

Conférence sur le projet de chemin de fer alpin par le Simplon

Autor(en): **Lommel**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **3 (1877)**

Heft 4

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-5002>

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 4 FOIS PAR AN

Prix de l'abonnement annuel : pour la SUISSE, 3 fr.; pour l'ÉTRANGER, 3 fr. 50 cent.

Pour les abonnements et la rédaction, s'adresser à M. Georges Bridel éditeur, place de la Louve, à Lausanne.

Sommaire : Conférence sur le Simplon, par M. LOMMEL, ingénieur. (Avec une planche.) — Le chemin de fer de Jougne à Eclépens, deuxième partie, par M. PEREY, ingénieur. — Le yacht à grande vitesse *la Gitana*, par M. MOSCHELL, ingénieur. — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes. (Réd.)

CONFÉRENCE

SUR LE

PROJET DE CHEMIN DE FER ALPIN PAR LE SIMPLON

DONNÉE PAR M. LOMMEL

directeur technique de la Compagnie du Simplon.

M. Lommel explique tout d'abord que les projets qui occupent les diverses parois et tables de la salle ne sont pas entièrement terminés. Ce qui reste à faire pour les compléter est peu de chose cependant et se rapporte essentiellement aux devis, dont les bases principales, soit calculs des surfaces et des masses, sont aujourd'hui très avancées.

C'est pour répondre à un désir qui lui a été exprimé par l'honorable président de la Société, et pour profiter d'une réunion plus importante de cette dernière, qu'il s'est décidé à soumettre à ses collègues un travail incomplet, qui exigera encore quelques semaines pour son entier achèvement.

Abordant les circonstances dans lesquelles est née l'étude actuelle très détaillée, le conférencier rappelle tout d'abord que la ligne alpestre par le Simplon a fait depuis près de vingt ans l'objet des préoccupations et des travaux d'ingénieurs, plusieurs fort distingués. Il convient de citer parmi ces derniers M. Vauthier, ingénieur français des ponts et chaussées et autrefois ingénieur en chef de la ligne d'Italie, qui avait proposé en 1860 déjà un tracé de tunnel traversant la montagne près de sa base; puis MM. Venetz-Clo et Jaquemin, qui patronnèrent en 1862/1863 un tunnel de 11 à 12 kilomètres de longueur à percer à l'altitude de 1100 à 1200 mètres, dont l'embouchure septentrionale devait être située dans la partie inférieure de la vallée de la Ganther; MM. Eugène Flachet, Mondésir-Lehaitre et Thouvenot, qui proposèrent des tracés plus ou moins définitifs, devant franchir le col à ciel ouvert ou peu en dessous de son point culminant; enfin MM. Stockalper et Pellis, dont les projets de souterrain tiennent le milieu, comme élévation et comme longueur, entre les tracés Vauthier et Venetz-Jaquemin. Le conférencier même s'est occupé de la question du Simplon dans les années 1863-1865 en publiant tout d'abord une étude critique des divers systèmes de traction proposés

pour franchir ce col, puis, à la demande du gouvernement vaudois, un ouvrage plus complet, qui patronnait au Simplon un tracé avec tunnel de base, et le mettait en parallèle sous le point de vue technique, commercial et militaire avec les tracés similaires du passage rival du Saint-Gothard et de celui du Lukmanier.

En 1875 et 1876 enfin, l'étude du Simplon donna lieu à de nouveaux et intéressants travaux de M. Favre, entrepreneur du tunnel du Gothard, et de M. Meyer, ingénieur en chef de la construction de la compagnie des chemins de fer de la Suisse Occidentale.

Ces divers travaux ont pu répandre et ont en réalité répandu beaucoup de lumière sur la question du Simplon.

