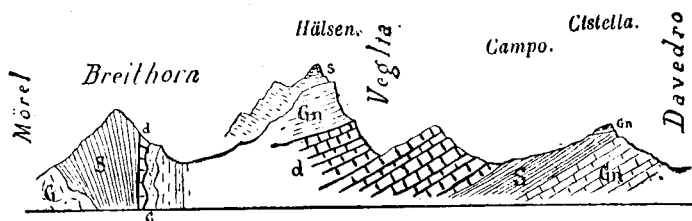


Fig. 3. — Profil du massif du Simplon, d'après B. Studer (1851), passant à 5 kilomètres environ au N.-E. du tunnel.

S = Schistes gris (sch. lustrés); G = Gypse; d = Dolomite et marbres;  
Gn = Gneiss.

qui, le premier, donna une coupe géologique de la région (fig. 3). Elle passe très près de l'axe du tunnel et permet, par la comparaison avec d'autres coupes postérieures, de constater les progrès accomplis par la géologie. Remarquons que Studer s'est aperçu que le gneiss pouvait reposer sur des schistes gris calcaires. S'il n'a pas tiré de cette idée les conclusions importantes qui en découlaient, c'est que, de son temps, la théorie des grands plis couchés n'était pas née.

En 1869, Gerlach, l'un des géologues les plus distingués de la Suisse, publiait le résultat de ses observations. Il distingue le gneiss d'Antigorio de celui du Monte Leone, et arrive à la conception d'un énorme pli couché dont le noyau serait formé de gneiss d'Antigorio (fig. 4).

La manière de voir du célèbre ingénieur n'eut pas le succès qu'elle méritait. Gerlach ne fut pas de son temps, il le précéda ; quand vinrent les expertises officielles, ses vues ne furent pas suivies.

C'est en 1877 que MM. les professeurs Renevier, Heim et Lory furent chargés d'une exploration préliminaire du massif que devait traverser le tunnel projeté. Dans un intéressant mémoire, le premier de ces géologues rappelle la théorie de Gerlach et se demande, avec raison, si les bancs calcaires qui paraissent intercalés régulièrement dans les gneiss du Monte Leone ne représentent pas la même couche repliée trois fois sur elle-même. Sans trancher la question et malgré l'opinion de ses collègues, il penche nettement vers cette manière de voir. En 1882, à la suite d'une nouvelle expertise

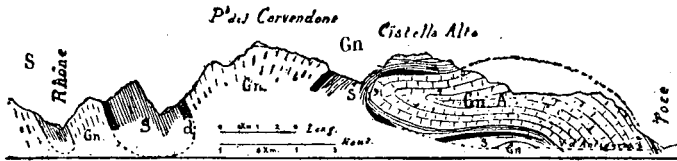


Fig. 4. — Coupe à l'est du Simplon, par Gerlach (1869).  
Réduction 1 : 100,000.

S = Schistes métamorphiques ; *d* = Roches triasiques ; Gn = Gneiss ;  
Gn A = Gneiss d'Antigorio.

faite par les mêmes géologues, auxquels fut adjoint le professeur Taramelli de Pavie, le massif du Simplon est encore considéré comme un dôme régulier. Toutefois la succession des couches y est serrée de plus près.

En 1890, M. le professeur H. Schardt est chargé d'une troisième expertise. Les résultats de ces études fut d'abord l'existence d'un indice de plissement relevé dans l'arête du Wasenhorn. En outre, dans la vallée de Caïrasca, un affleurement de gypse, que les auteurs considéraient comme du gneiss décomposé, prend ici une signification nouvelle. Ce n'est pas un produit de décomposition aux yeux de M. Schardt, mais un dépôt originel (fig. 5).

C'est ce profil, agrandi d'après une copie défectueuse,

non revue par l'auteur, qui fut jointe à la demande de concession accordée, en 1898, avant la mise à exécution des travaux.

En 1893, M. H. Schardt reprend l'hypothèse de Gerlach sur le grand pli couché de gneiss d'Antigorio et, en 1894, il publie

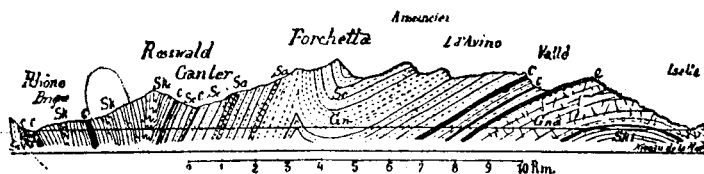


Fig. 5. — Profil géologique du massif du Simplon dans l'axe des projets de 1890 et 1893.

Sk = Schistes lustrés; C = Calcaire dolomite, gypse, etc., Trias;

Sc = Schistes cristallins;

Sa = Schistes amphiliques; Gn = Gneiss; Gna = Gneiss d'Antigorio.

en même temps que M. le professeur Gollier (1) une nouvelle coupe du massif du Simplon (fig. 6).

Le progrès réalisé dans ces deux coupes, très semblables, est considérable. On sent que la solution du problème est

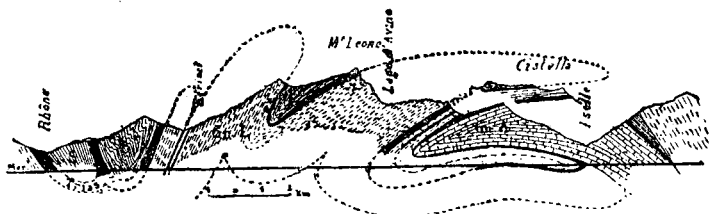


Fig. 6. — Coupe à travers le massif du Simplon, d'après H. Schardt (1894). Réduction 1 : 100,000.

S = Schistes lustrés; Gn = Gneiss du Monte Leone;

Gn A = Gneiss d'Antigorio.

serrée de près. Les deux auteurs voient des plis entrelacés, quelques-uns dirigés vers le sud, faisant face au grand pli couché de gneiss d'Antigorio, dirigé vers le nord, et se déversant sur lui.

(1) *Profil du Simplon*. LIVRET-GUIDE GÉOLOGIQUE DE LA SUISSE. Lausanne, 1894.

Vient ensuite, en 1901-1902, le profil de M. C. Schmidt qui interprète l'hypothèse du renversement. En 1902, M. M. Lugeon applique également aux gneiss du Simplon le principe des plis couchés, et construit un profil sommaire. MM. C. Schmidt et M. Lugeon ont utilisé en partie les renseignements géologiques contenus dans les rapports présentés au Conseil fédéral suisse.

A l'apparition de ces profils, M. H. Schardt publia de son côté un troisième profil (fig. 7), basé sur une étude faite dans le tunnel dont les travaux se poursuivaient. Ce profil ne dit probablement pas le dernier mot sur cette question complexe.

On voit, par cette revue rapide des opinions émises par les

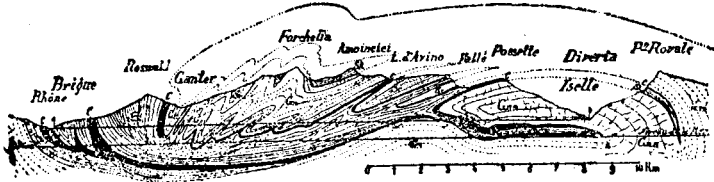


Fig. 7. — Profil du massif du Simplon, par H. Schardt  
avril 1902 à juillet 1903.

Sk = Schistes lustrés ; C = Trias ; Sc = Schistes cristallins,  
amphibolites, etc. ;  
Gn = Gneiss ; Gna = Gneiss d'Antigorio.

géologues qui se sont occupés du Simplon, combien les secrets que la montagne recèle dans ses flancs ont provoqué de conceptions différentes. Maintenant qu'on y a introduit l'observation directe, nous ne tarderons pas à voir paraître une monographie du tunnel du Simplon, qui apportera plus de lumière à la solution du problème parce qu'elle appuyera les démonstrations sur des études pétrographiques et des analyses chimiques des roches et sur des profils plus détaillés ; une carte géologique au vingt-cinq millième accompagnera ce travail.

Les révélations tectoniques du massif du Simplon pourront s'appliquer aussi à d'autres parties des Alpes et notamment aux zones annexes, les Alpes tessinoises et grisonnes d'une part, et les Alpes valaisannes, entre le Simplon et le Combin, d'autre part.

Abordons maintenant la thermique du sol et l'hydrologie souterraine.

L'épaisseur verticale des roches, qui surplombent le tunnel, rendaient probables, à première vue, des phénomènes thermiques plus importantes ici que dans les percements antérieurs. On sait, en effet, que ces actions thermiques dépendent, entre autres choses, de la distance à la surface du sol et vont en croissant avec elle. Ainsi l'expérience a montré que la température augmente d'un degré centigrade quand on s'enfonce d'une trentaine de mètres. Mais si ces données sont approximativement exactes en pays de plaine, elles cessent d'être applicables en pays de montagnes à cause du refroidissement que subit le sol, du moins, en partie, au contact des glaciers. Pour cette raison, les entrepreneurs du Simplon crurent pouvoir compter sur un degré géothermique non de trente mais de soixante mètres. Dans cette hypothèse, il fallait prévoir une température maximum de 42°. Mais il faut tenir compte, ici surtout, de la circulation des eaux dans les fissures des roches. Il n'est pas douteux qu'elle puisse exercer une influence considérable sur la température à l'intérieur du sol, puisque ces eaux voyageuses arrivent dans les couches profondes à une température qui dépend, en grande partie, de celle de la nappe dont elles proviennent. De fait, la température prévue de 42° a été dépassée : l'expérience a donné jusque 53°, grâce à la présence de sources d'eau chaude.

Si l'on consulte le tableau des sources rencontrées au cours du percement du tunnel, on constate que des venues d'eau très voisines possédaient des températures notablement différentes. Cette observation a conduit M. H. Schardt à émettre une hypothèse intéressante sur la circulation souterraine et particulièrement sur la cause qui la produit. Il y voit un phénomène comparable à celui que réalise le thermosiphon. L'eau froide pénétrant dans l'intérieur du sol, s'échauffe peu à peu et devient moins dense. Elle tend alors à remonter, mais elle est remplacée par une quantité égale d'eau froide. Une circulation complexe s'établit, où les

variations de température mêlent leurs effets à ceux de la pesanteur.

Mais s'il y a circulation — et celle-ci n'est pas douteuse, quelle qu'en soit la cause — il y a corrosion, dissolution de la roche. Ainsi, petit à petit, se creusent ces canaux, ces réservoirs nés d'une fissure jadis capillaire et où coulent et s'accumulent les eaux de la surface. Les observations faites jusqu'ici dans le tunnel semblent confirmer cette manière de voir.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs, la circulation de l'eau joue certainement un rôle incontestable et important dans la température des roches.

Le tableau graphique (fig. 8) donne la variation des températures de la roche et de l'air à l'avancement. On a observé un abaissement de la température de la roche à partir du kilomètre 2.2 de l'entrée sud. A partir du kilomètre 4, où les sources d'eau froide ont fait irruption, cet abaissement a été relativement rapide : au kilomètre 4.4 le thermomètre n'a plus marqué que 16°,2 au lieu de 36° à 38° qu'on était en droit d'attendre. C'est donc une variation de 15° à 20° au moins, produite exclusivement par les eaux froides de circulation. Ce phénomène, il est vrai, peut n'être que passager : lorsque la vidange des réservoirs sera faite en grande partie, la température remontera peu à peu ; toutefois jamais elle n'atteindra ce qu'elle serait sans cette circulation qui continuera à amener dans les couches profondes les eaux superficielles.

En 1904 la température de la roche, mesurée sur la paroi latérale le plus près possible du front d'attaque, a présenté, du côté nord, d'assez grandes variations. Elle s'est élevée à 48°,6 au kilomètre 9, pour descendre à 40°,1 au kilomètre 9.8, et remonter à 45°,3 au kilomètre 10.2, tandis que dans les trous de mine elle atteignait 53°,6 au kilomètre 8.404, pour descendre à 46° au kilomètre 10.164. Du côté sud, le maximum atteint a été de 43° au kilomètre 9.4, aux sources d'eau chaude que nous avons relatées au début de ce travail.

Les venues d'eau froide se sont produites au kilomètre 4 du côté sud, en 1902, dans une partie du tunnel que l'on a

COUPE VERTICALE DU SIMPLON, SUIVANT L'AXE DU TUNNEL.

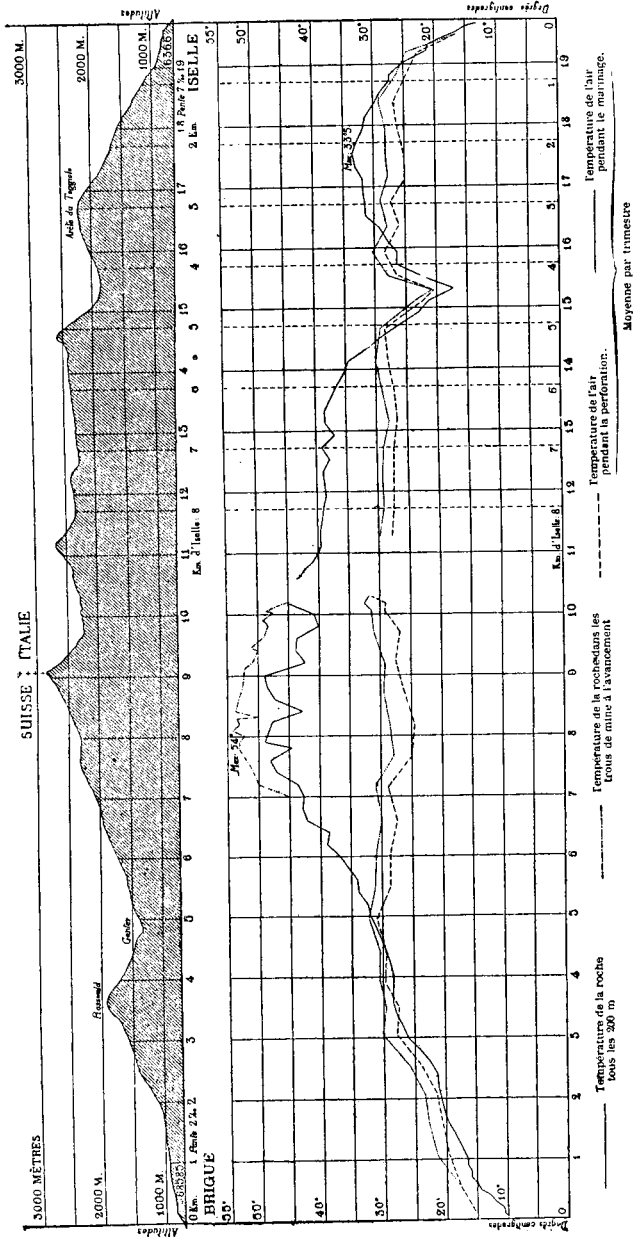


Fig. 8. — Tableau graphique de la variation des températures de la roche et de l'air à l'avancement. Observations faites jusqu'au 30 septembre 1904.



appelée *zone aquifère*. Le débit maximum de ces sources est de 1,200 litres par seconde ; au printemps il se réduit à 700 litres. Ces eaux proviennent de terrains calcaires fissurés. M. H. Schardt rappelle que le petit lac d'Avino, situé au-dessus du tunnel, fut dès l'abord rendu responsable de ce méfait, mais bien à tort, car on constate que sa cuvette est imperméable et son écoulement superficiel. Ces eaux proviennent sans doute d'une nappe souterraine, cachée dans les flancs de la montagne, et alimentée par les eaux atmosphériques absorbées à la surface.

