

Tunnel du Simplon: projet de 1893: exposé général de la Compagnie Jura-Simplon et rapport des experts nommés par le Conseil fédéral: août 1884

Autor(en): **Vallière, E. de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes**

Band (Jahr): **21 (1895)**

Heft 2 & 3

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18760>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT A LAUSANNE 8 FOIS PAR AN

Administration : Place de la Louve.

(GEORGES BRIDEL & C^e éditeurs.)

Rédaction : Rue Pépinet, 1.

(M. A. VAN MUYPEN, ing.)

Sommaire : Tunnel du Simplon. Projet de 1893. Compte rendu par M. de Vallière, ingénieur. (Avec 3 planches, N^{os} 34, 35 et 36.)

TUNNEL DU SIMPLON

Projet de 1893.

Exposé général de la Compagnie Jura-Simplon
et rapport des experts nommés par le Conseil fédéral.

Août 1894.

Compte rendu par E. DE VALLIÈRE, ingénieur.

(Avec 3 planches : N^{os} 34, 35, 36.)

La question du Simplon a été traitée ici-même à différentes reprises et à divers points de vue, de 1876 à 1890, par plusieurs plumes autorisées. Notre recueil fournit à cet égard des renseignements très documentés¹.

Grâce à des études récentes, le projet de tunnel, — cette conception hardie qui, depuis trente-cinq ans, a groupé autour d'elle tant d'hommes d'initiative et de forces intellectuelles, — vient d'entrer dans une phase nouvelle de bon augure pour sa réalisation prochaine.

Le *Bulletin* devait à ses lecteurs et à la mémoire de feu l'ingénieur en chef, Jean Meyer, de ne pas laisser inachevés les exposés techniques entrepris dans nos colonnes par ce dévoué collaborateur, sur une œuvre d'un si haut intérêt pour notre pays. A notre demande, notre collègue, M. l'ingénieur E. de Vallière, ancien directeur des mines et salines de Bex, a bien voulu se charger d'analyser le mémoire dont le titre figure en tête de ces lignes.

(Note de la rédaction.)

Les difficultés résultant des hautes températures et du défaut de ventilation rencontrées dans la percée du tunnel du Gothard, ont été des arguments pressants, à un moment donné, pour élever l'altitude du tunnel du Simplon. Nous avons vu

¹ Voici l'énumération des articles publiés par le *Bulletin* sur les passages alpins (1876 à 1890) :

Jean Meyer : Le Gothard et le Simplon. Année 1876, p. 14. — Nouvelles études, entreprises en 1881 et 1882, pour les lignes d'accès du Simplon. Année 1882, p. 26 et 39. — Note sur le chemin de fer et le tunnel de l'Arlberg. Année 1881, p. 41, et année 1882, p. 1, 30 et 40. — Conférence sur le percement du Simplon. Année 1887, p. 14 et 17. — Le percement des grands tunnels des Alpes. Année 1888, p. 98 et 105. — De la chaleur centrale dans l'intérieur des massifs, des difficultés qu'elle occasionne pour les grands percements alpins et des moyens d'atténuer ces difficultés. Année 1890, p. 245.

Ed. Pellis : Le Simplon et la route des Indes. Année 1876, p. 1.

Th. Lommel : Conférence sur le projet de chemin de fer par le Simplon. Année 1877, p. 29. — Note sur le Simplon. Année 1879, p. 6.

L.-L. Vauthier : Le percement du Simplon devant les chambres françaises. Année 1881, p. 29 et 35.

F.-M. Stafff : Notice sur la ventilation, la température, etc., dans le tunnel du Gothard. Année 1882, p. 51, et 1883, p. 5.

Ch. de Sinner : La ventilation des grands tunnels. Année 1883, p. 8 et 29.

E. Gerlich : Notice sur le chemin de fer du Gothard. Année 1882, p. 24 et 33. — Les nouveaux projets du Simplon. Année 1883, p. 23.

paraître pour ce motif plusieurs projets dont la préoccupation dominante était de rapprocher le tracé du tunnel de la surface du sol afin d'abaisser la température intérieure (tracés intermédiaires, trois projets).

Pour réduire les frais de construction et pour des motifs d'opportunité, quatre autres projets avec tunnel de faite furent aussi présentés. Tous ces projets, tunnels intermédiaires ou tunnels de faite, ont le grave inconvénient d'entraîner des rampes de 50 à 60 ‰, sans souci suffisant des frais d'exploitation qui en résulteraient.

Heureusement, les études poursuivies en tenant compte des expériences faites, ont démontré victorieusement la possibilité d'éviter les inconvénients signalés au Gothard.

Ces études ont abouti au projet de tunnel de base qui fait l'objet du compte rendu que nous avons l'honneur de présenter à nos collègues. Nous avons la conviction qu'après lecture, la solution proposée leur paraîtra clore définitivement le long débat relatif à la percée du Simplon.

Ce projet présenté en octobre 1893 par la Compagnie du Jura-Simplon, étudié sous la direction de M. le colonel Dumur, a été soumis à une commission d'experts étrangers composée de MM. Colombo, professeur à l'institut technique royal supérieur de Milan; Francis Fox, l'ingénieur du tunnel de la Mersey (Liverpool); C.-J. Wagner, l'ingénieur de l'Arlberg (Autriche).

Ces messieurs furent chargés, en date du 27 avril 1894, par le Conseil fédéral d'examiner ce projet et de faire rapport sur le résultat de leur mission :

Les documents mis à la disposition des experts, sont :

1^o Le contrat daté de Berne-Winterthur du 20 septembre 1893, passé entre la direction des chemins de fer Jura-Simplon, et l'entreprise générale pour la construction du tunnel du Simplon.

2^o Les études de 1882 (avec 25 annexes) qui leur ont été communiquées à Berne.

3^o Le rapport du Jura-Simplon sur les études de 1890 à 1891.

4^o Le rapport relatif à la construction du tunnel et à la ventilation pendant l'exploitation.

5^o Enfin, les renseignements qui ont été fournis, pendant les séances tenues à Berne du 29 mai au 6 juin, par les organes de la Confédération, de la Compagnie du Jura-Simplon et de

l'entreprise générale. Les observations personnelles des experts lors des expériences du 4 juin aux ateliers de MM. Sulzer frères à Winterthur avec la machine perforatrice Brandt et avec les appareils pour le rafraîchissement de l'air, ainsi que celles faites les 7 et 8 juin lors de la visite des experts au Simplon.

Tracé et profil en long.

Le tracé (planche 34) part de la station actuelle de Brigue, il suit la rive droite du Rhône et atteint au km. 2,480 la tête nord du grand tunnel.

Celui-ci, traverse le massif du Monte-Leone en passant à environ 1 km. à l'est du sommet de cette sommité. L'altitude de la ligne de faite traversée est à 2840 m. au-dessus de la mer. La longueur du tunnel est de 19 731 m. La tête sud est située sur la rive gauche de la Diveria au km. 22,211. C'est à peu de chose près la direction du tracé de 1882.

Le profil en long indique, à partir de la tête nord une rampe de 2 ‰ sur 9160 m. Puis vient un palier de 500 m. suivi d'une pente de 7 ‰ sur 10 210 m. jusqu'à la tête sud. La tête nord est à 687^m10; le palier (point culminant) est à 705^m20 et la tête sud à 633^m75 au-dessus de la mer. La différence d'altitude des têtes est donc de 53^m35; la tête sud étant plus basse que la tête nord.

L'épaisseur moyenne du massif au-dessus de l'axe du tunnel est de 1140 m. Sur une longueur de 8450 m., cette épaisseur moyenne n'est pas atteinte, tandis que sur 11 261 m. elle est dépassée.

La plus grande épaisseur du massif au-dessus du tunnel près du km. 9,100 à partir de la tête nord est de 2135 m.

L'entrée et la sortie du souterrain sont en courbes afin de se raccorder avec le tracé à ciel ouvert.

Du moment que le tracé avec tunnel de base était adopté, la

position des têtes a été fixée par les considérations suivantes. En reportant la tête nord plus à l'est, on rencontrait les gyps de Thermen. Placée plus à l'ouest, on augmentait la longueur du tunnel, ainsi que l'épaisseur du massif superposé en se rapprochant du Monte-Leone, sans diminuer sensiblement le coût de la ligne d'accès à ciel ouvert, établie sur les digues du Rhône, déjà construites.

Du côté sud, ce sont des considérations climatiques qui ont déterminé la position de la tête. Il est reconnu, qu'en aval de la petite galerie d'Iselle sur la route du Simplon, la neige est moins abondante et persiste moins longtemps qu'en amont. L'altitude de la tête sud est celle de la route et son emplacement se prête du reste assez bien aux installations projetées.

Alignements et courbes.

Au km. 2.480 ⁴⁰ — 2.765 ⁸⁰ courbe à gauche;	
rayon 340 ^m ; longueur	285.40 ^m
Au km. 2.765 ⁸⁰ — 21.965 alignement droit.	19.499.20 ^m
Au km. 21.965 — 22.138 ⁴⁰ courbe à droite;	
rayon 300 ^m ; longueur	173.40 ^m
Au km. 22.138 ⁴⁰ — 22.201 ⁴⁰ align ^t droit	73
En courbes de 300 ^m à 340 ^m	458.80 ^m soit 2.32 ‰
En alignements droits	19.272.20 ^m soit 97.68 ‰
Total	19.731.00^m

Déclivités.

Au km. 2.480 ⁴⁰ — 11.541 ⁴⁰ rampe de 2 ‰	9.061 ^m
Au km. 11.541 ⁴⁰ — 12.041 ⁴⁰ palier	500 ^m
Au km. 12.041 ⁴⁰ — 22.211 ⁴⁰ pente de 7 ‰	10.170 ^m
Déclivités de 2 ‰ et 7 ‰	19.231 ^m = 97.47 ‰
Palier	500 ^m = 2.53 ‰
Total	19 731^m

Comparaison entre le tracé projeté et les différents tunnels traversant les Alpes.