Cependant ils étaient confinés sur un terrain plutôt générique et ils ne purent s'appuyer sur la base irrécusable d'opérations suffisamment détaillées faites sur le terrain. En vérité la situation ne semblait pas alors être de nature à exiger absolument ces études détaillées. Pendant longtemps les esprits furent hésitants et flottèrent entre divers systèmes de traction, se traduisant par tracés hauts, tracés intermédiaires et tunnel de base. Ce n'est qu'en 1872, à la suite du succès final du tunnel du mont Cenis et des progrès très réels qu'avait atteints durant les dernières années de construction la perforation mécanique de ce souterrain, que la grande majorité des ingénieurs et du public plus général parvint à se rallier à l'idée d'un tunnel de base au Simplon.

Sous l'empire de cette phase nouvelle dans les esprits, à la suite de la déconfiture complète et de la déchéance de l'ancienne compagnie de la ligne d'Italie, s'était formée, dans le canton de Vaud, la Compagnie du chemin de fer du Simplon, dont le grand but était de mener à prompt solution le percement du tunnel alpin et l'établissement de ses lignes d'accès des côtés suisse et italien. En prenant possession du réseau valaisan, alors exploité sur 80 kilomètres environ entre Bouveret et Sierre, la société a dû se préoccuper tout d'abord de la formation de son administration. Cette dernière fut constituée à la fin de l'année 1875. Appelé à cette époque au sein du conseil d'administration et de la direction, le conférencier reçut la mission spéciale de gérer le département technique, comprenant le parachèvement de la ligne exploitée entre Bouveret et Sierre, la direction des travaux neufs entre Sierre et Viège, le contrôle de l'exploitation et les études du passage du Simplon, soit de la section alpine comprise entre Viège et Domo d'Ossola.

Si cette dernière partie de la tâche du département technique ressortait déjà du but fondamental, en vue duquel la nou-

velle société avait été constituée, sa prompte exécution s'imposait encore par des considérations toutes spéciales, se liant à la propagande pour obtenir les subventions nécessaires pour le percement du grand tunnel. Dans l'état d'incertitude et de scepticisme qu'avaient provoqué les récents mécomptes de la compagnie du Saint-Gothard, il devenait à peu près impossible de se présenter auprès des états intéressés sans être muni de projets sérieux et complets. On se souvient en effet que nonobstant des avant-projets à l'échelle de $\frac{1}{10\,000}$ et des devis établis sur cette base par deux ingénieurs réputés, MM. Beckh et Gerwig, le Gothard se trouva un jour, après avoir fait exécuter des levés plus détaillés et plus complets, devant le gouffre béant d'un déficit d'abord estimé à 102 millions de fr. soit de 100 % des chiffres prévus pour les lignes d'accès et de 40 % du coût total de l'entreprise dont le tunnel alpin s'exécutait cependant dans les limites du devis. Bien que cette erreur désastreuse ne fût pas due exclusivement à l'insuffisance des documents concernant la plastique du sol, elle y tenait cependant en très grande partie. Le rapport de M. le directeur Hellweg ne laisse à cet égard point de doute et il établit d'une façon éloquente et palpable l'inconvénient et l'insuffisance des tracés dans les terrains hautement difficiles faits sur des levés génériques à petite échelle.

En reconnaissant la nécessité générale d'études, le conseil d'administration, d'accord avec les deux ingénieurs résidant dans son sein, l'illustre Colladon et le conférencier, comprit aussi la nécessité de faire établir ces études sur une base irrécusable, permettant de se livrer à une appréciation complète et exacte des masses et du coût d'établissement. C'est dans cet ordre d'idées qu'il ouvrit un premier crédit de 92 000 fr., soit environ 2000 fr. par kilomètre, laissant d'ailleurs au chef de son département technique toute liberté par rapport au cadre des opérations, au choix du personnel et aux autres moyens d'action; la nomination du chef des opérations sur le terrain fut seule réservée à la ratification du conseil. Elle fut bientôt faite dans la personne de M. Albert Weiss, autrefois chef de section de la compagnie de l'Ouest Suisse et du chemin de fer de l'état de Berne, et depuis lors établi comme ingénieur topographe à Berne.

..

C'est au printemps de l'année 1876 que furent commencées les études sur le terrain, d'abord du côté nord des Alpes entre Viège et Brigue, puis dans le courant du mois de juin entre Iselle-Gondo et Domo d'Ossola.