La saignée formidable faite par les deux galeries a abaissé considérablement le niveau piézométrique de cette nappe souterraine : les sources de Nembro ont tari, celles de la Prese de Gebbo disparaîtront également.

Le 31 avril 1904, la galerie principale du côté nord avait atteint 10,370 mètres, et dépassé de 540 mètres le point culminant du tunnel, quand une nouvelle poussée d'eau fit irruption. Son débit était de 70 litres par seconde et sa température de 48°.

Du côté sud l'avancement a, du kilomètre 8.719 au kilomètre 9.110, traversé des micaschistes grenatifères gris, plus ou moins calcaires, avec nombreuses veines de quartz qui suivent d'ordinaire les replis des couches. Le plongement de celles-ci est généralement entre 10° et 20°, parfois même la disposition est horizontale. Dès le kilomètre 9.020 on constata la présence de nombreuses surfaces de glissement qui se suivent de mètre en mètre ; la roche devient très peu solide. Enfin le 6 septembre 1904, pendant le marinage, le plafond s'effondre tout à coup en laissant passer une masse d'eau d'un débit de 65 litres à la seconde et d'une température de 43°.

L'influence de cette eau chaude qui s'écoule dans la galerie parallèle, s'est fait remarquer par une augmentation de température de l'air et du rocher ; cette augmentation est de 2° à 7° pour l'air et dépasse même 2° pour le rocher.

Nous donnerons, dans notre étude technique, les moyens mis en œuvre pour combattre ces venues d'eau. Mais avant de terminer cette seconde partie de notre travail, nous devons dire quelques mots des reproches adressés aux

géologues : nous y avons fait allusion en commençant. Sans attacher une grande importance aux affirmations de M. Ed. Sulzer-Siegler (1), nous tenons cependant à les relever parce qu'elles ont beaucoup occupé l'opinion publique en Suisse lors de la demande de subventions supplémentaires faite par les entrepreneurs. Dernièrement le grand Conseil du Tessin invité à se prononcer sur le projet d'un tunnel sous le col de la Greina, projet que nous avons signalé tantôt, a décidé de ne pas faire dresser de profil géologique. L'exemple du Simplon mis en avant par M. Ed. Sulzer-Siegler démontrerait l'absolue inutilité de ce profil pour une telle entreprise.

Les prétentions de M. Ed. Sulzer-Siegler portent sur ces deux points principaux : les prévisions des rapports géologiques relatives à l'inclinaison des couches, à la nature des terrains, aux venues d'eau et à la température des roches sont contraires aux résultats fournis par l'expérience. Dès lors les entrepreneurs ont droit à des indemnités et à une prolongation de délai en raison des difficultés rencontrées et non prévues.

Laissons pour le moment la conclusion, et considérons la raison sur laquelle on l'appuie. Nous avons dit plus haut comment en 1898, c'est-à-dire au début des travaux, on s'était basé sur une copie défectueuse du profil de 1890 (voir plus haut la fig. 5). Si ce fut une faute, il serait injuste de l'imputer aux géologues. Ils en sont d'autant moins responsables qu'il ne semble pas qu'on les ait consultés depuis 1890. Or, il est vraisemblable que si, de 1890 à 1898, on avait procédé à une nouvelle expertise, le principe de renversement du gneiss jusque sur les schistes mézozoïques du versant nord aurait été accepté. Quoi qu'il en soit d'ailleurs, nul n'ignore que les géologues ne prétendent pas à l'infaillibilité stratigraphique, et on serait mal venu à leur reprocher des erreurs, même considérables, dans la solution d'un problème aussi complexe que celui que pose la structure du massif du Simplon. C'est aux praticiens que revient le soin de déterminer de leur

---

(1) M. Ed. Sulzer-Siegler est associé de la firme Sulzer frères de Winterthur et conseiller national.

mieux le champ que les hypothèses scientifiques laissent ouvert aux caprices de la nature. Vraisemblablement les entrepreneurs des travaux du Simplon en ont agi de la sorte, et ils n'ont point cru qu'ils possédaient, dans les rapports des géologues, le détail précis de la nature et de l'inclinaison des couches à traverser, le débit et la température des sources qu'ils rencontreraient sur leur route : le problème est difficile ; ils n'ont pu l'ignorer.

Mais si M. Ed. Sulzer-Siegler en veut aux géologues de la Commission du Simplon, il ne doute pas — nous partageons sa confiance — de la science et de l'habileté des topographes et professe la plus absolue confiance dans l'extrême précision des procédés de triangulation utilisés au Simplon.

Nous ne nous attarderons pas au détail de ces levés topographiques ; les lecteurs qu'ils pourraient intéresser les trouveront dans des ouvrages spéciaux publiés avec tout le soin désirable (1). Bornons-nous à quelques indications sur le procédé général. Toute la région du tunnel a été couverte d'un réseau de triangles appuyé sur trois points principaux : le sommet du Monte Leone situé au-dessus de l'axe et au milieu de la longueur du tunnel, et deux sommets se dressant respectivement en face des entrées nord et sud. Des cheminements ont été faits en prenant les sommets munis de leurs signaux comme points fixes. La précision des levés topographiques est telle qu'on espère effectuer la jonction des tronçons nord et sud non pas à un mètre, ni [même à un décimètre, mais même à un centimètre près.

Pour assurer la direction rectiligne de la percée, on a pris soin de l'amorcer en construisant à partir de l'extérieur une galerie de direction. Les sections courbes aux orifices du tunnel se raccordent à cette direction rectiligne.

---

(1) *Special Berichte der Direktion der Jura-Simplon-Bahn an das Schweizerische Eisenbahndepartement über den Bau des Simplon Tunnels. Bestimmung der Richtung, Länge und Höhenverhältnisse*, von M. Rosenmund, Ingénieur des Eidgenöss-topographischen Bureau (en cours de publication).

### III

#### ÉTUDE TECHNIQUE DES TRAVAUX DU SIMPLON

##### 1° Installations hydrauliques et mécaniques

##### aux entrées du tunnel et transport de force.

###### *a) Installations motrices hydrauliques à l'entrée nord.*

La force nécessaire à la perforation mécanique, à la ventilation et aux services accessoires est fournie au nord par les eaux du Rhône.

La captation des eaux se fait à un peu plus de 4 kilomètres en amont de l'entrée du tunnel, sur le territoire de la commune de Môrel à 739 mètres d'altitude (Planche I).

Pendant la saison d'été, l'eau du Rhône est trouble et charrie quantité de débris. A cette époque de l'année, en effet, la fonte des neiges est la plus abondante dans les glaciers et les eaux de fusion, grâce à leur vitesse torrentielle, emportent avec elles les débris poussiéreux des roches effritées. Ce sont ces matières solides en suspension qui donnent cet aspect trouble, caractéristique à l'eau des torrents. Il faut avant tout la débarrasser de ces souillures nuisibles au bon fonctionnement des turbines hydrauliques.

Pour y parvenir, on a installé un bassin de 80 mètres de long et de 12<sup>m</sup>,50 de large, à côté du barrage établi dans le lit du fleuve. Les eaux arrêtées par le barrage sont reçues dans ce bassin, où leur vitesse très amoindrie permet aux matières en suspension de se déposer en grande partie. On réalise donc de la sorte une vraie décantation. Le nettoyage du bassin de décantation se fait très simplement en ouvrant une vanne qui amène l'eau d'un niveau supérieur et emporte les matières déposées sous l'action d'un courant d'eau énergétique. Pendant ce temps la circulation de l'eau motrice continue dans un bassin supplémentaire disposé parallèlement au bassin principal. Un système de vannes et de trop-pleins permet de régler le débit de l'eau dans le bassin et dans le canal d'aménée au château d'eau.

On a construit d'abord un canal en bois, mais, par motif

PL. I. — CAPTATION DES EAUX DU RHÔNE SOUS MÔREL (SUISSE).



de solidité, il a été remplacé par un canal en béton armé du système Hennebique. Ce canal a une longueur de 3,200 mètres et une pente de 2 ‰; il est à section carrée de 1<sup>m</sup>,90 de côté; l'épaisseur du béton varie de 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,15. Sur la plus grande partie de son parcours il est à ciel ouvert, sauf une section de 223 mètres de longueur installée dans une galerie percée à travers un rocher à pic sur le torrent de la Massa. Il n'a pas fallu d'ouvrages d'art pour l'établir : une terrasse d'alluvions, des blocs erratiques et des parois de rochers sensiblement verticales les ont rendus inutiles.

Le château d'eau où se déversent les eaux de ce canal est destiné à régler le débit dans la conduite sous pression. Il se compose d'un bassin garni de canaux latéraux et d'un puits muni d'un trop-plein.

La conduite d'eau sous pression est en tôle de fer; sa longueur est de 1,497 mètres, son diamètre intérieur de 1<sup>m</sup>,60 et la tôle de ses parois a une épaisseur variant de 0<sup>m</sup>,006 à 0<sup>m</sup>,007. Elle descend d'abord de la terrasse d'alluvions, en pente maximum de 55 ‰; plus loin elle longe un petit chemin de fer qui dessert la carrière de la Massa d'où l'on tire les pierres de construction du tunnel. Il a fallu détourner et surélever la route de la Furka, à son intersection avec la conduite sous pression et le chemin de fer de la carrière, qui aboutissent enfin aux installations après avoir franchi de concert un pont jeté sur le Rhône.

La différence de niveau entre le château d'eau et les turbines est de 52 mètres.

Les dimensions de la conduite d'eau sous pression sont calculées de façon à permettre un débit maximum de 5 mètres cubes par seconde. Mais pour ce débit la hauteur de chute utile est réduite à 44<sup>m</sup>,60. On obtient donc une puissance disponible d'environ 3,000 chevaux. Au débit de 3 mètres cubes par seconde, la hauteur de chute utile est de 49 mètres et la puissance disponible d'environ 2,000 chevaux.

*b) Installations motrices hydrauliques à l'entrée sud.*

A l'entrée sud, la force nécessaire aux travaux du tunnel est empruntée à la Diveria. La captation des eaux se fait à 3,200 mètres au nord d'Iselle à proximité de la frontière

italo-suisse, et à l'altitude de 794<sup>m</sup>,30. L'eau est retenue par un barrage et conduite dans un bassin de décantation comme à l'entrée nord. Il nous suffira d'indiquer ici les différences essentielles des deux installations.

Les fortes pentes du terrain dans la gorge de Gondo n'ont pas permis d'établir un canal d'aménée jusqu'à un château d'eau; il a fallu brancher directement la conduite d'eau sous pression sur le bassin de décantation. L'inconvénient de cette disposition est évident: elle exige une conduite d'eau sous pression sur tout le parcours de la dérivation. Or, tandis qu'un canal à ciel ouvert ne doit résister qu'au poids du liquide qu'il transmet, une conduite sous pression est soumise en outre à la pression hydrostatique de sa charge et par suite sa solidité, nécessairement plus grande, la rend plus coûteuse. Elle a une longueur de 4,274 mètres et son diamètre varie de 0<sup>m</sup>,90 à 1 mètre. Une première section de 1,304 mètres de longueur est construite en fonte et a une épaisseur de 0<sup>m</sup>,021. Le reste de la conduite est en tôle de fer dont l'épaisseur croît de 0<sup>m</sup>,006 à 0<sup>m</sup>,016. Elle longe la route du Simplon jusqu'à 120 mètres d'Iselle; là elle franchit une première fois la Diveria (Planche II), traverse plus loin une galerie de 290 mètres et franchit une seconde fois la rivière avant d'aboutir aux bâtiments des turbines à 618 mètres d'altitude. La hauteur de chute brute est donc de 176 mètres.

Le débit maximum prévu par le calcul est de 1,4 mètre cube par seconde; quand il est réalisé, la hauteur de chute disponible est réduite à 130 mètres, ce qui correspond à une puissance motrice de 2,400 chevaux. Pour un débit de 1 mètre cube par seconde, la hauteur de chute disponible est de 158 mètres et l'équivalent mécanique 2,000 chevaux.

La seconde fois que la conduite d'eau sous pression traverse la Diveria, elle la franchit sur un pont qui porte en outre un chemin de fer et une voie carrossable. Ce pont est constitué d'une poutre en fer et en treillis de 40 mètres de portée, de 3 mètres de large et de 5 mètres de hauteur.

*c) Disposition générale des installations aux entrées du tunnel.*

Revenons à l'extrémité nord (fig. 9). Le cours du Rhône y a



PL. II. — CONDUITE D'EAU SOUS PRESSION PRÈS D'ISELLE (SUISSE).

PL. III. — INSTALLATIONS DU TUNNEL DU SIMPLON A BRIGUE (SUISSE).

été détourné de son lit naturel et rapproché du tunnel afin

d'éviter la formation de méandres.

L'espace occupé par les installations couvre une superficie de 6 hectares, dont près d'un hectare pour les bâtiments (Planche III). Dans la partie centrale s'élève le grand bâtiment des machines qui comprend la forge et l'atelier de réparations, le local des générateurs et des machines à vapeur de réserve, le hall des turbines et des pompes, et la salle des générateurs électriques.