	MONT-CENIS	GOTHARD	ARLBERG	SIMPLON
	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres
Longueur du tunnel	12 849	14 984	10 240	19 731
Altitude de la tête nord ou est	4 147,80	4 109	4 392,40	687,10
» » sud ou ouest	4 269,10	4 145	4 218,30	633,75
» du point culminant	4 294,70	4 154,60	4 310,60	705,20
Rampe maximale dans le tunnel, ‰	22	5,82	15	7
Altitude maximale au dessus de l'axe	2 949	2 861	2 030	2 840
Epaisseur maximale du massif au dessus du tunnel	4 654	4 706	720	2 135
Température maximale de la roche; degrés centigrades.	29,5	30,8	18,5	40

Le point culminant du tunnel du Simplon se trouverait donc 605^m40 moins élevé qu'à l'Arlberg, 589^m50 » » Mont-Cenis, 449^m40 » » Gothard.

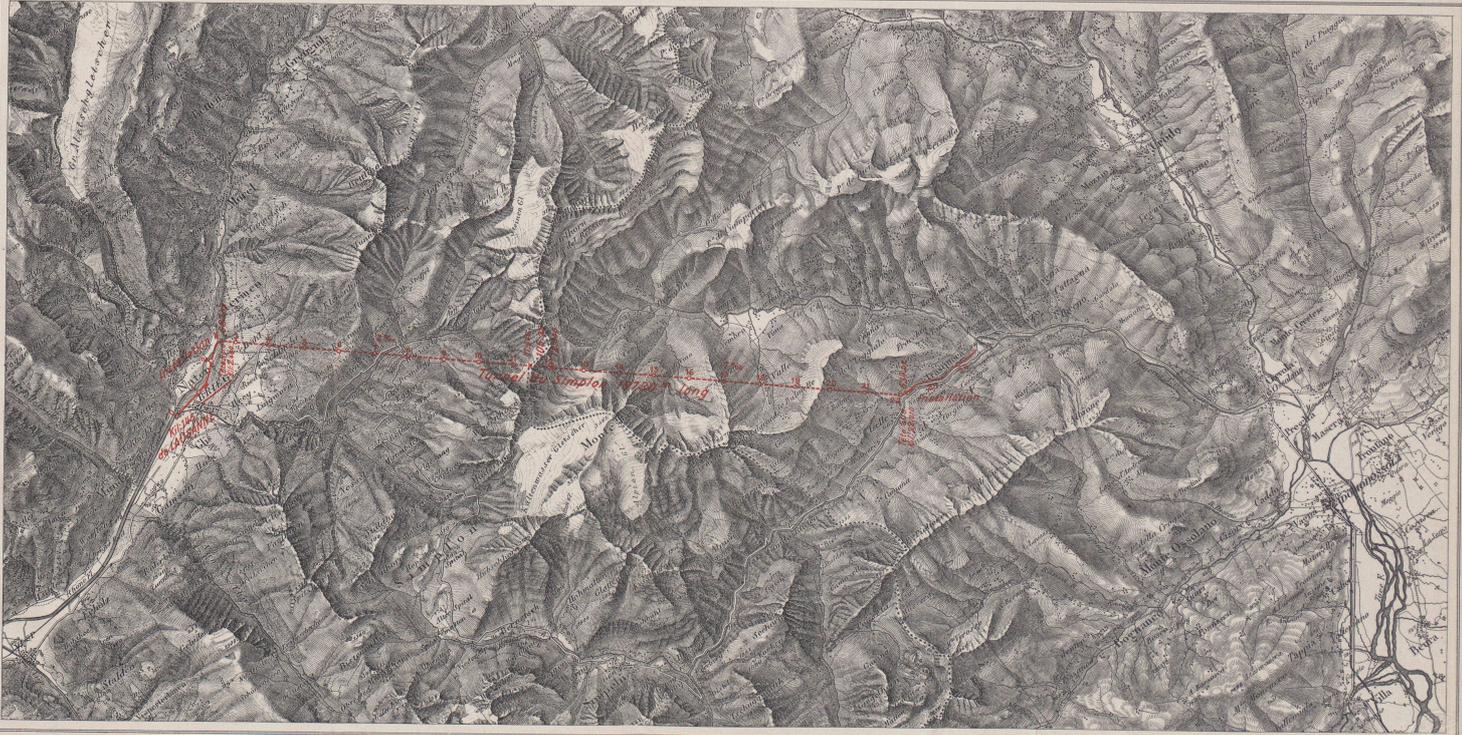
Profils en travers.

La disposition la plus originale, à retenir dans le projet actuel du tunnel, consiste dans l'emploi de deux galeries

parallèles à simple voie, construites à 17 m. l'une de l'autre d'axe en axe et dont la section libre minimale aura 23^m20. La largeur libre sera de 4^m50 à la hauteur des traverses et 5 m. à 2 m. au-dessus. Entre la clef de voûte et le dessus des traverses, la hauteur libre est de 5^m50.

Cinq profils différents sont prévus :

1° Dans le rocher compact et à couches régulières; sans revêtement.

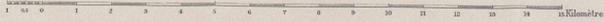


Bureau géographique fédéral. Reproduction rétrogradée.

Imp. de l'Établissement typogr. Rumorczyk, 7^{me} Rue.

Report sur pierre 1893.

Echelle 1 : 100 000.

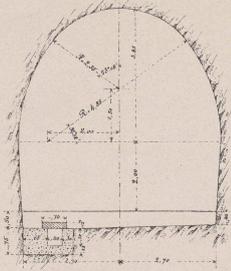


Seite / page

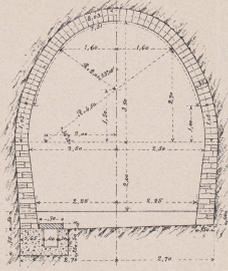
leer / vide /
blank

I. Profils normaux à simple voie

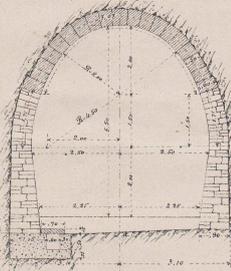
N°1 sans revêtement



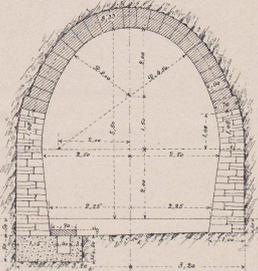
N°2 à revêtement



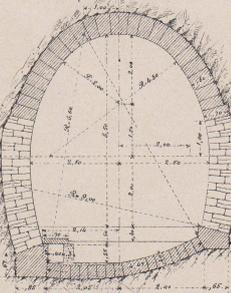
N°3 pression moyenne



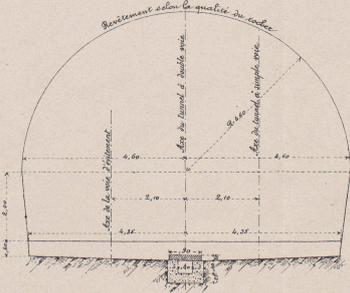
N°4 forte pression verticale



N°5 forte pression des côtés



Profil de l'espace libre à double voie au milieu du tunnel

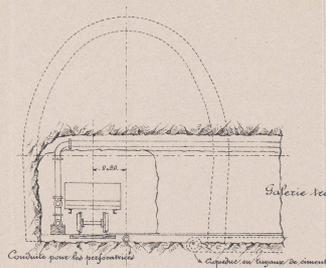


Echelle - 1:100

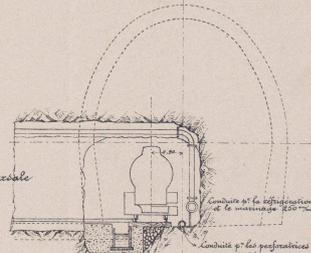
II. Profils en travers des galeries de base.

Echelle - 1:100

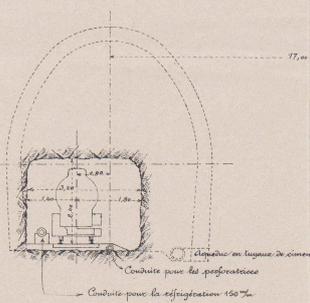
Tunnel I



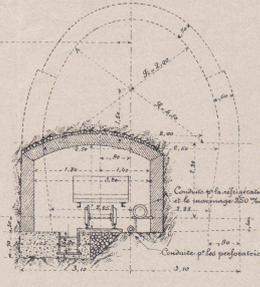
Tunnel II en bon terrain



Tunnel I



Tunnel II en mauvais terrain



	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Excavation	31,10 ^{m³}	31,10 ^{m³}	35,30 ^{m³}	36,70 ^{m³}	10,30 ^{m³}
Magonnerie des piliers	—	3,30 ^{m³}	0,55 ^{m³}	6,55 ^{m³}	5,50 ^{m³}
Magonnerie de la voûte	—	3,81 ^{m³}	3,60 ^{m³}	5,60 ^{m³}	3,30 ^{m³}
Magonnerie du radier	—	—	—	—	—
Excavation de la cuvette	0,81 ^{m³}	0,53 ^{m³}	0,33 ^{m³}	0,33 ^{m³}	0,20 ^{m³}
Battage de la cuvette	0,55 ^{m³}	0,55 ^{m³}	0,55 ^{m³}	0,55 ^{m³}	—
Bétonnage du radier	0,70 ^{m³}	0,70 ^{m³}	0,70 ^{m³}	0,70 ^{m³}	—
Remplissage empirique scabie	—	—	—	—	0,10 ^{m³}
Section de ballast	2,40 ^{m³}	1,95 ^{m³}	1,95 ^{m³}	1,95 ^{m³}	1,40 ^{m³}
Section de vide	23,20 ^{m³}				

Seite / page

leer / vide /
blank

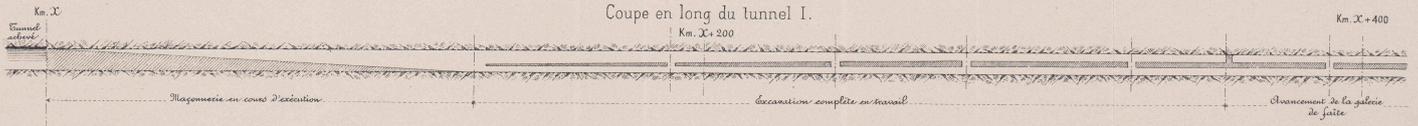
III. Disposition générale des chantiers souterrains

Avancement normal:

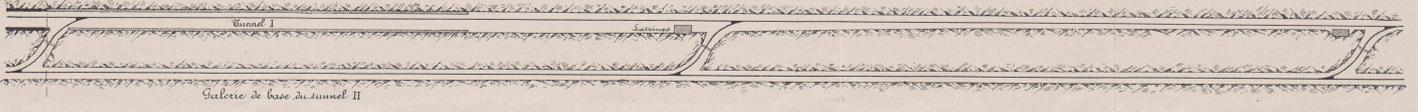
50^m par semaine dans les galeries de base des tunnels I et II et 5^m par semaine et par attaque dans la galerie de faite.