Ces études devaient comprendre les opérations principales suivantes :

A. Une grande *triangulation de précision*, rattachant le réseau trigonométrique suisse au réseau italien, soit à l'ancienne triangulation sarde, et destinée surtout à fixer d'une façon exacte l'épaisseur du massif à traverser par le grand tunnel alpin et la direction de ce dernier.

B. Le *piquetage d'une ligne d'opération* polygonale, se rapprochant aussi près que possible du tracé définitif de la ligne, et à fixer à cet effet par une ligne de pente, d'abord recherchée sur le terrain. Ce polygone était à rattacher à la grande triangulation et à un second polygone, qui devait suivre la grande route du Simplon et servir de vérification à la ligne d'opérations principale.

C. Le *nivellement* très exact des deux lignes d'opération polygonales. Ce nivellement était à rattacher aux repères du nivellement de précision entrepris en 1874/1875 par la commission géodésique pour la mesure du degré de l'Europe centrale.

D. Des *profils en travers* à lever sur les lignes d'opération. Ces profils étaient à compléter par une série de profils spéciaux suivant les cours d'eau transversaux au tracé, et sur ces profils spéciaux devaient être établis de nouveaux profils en travers.

E. Des levés à la planchette des *plans parcellaires* au $\frac{1}{1000}$ du tracé et de ses abords, avec indication de l'état des lieux, de la ligne d'opération, et des principales dépressions du sol soit lisières des terrasses rocheuses, bords des torrents et limites des cônes d'éboulement. Ces levés devaient être étendus autant que possible partout jusqu'à la grande route du Simplon et jusqu'à la *Diveria*. Ils devaient être complétés, à plus grande distance de la ligne d'opération polygonale et du futur tracé, par des levés à la *stadia* donnant la configuration générale du sol.

F. Des levés spéciaux relatifs aux *installations pour la perforation mécanique*, et le jaugeage des cours d'eau devant fournir la *force motrice*.

G. L'*étude géologique* du tunnel et de ses abords.

Tel était le cadre général prescrit pour les opérations; le conférencier examinera plus loin encore ces opérations principales.

..

L'exécution de ce programme exigeait tout d'abord des *directions générales* quant aux conditions du ou des tracés à étudier. Ces directions devaient s'appuyer à leur tour sur les travaux antérieurs et sur la connaissance très générale du sol.

Le programme d'un *tunnel de base* n'était plus à discuter et sa justification, sous le point de vue technique et économique, sortirait du cadre du présent exposé. Il suffira de mentionner une fois de plus une assertion dont l'exactitude a déjà été prouvée à maintes reprises par des chiffres généraux irrécusables : c'est qu'en raison de la configuration particulière du massif du Simplon le coût d'un tunnel de 18-19 kilomètres percé à l'altitude de 680-770 mètres ne dépasse guère celui d'un tracé définitif à ciel ouvert ou celui d'un tracé avec tunnel de 12-13 kilomètres devant graver par un développement artificiel, parfois très coûteux et peu aisé, un supplément d'élévation de 400-500 mètres. Or, à *égalité du coût de construction*, les immenses *avantages d'exploitation* du tunnel de base portent dans la balance un poids décisif en faveur de cette dernière solution.

Mais ce *tunnel de base*, même confiné entre les altitudes de 680-770 mètres, permet encore un certain nombre de variantes, en modifiant les débouchés et les lignes d'accès au nord et au sud des Alpes.

Trois solutions principales sont en présence :