Les locaux de la station sont situés entre le grand bâtiment des machines et l'entrée du tunnel; la voie ferrée les partage en deux. On y trouve d'une part les bains, les lavoirs, les séchoirs

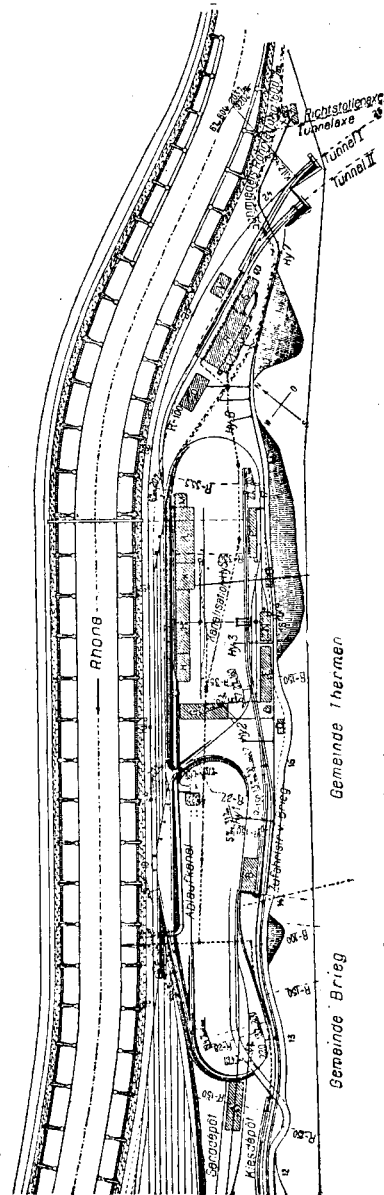


Fig. 9. — Plan terrier des installations à Brigue (Suisse). Echelle 1 : 5,500.

**LÉGENDE.** — A = Dépôt de briques en ciment; B = Magasin de ciment; E = Charbonnerie; G = Bureaux, magasins et habitation pour le personnel; H = Ateliers; K = Bâtiment des machines à vapeur de réserve; L = Hall des compresseurs; M = Bâtiment des dynamos; N = Remise des locomotives; P = Dépôt de charbon; Q = Bureau du contrôle pour le personnel; R = Restaurant; S = Bains; U = Blanchisserie; V = Consigne.

et le restaurant. et d'autre part le bureau du contrôle

pour le personnel, une petite infirmerie, et un magasin

d'appareils de secours.

Plus loin, à l'entrée du tunnel principal, se dresse le bâtiment de la ventilation; enfin en amont et sur la rive droite du Rhône on a construit le dépôt des explosifs.

Un édifice à trois étages situé en aval du grand bâtiment des machines, le long du Rhône, est réservé au bureau et au logement du personnel de l'entreprise.

Ces vastes constructions sont complétées par des entrepôts de matériaux et de bois, des scieries, une fabrique de briques en ciment, et un hôpital.

Une voie ferrée d'un développement de 7 kilomètres et à l'écartement

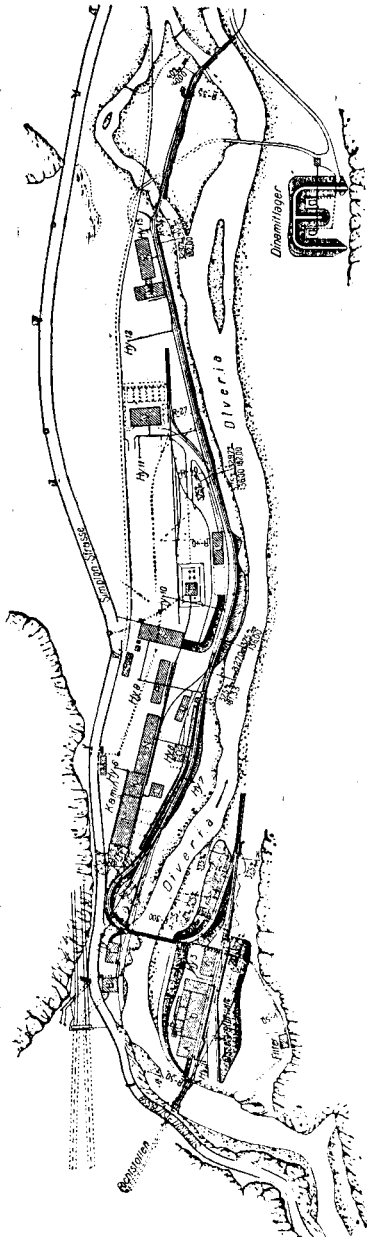


Fig. 10. — Plan terrier des installations à Iselle (Italie). — Echelle à 1 : 6,000.

**LÉGENDE.** — A = Restaurant ; B = Dépôt de chaux ; C, D, E = Bains et lavoirs ; F = Bureau de contrôle sur le personnel ; G = Forge ; H = Bâtiment des ventilateurs ; J = Hall des compresseurs ; K = Bâtiment des machines à vapeur à réserve ; L = Local des dynamos ; N = Ateliers ; O = Remise des locomotives ; P = Charbonnerie ; Q = Dépôt de charbon ; R = Bureaux de la direction ; T = Scierie ; U = Magasin de chaux et de ciment ; V = Hôtel ; W = Cantine ; X = Dortoirs.

PL. IV. — INSTALLATIONS DU TUNNEL DU SIMPLON A ISELLE (ITALIE).



Pour le service des eaux, comprenant l'eau potable, l'eau sous pression des perforatrices et des ventilateurs, on emploie l'eau du Rhône puisée au fond du lit ; une pompe centrifuge aspire cette eau et la refoule dans un petit réservoir, d'où elle est distribuée dans les diverses parties des installations.

Enfin le service de l'éclairage électrique comprend 38 lampes à arc et 468 lampes à incandescence.

Du côté sud (fig. 10), où le tunnel débouche, à Iselle, dans la gorge resserrée de Gondo, nous avons dit que l'entrée avait été choisie de façon à permettre l'emplacement des installations ; nous ne nous attarderons pas à les décrire, car elles sont, à peu de chose près, la reproduction de celles de l'entrée nord (Planche IV).

*d) Installations hydrauliques et mécaniques aux entrées du tunnel.*

Voyons maintenant comment on utilise l'eau sous pression dans les installations motrices que nous venons de mentionner. Les machines étant à peu près identiques aux deux extrémités du tunnel, nous décrirons en détail celles du nord et nous passerons plus rapidement sur celles du sud.

Dans le grand bâtiment des machines (Planche V), quatre turbines à roues Pelton munies de lames horizontales sont calées sur un seul arbre dont les paliers reposent directement sur le sol. Elles forment un système homogène.

Trois locomobiles à vapeur de réserve d'une puissance totale de 220 chevaux sont calées sur le même arbre. Elles n'ont fonctionné que quelques heures pendant toute la durée des travaux, pour permettre la réparation d'une turbine.

La turbine n° 1, d'une puissance de 600 chevaux, à axe horizontal, agit, par l'intermédiaire d'un engrenage, plus spécialement, sur quatre grandes pompes accouplées par paire ; ces pompes (fig. 11), sont à piston plongeur différentiel, à simple aspiration et refoulement à double effet, avec deux soupapes ; la chambre à air du tuyau d'aspiration est logée dans le bâti.

La course du piston est de 1 mètre ; ses diamètres 0<sup>m</sup>,06, et 0<sup>m</sup>,08. A 65 tours à la minute, chaque pompe peut fournir 12 litres par seconde sous une pression maximum de 120 atmosphères. L'eau est aspirée dans un canal commun à toutes

les pompes, et refoulée dans la conduite du transport de force hydraulique; sur cette conduite est branché un accumulateur à contrepoids construit de telle façon que, lorsque les perforatrices n'utilisent pas l'eau, celle-ci retourne au canal d'alimentation. La charge de cet accumulateur est réglée d'après la pression à réaliser.

Les turbines n° 2 et n° 3, d'une puissance de 250 chevaux chacune, actionnent particulièrement, par l'intermédiaire d'engrenages, 6 pompes à compression d'eau, d'un modèle analogue, mais plus petit; elles peuvent refouler chacune

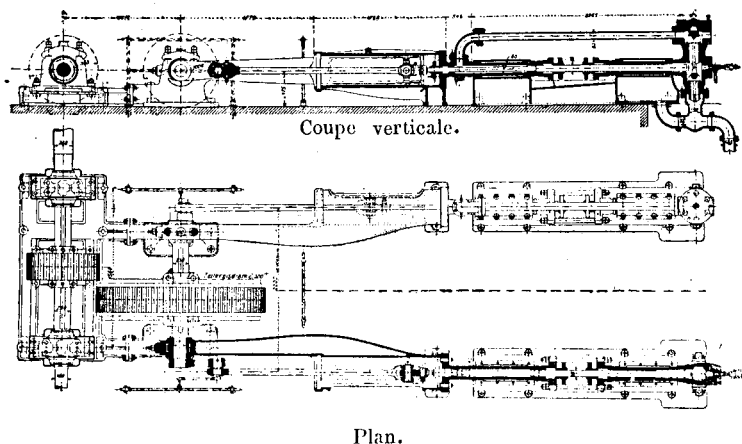


Fig. 11. — Compresseurs d'eau à haute pression (100 atmosphères).  
Echelle 1 : 100.

6 litres par seconde sous 120 atmosphères de pression, à 78 tours par minute. La course du piston est de 0<sup>m</sup>,66, ses diamètres 0<sup>m</sup>,048 et 0<sup>m</sup>,068.

L'eau sous pression fournie par toutes ces pompes est envoyée dans les deux galeries du tunnel par deux conduites de 0<sup>m</sup>,10 de diamètre. Là elle est utilisée à la perforation mécanique, à la ventilation et à quelques services accessoires.

La turbine n° 4, d'une puissance de 600 chevaux, met partiellement en mouvement deux compresseurs à air du système Burckhardt et C<sup>ie</sup> et du système Ingersoll, l'excès de puis-



sance sert de réserve ; on dispose donc d'une puissance de 1,700 chevaux sur le grand arbre de couche.

L'air comprimé, sous la pression de 100 atmosphères, est envoyé au fond du tunnel par des tuyaux de 0<sup>m</sup>,05 de diamètre ; il actionne les locomotives qui manœuvrent les wagons dans les chantiers.

Afin d'abaisser, dans une certaine mesure, la température à l'intérieur du tunnel, on a établi deux pompes centrifuges jumelles, à haute pression d'eau, du système Sulzer, calées directement sur l'axe commun des turbines, différent toutefois du grand arbre de couche. Elles sont construites pour un débit de 80 litres à la seconde chacune sous une pression de 22 atmosphères et à la vitesse de 1,050 tours à la minute ; elles absorbent 300 chevaux de puissance avec un rendement maximum de 75 %. Ces pompes peuvent être accouplées en dérivation ou en tension de façon à porter au besoin la pression à 44 atmosphères.

La conduite d'eau pour la réfrigération a un diamètre de 0<sup>m</sup>,25 et est soigneusement isolée.

A l'entrée nord, la station électrique est adossée au grand bâtiment des machines. Deux turbines construites l'une par J. J. Rieter et C<sup>ie</sup> et l'autre par les ateliers de construction de Vevey, actionnent simultanément, par l'intermédiaire de courroies et de transmissions, deux dynamos à courant continu de 30 et 125 chevaux de puissance, qui fournissent le courant, à la tension de 120 volts, pour le service de l'éclairage.

Un générateur à courant continu, d'une puissance de 30 chevaux, alimente une grue électrique destinée à la vidange des wagons de déblais venant du tunnel. Cette grue électrique, de 4 tonnes, a un bras de levier de 5 mètres ; son moteur réalise les mouvements suivants : 1<sup>o</sup> l'avancement de la grue sur les rails ; 2<sup>o</sup> la rotation de la grue ; 3<sup>o</sup> l'amenée des wagonnets sous la grue ; 4<sup>o</sup> le levage des wagonnets ; 5<sup>o</sup> leur déversement. Toutes les manœuvres se réalisent aisément par la combinaison de ces cinq mouvements ; ils sont commandés par quatre ou cinq hommes et exigent une minute et demie pour la vidange d'un wagonnet.

En somme, du côté nord on dispose d'une puissance de 2,230 chevaux sur l'arbre des turbines.

A l'entrée sud, la puissance disponible sur l'arbre des turbines est de 1,950 chevaux. La grande dynamo, d'une puissance de 100 chevaux, est calée directement sur l'arbre d'une turbine sortant des ateliers de construction de Vevey; elle fournit le courant sous une tension de 120 volts pour le service de l'éclairage. La petite dynamo, d'une puissance de 25 chevaux, est mise en mouvement par l'intermédiaire de courroies; elle alimente le service de l'éclairage dans les parties éloignées des installations sous une tension de 250 volts.

Ici la vidange des wagonnets se fait à la main et par les portes latérales dont ils sont munis. La forme de ces wagonnets nous a paru défectueuse pour la vidange à la main. Au lieu d'une caisse rectangulaire à fond plat, la forme en V et à culbutage, réalisant la vidange complète par le culbutage lui-même eût, peut-être, été préférable. Il est vrai que le fond plat rend le remplissage plus facile, le wagonnet étant plus bas, et donne à celui-ci une stabilité plus grande, avantage appréciable pour une circulation à vitesse relativement grande, sur des voies provisoires. Quant au recours à la grue électrique, bien qu'il exige une puissance supplémentaire, il paraît indiqué dans des installations aussi considérables que celles-ci.

Un des services les plus importants dans la construction d'un grand tunnel est celui de la ventilation. Il doit être établi de façon à fournir à tous les chantiers la quantité nécessaire d'air frais et à emporter l'air vicié; en d'autres termes, il doit suffire à une aération continue. Ajoutons que ces installations sont destinées à fonctionner, non seulement pendant les travaux, mais aussi au cours du service d'exploitation du chemin de fer.