Echelle = 1:1000

Coupe en long du tunnel I.



Plan



Coupe en long du tunnel I.



Plan



Edm. J. Durand, architecte.

Seite / page

leer / vide /
blank

2° Dans le rocher demandant un simple revêtement et où les couches sont irrégulières. Piédroits et voûte en moellons ; épaisseur 0^m35.

3° Dans les terrains offrant une pression moyenne, piédroits en moellons, voûte en pierre de taille ; épaisseur 0^m50.

4° Dans les terrains offrant une grande pression verticale, piédroits en maçonnerie assisée, voûte en taille ; épaisseur 0^m60.

5° Dans les terrains avec forte pression latérale et en décomposition, piédroits en maçonnerie assisée, radier de 0^m40 d'épaisseur et voûte de 0^m60 en pierre de taille.

Tous les 100 m., mais d'un seul côté, il y aura de petites niches de 2 m. de largeur sur 2^m30 de hauteur. Tous les 1000 m. elles seront remplacées par de petites chambres destinées à recevoir les signaux à cloche et les lampes. Elles auront 3 m. de largeur, 3^m10 de hauteur et 3 m. de profondeur. Quatre grandes chambres pour remiser les outils d'entretien de la voie seront en outre réparties uniformément sur la longueur du tunnel.

Les deux galeries d'avancement auront une largeur de 3^m70 et une hauteur de 3^m85 au-dessus des traverses.

La galerie parallèle sera revêtue sur les parties comprimées ou sur celles dont la roche ne présenterait pas des garanties suffisantes de sécurité. Elle contiendra le canal principal pour l'écoulement de l'eau, canal dans lequel viendront se déverser toutes les eaux du tunnel principal.

Une voie d'évitement de 400 m. de longueur, pour le croisement des trains est prévue au milieu du tunnel.

Profils géologiques.

Le tracé proposé pour le tunnel a le grand avantage de rencontrer perpendiculairement la direction générale des couches ; cette direction est en général du nord-est au sud-ouest. L'inclinaison de ces couches varie suivant les plissements de la montagne du nord-ouest au sud-est.

Autant qu'il a été possible, le tracé s'écarte des couches dangereuses à traverser comme les dolomies et les gyps qui ont occasionné de si grandes difficultés au Gothard. Le forage mécanique se fera dans les meilleures conditions. Du côté nord, on peut prévoir un avancement rapide dans le schiste lustré parce que cette roche n'est pas dure et que l'inclinaison des couches se présente favorablement.

Dans le massif central et dans le gneiss d'Antigorio la dureté de la roche est plus grande, mais en revanche elle y est compacte et homogène sur de grandes longueurs et n'y demandera pour cette raison que peu de boisage. Des venues d'eau sont prévues dans l'intérieur du tunnel du km. 0 au km. 2, et sous la vallée de la Ganter. Du côté sud elles sont attendues sous la vallée de la Cairasca, entre Pizzo, Valgrande et Teggiolo.

MM. Heim, Renevier et Lory, géologues, ont étudié et déterminé déjà en 1887 la succession des couches géologiques traversées par le tunnel projeté. Le tunnel traversera sur 19 700 m. de longueur, dans la direction du sud au nord, les formations suivantes rangées sans inversion, d'après leur âge.

1° Micaschistes calcaires et gneiss d'Antigorio,

$$\text{km. } \frac{19\ 750}{13\ 400} = 6350 \text{ m.}$$

2° Calcaire de Teggiolo, micaschiste calcaire, micaschiste et gneiss, calcaire de Vallé, gneiss schisteux et micacé de Vallé, gneiss et micaschistes du Monte-Leone, schistes et gneiss cristallins, calcaire de la Ganter, schistes cristallins et gneiss stratifié,

$$\text{km. } \frac{13\ 400}{3700} = 9700 \text{ m.}$$

3° Schistes lustrés avec bancs de gyps du Rhône,

$$\text{km. } \frac{3700}{0} = 3700 \text{ m.}$$

La roche la plus ancienne à traverser est le micachiste calcaire qui est recouvert par le gneiss d'Antigorio. La formation la plus récente est représentée au nord par les schistes lustrés et le gyps du Rhône.

Stations.

La nouvelle station de Brigue sera établie à 1450 m. de la tête nord, entre le km. 0,600 et 1,600 à partir de la station actuelle. Elle sera pourvue comme gare de transit, d'installations douanières et comprendra 8 voies principales. Sur le versant sud, la station d'Iselle serait placée à 350 m. environ de la tête du tunnel, elle sera aménagée comme station de croisement avec 4 voies principales.

Forces hydrauliques.

Les conditions relatives aux forces hydrauliques nécessaires à la perforation du grand tunnel se présentent au Simplon, comme suit :

DU CÔTÉ NORD, les cours d'eau qui peuvent fournir la force hydraulique sont : le Rhône, la Massa, le Kelchbach et la Saltine, dont les jaugeages ont donné les débits minimum ci-après :

	Etendue du bassin. km ² .	Débit minimal	
		à la seconde. m ³ .	par km ² et sec. m ³ .
Rhône au-dessus de la			
Massa	570,70	5,517	0,00966
Saltine à Brigue . . .	81,20	0,270	0,00332
Kelchbach à Naters . .	33,60	0,156	0,00464
Massa, près du pont			
de la route	307,20	0,277	0,00137

Les débits de la Massa, du Kelchbach et de la Saltine sont si minimes, qu'il faudrait installer les prises d'eau à une altitude d'au moins 1190 m. à 1546 m. pour obtenir la chute de 800 m. à 500 m. nécessaire au rendement de 1000 HP. Mais, à cette altitude, les débits de la Saltine et du Kelchbach ne sont plus que la moitié de ceux indiqués dans le tableau, leur emploi est donc à rejeter.

La Massa, qui pourrait donner 1000 chevaux, devrait, dans ce but, avoir sa prise de dérivation à une altitude de 1200 m., ce qui l'exposerait à toutes les intempéries et compromettrait la sûreté du service pendant la mauvaise saison.

Dans ces conditions, le Rhône seul présente les garanties de débit et de sécurité compatibles avec la bonne marche des installations mécaniques prévues à la tête nord du tunnel. La rive droite du Rhône se prête mieux que l'autre rive au canal de dérivation projeté. Les conditions topographiques ainsi que l'exposition y sont plus favorables. Le voisinage de la route de

la Furka sera d'un précieux secours pour cette construction et facilitera la surveillance et l'entretien du canal pendant l'exploitation.

La prise projetée se trouve dans le voisinage du pont de Grifrisch à l'altitude de 768 m. La forte pente du Rhône près de Morel serait utilisée par une dérivation de 4300 m., jusqu'au Massaboden sur la rive gauche de cette rivière. Avec une pente de 3‰ donnée au canal, on obtient l'altitude de 755 m. pour le réservoir à l'origine de la conduite en pression.

Le bâtiment des machines étant à l'altitude de 692 m., la chute brute (sous pression) sera de 63 m. — 2 m. = 61 m., si l'on admet 2 m. de hauteur d'eau dans le réservoir.

Pour débiter 1500 litres par seconde avec une vitesse de 2 m., la conduite sous pression aurait un diamètre de 1 m. et en déduisant la perte de charge de 6‰ de la longueur de 800 m. de conduite, il reste une chute utile de 56 m.

Le canal de dérivation construit en planches rabotées aurait 1 m. de largeur sur 1 m. de hauteur intérieurement, pourra fournir en marche normale $1500 \times 56 \times 0,01 = 840$ HP. (section mouillée 0^m262) et au maximum $2100 \times 56 \times 0,01 = 1180$ HP. Dans le cas où la force motrice devrait être augmentée et portée à 1500 chevaux, on poserait un second canal à côté du premier sur la plateforme construite suffisamment large pour recevoir les deux conduites jumelles.

La force finale serait donc de 1680 H. P. en marche normale et de 2360 HP. au maximum. Le Rhône fournirait ainsi 3 m³ d'eau en marche ordinaire et 4^m3₂₀ au maximum.

Du côté sud, la force motrice peut être fournie par trois torrents. La Diveria, le Zwischenbergbach et la Cairasca

Tableau des jaugeages.

	Etendue du bassin. km ² .	Débit minimal.	
		à la seconde. m ³ .	par km ² et sec. m ³ .
Diveria, amont de			
Gondo.	119,80	1,098	0,00917
Diveria, aval de Gondo	169,60	1,422	0,00839
Zwischenbergbach .	49,80	0,330	0,00651
Cairasca, vis-à-vis de			
Saint-Bernardo. . .	53,06	0,671	0,01265
Cairasca en aval de			
Maulone.	72,64	0,919	0,01265

Le Zwischenbergbach a un débit si faible qu'il sera éliminé de l'emblée. La Diveria a le plus fort débit, mais elle est encaissée entre deux hautes parois rocheuses qu'il faudrait percer en galeries ou faire sauter à grands frais pour le passage du canal de dérivation et de la conduite en pression.

Si on lui emprunte 900 litres par seconde, la chute effective sera (pour 1630 chevaux environ) $H = \frac{1630}{900 \times 0,01} = 181$ m.

La conduite sous pression aurait un diamètre de 0^m80. La perte de charge pour une vitesse de 2 m. serait de 8‰ de la longueur de la conduite ou de $5550 \times 0,008 = 45$ m., ce qui donne pour l'altitude de la prise $615 + 181 + 45 + 2 = 843$ m. Il faudrait donc placer la prise à environ 200 m. en amont de Gondo et établir une conduite en pression de 5550 m. de longueur jusqu'aux installations. En employant la Cairasca exclusivement, on pourrait dériver 500 litres à la seconde et

pour obtenir la même force, la chute effective sera de $H = \frac{1630}{500 \times 0,0087} = 375$ m. en estimant le rendement des turbines à 65‰ seulement.