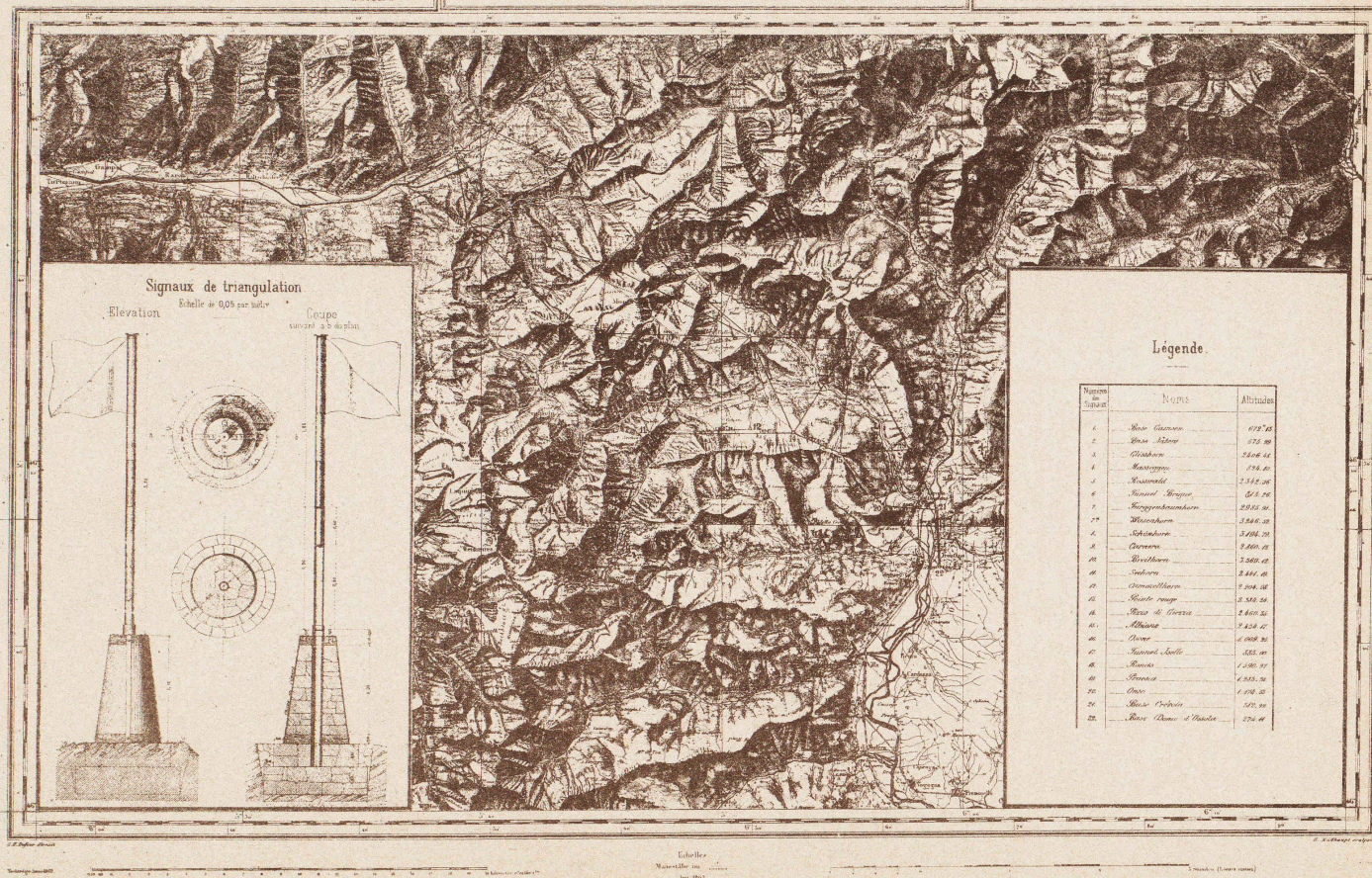
Au point de vue des accès nord :

a. Rester dans la partie basse de la plaine du Rhône et dans le voisinage immédiat du fleuve. La tête septentrionale du grand tunnel doit dans ce cas être disposée sur la rive gauche du fleuve, au nord-est de la ville de Brigue, dans ce plateau quelque peu marécageux et presque inculte qui s'étend sur la rive gauche du Rhône entre les confluent de la Saline et de la Massa. (Weisfeld.)

TRIANGULATION DU TUNNEL DU SIMPLON

BRIEG

AIROLO



Note. — Cette planche est un report sur pierre lithographique d'une photographie sur verre, à forte réduction, de la carte fédérale. Ce nouveau système de reproduction n'offre pas encore toute la netteté désirable; il est en voie de perfectionnement. On peut cependant lire la plupart des noms, à la loupe, sur le présent spécimen.