Du côté nord (fig. 12), les deux ventilateurs, à axe horizontal, calés directement sur l'arbre des turbines, sont superposés; du côté sud, ils sont calés aussi directement sur l'arbre des turbines, mais placés côte à côte. A part cette légère différence dans leur position relative, les ventilateurs sont

identiques. Chacun d'eux exige une puissance de 200 chevaux; ils sont formés de roues à palettes de 3<sup>m</sup>,75 de diamètre et de 1<sup>m</sup>,25 de largeur, qui tournent à la vitesse de 350 tours à la minute. Dans ces conditions, il se produit un déplacement de 25 mètres cubes d'air par seconde à la pression de 0<sup>m</sup>,250 d'eau. Ils peuvent tourner dans les deux sens, et être accouplés en dérivation ou en série. Dans le premier cas, ils sont capables de fournir ensemble 50 mètres cubes d'air à la seconde, à la pression de 0<sup>m</sup>,250 d'eau; dans le second leur débit total est de 25 mètres cubes à la seconde sous la pression de 0<sup>m</sup>,500 d'eau; leur rendement mécanique

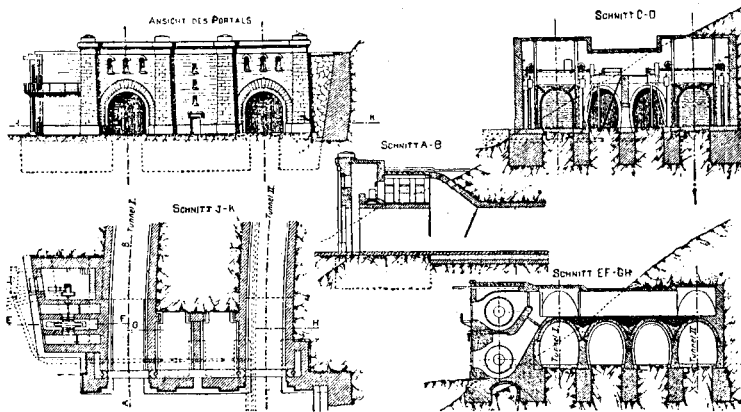


Fig. 12. — Installations pour la ventilation à l'entrée nord.

est de 40 %. Les turbines sont construites pour fournir une puissance maximum de 260 chevaux et pour tourner à la vitesse maximum de 400 tours à la minute.

L'air frais pénètre dans le tunnel par la galerie parallèle; il y chemine jusqu'à la dernière traverse oblique, et retourne à l'extérieur par la galerie principale. Nous aurons l'occasion de revenir tantôt sur ce procédé de ventilation, à propos de la traction, avec lequel il est actuellement en relation intime.

Les fronts d'attaque sont situés au delà de la dernière traverse oblique; leur aération est assurée par un ventilateur de galerie placé dans le voisinage de la dernière traverse.

Ce ventilateur de galerie est constitué d'un groupe de deux petits ventilateurs accouplés en quantité ou en série. Une petite turbine Pelton d'une puissance de 10 chevaux, actionnée par l'eau sous la pression de 80 atmosphères et un débit de 1,5 litre par seconde, à la vitesse de 2,500 tours par minute, est calée sur l'arbre de chacun de ces petits ventilateurs; ceux-ci ont un débit de  $0^m,750$  d'air par seconde à la pression de  $0^m,500$ . Ils refoulent cet air jusqu'au front d'attaque à travers des tuyaux de  $0^m,25$  de diamètre environ.

Cependant, au mois de novembre 1904, à cause de l'usure rapide des coussinets provenant de la rotation rapide des turbines, les petits ventilateurs de galerie ont été remplacés par des injecteurs à eau qui refoulent l'air au front d'attaque par entraînement. L'eau sous pression s'échappe d'une série de trois à six tubulures dirigées vers le front d'attaque et disposées linéairement dans le tuyau de ventilation. Ces injecteurs consomment beaucoup d'eau, mais ils ont l'avantage d'être simples et de rafraîchir l'air dirigé vers l'avancement.

D'après les rapports trimestriels dressés par l'administration des chemins de fer fédéraux suisses, il a été introduit journellement, en 1902, dans le tunnel du côté nord, près de 3 millions de mètres cubes d'air à la pression de  $0^m,227$  d'eau; à cette époque le front d'attaque se trouvait à 7,5 kilomètres environ de l'orifice. Du côté sud la ventilation absorbait 1,600,000 mètres cubes d'air environ à la pression de  $0^m,097$  d'eau, le front d'attaque étant à peu près à 5 kilom. de l'entrée du tunnel; on venait de rencontrer les sources d'eau froide et les terrains ébouloux, ce qui explique le retard de l'avancement et la ventilation moins énergique.

Depuis lors, les quantités d'air introduites sont d'environ 2 1/2 millions de mètres cubes en 24 heures, de chaque côté du tunnel, à la pression moyenne de  $0^m,260$  d'eau. Toutefois, dans ces derniers temps, la température élevée des galeries a exigé que l'on augmentât le débit des ventilateurs sans cependant atteindre leur maximum.

## 2° Travaux dans le tunnel.

### a) Méthode de construction.

Le mode de construction employé dans les travaux du

PL. V. — HALL DES COMPRESSEURS A BRIGUE (SUISSE).

PL. VI. — CHANTIER BOISÉ DANS LE TUNNEL DU SIMPLON.

tunnel est la méthode dite mixte (1), ou par galerie de pied, appelée aussi méthode anglaise (2).

On peut distinguer trois chantiers principaux dans l'exécution du travail : le chantier d'*abatage* des galeries de base, dit *avancement* ou *front d'attaque*. Il mesure 3 mètres de large et 2 mètres de hauteur. Le chantier de *mise au profil définitif*, dit *élargissement*, suivi du *revêtement en maçonnerie* : il occupe 5 mètres en largeur sur 5<sup>m</sup>,50 en hauteur (Planche VI). Enfin le chantier d'*achèvement*.

Dans la galerie principale les deux premiers chantiers se suivent à une distance moyenne d'un kilomètre (500 mètres du côté nord, 1,500 mètres du côté sud). Dans la galerie parallèle on n'organise, pour le moment, que le chantier d'*abatage*.

*b) Chantier d'abatage.*

Le travail le plus important est celui de la perforation au front d'attaque, car c'est de son allure que dépend celle des autres chantiers.

La perforation mécanique n'est appliquée qu'aux avancements des galeries principale et parallèle, ainsi qu'aux traverses obliques ; on y emploie la perforatrice hydraulique Brandt (fig. 13) (3).

L'outil qui entame la roche a un diamètre de 0<sup>m</sup>,07 et est armé de trois dents très dures et très tranchantes ; il tourne avec une vitesse de 5 à 7 tours par minute, d'après la dureté de la roche, en même temps qu'il s'applique au fond du trou de mine sous une pression d'environ 11,000 kilog. Cette pression et la rotation lente simultanées produisent le morcellement de la roche. L'outil est creux, de façon à permettre une circulation d'eau qui le refroidit et expulse les débris d'une façon continue.

Dans cette perforatrice, le piston est fixe et le cylindre

---

(1) Voir Haton de la Goupillière. — *Cours d'exploitation des mines*, tome I, Paris 1894. — Bridel. *Examen critique des systèmes d'exécution appliqués à la construction rapide des grands tunnels*. Lucerne, 1883.

(2) Voir A. Habets. — *Cours d'exploitation des mines*, tome I, Liège 1902.

(3) Pour la description détaillée, voir Pestalozzi, bibliographie.

mobile : ce dernier glisse sur le piston, par l'intermédiaire de cuirs à frottement doux. L'eau sous pression est admise entre les parties fixes et les parties mobiles.

Le mouvement de rotation est communiqué par deux cylindres en bronze de 0<sup>m</sup>,061 de diamètre et de 0<sup>m</sup>,066 de course, fixés sur le piston et qui se servent mutuellement

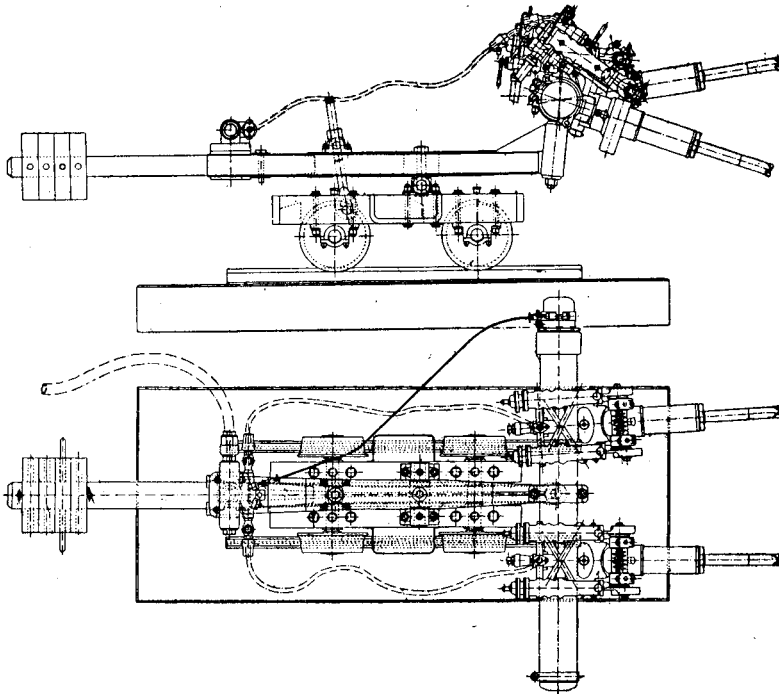


Fig. 13. — Perforatrices hydrauliques Brandt montées sur affût.  
Coupes verticale et horizontale. Échelle, 1 : 42.

de distributeur. Ces cylindres actionnent une vis sans fin qui engrène un pignon fixé sur une enveloppe reliée elle-même, par cale et rainure longitudinale, au cylindre porte-outil et lui communique le mouvement lent de rotation.

L'eau sous pression est amenée aux diverses parties de l'appareil au moyen de tuyaux, munis de robinets et de mano-



mètres qui permettent d'y régler la pression. L'eau d'échappement des cylindres-moteurs est conduite dans l'axe de l'outil pour expulser les débris.

Lorsqu'on veut allonger la tige, que l'outil est émoussé ou que le trou est terminé, on réalise le mouvement en arrière, en laissant s'écouler l'eau qui se trouve entre les fonds du cylindre et le piston, et en admettant ensuite l'eau sous pression dans l'espace annulaire réservé entre le piston et le cylindre.

Chaque perforatrice absorbe une puissance de 25 chevaux et pèse environ 130 kilog., elle est montée sur une colonne creuse horizontale de 0<sup>m</sup>,24 de diamètre et de 2<sup>m</sup>,80 de longueur, calée contre les parois de la galerie à l'aide d'un piston hydraulique ; cette colonne est branchée sur la conduite d'eau sous pression. L'attaque se fait en général à l'aide de trois de ces engins à chaque front.

Les perforatrices et leur colonne de calage sont montées sur un châssis mobile sur rails, par l'intermédiaire d'un balancier à contrepoids à bras inégaux. On règle la distance du contrepoids d'après le nombre de perforatrices en travail. Les trous de mine ont un diamètre de 0<sup>m</sup>,07 environ et une longueur moyenne de 1<sup>m</sup>,80, leur nombre varie de 6 à 12 suivant la dureté de la roche.

Le nombre d'attaques varie de 4 à 7 par jour. L'influence des divers facteurs de la perforation se mesure par l'avancement du front d'attaque. Dans les roches dures, l'avancement est de 4 mètres par jour ; dans les roches tendres, il peut atteindre 9 mètres.

Comme explosif on emploie la dynamite à 92 p. c. de nitroglycérine livrée en cartouches de 0<sup>m</sup>,065 de diamètre, pesant 500 grammes. Une charge comporte environ 40 kilog. d'explosifs, et l'excavation d'un mètre cube de roche exige, en moyenne, 3 kilog. de dynamite. La consommation totale d'explosifs dans l'ensemble des chantiers peut atteindre une tonne par jour.

L'allumage est ainsi réglé que le tir commence par l'explosion de deux ou trois cartouches seulement, pour se terminer, un peu plus tard, par celle de toutes les autres ; de la sorte,

une partie de la roche est plus ou moins dégagée au moment où se reproduit l'effort principal.

Les essais tentés sur un explosif à base d'air liquide n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

Après l'explosion, il est de règle d'attendre de dix à quinze minutes pour donner le temps à la fumée de se dissiper et à l'air de se renouveler.

Une des grandes préoccupations des constructeurs de tunnels est de débarrasser rapidement le front d'attaque des débris des roches éventrées.

Les entrepreneurs du Simplon ont imaginé plusieurs appareils destinés à effectuer l'enlèvement hydraulique des déblais. Le principe sur lequel ils reposent consiste à injecter de l'eau sur le front d'attaque au moment de l'explosion, de façon à emporter les déblais sous une énorme quantité d'eau. Des expériences préalables faites à l'air libre, avaient donné des résultats satisfaisants et l'entreprise avait même garanti le succès du procédé. Malheureusement au front d'attaque il est impossible de saisir l'instant de l'explosion, et les injections d'eau se produisant trop tôt ou trop tard, sont dans les deux cas plus nuisibles qu'utiles.

Il a donc fallu revenir à l'ancienne méthode. Dès que les ouvriers reviennent sur le lieu de l'explosion, ils commencent par dégager vivement la voie en rejetant les débris sur les côtés; puis les wagonnets sont amenés et chargés à la main.

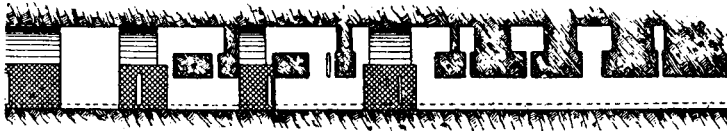
Après l'enlèvement des déblais, la conduite d'eau sous pression, la conduite de ventilation et la voie ferrée sont prolongées; on amène le chariot des perforatrices, on cale la colonne contre les parois et la perforation recommence.

L'installation de ces engins dure de vingt à trente minutes; leur éloignement, avant l'explosion, dure à peu près autant. La manutention du chariot est assez difficile et exige le concours de tout le personnel du chantier.