La conduite sous pression, aurait un diamètre de 0^m60 pour une vitesse de 2 m. La perte de charge, de 1,1‰ de la longueur de la conduite serait de $820 \times 0,011 = 9$ m., ce qui conduit à donner au réservoir une altitude de $615 + 375 + 9 = 999$ m. Un canal de dérivation à 3‰ de pente, de 4600 m. de longueur, à ciel ouvert, amènerait l'eau de la Cairasca au réservoir de la conduite en pression. L'altitude de la prise atteindrait donc $999 + 14 + 2 = 1015$ m. L'emplacement choisi se trouve à quelques mètres en amont de la passerelle à piétons jetée sur la Cairasca entre Grebbo et Cioira.

Le canal de dérivation aurait 0^m70 de largeur et hauteur intérieure, la section mouillée 0^m27. Il pourrait débiter au maximum 700 litres par seconde avec une vitesse de 2^m50 dans la conduite sous pression, ce qui donnerait une force maximale $P = 700 \times 375 \times 0,0086 = 2260$ HP.

Force totale côté nord . . . 2360 HP.
Total des forces disponibles . . 4620 HP.

Contrat d'entreprise.

La Compagnie du chemin de fer Jura-Simplon a passé le 20 septembre 1893 un marché éventuel avec la Société Brandt, Brandeau et Cie, qui prévoit la construction à forfait de deux tunnels à simple voie.

Ce marché fixe les prix suivants :

- 1° Pour les installations du tunnel . . Fr. 7 000 000
 - 2° Pour le premier tunnel à simple voie avec galerie parallèle, . . . » 47 500 000
 - 3° Pour le complément du second tunnel à simple voie » 15 000 000
- Total, Fr. 69 500 000

L'acquisition des terrains nécessaires aux installations, le matériel de voie des deux tunnels et le ballastage du second tunnel ne sont pas compris dans ce chiffre.

Les principales clauses du contrat sont indiquées ci-après.

Le délai d'achèvement du premier tunnel est de 5 ans 6 mois pour le cas où la mise en demeure de commencer les travaux serait faite entre le 1^{er} février et le 31 juillet ; et de 5 ans 8 mois si cette mise en demeure était faite en dehors de ce temps.

Pour le second tunnel, le délai est limité à 4 ans, à partir de la date du commencement des travaux. Si les travaux de parachèvement du second tunnel ne sont pas demandés pendant les 4 ans qui suivront l'achèvement du premier tunnel, l'entreprise sera dégagée de l'obligation d'achever ce second tunnel.

La garantie pour l'exécution des obligations de l'entreprise est portée à 5 000 000 francs, comprenant : a) un cautionnement de 1 000 000 francs déjà versé et b) des retenues de 7 1/2‰ sur les paiements mensuels.

Cette garantie sera d'abord abaissée à 2 000 000 francs après l'achèvement et la réception du premier tunnel à simple voie ; puis à 1 000 000 francs après deux ans et enfin à 500 000 francs au bout de 3 ans.

Si la construction du second tunnel avait lieu, ce dernier cautionnement serait porté à 1 500 000 francs par des retenues successives de 7 % sur les nouveaux versements. Après l'achèvement de ce tunnel, la garantie retomberait à 500 000 francs pendant 2 ans.

Une indemnité de 5000 francs au profit de la Compagnie est prévue pour chaque jour de retard sur le délai d'achèvement. En revanche, l'entreprise touchera une prime de 5000 francs pour chaque jour anticipé sur ce délai.

Principales clauses du cahier des charges. — L'entreprise se charge du percement du Simplon à ses risques et périls, aux prix fixés par le contrat. Il n'est prévu aucune indemnité ni plus-value pour les difficultés qui pourraient survenir en cours d'exécution des travaux, telles que venues d'eau, haute température intérieure, mauvais terrains, etc. Sont seuls réservés, les cas de guerre, les épidémies et la grève générale ne provenant pas de la faute de l'entreprise.

L'entreprise a à sa charge, le tracé de l'axe du tunnel et en est responsable.

La méthode employée sera l'attaque par galeries de base. A chaque tête du tunnel, les travaux commenceront par l'attaque des trois galeries, savoir : 1° La galerie de direction ; 2° les deux galeries en courbes. Le battage au large et le revêtement suivront immédiatement. L'excavation et le revêtement se feront

en général par anneaux complets. Si la pression était nulle, l'entreprise est autorisée à construire la voûte avant l'abatage du stross et le revêtement des piédroits.

L'entreprise a le choix du profil à adopter pour le revêtement, mais en cas de pression considérable, elle appliquera des profils plus forts que ceux qui ont été prévus.

Le volume d'air introduit pour la ventilation pourra atteindre 50 m³ par seconde ; la température intérieure ne devra pas dépasser 25° en marche normale.

Les conditions hygiéniques applicables aux ouvriers font l'objet de plusieurs articles du cahier des charges. Les immondices seront sortis. Une bonne eau potable, des bains gratuits, des logements sains et des vivres de bonne qualité seront mis à la disposition des ouvriers. Il sera interdit à tout tâcheron de tenir pension ou restaurant. Les chantiers dans le tunnel seront autant que possible éclairés à la lumière électrique.

L'entreprise instituera une caisse de secours pour les ouvriers malades et pour les veuves et orphelins d'ouvriers morts par suite d'accident. Elle s'engage aussi à remettre à la Compagnie tous les renseignements qui pourraient servir à calculer la durée et le coût des futurs tunnels à travers les Alpes.

L'entreprise exige que les travaux à l'avancement du tunnel soient poursuivis d'une manière ininterrompue, aussi bien le dimanche que les autres jours.

Programme des travaux dans le tunnel.

ANNÉES	Galerie de direction		Galerie de base et galerie parallèle		Galerie de faite		Battage au large		Maçonnerie		Ballastage et pose de voie
	Total m.	m.	Total m.	m.	Total m.	m.	Total m.	m.	Total m.	Total m.	
1	420	1 900	1 900	1 500	1 500	900	900	200	200	—	
2	—	3 700	5 600	3 600	5 400	3 600	4 500	3 500	3 700	—	
3	—	4 400	9 700	3 900	9 000	3 800	8 300	3 900	7 600	—	
4	—	4 600	14 300	4 600	13 600	4 500	12 800	4 400	12 000	—	
5	—	5 400	19 400	5 200	18 800	5 400	18 200	5 500	17 500	—	
dernier semestre	—	330	19 730	930	19 730	1 530	19 730	2 230	19 730	19 730	

Système de construction.

La méthode qui sera inaugurée pour la construction du tunnel sous le Simplon, par l'entreprise Brandt, Brandeau & Cie est absolument nouvelle. Elle a été imaginée pour combattre efficacement les difficultés provenant de la chaleur souterraine rencontrée dans les autres percées des Alpes. A cet effet, il est prévu deux tunnels parallèles à simple voie, situés à 17 m. d'axe en axe l'un de l'autre. (Planches 35 et 36.)

Succession des travaux.

Simultanément, et des deux côtés de la montagne les deux galeries d'avancement parallèles seront attaquées, elles seront reliées tous les 200 m. par des galeries transversales. Ces deux galeries auront leur axe à 0°00' à l'orient de l'axe principal de chaque tunnel.

En venant de Brigue, le tunnel I est à gauche, le tunnel II à droite.

La galerie du tunnel I sera agrandie suivant la section complète du souterrain, tandis que le tunnel II ne serait achevé que si le trafic se développait de façon à exiger la double voie continue au lieu du simple évitement central prévu.

La galerie II qui aura une section de 8 m² servira de canal de ventilation. L'air introduit pénétrera par les galeries transversales, d'abord dans la galerie I, puis dans le tunnel I et reviendra au jour après avoir traversé les chantiers en sens inverse. Le réglage de la ventilation se fera aisément au moyen des portes dont chaque galerie transversale sera munie.

La galerie II procure d'autres avantages, elle servira à écouler par un seul canal, toutes les eaux du souterrain, aussi bien celles introduites pour les besoins de l'exploitation, que

celles provenant naturellement de la montagne. On placera aussi dans cette galerie les grandes conduites d'eau destinées à la perforation et au marinage. Elle servira de même aux transports, les wagons entrant l'utiliseront; les wagons sortant passeront par la galerie I et le tunnel I. Ainsi, sera évité tout encombrement ou ralentissement dans la circulation, puisque la galerie II peut d'ailleurs, en tout temps, servir aux trains sortant.

Elle sera de même extrêmement utile en cas de réparations importantes au tunnel I pendant que celui-ci sera seul en exploitation régulière. On pourra, au besoin, arriver au point à réparer en ouvrant depuis la galerie II un ou plusieurs boyaux auxiliaires aboutissant aux maçonneries à réparer. Le tunnel I sera construit en suivant la méthode ordinaire. A partir de la galerie d'avancement, on excavera des cheminées en remontant jusqu'au faite, puis on exécutera la galerie de faite, l'abatage en pleine section et le revêtement.

L'achèvement du tunnel II se ferait en suivant les mêmes règles, sans que l'exploitation du tunnel I soit gênée en aucune façon.

Avancement en galerie avec perforation mécanique.

Pendant les 2 premiers mois, la perforation se fera à la main; les huit mois suivants, les perforatrices marcheront à la vapeur. Ce n'est donc qu'après les 10 premiers mois que les installations seront achevées et que la perforation mécanique sera en pleine marche. Dès ce moment, l'avancement moyen journalier peut se calculer comme suit pour les deux attaques, nord et sud.

Perforation à la main 2 mois = 60 jours à 1 m.	60 m.
Perforation mécanique à vapeur 10 mois = 300 jours à 4 ^m 50	1350 m.
Restent à percer pendant les 49 mois de pleine exploitation	8590 m.
Total à percer par attaque	
	10 000 m.

Si de 5 1/2 années, on retranche 5 mois nécessaires à l'achèvement du tunnel après le percement, il reste 61 mois pour la perforation. L'avancement journalier de la perforation mécanique en pleine exploitation pendant 49 mois devra donc être de $\frac{8590}{49 \times 30} = 5^m85$. Or, d'après les expériences faites, les renseignements obtenus, et l'opinion des hommes compétents, cet avancement moyen sera facilement atteint par les perforatrices hydrauliques à rotation du système Brandt.