BAUERNHEINZ, phot.

Seite / page

30(3)

leer / vide /
blank

b. Gravier les coteaux du versant méridional de la vallée du Rhône en s'élevant depuis Viège déjà, avec des pentes normales et modérées, cela d'une façon suffisante pour pouvoir entrer à une certaine profondeur dans la gorge de la Saltine et profiter ainsi du raccourcissement que cette échancrure naturelle permet d'obtenir pour le grand souterrain.

c. Prendre une solution intermédiaire, en restant sur 3-4 kilomètres depuis Viège, c'est-à-dire jusqu'au cône de déjection de la Gamsa, dans la plaine du Rhône et sur la digue du fleuve, et en gravissant depuis là, avec une rampe normale et modérée, les versants très peu inclinés et relativement faciles qui s'étendent au midi de Gliss et de Brigue, dans la proximité immédiate de ces localités.

La solution relatée sous a) répond au projet de tunnel étudié en 1875 par MM. Favre et de Clo, et discuté depuis lors par M. l'ingénieur Meyer. Ce projet a sa tête nord au nord-est de Brigue, près de la maison du tir, et son débouché sud à 600 mètres environ en aval d'Iselle; ce dernier débouché est presque identique avec celui du projet Vauthier. La solution relatée sous b) est celle que comportent les projets déjà anciens de MM. Vauthier et Stockalper. Ces deux projets obligent de graver en côtoyant le versant sud de la vallée du Rhône depuis Viège. Ils diffèrent entre eux d'abord au point de vue de l'altitude de la tête nord, 743-771, qui est de 28 mètres plus forte dans le projet Stockalper; puis surtout au point de vue du débouché sur le versant sud des Alpes dans la vallée de la Diveria. En effet, le tunnel Vauthier, long de 18 220 mètres, aurait sa tête septentrionale à 600 mètres environ en aval d'Iselle, à la cote 625^m, tandis que le tunnel Stockalper, long de 16 150 seulement, comporte son débouché méridional à 3 kilomètres en amont d'Iselle et à la cote 790^m. Il est à remarquer qu'à teneur des résultats obtenus par la triangulation exacte toutes ces longueurs qui correspondent aux indications des auteurs seront à augmenter de 200 mètres environ, la longueur exacte du tunnel Vauthier est en effet de 18 442^m.

La troisième solution, celle d'un tunnel de base *intermédiaire* entre les deux projets qui viennent d'être cités, n'avait pas fait l'objet d'une étude même préliminaire. Elle se trouve cependant effleurée dans l'ouvrage que le conférencier a publié en 1864. Son débouché nord serait sur la rive droite de la Saltine, à environ 300 mètres en aval du pont Napoléon. Son débouché méridional doit être situé à 1100 mètres environ en amont d'Iselle.

..

L'examen *préliminaire* de la situation a conduit le conférencier à abandonner les tracés Vauthier et Stockalper. Les motifs saillants dans ce sens sont les suivants:

1^o Ces deux projets obligent de recourir entre Viège et Brigue à un *tracé difficile et coûteux*, empruntant des coteaux en général abruptes et peu stables, traversés par de nombreuses irrigations. Ce tracé comporterait 3 à 4 tunnels dont le plus long n'aurait pas moins de 700 mètres. Son coût kilométrique pour double voie ne saurait être évalué en dessous de 400 000 à 450 000 fr.

2^o A moins d'une dépense tout à fait hors ligne, il ne serait pas possible de disposer sur ces versants difficiles, sinueux et en général fortement inclinés, une *gare internationale* comportant une très grande longueur et un formidable dévelop-

pement de voies, ainsi que des installations et bâtiments nombreux. La gare internationale devrait dès lors être translée dans la plaine de Viège à dix kilomètres environ du débouché du tunnel, ce qui constituerait un sérieux inconvénient.