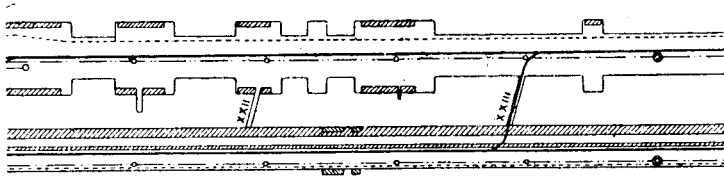
*c) Chantier de mise au profil définitif et revêtement en maçonnerie.*

Plusieurs méthodes de construction ont été suivies. Au début, dans le tunnel nord, on élargissait la galerie de base

jusqu'aux dimensions du profil définitif; puis on maçonnait les pieds-droits jusqu'à la même hauteur. Sur les pieds-droits on fixait un plancher, à 2<sup>m</sup>,20 au-dessus du sol. Les ouvriers s'y installaient pour achever l'excavation vers le haut sur toute sa largeur. Ils abattaient d'abord une tranche de 1<sup>m</sup>,50 de hauteur, surélevaient les pieds-droits, installaient un second plancher et poussaient ainsi l'excavation et la maçonnerie jusqu'à la mise au profil définitif. Mais cette méthode donna des résultats médiocres; il fallut l'abandonner en partie, à cause des éboulements qu'elle provoquait dans les terrains peu résistants.



Profil en long.



Plan.

Fig. 14. — Coupe suivant l'axe du tunnel principal.

Echelle { 1 : 6,000 suivant l'axe du tunnel.  
1 : 600 pour les dimensions transversales.

Du côté sud, on commença par établir des cheminées tous les cent mètres en les poussant jusqu'au faite du tunnel; on partait de là, en avant et en arrière, en creusant deux galeries de faite jusqu'à leur rencontre avec les galeries correspondant aux cheminées voisines; on élargissait ensuite, et on abattait le stross. Cette méthode, dite anglaise, avait l'inconvénient de rendre très imparfaite la ventilation des galeries de faite.

Dans la suite, on modifia le procédé et on l'employa de la même manière dans les deux tronçons. D'après la nature des roches, et à une distance maximum de 50 mètres, on établit des cheminées en suivant la méthode anglaise (fig. 14); grâce

à une ventilation abondante, les chantiers furent dès lors suffisamment aérés.

Le lecteur se demandera peut-être pourquoi on n'attaque pas la galerie principale sur toute sa section verticale de façon à la mettre directement au profil définitif? — Tout d'abord l'emploi des lourdes perforatrices mécaniques sur un front d'attaque de 5 mètres de largeur sur 5<sup>m</sup>,50 de hauteur ne serait pas pratique : il faudrait constamment installer et

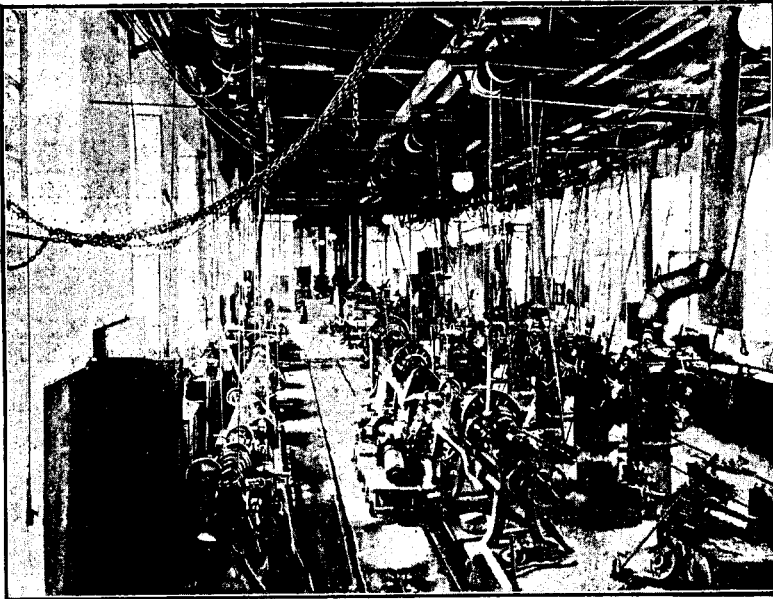


Fig. 15. — Atelier de réparations au tunnel du Simplon.

déplacer les échafaudages qui devraient les supporter. En outre, l'emploi des lourdes perforatrices Brandt dans les galeries de faite rend difficile le transport des chariots. Enfin si la perforation mécanique, pratiquée dans la galerie de base, permet là un avancement plus rapide, l'indépendance complète des chantiers, dans la galerie de faite, assure le même avantage à la seule condition de mettre au travail un nombre suffisant d'ouvriers. La perforation se fait à la

main. Les trous de mine ont  $0^m,80$  de profondeur et  $0^m,015$  de diamètre; ils sont chargés à la dynamite à 65 % de nitroglycérine. L'excavation d'un mètre cube de roche exige en moyenne 800 grammes d'explosif.

L'entretien et la réfection des outils a une grande importance. Dans la traversée des terrains durs il passe quotidiennement à l'atelier de réparation à chaque entrée du tunnel environ 1,000 outils de perforatrices et 10,000 fleurets à main. L'atelier de réparation a une importance assez considérable, comme le montre la figure 15.

Ce n'est que lorsque la mise au profil définitif est faite sur une grande longueur, qu'on maçonne les pieds-droits et la voûte.

Quand le tunnel traverse des terrains de résistance moyenne (fig. 16), l'épaisseur de la maçonnerie est de  $0^m,35$  à la voûte

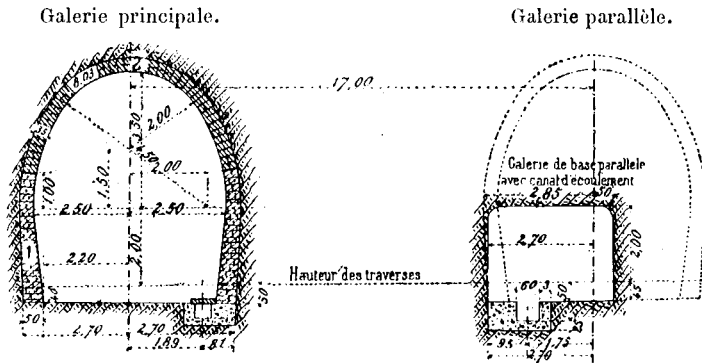


Fig. 16. — Profil en travers-type dans les terrains ordinaires.

et à la partie supérieure des pieds-droits; elle est de  $0^m,50$  dans leurs parties inférieures. La voûte est faite en briques et les pieds-droits en pierre de taille.

Dans les terrains soumis à des pressions, le sol est garni d'une voûte de faible flèche, et tout le revêtement est en pierres de construction (fig. 17).

A Brigue, les pierres de construction sont extraites des carrières de la Massa; les briques sont fabriquées sur place en ciment comprimé à la presse hydraulique.

A Iselle, les pierres de qualité ordinaire sont extraites des bancs de rochers, sur la rive droite de la Diveria. Les pierres plus solides sont fournies par le ravin de Reale Rovale.

Dans la galerie parallèle, on a établi un canal en béton de 0<sup>m</sup>,60 de large et de 0<sup>m</sup>,50 de profondeur. L'eau de la galerie principale est conduite dans de petits canaux de 0<sup>m</sup>,30 de largeur, et s'écoule par les traverses obliques, jusqu'au canal principal dans la galerie parallèle.

d) *Chantier d'achèvement.*

Cette partie du travail comprend l'établissement de la voie avec la signalisation pour l'exploitation du chemin de fer;

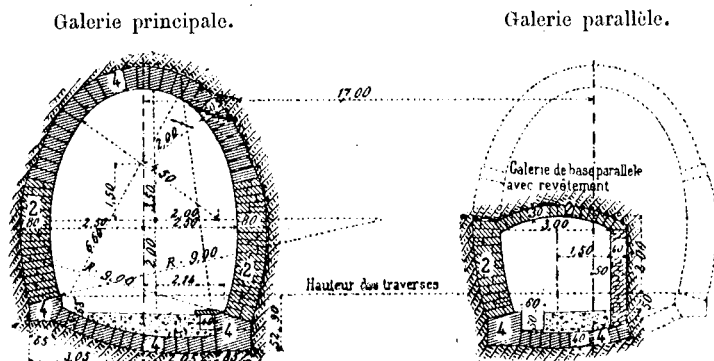


Fig. 17. — Profil en travers-type dans les terrains à forte pression verticale.

elle sera poussée vigoureusement lorsque la jonction des galeries de base aura été effectuée. Au 30 juin 1904, on avait introduit 4,238 mètres cubes de ballast du côté nord.

e) *Difficultés rencontrées; moyens mis en œuvre pour en triompher.*

Nous n'avons rien dit jusqu'ici des moyens mis en œuvre pour vaincre les difficultés particulières rencontrées au cours des travaux. Celles-ci se rapportent à trois causes : 1<sup>o</sup> le manque de solidité des terrains; 2<sup>o</sup> les irruptions d'eau, et 3<sup>o</sup> les hautes températures des roches.

Du côté sud, dans la zone faisant suite à la zone aquifère,

on a rencontré des terrains soumis à d'énormes pressions. Pour les retenir, on a eu recours à un boisage formé de poutres de 0<sup>m</sup>,40 de côté, et alignées les unes contre les autres. Elles cédèrent, dit-on, en certains endroits. Dans ces passages difficiles, l'avancement quotidien ne fut que de 0<sup>m</sup>,25 au lieu de 5<sup>m</sup>,50. Quand le profil définitif était réalisé, on procédait au revêtement en maçonnerie comportant une voûte inférieure de 2 mètres d'épaisseur ; les pieds-droits avaient 1<sup>m</sup>,80 et la voûte supérieure 1<sup>m</sup>,60 d'épaisseur. Il fallut toute une année pour consolider cette section.

Les venues d'eau ne créèrent pas de moindres difficultés. Voici les moyens que l'on mit en œuvre pour en triompher.

Du côté nord, au kilomètre 10,370, la galerie étant en contre-pente, on continua les travaux en pratiquant l'épuisement à l'aide de pompes, Mais à la suite de l'irruption d'une nouvelle source d'eau chaude, le 31 avril 1904, les travaux durent être arrêtés le 18 mai suivant. On tenta de barrer la route à l'inondation en lui opposant des portes en fer protégées par un serrement en bois ; on espérait ainsi maintenir les eaux dans la montagne. Mais le défaut d'étanchéité et la crainte de voir les portes céder sous la pression firent renoncer à pareille entreprise. On disposa alors dans la partie inférieure des portes des tuyaux qui amènent les eaux jusqu'au point culminant du tunnel, d'où elles s'écoulaient vers l'entrée nord. L'eau chaude accumulée derrière ces portes en fer se trouve à une pression de 3 à 4 atmosphères.

Dans la galerie principale, les sources d'eau chaude qui jaillissent entre les portes de fer et le point culminant du tunnel sont évacuées au moyen d'une pompe centrifuge mise en mouvement par une turbine de 30 chevaux installée au kilomètre 9,680 ; dans la galerie parallèle, une pompe et une turbine semblables fonctionnent au kilomètre 9,870.

La galerie d'avancement ne se trouvant actuellement plus à la base du tunnel définitif — la contre-pente étant inférieure à 7 ‰, — l'Entreprise a décidé d'exécuter l'excavation complète par le procédé suivant : on commence par élargir la calotte jusqu'à la hauteur de la base de la galerie d'avancement, ensuite on excave sur une moitié du profil jusqu'à la

base normale du tunnel, et enfin on procède à l'enlèvement du stross sur toute la section.

Du côté sud deux venues d'eau importantes ont interrompu les travaux. Comme la pente de la galerie (7 ‰) ne suffit pas à l'écoulement rapide de ces sources, il existe au front d'attaque une mare d'eau assez considérable, ainsi que nous l'avons constaté, lors de notre visite. Dans ces conditions l'installation des perforatrices n'est pas possible. Il faut, avant d'y songer, vider cette mare dans une proportion convenable. A cet effet, on a construit un canal d'écoulement en contre-bas du niveau du sol de la galerie, que l'on dégage ainsi de la plus grande quantité de l'eau qui l'encombre : le travail de la perforation peut alors se poursuivre au delà de la section aquifère.

Par suite des dernières venues d'eau chaude, les travaux de perforation ont été arrêtés jusqu'après l'achèvement du canal d'écoulement et de la conduite de réfrigération — dont il manquait encore 2,000 mètres — jusqu'au front d'attaque ; en effet, l'eau chaude dégageait à l'avancement une quantité de chaleur telle que la conduite d'eau à haute pression ne pouvait suffire à la fois à la perforation et au rafraîchissement de l'atmosphère. Une galerie transversale a été construite à proximité de l'avancement pour faciliter la ventilation.

Comme les irruptions d'eau chaude ne s'étaient montrées que dans la galerie principale, on n'y a pas repris la perforation. L'avancement a été continué sans venue d'eau importante dans la galerie parallèle ; dans celle-ci on a pratiqué une galerie transversale de façon à retrouver l'axe de la galerie principale, mais à 23 mètres des sources d'eau chaude.

Au delà de ce massif de protection on a continué la perforation, et le 2 janvier 1905 ce nouveau tronçon de la galerie principale avait une longueur de 51 mètres.

La perforation mécanique a été interrompue à l'avancement du 2 au 12 janvier et continuée à travers ce massif de protection pour établir ainsi la continuité de la galerie principale.

Dans la galerie parallèle, le front d'attaque avait atteint le



9 kilom. 164; dans la galerie principale le 9 kilom. 187. Comme du côté nord le front d'attaque de la galerie principale se trouvait au 10 kilom. 374, la distance des fronts d'attaque n'était plus que de 170 mètres.

La perforation à l'avancement a été reprise le 12 janvier, mais du côté sud seulement. Le 1<sup>er</sup> février, la distance des fronts d'attaque était de 109 mètres. Le débit total des sources d'eau chaude atteignait 150 litres par seconde.

Une question se pose ici : Comment s'effectuera la rencontre des fronts d'attaque ? Au Nord, nous l'avons dit, l'eau est accumulée derrière les portes de fer à la pression de 3 à 4 atmosphères et à la température de 48°. Au Sud, l'excavation se poursuit en contre-bas de cette énorme masse d'eau.

Lorsque la distance des fronts d'attaque ne sera plus que de quelques mètres on placera des pétards dans le but de fissurer la roche sans la faire éclater et permettre ainsi une vidange lente de la poche d'eau.