Du côté nord (schistes) elles marcheront avec une pression prévue de 70 atmosphères; du côté sud (gneiss) la pression serait de 100 atmosphères. A chaque attaque, travailleront 3 à 4 perforatrices, auxquelles l'eau motrice sera fournie par deux conduites de 100 mm. de diamètre.

Pour le percement des galeries de faite et des transversales, il est en outre prévu 4 machines. Ces 12 machines consommeront 18 litres d'eau motrice par seconde.

On compte qu'il faudra pour chaque attaque 12 à 15 trous de 70 mm. de diamètre, à environ 1^m25 de profondeur dans la roche dure; et 8 à 10 trous de même diamètre à 1^m40 environ de profondeur, dans les schistes.

Il résulte d'expériences pratiques d'atelier sur le gneiss d'Antigorio qui est la roche dominante au Simplon, que pour percer avec la machine Brandt un trou de 70 mm. de diamètre et de 1 mètre de profondeur, il faut 12 à 25 minutes et en moyenne 19 minutes et user un à deux fleurets.

Les quinze trous à forer sur le front de chaque attaque donneront à 3 machines 4 trous à forer et 3 trous à la quatrième. Pour 4 trous de 1^m25, soit 5 m de profondeur, il faudra au plus 5 × 25 minutes ou 2 heures 5 minutes et si l'on ajoute 25 minutes pour l'arrêt et la remise en batterie des affûts, on voit que la perforation d'une attaque dans la roche dure ne dépassera pas 2 heures et demie et qu'on peut compter sur un avancement moyen journalier de 5^m85.

Enlèvement des déblais du front d'attaque (marinage).

Il est d'une très grande importance que le temps employé à l'enlèvement des déblais (marinage) diminue aussi dans la même proportion que celui nécessaire à la perforation d'un front d'attaque. Les matériaux enlevés par l'explosion ne s'éloignent guère de ce front. Ils prennent la place destinée aux perforatrices, et l'on a reconnu après divers essais que l'enlèvement de ces matériaux par le chargement direct sur les wagons de service est encore la meilleure solution.

On gagnerait du temps si l'on pouvait obtenir par l'explosion une plus grande dissémination des déblais; ceux gisant en arrière du front seraient chargés et transportés à loisir pendant le forage. Or, l'entreprise, après des essais satisfaisants, est parvenue à opérer cette projection des déblais en arrière, au moment de l'explosion, par des moyens hydrauliques. L'avantage du temps gagné par ce moyen n'est pas le seul; en effet il contribue à rafraîchir énergiquement les déblais et la galerie d'avancement.

Ce temps gagné n'a pas été porté en compte dans le calcul de la durée du percement. C'est un gain que l'entreprise s'est réservée en compensation de retards éventuels.

Galerie de faite, abatage et revêtement.

L'exécution des cheminées et de la galerie de faite se fera, suivant la nature de la roche avec le forage à la main ou le forage mécanique. Ce travail commencera aussitôt que dans une section de 200 m. de longueur, la galerie transversale en tête aura été ouverte et que la circulation d'air sera établie.

Dans les galeries de faite ouvertes, cette circulation sera intense et l'abatage et l'élargissement pourront être commencés et poursuivis avec toute la diligence imaginable.

Les maçonneries suivront l'abatage en pleine section et pour ces travaux on emploiera autant que possible l'éclairage électrique.

Ventilation et rafraîchissement des chantiers.

Le principal but cherché par l'adoption des deux galeries parallèles réunies par des transversales est la possibilité d'obtenir sûrement par ce moyen une bonne ventilation.

Cette ventilation a deux buts à remplir: envoyer de l'air pur aux chantiers souterrains et rafraîchir la roche.

Le premier but peut être atteint avec une quantité d'air relativement faible. Ainsi, au Gothard, cette quantité n'était que de 1 m^3 à 2 m^3 par seconde. A l'Arlberg 3 m^3 au commencement et 6 m^3 vers la fin des travaux, ce qui a été reconnu comme très suffisant. Cependant, on poussera la ventilation jusqu'au point de fournir 50 m^3 d'air frais par seconde avec une vitesse de 6 m. dans la galerie II.

On espère arriver sans autre secours, avec la masse d'air en mouvement, à rafraîchir rapidement la roche et les chantiers d'abatage et de maçonnerie ; mais si en été, par exemple, l'air envoyé aux chantiers était trop chaud, il serait rafraîchi au passage des transversales par l'emploi de pulvérisateurs d'eau.

Calcul des ventilateurs. Le passage de 50 m^3 d'air dans une galerie de 10 000 m. de longueur et de 8 m^2 de section exige une pression de 473 mm. d'eau. La résistance pour le retour par la galerie et le tunnel I est représentée par 14 mm. soit une pression totale de 487 mm.

Pour fournir une quantité d'air de 50 m^3 par seconde sous une charge de 487 mm. d'eau, il faudra une force de 500 chevaux, en comptant un effet utile de 65 % pour les ventilateurs.

Chaque tête du tunnel sera pourvue de deux ventilateurs de 5 m^5 de diamètre, montés directement sur l'arbre des turbines. Accouplés en pression, ces deux ventilateurs pourront aspirer ou refouler 50 m^3 d'air sous la charge de 487 mm. d'eau. Tandis qu'accouplés en quantité, ils pourront faire passer 100 m^3 d'air sous une charge de 243 mm. d'eau.

Ces mêmes ventilateurs serviront, après l'exécution des travaux, à la ventilation du tunnel en cours d'exploitation.

En dehors du grand courant principal, les galeries seront ventilées comme suit : pour les chantiers des galeries d'avancement I et II, il sera prélevé dans la dernière galerie transversale, une quantité d'air de 0,36 à 0 m^3 38 par seconde et par front d'attaque et on l'y conduira au moyen d'injecteurs hydrauliques et de petits canaux porte-vent (canards).

Les galeries de faite seront ventilées de la même manière au moyen d'injecteurs hydrauliques de 0,2 à 0 m^3 4 de capacité par seconde, installés dans la galerie I. La galerie de base correspondante participera toujours au grand courant d'air, puisque l'attaque du faite ne commencera qu'après l'ouverture de la dernière transversale. L'eau des injecteurs hydrauliques étant à la température de 8° à 12° , l'air qui les traversera sera beaucoup rafraîchi.

Dans chaque galerie, on établira des branchements sur la conduite d'eau froide, afin de rafraîchir énergiquement les parois et les déblais. La quantité de chaleur à enlever aux parois du tunnel par le moyen de l'eau (sans compter l'effet de la ventilation) pour abaisser la température à 20° , exige un débit par seconde de 52 litres d'eau à 12° ; or il en a été prévu 75 à 84.

La conduite principale d'eau froide de 250 mm. de diamètre sera placée dans la galerie II. Elle sera prolongée à mesure que s'opérera le percement de nouvelles galeries transversales, on lui soudera des embranchements secondaires allant à l'avancement de la galerie II et de la galerie I. Dans cette dernière galerie, la conduite secondaire se bifurquera en deux branches,

l'une allant à l'avancement I pour le déblaiement hydraulique, l'autre dirigé en arrière comme conduite réfrigérante.

La conduite principale d'arrivée, dans la galerie II, sera utilisée pour le rafraîchissement et le marinage. Pour le déblaiement hydraulique, il faut user du débit entier de la conduite, mais comme cette opération ne dure que une ou deux minutes, et ne se reproduit au plus que toutes les deux heures, elle n'aura pas d'influence nuisible sur la marche des travaux si l'on prend les précautions nécessaires.

Transports.

Les voies de service seront construites avec des rails de 20 kg. par mètre courant écartés de 0 m^8 0. Chaque galerie aura sa voie raccordée par aiguilles avec les galeries transversales ; c'est pour cette raison que ces galeries ne sont pas perpendiculaires, mais sont inclinées sur l'axe du tunnel (Voir planche 36.) Elles seront munies d'une porte généralement fermée, sauf aux deux dernières galeries.

La traction des wagons se fera au moyen de locomotives à vapeur de 16 tonnes, en état de passer sur les courbes de 15 m. de rayon. La dimension des chaudières est calculée pour que la course à la montée puisse se faire sans recharger le feu dans l'intérieur du tunnel.

Les wagons auront des caisses de 2 m^3 , avec suspension à ressort sur châssis métallique, tampons de choc et appareils de traction élastique. A l'avant et à l'arrière se trouve un siège pour 3 hommes.

A partir de la seconde année des travaux, les ouvriers seront transportés par les trains pour aller aux chantiers et en revenir.

La galerie II sera utilisée pour l'entrée et le tunnel I pour la sortie, en sorte que les trains marcheront dans le même sens que la ventilation. Les trains refoulés en amont par les transversales dans la galerie I, pourront être repris en aval après le chargement et sortir du tunnel par la même locomotive.

Dispositions hygiéniques.

Des précautions minutieuses seront prises relativement aux soins hygiéniques à donner aux ouvriers. Les bâtiments de service affectés à ces soins seront construits aussi près que possible des têtes du tunnel. Ils renfermeront de vastes bains, des vestiaires, une buanderie, des séchoirs, un restaurant, une ambulance, etc. Avant de s'engager dans le tunnel chaque ouvrier se vêtira d'habits de travail qui seront conservés en dehors des heures de service dans une halle ad hoc où il laissera jusqu'au retour ceux qui lui appartiennent.

A la relevée des équipes, quand les ouvriers arrivent échauffés ou mouillés des chantiers, ils trouveront un local de bains et douches organisées pour 90 personnes. Ils y reprendront leurs vêtements personnels, après avoir rendu au vestiaire les habits de travail qu'ils viennent de quitter. Nettoyés et séchés, ces habits seront de nouveau mis à la disposition de la même équipe.

Des cabinets d'aisances à couche de terre désinfectante seront installés dans l'intérieur du tunnel près des galeries

transversales. Cette terre sera changée aussi souvent que cela sera nécessaire.

Ce service, ainsi que la surveillance générale des cabinets se fera par un garde spécial et ses aides. Cette équipe sera en outre chargée du service des portes, des aiguilles et de l'eau potable. Celle-ci sera prise à la conduite des perforatrices dont l'eau est filtrée. Elle sera portée à bras aux chantiers.

Périodes de construction et installations extérieures.