Pour lutter contre la température élevée des roches, on s'est contenté au début d'activer la ventilation. C'est ainsi qu'au kilomètre 8 du tunnel nord, la température de l'air a pu être maintenue à 25° jusqu'au moment de l'irruption des sources d'eau chaude, alors que la température de la roche atteignait 40°.

Lorsque la température finit par dépasser la limite admissible de 27°, on a eu recours à la réfrigération à l'eau froide. Comprimée sous la pression de 44 atmosphères au point de départ, cette eau n'arrive sur les chantiers que sous une pression d'environ 25 atmosphères. Au mois de novembre 1903, on a introduit près de 7,000 mètres cubes d'eau en 24 heures, du côté nord.

Au kilom. 4,723, du côté sud, on a installé, dans une galerie transversale, une locomobile de 80 chevaux actionnant une pompe centrifuge destinée à refouler l'eau au front d'attaque. Cette eau sert à la réfrigération et provient de la grande source au 4 kilom. 380. Le débit de la pompe centrifuge est de 40 litres par seconde.

L'isolement des conduites d'eau froide est un point capital. Il importe, en effet, d'amener cette eau sur les chantiers à

une température aussi basse que possible. Le calorifuge employé est le charbon de bois pulvérisé étalé en couche de 0<sup>m</sup>,05 autour de la conduite et protégé par des feuilles de tôle.

On avait escompté une élévation de température d'un degré centigrade par kilomètre de chemin parcouru dans le tunnel. L'expérience a montré que cette élévation de température n'est que de 1/2 degré centigrade par kilomètre. La température de l'eau augmente de 5° pendant son passage dans la conduite, en sorte qu'elle arrive à l'avancement à la température de 15° en été et de 6° en hiver.

Notons, en passant, que les conduites d'eau à haute pression sont également isolées; dès lors le travail des perforatrices donne lui-même naissance à une circulation d'eau légèrement réchauffée par l'outil au fond du trou de mine.

Les appareils de réfrigération consistent, en général, en pulvérisateurs branchés sur des conduites de 0<sup>m</sup>,05 de diamètre placés sur le sol. Ces pulvérisateurs arrosent les parois du tunnel.

On a proposé toute une série d'autres appareils : citons-en deux. Le premier consiste en un wagon à glace intercalé sur la conduite amenant l'air au front d'attaque; le second emploie un wagon injecteur d'eau portant un faisceau tubulaire horizontal, placé sur le parcours de l'air, et dans lequel on injecte de l'eau pulvérisée; pour enlever l'excès d'eau, emporté par le courant, on installe à la suite du premier wagonnet, un wagonnet condenseur portant une série de chicanes disposées en forme de jalousies et destinées à recueillir les gouttelettes d'eau.

Ces wagons de réfrigération n'ont pas donné pratiquement les résultats que les essais préalables avaient fait espérer.

Nous avons aussi à mentionner un inconvénient que présente l'existence de deux tunnels parallèles dont nous avons déjà signalé les avantages. La pression des terrains s'exerce très inégalement sur le revêtement en maçonnerie de la galerie principale par la présence de la galerie parallèle; en outre, cette dernière est fortement déformée dans les terrains peu résistants par l'absence de revêtement en maçonnerie.

C'est ainsi que du côté nord, dans les terrains schisteux, l'accès de la galerie parallèle est actuellement interdite au personnel. L'élargissement simultané des deux tunnels eût évité cet inconvénient.

### **3° Transport des déblais et des matériaux et avancement des travaux.**

Les problèmes que pose le transport des déblais et des matériaux de construction sont aussi difficiles à résoudre que leur solution pratique importe à la marche régulière des travaux. Il ne suffit pas, en effet, d'avancer à grands pas au front d'attaque, il faut encore emporter rapidement les déblais hors du tunnel et y amener les matériaux en quantité suffisante, mais sans excès, sur la place disponible. Bref, l'encombrement des chantiers doit être évité.

Pour donner une idée de l'importance des questions de transport au tunnel du Simplon, il suffit de remarquer qu'un avancement de 7 mètres par jour suppose près de 300 mètres cubes de déblais; encore pour déterminer la capacité et le nombre des wagonnets chargés de les transporter, faut-il tenir compte du foisonnement. Ajoutez-y le transport des matériaux de construction : pierres de taille, sable, chaux, ciment, bois et personne ne s'étonnera qu'il y ait environ 300 wagons en service à chaque entrée du tunnel, en sorte que le trafic journalier emploie de 550 à 600 wagons, effectuant le trajet, aller et retour, jusqu'aux chantiers.

Trois locomotives à vapeur assurent le service de la traction dans les installations extérieures et la partie achevée du tunnel. De là les manœuvres des wagonnets vers les divers chantiers se font par des locomotives à air comprimé.

Dans la construction des locomotives à vapeur on s'est posé les conditions suivantes : 1° la coupe transversale sera aussi petite que possible, afin de permettre la circulation dans les chantiers étroits; 2° le centre de gravité sera très bas afin de prévenir les déraillements, toujours à craindre sur une voie provisoire; 3° la chaudière sera de grande capacité et à grand volume d'eau afin d'éviter le chargement du

foyer et, par suite, la production de fumée pendant le séjour dans le tunnel.

Voici comment ces conditions ont été réalisées (fig. 18). Les locomotives ont 0<sup>m</sup>,80 d'écartement des roues et peuvent circuler dans les courbes de 15 mètres de rayon; leur largeur maximum est de 1<sup>m</sup>,50, leur hauteur maximum de 2<sup>m</sup>, et leur longueur de 4<sup>m</sup>,63.

La chaudière a été construite aussi grande que le permettaient les dimensions transversales que nous venons de donner. Au moment d'entrer dans le tunnel, la chaudière contient son maximum d'eau chauffée à la pression maximum de 15 atmosphères. Lorsque la pression de la vapeur tombe même à 7 atmosphères, les locomotives peuvent encore remorquer leur charge maximum. L'eau portée à haute température constitue ainsi une réserve de chaleur utilisable, sous forme de vapeur, à l'intérieur du tunnel. Pour éviter autant que possible les pertes de chaleur par rayonnement, la chaudière est pourvue d'une enveloppe calorifuge.

La locomotive est portée sur deux axes moteurs accouplés, et à l'avant sur un axe à déplacement radial. Le mécanisme de distribution est du système Joy.

La machine est suspendue sur ressorts et les essieux moteurs sont reliés à l'essieu radial par des tringles.

Le mécanicien est placé sur un plancher aussi bas que possible, de façon à ne pas dépasser 2 mètres de hauteur.

En marche normale, les locomotives à vapeur remorquent 200 tonnes sur palier, ce qui correspond à une puissance de 120 chevaux. La consommation de charbon est de 6 kilogrammes par cheval-heure.

Voici les autres caractéristiques de ces locomotives :

Diamètre du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> ,25
Course du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> ,30
Diamètre des roues motrices . . . . .	0 <sup>m</sup> ,62
Diamètre des roues porteuses . . . . .	0 <sup>m</sup> ,45
Ecartement des essieux fixes . . . . .	1 <sup>m</sup> ,40
Ecartement total . . . . .	2 <sup>m</sup> ,65
Surface de chauffe . . . . .	33 m <sup>2</sup>
Surface de la grille . . . . .	0,50 m <sup>2</sup>

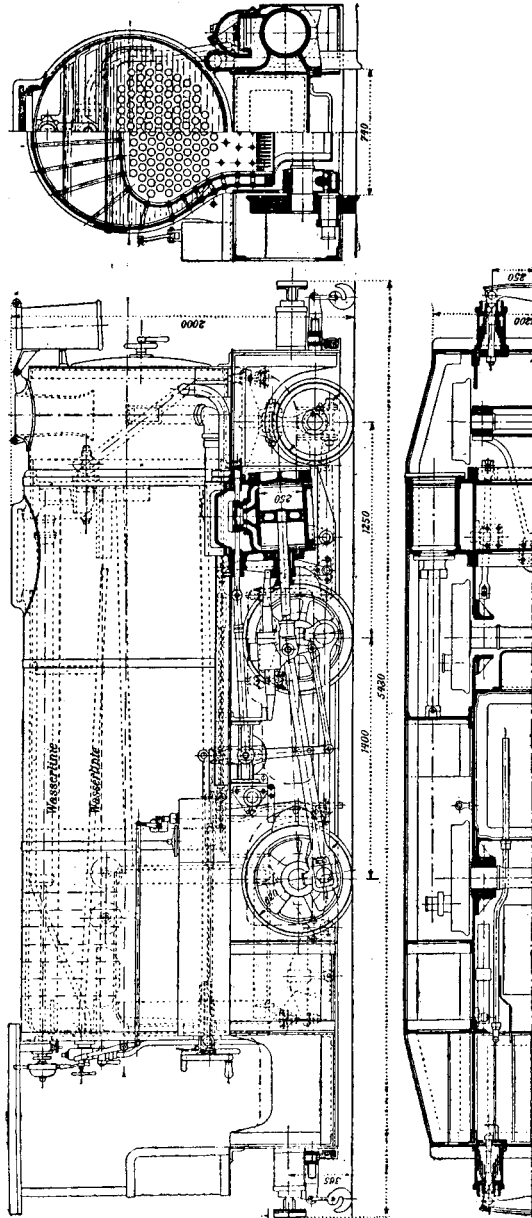


Fig. 18.  
Locomotive à vapeur utilisée dans les travaux du Simplon  
Echelle 1 : 44.

Eau dans la chaudière . . . . .	1,800 litres
Eau dans le réservoir. . . . .	345 litres
Charbon . . . . .	400 kg.
Force de traction au crochet . . . . .	1,900 kg.
Poids adhérent . . . . .	12 tonnes
Poids à vide.. . . .	12,5 tonnes
Poids en service . . . . .	16 tonnes

Pour effectuer les manœuvres des wagonnets de la station intérieure vers les différents chantiers, on a choisi des locomotives à air comprimé, afin de diminuer la durée de séjour des locomotives à vapeur dans le tunnel (fig. 19).

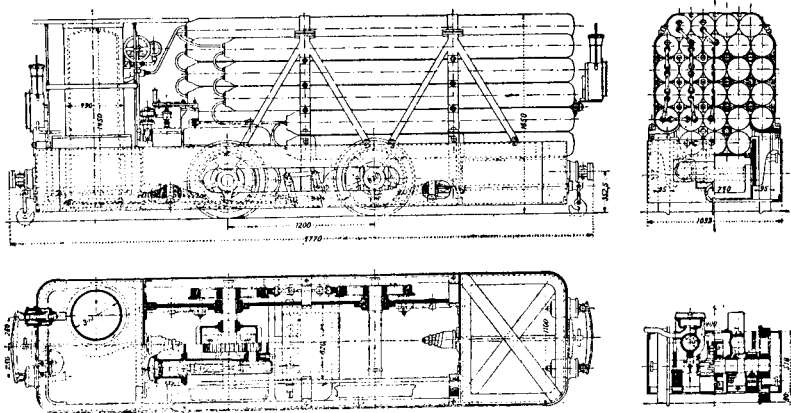


Fig. 19. — Locomotive à air comprimé, utilisée dans les chantiers du Simplon.  
Échelle 1 : 63.

L'air comprimé est amené à la station du tunnel dans des conduites installées le long de la galerie principale; il est emmagasiné dans 27 tubes Mannesmann répartis en 3 batteries indépendantes, de façon à ne pas empêcher la machine de fonctionner en cas de fuite de l'un des tubes. Du réservoir, l'air passe dans un réchauffeur à eau chaude, vertical, placé à côté du mécanicien, puis aux cylindres qui sont au nombre de deux. La course du piston est de 0<sup>m</sup>,15, son diamètre de 0<sup>m</sup>,125. La pression de travail est de 15 atmosphères. Après utilisation, l'air s'échappe à une température assez basse pour

contribuer à la réfrigération. Le mouvement est transmis à l'axe moteur au moyen d'un engrenage d'une multiplication de 1 : 3,25. La longueur totale de la locomotive est de 4<sup>m</sup>,77 ; sa hauteur de 1<sup>m</sup>,65 et sa largeur de 1<sup>m</sup>,10. Le diamètre des roues est de 0<sup>m</sup>,62 et l'écartement des essieux de 1<sup>m</sup>,20. L'ensemble pèse 6,590 kilog.

La production d'eau chaude exige un foyer dans la station du tunnel, en sorte que les locomotives à air comprimé elles-mêmes dégagent indirectement de la fumée. D'ailleurs la suppression complète du dégagement de fumée et de chaleur par les locomotives à vapeur est une conception purement théorique.

Mais pourquoi n'a-t-on pas adopté la traction électrique? On a invoqué contre elle les motifs suivants : 1° l'humidité de l'air ; 2° les venues d'eau ; 3° le danger résultant de la présence des fils conducteurs, ou le faible rendement des accumulateurs ; 4° la mobilité des chantiers.

Ces motifs ne nous semblent pas convaincants, et nous voudrions présenter ici quelques considérations sur les avantages de la traction électrique dans des entreprises du genre de celle-ci.

On invoque l'humidité de l'air. De fait, le service de la traction s'effectue par la galerie principale, et, comme les locomotives à vapeur dégagent de la chaleur et de la fumée, en dépit de toutes les précautions prises, c'est cette galerie qui est affectée au retour d'air du service de la ventilation. Par suite, l'entrée de cet air a lieu par la galerie parallèle qui sert en même temps à l'évacuation des eaux. Or, l'air par son passage en sens inverse au-dessus du canal d'écoulement, sur un parcours de 10 kilomètres, se sature d'humidité, et cette saturation est d'autant plus considérable que l'air s'échauffe au contact des parois du tunnel. Mais la suppression des locomotives à vapeur et leur remplacement par des locomotives électriques eût permis d'utiliser la galerie principale pour l'entrée de l'air relativement sec, car l'humidité des parois est toujours localisée en de rares endroits. Double avantage donc : suppression de la chaleur et de la fumée des foyers et amenée d'air relativement sec dans les chantiers

d'élargissement et dans la galerie principale affectée au transport du personnel.

Les venues d'eau sont-elles nuisibles? Mais il sera toujours facile, dans la traversée des régions aquifères, de soustraire les conducteurs électriques à l'action de ces eaux. D'ailleurs le seul inconvénient de l'eau et de l'humidité est ici d'exposer les moteurs électriques à des réparations un peu plus fréquentes que l'air sec leur eût épargnées. Mais cet inconvénient a peu d'importance actuellement.

Quant aux manœuvres dans les chantiers, la locomotive électrique à accumulateurs l'emporte certainement sur la locomotive à air comprimé dont on connaît le faible rendement. Ajoutez à cela que, dans les pays de montagnes, les forces hydrauliques naturelles fournissent gratuitement et en abondance l'énergie nécessaire au service électrique, alors que les locomotives à vapeur consomment du charbon, dont le prix est grevé de frais de transport d'autant plus onéreux que la contrée où l'on opère est plus éloignée des centres houillers.

C'est ainsi que le charbon revient à 50 francs la tonne sur les chantiers du Simplon. A ce prix élevé le service de la traction à vapeur a absorbé une somme considérable depuis le début des travaux.

Il est intéressant de rechercher la puissance qu'eût exigée le roulage électrique, d'étudier les conditions et les avantages de son établissement. Nous en donnerons le développement à la fin de ce travail.

Le gouvernement suisse a étudié un projet de traction électrique pour le chemin de fer dans le tunnel du Simplon. Il s'est heurté, surtout, aux questions secondaires pour le matériel qui ont une grande influence pour l'exploitation à l'électricité d'un tronçon de 20 kilomètres. L'existence d'une installation électrique eût facilité singulièrement la solution du problème.

Les trains seront remorqués, tout d'abord, par les locomotives à vapeur. Une ventilation énergique assurera l'évacuation des fumées. Dans la suite, la traction électrique sera établie sur toute la ligne du Simplon.

Le diagramme (fig. 20) donne une représentation très par-



ÉTAT DES TRAVAUX AU 25 OCTOBRE 1904.

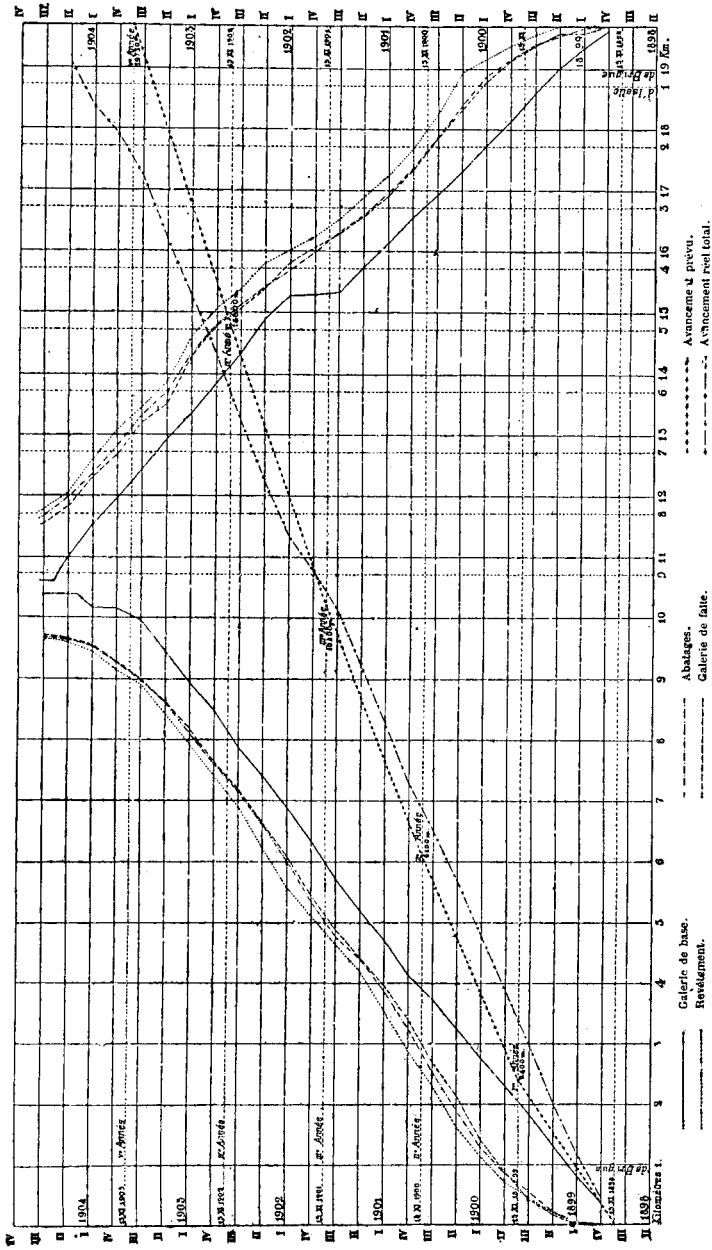


Fig. 20. — Tableau graphique de l'avancement des travaux.

lante de l'état des travaux jusqu'au 25 octobre 1904. Un coup d'œil jeté sur ce diagramme montre bien la marche sensiblement régulière des divers chantiers et permet de comparer l'avancement prévu et l'avancement réel. Du côté nord, en raison des sources d'eau chaude rencontrées au mois de mai 1904, et par la présence de la contre-pente, la perforation a été définitivement abandonnée de ce côté. Ce n'est plus que du côté sud que les travaux se poursuivent, comme nous l'avons déjà dit.

Le nombre d'ouvriers occupés à chaque entrée du tunnel a été de plus de 2,000 avant le dernier arrêt des travaux.

Disons un mot des réclamations des entrepreneurs.

La convention qui règle définitivement les réclamations de l'entreprise a été signée le 9 octobre 1903 et approuvée par le Conseil fédéral. A l'origine le montant du forfait de l'entreprise s'élevait à 69,500,000 francs, se partageant de la façon suivante :

Pour toutes les installations . . . . .	fr.	7,000,000
Pour le premier tunnel et la galerie de base du second . . . . .		47,500,000
Pour l'exécution du second tunnel . . . . .		15,000,000
	Total. fr.	<u>69,500,000</u>

Le nouvel arrangement fixe comme suit les paiements supplémentaires consentis à l'entreprise en raison des difficultés qu'elle a rencontrées :

Pour les installations. . . . .	fr.	1,400,000
Pour la construction d'un évitement central de 500 mètres de longueur utile, dans la galerie parallèle, avec deux raccordements au tunnel principal, au lieu de l'évitement de 400 mètres prévu au contrat dans le tunnel principal élargi à deux voies . . . . .		1,223,000
Majoration kilométrique pour le 11 <sup>e</sup> kilomètre et le travail dans la contre-pente du côté nord par suite de l'avancement plus rapide de ce côté : 803 mètres à 550 francs . . . . .		<u>441,650</u>
	A reporter. fr.	<u>3,064,650</u>

	Reporté. fr.	3,064,650
Pour la construction d'un second canal d'écoulement des eaux entre l'entrée sud et le kilomètre 4,450 . . . . .		690,800
	Fr.	<u>3,755,450</u>
Total de l'augmentation pour le tunnel principal.		

Le délai d'achèvement du tunnel, d'abord fixé au 13 mai 1904, a été reporté au 30 avril 1905, et la prime ou la pénalité de 5,000 francs par jour d'avance ou de retard, prévue au contrat, a été remplacée par une prime ou une pénalité de 2,000 francs.

Enfin le forfait pour la construction du tunnel parallèle, dont l'entreprise demandait à être déchargée, a été augmenté de 4,500,000 francs, ce qui le porte à 19,500,000 francs, sous cette réserve que les chemins de fer fédéraux sont libres de faire exécuter ce travail en régie, ou de le confier à une autre entreprise, s'ils le jugent avantageux.

Les dépenses faites par le Jura-Simplon atteignaient 50,063,508 francs au 30 septembre 1903.

### Conditions et Avantages du Roulage électrique.

Considérons les charges à transporter. Nous admettons une vitesse maximum de 30 kilomètres à l'heure.

1° *Voyage des chantiers à l'intérieur du tunnel à l'entrée sud.*

— Un avancement de 12 mètres par jour (le maximum atteint a été de 9 mètres) donne lieu à environ 500 mètres cubes de déblais, d'une densité moyenne de 2,5, produits par la perforation mécanique dans la galerie principale et la galerie parallèle ainsi que par la perforation à main pour la mise au profil définitif de la galerie principale :

Poids correspondant des déblais . . . . .	1,250 tonnes
Transport de 1,500 hommes. . . . .	110 »
Transport d'outils, des perforatrices, etc. . . . .	20 »

Total. 1,380 tonnes

Ce transport doit être effectué en 24 heures. Admettons 20 voyages. Cette hypothèse laisse place aux besoins imprévus, car, à la vitesse moyenne de 20 kilomètres à l'heure, la durée du trajet maximum, 10 kilomètres, ne dure qu'une demi-heure. La durée des 20 voyages n'exige donc que 10 heures par 24 heures de service.

A chaque voyage le train emportera :

Une charge de . . . . .	69 tonnes
Le poids des wagonnets. . . . .	33 »
Celui de la locomotive électrique. . . . .	25 »
Total.	127 tonnes

Employons la formule de traction de Wyndham et Harding. Soit V, vitesse du train, 30 kilomètres à l'heure.

P, le poids du train en tonnes, 127;

N, la surface transversale du train, 4 m<sup>2</sup>;

T, la résistance du train par tonne;

$$T = 2,72 + 0,094 V + 0,00484 \frac{NV^2}{P}.$$

Nous traiterons la locomotive comme le reste du train, car chaque essieu étant moteur, on pourra se passer de bielles d'accouplement.

On trouve : T = 5,67 kilogrammes.

Or, la pente du côté sud est de 0<sup>m</sup>,007 par mètre. Donc le train serait sensiblement automoteur, ou n'exigerait qu'un léger effort.

2<sup>e</sup> Voyage de l'entrée sud aux chantiers à l'intérieur du tunnel. — Le transport des matériaux comporté au maximum 100 mètres cubes, d'une densité moyenne de 2,5.

Le poids correspondant est de. . . . .	250 tonnes
Transport de 1,500 hommes . . . . .	110 »
Transport d'outils, des perforatrices, etc. . . . .	20 »
Total. . . . .	380 tonnes

Nous admettons également 20 voyages en 24 heures. A chaque voyage le train emportera une charge de 49 tonnes

Poids des wagonnets . . . . .	33 »
Poids de la locomotive électrique . . . . .	25 »
Total. . . . .	77 tonnes

Reprenons la formule de Wyndham et Harding, il suffira d'ajouter 7 kilogrammes par tonne pour la rampe, ce qui donne :

$$T = 5,76 + 7 = 12,76 \text{ kilogrammes.}$$

L'effort total à développer par le moteur sera de :

$$12,76 \times 77 = 982,52 \text{ kilogrammes.}$$

L'effort au crochet sera de :

$$12,76 \times 52 = 656,84 \text{ kilogrammes.}$$

La puissance du moteur sera de :

$$\frac{982,52 \times 30,000}{3,600 \times 75} = 109,15 \text{ chevaux.}$$

L'adhérence de la locomotive électrique est suffisante, car, même en admettant dans les cas défavorables un coefficient de 1/13 on obtient encore :

$$\frac{25,000}{13} = 1,920 \text{ kilogrammes.}$$

Telle est donc la puissance nécessaire sur l'arbre des moteurs de la locomotive. Supposons un rendement total de 0,6, ce qui n'a rien d'exagéré, eu égard aux progrès réalisés par l'industrie électrique. Ce rendement comprend : les rendements du moteur, des transformateurs, des lignes et des génératrices. La puissance nécessaire sur l'arbre des génératrices du côté sud sera donc de :

$$\frac{109,15}{0,6} = 182 \text{ chevaux.}$$

3° *Voyage des chantiers à l'intérieur du tunnel à l'entrée nord.* — Admettons les mêmes caractéristiques qu'au 1°, sauf pour la pente qui est ici de 0<sup>m</sup>,002 par mètre; on trouve :

$$T = 5,67 - 2 = 3,67 \text{ kilogrammes par tonne.}$$

Pour le train de 127 tonnes :

$$T = 3,67 \times 127 = 466 \text{ kilogrammes.}$$

La puissance nécessaire est de :

$$\frac{466 \times 30,000}{3,600 \times 75} \text{ soit } 52 \text{ chevaux.}$$

4° Voyage de l'entrée nord aux chantiers à l'intérieur du tunnel. — Nous supposons les données du 2°, sauf pour la rampe qui est ici de 0,002 par mètre. On trouve :

$$T = 5,76 + 2 = 7,76 \text{ kilogrammes par tonne.}$$

Pour le train de 77 tonnes :

$$T = 7,76 \times 77 = 597,52 \text{ kilogrammes.}$$

La puissance correspondante est de :

$$\frac{597,52 \times 30,000}{3,600 \times 75} \text{ soit } 66,4 \text{ chevaux.}$$

Ces trains 3° et 4° devant rouler simultanément, il faudra  $52 + 66,4$ , soit environ 120 chevaux. Pour un rendement total de 0,6, la puissance nécessaire sur l'arbre des génératrices de la station centrale de l'entrée nord est de  $\frac{120}{0,6} = 200$  chevaux.

Quant à l'adhérence, on voit facilement qu'elle est assurée.

Un point important à noter, c'est que les compresseurs alimentant les locomotives à air comprimé, dont le service est très restreint, absorbent près de 100 chevaux. D'après les conditions du problème le rendement de la traction à air comprimé ne dépasse pas 0,2, alors que celui de la traction à l'électricité peut atteindre facilement 0,6. Ainsi la puissance absorbée par les génératrices électriques n'eût été que de 35 chevaux et l'économie de 65 chevaux.

Le service complet de la traction électrique absorberait donc  $200 + 35 = 235$  chevaux, et la puissance supplémentaire serait de  $235 - 100 = 135$  chevaux.

L'accroissement de puissance nécessaire au roulage électrique ne serait que de 7 %.

D'un autre côté, l'économie réalisée serait considérable. Les locomotives à vapeur actuellement en service consomment 6 kilogrammes de charbon par cheval-heure. Le charbon coûte 50 francs la tonne.

On objectera peut-être que la marche intermittente des trains est un obstacle à l'établissement de la traction électrique; car on ne peut songer à recourir aux batteries-tampons

qui sont d'une installation dispendieuse. Mais en combinant les services de la traction et de la ventilation, qui exigent sensiblement la même puissance, on trouverait déjà une solution pratique de la question.

---

Nous avons annoncé au début de ce travail que nous indiquerions ici les modifications de nature à réaliser un progrès dans la construction des grands tunnels.