CÔTÉ NORD. — Toutes les installations se trouvent sur la rive gauche du Rhône et sont disposées de façon à pouvoir être utilisées de nouveau pour l'achèvement éventuel du tunnel II sans gêner en rien l'exploitation du tunnel I.

La construction de la moitié nord du tunnel comporte trois périodes distinctes.

Première période. Première année de travaux jusqu'au moment où la force hydraulique du Rhône sera installée et que le forage mécanique soit en pleine activité. Pendant cette période il faudra 170 HP. savoir :

6 perforatrices hydrauliques à 1 ¹ / ₂ litre et 70 atmosphères de pression	140 chevaux
Ventilation au moyen de petits ventilateurs et de canards et pour un petit atelier	30 »
Ensemble	170 HP.

Cette force sera demandée à 3 locomoteurs de 60 HP = 180 HP.

Le premier locomoteur et les 2 premières perforatrices seront mis en activité 2 mois environ après l'ouverture des chantiers. Les autres locomoteurs et perforatrices seront installés dans les 2 mois suivants.

Les locomoteurs seront conservés comme réserve pendant toute la durée des travaux.

Deuxième période. Elle durera 1¹/₂ à 2 ans, jusqu'à ce que l'avancement ait atteint le km. 5 près de Bérival. Pendant la première et la deuxième période, on forera jusqu'à la base du tunnel, à l'aplomb du km. 5 un trou de sonde de 200 mm. de diamètre et de 700 m. de profondeur. Une prise d'eau établie sur le Steinenbach à 1800 m. d'altitude, conduira 100 litres d'eau par seconde jusqu'au trou de sonde, et à travers celui-ci jusque dans le tunnel où elle servira pour la perforation et le rafraîchissement. La pression sur les perforatrices sera d'environ 100 atmosphères.

Dans cette période, il faudra 750 HP, savoir :

8 perforatrices à 70 atmosphères de pression	200 HP.
Grands ventilateurs	250 »
Eclairage électrique, intérieur et extérieur	200 »
Atelier, scierie, moulin à chaux, lavage de sable, etc.	100 »
Ensemble	750 HP.

Cette force sera prise au Rhône qui fournira environ 3 m³ par seconde.

Troisième période. Du km. 5 au km. 10. Durée 2 à 2¹/₂ années.

Il est admis qu'on n'aura pas besoin d'eau de rafraîchis-

sement avant le km. 5, lequel marque le point où doit commencer l'augmentation de la chaleur intérieure.

Il faudra pour cette période 800 chevaux comme soit

Ventilation	500 HP.
Eclairage électrique	200 »
Ateliers	100 »

Total, 800 HP.

fournis par le Rhône dans la période précédente, mais avec un autre emploi. Les ventilateurs absorbent 250 HP. de plus, pour produire leur maximum de travail; tandis que l'eau destinée aux perforatrices, au rafraîchissement et au marinage sera fourni par le Steinenbach au moyen d'une conduite logée dans le trou de sonde de Bérival. Cette conduite fournira 84 l. par seconde, dont 24 l. pour la perforation et 60 l. pour le rafraîchissement et le marinage. Outre les bâtiments pour les locomoteurs et les pompes, on installera dans le voisinage, les ateliers, les magasins, les remises à locomotives, les bureaux, le moulin à chaux, le lavage du sable et les bétonnières, etc. La chaux sera approvisionnée en morceaux et moulue sur place; le mortier, à l'exception du mortier de ciment, sera livré dans le tunnel tout préparé.

CÔTÉ SUD. — L'installation des bâtiments de service est rendue difficile par la configuration du terrain. La vallée de la Divéria est étroite et la pente très forte, de là l'obligation de chercher des emplacements sur les deux rives de la rivière.

Le bâtiment de service des bains et buanderie est situé sur la rive droite. Une galerie couverte le reliera avec l'autre rive et la galerie de direction.

Les bâtiments pour les installations mécaniques, ateliers, magasins, bureaux, etc., sont projetés sur la rive gauche et sur deux paliers dont la différence d'altitude est de 5^m15. La Diveria sera traversée par deux ponts de service; celui d'amont est affecté aux trains entrant ou sortant du tunnel par la galerie de direction. Le pont d'aval donnera accès au bâtiment de service de la rive droite, il sera construit avec une voie dans le bas et un passage à piétons dans le haut.

L'étude des installations a été assujettie à deux conditions principales : 1° La possibilité d'achever le tunnel II sans nuire à l'exploitation du tunnel I; 2° ne pas gêner la circulation sur la route pendant les travaux du tunnel.

Du côté sud, il y a deux périodes à considérer.

Première période. Comme du côté nord, pendant la première année de construction, jusqu'à ce que la force motrice soit acquise.

Force motrice nécessaire :

6 perforatrices hydrauliques à 100 atmosphères	180 HP.
Ventilation avec petits ventilateurs et canards, et pour un petit atelier	30 »
Ensemble,	210 HP.

qui seront fournis par 3 locomoteurs de 75 chevaux = 225 HP. La mise en service de ces installations aura lieu environ 2 mois après le commencement des travaux. Les locomoteurs seront conservés comme réserve de force, jusqu'à la fin des travaux.

Deuxième période. Du km. 1 au km. 10. Durée 4 1/2 années.

Force motrice nécessaire :

10 perforatrices à 1 1/2 litre et 120 atmosphères de pression aux pompes	350 HP.
Rafraîchissement et marinage 60 l. environ à 50 atmosphères	550 »
Ventilation (grands ventilateurs).	500 »
Eclairage électrique.	200 »
Atelier, scierie, moulin à chaux, lavage de sable et bétonnières.	100 »
Total, 1700 HP.	

Cette force sera fournie par la Diveria ou la Cairasca.

Les installations prévues comprendront encore un hôtel, une cantine pour ouvriers, un baraquement pour ouvriers à Iselle et un hôpital à Rosso près de Varzo. Des habitations pour les ingénieurs et les surveillants seront en outre établies suivant les besoins.

Ventilation en cours d'exploitation.

Il est évident que la ventilation d'un tunnel à simple voie de 20 km. de longueur parcouru par des locomotives à vapeur ne peut être abandonnée uniquement aux effets dus aux variations atmosphériques. Ces variations peuvent être nulles et toute la fumée des trains pourrait s'amasser dans le tunnel et en vicier l'air d'une manière sérieuse. La ventilation artificielle a donc été jugée indispensable pour le long tunnel du Simplon.

Les dernières études faites sur les gaz produits par la combustion du charbon ont démontré que c'est l'acide carbonique qui est le plus important de ces gaz, les autres produits de la combustion se trouvent en quantité trop faible pour entrer en ligne de compte. Le rapport de la Compagnie du Jura-Simplon sur la ventilation du tunnel en cours d'exploitation contient une analyse fort bien faite de ces dernières études, et nous sommes obligés, vu sa longueur d'y renvoyer le lecteur. En résumé, il ressort de ce rapport qu'un air peut contenir sans inconvénient, non seulement 10 0/00 à 15 0/00 d'acide carbonique, mais qu'il n'y aurait pas de résultats fâcheux à craindre, si la proportion de ce gaz montait accidentellement, (c'est-à-dire pendant un quart ou demi-heure) à 20 0/00 ou 30 0/00. La proportion normale d'acide carbonique dans l'air est de 0,4 à 0,5 0/00. La ventilation pendant l'exploitation se fera au moyen des appareils qui ont servi pendant la construction.

A chaque tête du tunnel, les deux ventilateurs installés pourront aspirer ou refouler de l'air dans le tunnel et fonctionner séparément, accouplés en quantité ou en tension.

C'est-à-dire que chaque ventilateur fournira 50 m³ d'air à la pression de 243 mm. d'eau ; chaque groupe accouplé en quantité donnera 100 m³ à la pression de 243 mm. ou 50 m³ à 487 mm. s'ils sont accouplés en tension.

On peut proposer 3 méthodes d'aération :

1° Renouvellement de l'air, de la même manière que pour le tunnel et sa galerie parallèle pendant la période de construction.

2° Introduire 50 m³ d'air par seconde à la tête nord du tunnel et les faire passer à travers toute la longueur du souterrain.

3° Même aération en sens inverse, du sud au nord.

La première méthode ne pourra s'appliquer que si le tunnel I est seul exploité.

Lorsque le tunnel II sera achevé, il ne donnera passage qu'à des trains allant du sud au nord. La ventilation se fera dans le même sens. En conséquence, chacun des tunnels exploité devra être aéré, pour son propre compte, d'après l'une des méthodes 2 ou 3. La tête nord du tunnel I et la tête sud du tunnel II seraient alors munies de portes.

Chaque installation comprendra deux ventilateurs et deux turbines ; l'un des appareils est en réserve. Si l'une des installations tombait hors de service, par suite d'accident ou de réparation à la conduite d'eau etc., l'autre installation y suppléerait et suffirait seule à la ventilation normale. Si par exemple l'installation du côté nord était seule disponible, l'un des ventilateurs refoulerait l'air nécessaire au tunnel I, tandis que l'autre aspirerait l'air hors du tunnel II.

Production de gaz irrespirables par les locomotives qui traversent le tunnel.

La consommation du charbon d'un train cheminant du sud au nord, avec ventilation dans le même sens est évaluée pour la moitié sud (rampe de 7 0/00) à 20 kg., à 25 kg. et 30 kg. par kilomètre suivant la nature du train, soit $10 \times 30 = 300$ kg. pour un train de marchandises, ce qui correspond à une production de 624 m³ d'acide carbonique qui sera mélangée à un volume d'air représenté par $10\ 000 \times 23\text{m}^2$ (section du tunnel) - 1800" (durée du trajet) $\times 50\text{ m}^3 = 142\ 000\text{ m}^3$. L'excédent de CO² en 0/00 $\frac{624}{142} = 4,39\ 0/00$. La vitesse du train étant de 20 km. par heure. Et cependant l'excès d'acide carbonique produit reste bien en dessous de la proportion nuisible.

Si l'on admet un trafic intense de 48 trains par jour, soit dans chaque sens 2 trains rapides, 4 trains omnibus et 18 trains de marchandises et un renouvellement artificiel de 50 m³ d'air par seconde, la proportion d'acide carbonique, en marche de régime, représenterait pour la moitié sud, un excédent moyen de 4 0/00, qui serait porté à 8 0/00 aux abords de la tête sud.