Dans les Alpes, privées de richesses houillères, la nature vient admirablement au secours de l'homme pour lui offrir gratuitement, et en abondance, la force motrice qu'il réclame.

Nous avons vu, d'ailleurs, que les entrepreneurs du Simplon empruntent au Rhône et à la Diveria la plus grande partie de la puissance utilisée dans les travaux.

Les chemins de fer fédéraux suisses ont mis à l'étude, nous l'avons dit, un projet de traction électrique pour le chemin de fer du Simplon, dans le but d'utiliser la puissance hydraulique. Mais on s'est heurté, non pas au manque de forces naturelles, mais aux questions secondaires pour le matériel. La réalisation de ce projet eût été en grande partie facilitée par l'existence d'une installation électrique.

Nous nous proposons dans cette étude de rechercher les avantages qui résulteraient de l'établissement d'installations relatives à la construction du tunnel en vue de l'exploitation ultérieure du chemin de fer. Ainsi l'amortissement du matériel, trop onéreux pour des travaux temporaires, serait supporté presque totalement par le service du chemin de fer. Notre but est donc de coordonner la construction et l'exploitation d'un ouvrage dans le genre de celui qui nous occupe.

En général, la construction d'un tunnel se fait à forfait. L'entrepreneur possède le matériel pour effectuer l'ouvrage. Lorsque l'ouvrage est terminé, il le livre à l'exploitant et reprend son matériel. Cependant au Simplon la valeur des installations aux entrées du tunnel est comprise dans le forfait de l'entreprise convenu au début des travaux (v. p. 60). D'un autre côté, la Confédération suisse, qui a repris

la plupart des railways suisses sous le nom de chemins de fer fédéraux, a majoré ce forfait en raison des difficultés rencontrées. Il existe, ainsi, une coordination tacite entre l'entrepreneur et l'exploitant.

Rappelons quelle est la puissance nécessaire pour la construction d'abord, pour l'exploitation ensuite.

Nous supposons les travaux poussés à leur développement maximum, c'est-à-dire à l'époque actuelle du percement. Il faut à chaque entrée du tunnel :

1° Pour la ventilation à l'entrée du tunnel .	200 chevaux	
2° Pour la perforation mécanique : six machines Brandt à 25 chevaux. . . . .	150	»
3° Pour la ventilation secondaire dans le tunnel. . . . .	100	»
4° Pour le fonctionnement de petites pompes, de fontaines, de prises d'eau, etc. . . . .	30	»
5° Pour le roulage . . . . .	150	»
6° Pour l'atelier, l'éclairage électrique, etc.	200	»
7° Pour l'eau à basse pression (varie avec les besoins de la réfrigération) — moyenne .	300	»

Total. 1,150 chevaux

La puissance nécessaire pour l'atelier, l'éclairage électrique, etc., et pour l'eau à basse pression est supposée sur l'arbre des turbines. La puissance renseignée pour les autres services est celle absorbée par les appareils eux-mêmes; il convient donc de tenir compte du rendement du transport de force utilisé. Lorsque nous aurons adopté un mode de transport de force, nous indiquerons le rendement admissible pour chacun de ces appareils.

Ainsi il faudra 2,300 chevaux pour l'ensemble des installations nord et sud.

Quant à l'exploitation du tunnel, d'après les calculs établis par l'administration des chemins de fer fédéraux suisses, un train de voyageurs de 300 tonnes, en marchant à la vitesse de 75 kilomètres à l'heure, à l'intérieur du tunnel — rampe maximum 7 ‰ —, absorbe une puissance de 2,000 chevaux. En outre, la ventilation et l'éclairage du tunnel absorberont



500 chevaux. Comme deux trains circuleront simultanément dans le tunnel, la puissance nécessaire est donc de plus de 4,500 chevaux.

D'autre part, nous avons vu que la puissance disponible sur l'arbre des turbines est de 2,230 chevaux à l'entrée nord et de 1,960 chevaux à l'entrée sud, soit au total de 4,190 chevaux. Le déficit n'est donc pas considérable.

Nous verrons, tantôt, que l'électricité à cause de son rendement favorable exigerait une puissance notablement inférieure. Le déficit serait augmenté de la même quantité

Nous en tirons immédiatement une conséquence importante : à la fin des travaux, les grandes difficultés sont à redouter par suite de la température élevée des roches et des venues d'eau. Or, à pareille époque, les installations pour l'exploitation du chemin de fer sont pour ainsi dire terminées et sont à même de fournir un appoint important de puissance aux installations existantes pour triompher plus rapidement des difficultés rencontrées.

Nous allons passer rapidement en revue les avantages et les inconvénients des divers modes de traction.

La traction à vapeur doit être éliminée pour deux causes principales : d'abord, parce qu'elle exige du charbon dont le prix est fort élevé dans ces contrées, ensuite parce que les locomotives dégagent de la fumée qui incommode toujours, car son évacuation devra se faire par l'un des deux tunnels et atteindra, ainsi, au moins, une partie des trains. En outre, l'évacuation des fumées exigera une ventilation plus énergique, c'est-à-dire une puissance supplémentaire. D'ailleurs, nous avons dit les inconvénients que présente la traction à vapeur actuellement en service dans les travaux du tunnel. Nous n'y reviendrons pas.

La puissance hydraulique présente au Simplon des conditions très favorables d'emploi, car le débit minimum des cours d'eau voisins a été reconnu suffisant pour l'exploitation du chemin de fer, elle peut être utilisée par l'intermédiaire de divers agents.

L'air comprimé ne pourrait être adopté principalement à cause de son faible rendement.

Reste donc l'électricité que nous avons déjà proposée pour le service du roulage. Nous allons examiner dans quelles conditions son application serait la plus avantageuse.

Rappelons, tout d'abord, que les services de l'eau sous pression et de l'air comprimé exigent quatre conduites allant des installations jusqu'aux chantiers. Deux conduites servent à la circulation de l'eau à haute pression, la troisième est utilisée pour l'eau de réfrigération à basse pression, enfin une conduite alimente les locomotives à air comprimé.

Pour le service électrique il suffirait d'une seule conduite d'eau à basse pression pour la réfrigération de l'air et pour le curage continu des perforatrices. Or cette conduite serait de loin la moins onéreuse, car elle ne doit résister qu'à une pression de quelques atmosphères, alors que les trois autres conduites sont soumises à une pression de 100 atmosphères. La suppression de ces trois conduites, d'un prix assez élevé et d'une réalisation difficile à la fin des travaux, comporterait l'installation de conducteurs électriques qui, s'ils sont dispendieux, présentent l'avantage d'être constitués de cuivre — métal qui conserve sa valeur — et de servir pour l'exploitation du chemin de fer.

Notons aussi que, dans la traversée des chantiers, les conduites sous pression ou d'air comprimé sont bien plus encombrantes et d'une installation bien plus difficile que les conducteurs électriques.

Quant à la conduite d'eau à basse pression, l'usage d'un tuyau flexible ayant une longueur allant du front d'attaque au chantier de revêtement en maçonnerie ne gênerait pas la mobilité des chantiers.

Dans notre pensée, l'installation définitive des conducteurs électriques se ferait, du moins en partie, pendant la construction et suivrait de près le chantier de revêtement en maçonnerie. De cette façon l'électricité serait utilisée pour le transport de force, la ventilation, la traction et les services accessoires.

Considérons, d'ailleurs, que le rendement de l'eau à haute pression n'atteint pas 50 %, alors que l'électricité permet de dépasser facilement ce taux.

Quelles sont les conditions pratiques d'un transport de

force électrique? Comme la distance des installations extérieures au milieu du tunnel est d'environ 10 kilomètres, il convient d'adopter le courant triphasé dans la ligne primaire ou ligne à haute tension, à cause de son rendement favorable. Des transformateurs statiques abaisseraient le voltage pour la ligne secondaire ou ligne à basse tension ou ligne de prise de courant, afin de diminuer le danger des hauts voltages pour la manutention des appareils.

Un pareil transport de force à 7,000/220 volts peut donner, un rendement total de 0,6, en y comprenant le rendement des générateurs, de la ligne à haute tension, des transformateurs, de la ligne à basse tension et des moteurs.

Quant à la perforation électrique, certains constructeurs (1) prétendent que leurs perforatrices à percussion d'un modèle récent conviennent très bien au travail dans les couches inclinées de dureté variable parce qu'elles ont une grande force de recul permettant le décoincement de l'outil.

L'expérience a montré que le travail de roches à stratifications compliquées comme celles qui composent le massif du Simplon se pratique assez bien, soit à l'aide des perforatrices hydrauliques Brandt, soit à l'aide des perforatrices à air comprimé qui ont également une grande force de recul. Tandis que la plupart des perforatrices électriques ne présentent pas l'élasticité voulue et ne permettent pas toujours le dégagement du fleuret. Dans cet ordre d'idées, d'autres constructeurs ont adopté provisoirement une solution mixte consistant en un transport de force électrique combiné à la perforation hydraulique ou à air comprimé.

Nous invoquons l'exemple, couronné de succès, des mines de Bielschowitz, dans la Silésie orientale (fig. 21). Un chariot mobile sur rails porte un moteur électrique et une pompe de compression. Le moteur électrique met en mouvement la pompe de compression et absorbe 47 chevaux à la tension de 220 volts et tourne à 720 tours à la minute (2). Le chariot est

---

(1) La maison Siemens-Schuckert, de Berlin.

(2) La partie électrique de cet appareil a été construite par l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft, de Berlin, et la partie mécanique par la Maison Rudolf Meyer, de Mulheim.

installé à quelques mètres du front d'attaque près des parois de la galerie, de façon à permettre l'enlèvement des déblais. De la sorte on utilise encore le bon rendement des compresseurs — 90 % — et on réduit au minimum la perte de charge assez considérable subie par l'eau à haute pression lors de son passage dans les conduites.

Cependant cette méthode mixte offre l'inconvénient d'une légère complication largement compensée par les avantages

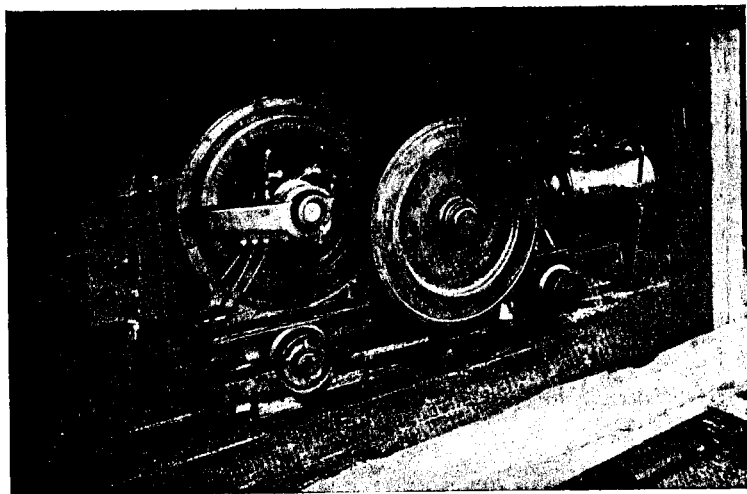


Fig. 21. — Chariot portant un moteur électrique et un compresseur.  
Mines de Bielschowitz. (Silésie orientale.)

d'un service électrique dont nous avons à poursuivre le développement.

Dans la mise au profil définitif, la perforation dans les galeries de faite présente beaucoup d'analogie avec la perforation dans les galeries de base qui se fait à l'aide des lourdes machines Brandt. Or, l'emploi dans les galeries de faite de petites perforatrices mécaniques mises en mouvement par le transport de force électrique donnerait lieu à une économie de temps et de main-d'œuvre sur la perforation à la main.

Appliquons le rendement électrique à la puissance néces-

saire pour la construction à chaque entrée du tunnel (v. p. 66).

1° Le service de la ventilation à l'entrée du tunnel absorbe 200 chevaux. Les ventilateurs étant placés à demeure, on peut les actionner par un moteur triphasé utilisant le courant à haute tension. En outre, la longueur de la ligne ne dépasse pas 200 mètres. Nous admettons un rendement total de 0,85 . . . . .	235 chevaux
2° Pour la perforation mécanique, 150 chevaux ; outre le rendement électrique de 0,6, nous admettons le rendement de 0,9 pour les compresseurs, d'après des essais faits au Simplon, soit un rendement total de 0,54 . . . . .	280 »
3° Pour la ventilation secondaire dans le tunnel 10 chevaux ; rendement total 0,6 . . . . .	170 »
4° Pour le fonctionnement de petites pompes, fontaines, prises d'eau, etc., 50 chevaux ; rendement total 0,6 . . . . .	85 »
5° Pour le roulage 150 chevaux, rendement total 0,6 . . . . .	250 »
6° Pour l'atelier, l'éclairage électrique, etc. . . . .	200 »
7° Pour l'eau à basse pression . . . . .	300 »

Total. 1,520 chevaux

Et pour l'ensemble des deux entrées du tunnel, il faudra disposer d'une puissance d'environ 3,000 chevaux sur l'arbre des turbines. Le service du chemin de fer exige, au moins, 4,500 chevaux. Nous voyons donc que le déficit est notablement augmenté, ainsi que nous l'avons annoncé (v. p. 67). Dans les circonstances actuelles du percement du tunnel du Simplon, l'irruption de sources d'eau chaude vers la fin des travaux n'eût pas donné lieu à des difficultés redoutables. En effet, nous avons dit plus haut qu'à ce moment le chemin de fer étant sur le point d'être inauguré, les installations hydrauliques seraient à peu près terminées et il suffirait de l'adjonction de quelques pompes pour refouler dans le tunnel une quantité considérable d'eau de réfrigération, même avec un rendement défectueux. Ce rendement défectueux ne pré-

Nous ne pouvons clore cette étude sans exprimer un sentiment de sincère et profonde admiration pour cette œuvre grandiose. La hardiesse de sa conception semblait un défi porté à la science et à l'art de l'ingénieur : elles ont triomphé de tous les obstacles en appelant à leur aide toutes les énergies de la nature que le génie humain a si admirablement disciplinées. Le succès est digne des efforts surhumains qu'il a coûtés.

G. DE FOUZ.





**BRUXELLES**

*Imprimerie de l'Économie Financière*

26, RUE DE LA MADELEINE, 26