En supposant les deux tunnels en exploitation dans les conditions les plus défavorables qui puissent se présenter par le passage d'un train de marchandises toutes les 35 minutes, l'excédent de CO² atteint dans ce cas son maximum au portail sud par 9 0/00 environ.

La limite de 10 0/00 ne sera donc atteinte ni dans le tunnel I exploité seul, ni lorsque les deux tunnels seront ouverts.

En appliquant au Gothard les mêmes calculs qu'au Simplon, on arrive aux résultats suivants, pour 44 trains par jour en moyenne. Ces trains auraient produits journellement environ 30 0/00 de CO² par rapport au volume d'air du souterrain, qui n'a pas de ventilation artificielle. Il arrive quelquefois que toute la masse d'air du souterrain reste immobile pendant 12 heures consécutives et qu'elle ne se remette en mouvement que lentement. Il est donc possible qu'il se produise pendant l'arrêt de l'air, une augmentation de 15 0/00 de CO² et jusqu'au moment où la colonne d'air altéré a quitté le tunnel, cette proportion peut facilement atteindre par place 20 à 25 0/00. Cependant la composition de l'air du tunnel n'a jamais donné lieu à des plaintes sérieuses.

RAPPORT DES EXPERTS

Nous résumons ainsi qu'il suit la réponse des experts aux questions posées par le Conseil fédéral.

I. Construction.

1° *Les installations prévues au programme de l'entreprise et les forces hydrauliques disponibles sont-elles suffisantes ?*

Les forces hydrauliques nécessaires à la construction et à l'exploitation sont suffisantes.

A la tête nord, il reste une réserve non utilisée de 3100 HP. à prendre à la Massa, la Saltine et la Ganter.

A la tête sud, cette réserve est de 900 HP. à emprunter à la Cairasca, non compris les moteurs utilisables établis à chaque entrée du souterrain, soit 180 HP. au nord et 225 HP. au sud. Les experts donnent les conseils suivants :

a) Tuber le trou de sonde de Bérisal et le placer à côté de la galerie II et non à l'aplomb de cette galerie, afin d'éviter l'entrée des eaux extérieures directement dans le tunnel.

b) Prévoir la fabrication du sable à chaque tête du tunnel.

c) Soumettre chaque ouvrier à une visite médicale avant son engagement et renouveler cet examen à intervalles réguliers.

d) Soumettre les baraquements et logements d'ouvriers à des inspections régulières ainsi que les aliments, afin que le régime soit toujours approprié aux conditions spéciales dans lesquelles les ouvriers sont obligés de travailler.

2° *Le profil d'espace libre du tunnel à simple voie est-il admissible tel qu'il est projeté, ou devrait-il être modifié, notamment en considération des exigences de la ventilation ou de l'éventualité de travaux de réparations à l'intérieur du tunnel ?*

Le profil d'espace libre projeté est admissible au point de vue de la ventilation et de l'éventualité de réparations à faire dans l'intérieur du tunnel.

Au point de vue du service de surveillance et d'entretien de la voie, il serait désirable de placer le pied du parement du tunnel à au moins 2^m35 de l'axe de la voie au niveau des traverses, afin que les hommes puissent se garer le long des parois dans l'espace compris entre deux niches.

3° *La distance de 17 m. prévue entre les axes des deux tunnels parallèles est-elle suffisante ?*

La distance de 17 m. prévue convient, par la raison que le profil en long géologique démontre que les axes sont tous les deux dans une direction normale aux couches de rocher à traverser.

4° *Le programme établi pour la marche des travaux (disposition et écartement des divers chantiers, perforation mécanique, avancement des galeries, etc.) peut-il être admis sans modification ?*

Le programme proposé pour la marche des travaux peut être adopté presque sans modification.

Cependant, pour faciliter autant que possible les transports et la ventilation, il est nécessaire de réduire au minimum la longueur et la distance des chantiers, cela déjà à partir du troisième kilomètre. Pour les transports par la galerie II, les experts proposent le changement suivant.

Lorsque les locomotives employées auront à fournir un parcours de 9 km. ou 18 km. aller et retour, ce parcours ne pourra pas s'effectuer sans renouveler la vapeur.

Il conviendrait donc de conserver la liaison entre la voie de la galerie parallèle et celle du tunnel achevé, afin qu'aussitôt que la tension de la vapeur ne sera plus suffisante, la locomotive puisse être aiguillée sur la voie du tunnel achevé, y

refaire de la vapeur et s'aiguiller de nouveau sur la voie de la galerie parallèle pour continuer plus loin ses transports.

Cette mesure a pour but d'empêcher l'air introduit pour la ventilation par la galerie II d'être vicié par les gaz des locomotives. Les experts attachent une grande importance à cette précaution.

5° *Les dépenses prévues au devis peuvent-elles être considérées comme suffisantes ?*

Au chapitre *Installations* les experts estiment après l'examen détaillé des divers postes de ce chapitre qu'il faudrait les augmenter de 1 497 000 francs. Ils ajoutent cependant que les dépenses totales ne subissent de ce fait aucun changement parce que le prix d'unité de l'excavation a été majoré proportionnellement et qu'en somme le mètre cube d'excavation fixé au contrat à 34 fr. 40 est un prix moyen qui comprend aussi les dépenses pour l'abaissement de la température dans les parties chaudes du tunnel et l'excédent de dépenses pour l'excavation suivant des profils plus forts que ceux qui ont été admis.

Les experts ne font que de très légères observations au sujet des séries de prix de la maçonnerie (revêtements). Ils louent en revanche l'échelle adoptée pour la majoration des prix par kilomètres successifs, en faisant remarquer que les grandes majorations sont appliquées dans les 10 km. de la partie centrale et qu'en reportant ainsi le gros des paiements sur la partie intérieure du tunnel, on écarte toute déception financière même dans le cas où l'on y rencontrerait des difficultés extraordinaires.

Comme il ne peut pas y avoir plus de 3 grandes chambres espacées de 5 km., les experts proposent de placer la quatrième chambre prévue au milieu du tunnel pour augmenter les locaux destinés spécialement aux appareils électriques.

II. Ventilation.

6° *Les méthodes de ventilation proposées sont-elles recommandables et les quantités d'air prévues pour la ventilation sont-elles suffisantes ?*

a) Pendant le percement du premier tunnel ?

b) Pendant l'exploitation d'un seul tunnel à simple voie avec galerie parallèle d'aération ?

c) Pendant la transformation éventuelle de la galerie d'aération en second tunnel parallèle au premier ?

d) Pendant l'exploitation des deux tunnels à simple voie ?

7° *Éventuellement, quelles seraient les modifications à apporter à la méthode de ventilation et quelle serait la quantité minima d'air exigible pour la ventilation dans chacun des quatre cas ci-dessus ?*

Après un examen approfondi de la question, les experts recommandent les méthodes suivantes de ventilation, qui modifient en partie les dispositions prévues :

a) Pendant le percement du premier tunnel :

La ventilation se fera avec de l'air refoulé dans la galerie II, avec une vitesse maximum de 6 m. par seconde. Cet air sera rafraîchi suivant les besoins, au moyen de pulvérisateurs d'eau et son volume devra s'élever à 50 m³ par seconde pour chaque moitié du tunnel. Les autres chantiers seront alimentés d'air depuis cette galerie, soit directement, soit au moyen d'injecteurs à eau. La galerie II et les galeries transversales seront pourvues de portes doubles (sur le principe des sas à air) afin de maintenir la pression dans les parties les plus reculées. Dans les galeries transversales les portes seront placées aux deux extrémités.

b) Pendant l'exploitation d'un seul tunnel à simple voie avec galerie parallèle de ventilation :

Les deux portails du tunnel seront munis de portes avec signaux correspondants. Toutes les galeries transversales

seront ouvertes. Le tunnel I et la galerie II seront fermés du côté où le ventilateur fonctionne. L'installation de la tête nord et celle de la tête sud travailleront alternativement par périodes déterminées.

La quantité d'air à faire passer du nord au sud correspondra à un volume total de 58 m³ par seconde introduit dans le tunnel et la galerie.

c) Pendant la transformation éventuelle de la galerie parallèle de ventilation en tunnel parallèle :

Les deux portails du tunnel I seront munis de portes avec signaux correspondants. Les galeries transversales seront fermées. Le tunnel I et la galerie II seront fermés du côté du ventilateur en action. Les installations du côté nord feront la ventilation du tunnel et les installations du côté sud celle de la galerie parallèle, ou réciproquement. Pour le tunnel I et la galerie II, le volume d'air sera de 50 m³ par seconde.

d) Pendant l'exploitation des deux tunnels à simple voie :

Les deux portails des deux tunnels seront munis de portes avec signaux correspondants. Toutes les galeries transversales seront fermées. Depuis la tête nord on refoulera une quantité d'air de 50 à 60 m³ par seconde dans le tunnel I, et depuis la tête sud la même quantité dans le tunnel II, dans le sens de la marche des trains.

Les experts constatent que les quantités d'air indiquées sous les lettres a, b, c, d, suffiront pour tous les cas. Cet air n'arrivera jamais à contenir une quantité de gaz nuisibles assez considérable pour exercer une influence défavorable sur l'organisme humain.

Il faut que la construction des ventilateurs et les dispositions relatives à la force motrice soient telles qu'on puisse sûrement obtenir de chaque ventilateur un travail double, de façon à pouvoir suppléer à l'arrêt momentané de l'un d'entre eux.

Afin d'assurer l'effet de la ventilation, les portes seront construites en parois solides étanches et non en toile. Pour la même raison, la vitesse tangentielle des ventilateurs sera à plus petite possible.

8° *Quel maximum de vitesse peut être considéré comme admissible pour la colonne d'air circulant dans les tunnels et galeries pendant la construction, ou pendant l'exploitation ?*

Le maximum de 6 m. par seconde est admis pour la vitesse de la colonne d'air circulant dans le tunnel ou les galeries, pendant la construction ou pendant l'exploitation.

9° *Les mesures projetées pour l'abaissement de la température de l'air et de la roche à l'intérieur du souterrain pendant la période des travaux sont-elles suffisantes ?*

Sera-t-il nécessaire de prendre des mesures analogues pendant l'exploitation des tunnels ?

Les experts répondent que les mesures projetées pour l'abaissement de la température de l'air et de la roche à l'intérieur du tunnel pendant la période de construction sont suffisantes.

En comparant et en appliquant au Simplon les courbes des profondeurs pour lesquelles la température croît de 1° dans les tunnels du Mont-Cenis, du Gothard et de l'Arlberg, on trouve, dans l'hypothèse d'une même configuration au Simplon qu'au Gothard, qu'au point le plus profond au-dessous de la surface du sol, la température doit être calculée comme suit :
Épaisseur de la montagne en chiffre rond . . . 2200 m.
Profondeur pour laquelle la température croît de 1° . . . 62 m.

$$\text{Température de } \frac{2200}{62} = 35.5$$

$$\text{Température du sol extérieur} \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

$$\text{Somme} \quad 36.5$$

Toutefois cette température doit être modifiée pour tenir compte du fort relèvement latéral du sol des deux côtés du tunnel du Simplon. En se basant sur la comparaison des observations faites au Gothard, les experts augmentent ce chiffre de 2.5. La température obtenue par le calcul est donc d'environ 39°, qu'on considérera comme un maximum.

L'hypothèse que la température de la roche n'atteindra pas un chiffre extrême trop défavorable est basée sur le fait que les couches au Simplon débouchent librement à la surface du sol et que leur tête n'est nulle part recouverte de nappes d'éboulis considérables ou de couches intermédiaires moins bonnes conductrices du calorique, agissant comme matière isolante maintenant la chaleur intérieure.

Des expériences faites à Winterthour ont démontré, d'autre part, qu'une température d'air de 40 à 50° peut facilement être abaissée à 15° par la pulvérisation d'eau à 12° sous une pression de 5,5 atmosphères. En faisant usage d'eau à une pression plus grande, ce résultat déjà remarquable sera amélioré par une production d'ozone qui rendra l'air plus oxygéné.

Grâce à l'abondance de l'eau disponible, on peut supposer que les dispositions du contrat suivant lesquelles la température dans les chantiers ne doit pas dépasser 25° seront satisfaites. En vue d'activer le rafraîchissement des chantiers, les experts proposent de combattre la radiation de la roche dans l'intérieur des galeries, en appliquant aux parois un revêtement en planches ou autre isolant convenable.

Par contre, pendant le service d'exploitation, il ne sera pas nécessaire d'avoir recours à ces divers moyens de rafraîchissement. On a constaté en effet qu'au Gothard comme à l'Arlberg, la température intérieure a diminué considérablement après l'ouverture du tunnel, comme l'indique le tableau suivant :

Diminution de la température de la roche après la construction du tunnel du Gothard.

ÉPOQUE DE L'OBSERVATION	Diminution de température à 7300 ^m du portail nord			Diminution de température à 7050 ^m du portail sud		
	Tempé- rature centi- grade	Diminution		Tempé- rature centi- grade	Diminution	
		Succes- sive	Totale		Succes- sive	Totale
Avril et mai 1880	30.46	—	—	30.53	—	—
Juin 1882. . . .	23.73	6.73	—	23.39	7.14	—
Juillet 1885. . .	22.20	1.53	8.26	23.10	0.29	7.43

Ainsi, la température a baissé au Gothard de 7.43 à 8.26.

A l'Arlberg, la baisse totale a été pour 9 ans de 4.7.

Cependant ces deux tunnels ne sont soumis qu'à la ventilation naturelle, et l'on n'y a pas employé de moyens spéciaux pour la ventilation pendant la construction.

Au Simplon, les conditions sont tout autres ; la disposition de deux tunnels parallèles reliés par des transversales provoquera un rapide refroidissement de la roche sans préjudice des effets obtenus par les moyens énergiques dont on disposera pendant la construction. Au reste, après la construction du tunnel I, les conduites d'eau seront encore disponibles, et si un rafraîchissement ultérieur des parois offre pour l'exploitation et les travaux d'entretien des avantages sérieux, cela justifiera le maintien indéfini de ces conduites.

Pendant l'exploitation, la pulvérisation de l'eau dans le tunnel servirait non seulement au rafraîchissement, mais aussi à l'absorption de l'acide carbonique et à la production d'ozone.

III. Exploitation.

1^o *L'exploitation est-elle admissible dans les conditions projetées ?*

a) avec un seul tunnel à simple voie et galerie parallèle d'aération ?

b) avec deux tunnels parallèles à simple voie ?

L'exploitation avec un seul tunnel à simple voie et galerie parallèle dans les conditions prévues par le projet en appliquant la ventilation artificielle est possible sous les deux conditions suivantes :

1^o Pourvoir la galerie parallèle et les transversales d'un revêtement en bonne maçonnerie partout où la qualité et la structure de la roche l'exigera, de façon à exclure toute possibilité d'éboulement pouvant troubler la ventilation dans ces galeries.

2^o Alimenter les locomotives de façon à ne produire que de l'acide carbonique, par une combustion parfaite du combustible.

D'après les constatations faites à l'Arlberg, l'infection de l'air par l'acide carbonique n'est pas aussi dangereuse qu'on le croit, parce qu'il est absorbé en grande partie par l'humidité des parois et par la vapeur d'échappement des locomotives. Au Simplon, cette absorption sera favorisée à volonté par la pulvérisation de l'eau disponible. Cette opération aura encore pour effet d'oxyder l'acide sulfureux contenu dans la fumée et de le transformer en acide sulfurique qu'on a retrouvé par l'analyse dans l'air, l'eau, le mortier des maçonneries et la rouille des rails et des traverses du tunnel de l'Arlberg.

Pour combattre la formation de l'oxyde de carbone, les experts préconisent pour les locomotives circulant dans le tunnel du Simplon l'emploi de coke bien sec en alimentant le feu pendant la traversée du tunnel avec du pétrole pulvérisé.

Les deux postes aux extrémités du tunnel et celui du milieu seront avertis de la marche des trains à chaque kilomètre par des contacts électriques sur la voie. Le garage au milieu du tunnel I doit être conservé, même après l'achèvement du tunnel II. Des signaux à cloche et des téléphones seront installés dans chaque chambre.

L'exploitation, avec deux tunnels parallèles à simple voie, dans les conditions prévues au projet, est également possible si l'on applique les mesures de sécurité demandées plus haut.

11^o *Le croisement des trains dans l'intérieur du souterrain à l'aide de la voie d'évitement qui est prévue, est-il admissible ?*

Le croisement des trains, au moyen de la voie d'évitement qui est prévue à l'intérieur du tunnel peut s'effectuer avec une sécurité suffisante, pourvu que les agents desservant le garage soient renseignés sur la marche des trains au moyen de contacts électriques placés à chaque kilomètre et que le garage puisse être couvert des deux côtés par des signaux optiques et acoustiques sûrement perceptibles.

Pour desservir ce garage, il faudra au moins deux agents bien dressés, afin qu'en cas d'indisposition de l'un d'eux, l'autre puisse entrer en fonction.

12^o *Quel pourrait être le débit d'un tunnel unique à simple voie, construit dans les conditions proposées ?*

En se basant sur les quantités d'air prévues au projet pour la ventilation, et sur les conditions imposées par les experts, on peut admettre pour le débit du tunnel unique à simple voie une moyenne de 12 trains de voyageurs et de 30 trains de marchandises, sans que l'air soit saturé de gaz nuisibles au point d'exercer une mauvaise influence sur les organes respiratoires de l'homme.

Dans ce calcul, le temps attribué au passage des trains est de 20 heures, en sorte que le tunnel resterait libre pendant 4 heures, utilisées à la ventilation et au rafraîchissement de la roche.

IV. Divers.

13^o *Les experts ont-ils des observations à présenter sur le projet en dehors des réponses aux questions ci-dessus ?*

Les experts admettent que l'exploitation du tunnel pourra se faire sans difficulté au moyen des locomotives ordinaires, pourvu que le trafic ne dépasse pas les limites tracées par les calculs précédents. Si cette limite de trafic venait à être dépassée, on pourrait recourir à la traction électrique qui serait particulièrement avantageuse au tunnel du Simplon.

Les experts font valoir à ce sujet les considérations suivantes :

Les forces hydrauliques à disposition sont suffisantes et les installations mécaniques de chaque extrémité du tunnel pourront être utilisées à la génération du courant électrique nécessaire à l'exploitation, après avoir contribué à la construction.

Non seulement le trafic, mais aussi la ventilation y gagnerait.

La traction électrique a fait de tels progrès depuis un et demi à deux ans que le problème peut être considéré comme résolu.

A Liverpool, à Londres, en Amérique, elle suffit à un trafic considérable. A Baltimore, la Compagnie du chemin de fer *Baltimore and Ohio Railway* construit en ce moment des locomotives électriques destinées au transport de marchandises sous la ville de Baltimore. Ces machines auront à remorquer des trains de 400 tonnes en même temps que les locomotives de ces trains.

Il est au reste probable que jusqu'au moment de la mise en exploitation du Simplon, la traction électrique fera d'autres progrès. Ce mode de traction a non seulement l'avantage de ne pas infecter l'air dans le tunnel, mais son emploi aura aussi pour conséquence une usure beaucoup moins rapide de la superstructure métallique. Il est à remarquer à ce propos qu'au tunnel de l'Arlberg, les gaz sortant des locomotives ont eu une influence si nuisible que la superstructure entièrement en fer a dû être renouvelée après une période de 10 ans d'exploitation, malgré un trafic peu développé.

Les experts terminent leur rapport ainsi qu'il suit :

« Pour conclure, nous faisons remarquer qu'après étude approfondie de tous les détails du projet présenté, nous sommes persuadés que la construction et l'exploitation du tunnel du Simplon ne présenteront pas de difficultés particulières, si l'on observe les mesures de prudence et de sécurité nécessaires. »

Résumé.

Il ressort de la lecture du mémoire que cette grande entreprise peut être exécutée dans des conditions qui paraissent impossibles il y a quelques années, au double point de vue de son coût et de la salubrité des chantiers souterrains.

Les études techniques, — heureusement complétées par un contrat de construction passé avec un syndicat fortement constitué, — témoignent d'une haute compétence et inspirent la confiance.

La consultation des experts nommés par le Conseil fédéral soumet les propositions de la Compagnie à une discussion serrée. Ses conclusions sont favorables. Les conseils donnés par les experts n'impliquent aucune modification essentielle du projet.

Il doit donc enfin être possible d'aboutir !