3^o L'*altitude* de 743-771 mètres de la tête *septentrionale* du tunnel est de 32 à 91 mètres plus forte que celle que permet d'adopter le tracé inférieur ou le tracé intermédiaire.

4^o Les *installations pour la perforation mécanique* deviendront bien plus difficiles et seront très exposées dans la gorge étroite et sinueuse de la Saltine.

5^o Ayant sa tête nord (743^m) relativement élevée et sa tête sud (625^m) relativement basse, le tunnel Vauthier exige sur la partie méridionale de son parcours la *déclivité déjà assez forte* de 14 ‰. Cette déclivité ne constituerait pas un obstacle très majeur; mais elle sera néanmoins rationnellement évitée, étant admis en effet que la facile exploitation du grand souterrain dépend dans une forte mesure de la possibilité de le franchir avec une grande vitesse et avec une combustion relativement modérée. Le tunnel Stockalper ne présente pas cet inconvénient, son débouché sud étant à la cote 790^m, soit de 65 mètres plus élevé que le débouché Vauthier. Mais comme la tête se trouve très en amont d'Iselle, le tracé aurait à franchir sur les 3 kilomètres entre Gondo et Iselle un terrain très difficile et donnant lieu à une dépense presque égale à celle qu'on gagnerait sur le raccourcissement du tunnel.

..

Ces divers inconvénients que nous venons de passer en revue ne se retrouvent pas sur le tracé dit *intermédiaire*. En entrant en tunnel au midi de Brigue à 300 mètres en aval du pont Napoléon et en sortant à 1100 mètres en amont d'Iselle, on arrive à une longueur de 18 504 mètres, longueur très peu différente de celle du tunnel Vauthier corrigée selon les résultats de la triangulation. (18 442^m.) Les altitudes des deux têtes sont de 712 et 687 mètres et donnent un point culminant de 30 mètres en dessous de celui du tunnel Vauthier et de 60 mètres en dessous de celui du tunnel Stockalper. Les accès de ce tracé intermédiaire sont formés, sur 3 à 4 kilomètres depuis Viège, par les digues *déjà existantes* du Rhône, sur 5 autres kilomètres par une ligne facile ne pouvant coûter au delà de 200 000 à 225 000 fr. par kilomètre. La gare internationale de Brigue sera sur un coteau ayant seulement 10 à 12 pour cent de pente transversale et comporte un très fort remblai qui servira utilement à loger les matériaux du tunnel. La position de cette gare sera d'un accès commode pour Brigue et la vallée de Conches. Les installations pour la perforation disposeront d'un emplacement vaste, elles seront d'un accès facile et ne présenteront aucune difficulté.

Tel est à grands traits le résultat de la comparaison préliminaire entre les tunnels Vauthier et Stockalper d'une part et le tunnel intermédiaire d'autre part. On voit qu'au point de vue des facilités d'exécution des *travaux* et de l'*exploitation*, tout est en faveur de ce dernier projet. En abordant les chiffres du coût d'établissement on trouve, d'une part, sur le versant nord 10 kilomètres à 450 000 fr., soit une dépense totale modérément estimée à 4 1/2 millions; d'autre part, 4 kilomètres de digues du Rhône à 100 000 fr. et 5 kilomètres à 225 000 fr., en tout une dépense de 1 1/2 millions; la différence de coût entre les lignes d'accès nord devient dès lors de près de 3 millions.

Cette situation est partiellement compensée par le faible allongement du souterrain intermédiaire, puis, sur le versant sud, par le fait que ce dernier tunnel oblige à un surplus de parcours de 1700 mètres environ, qui doit s'effectuer d'ailleurs sur une partie relativement facile de la vallée, en majeure partie avec des remblais provenant des déblais du tunnel. En portant pour ces 1700 mètres le chiffre plutôt exagéré de 600 000 fr. par kilomètre, on obtient un surplus de coût d'un million et la différence du coût entre les deux tracés se réduirait ainsi de 3 millions à 2 millions; elle dépasserait encore le chiffre de 1 1/2 millions en mettant en balance un allongement de 62 mètres sur la longueur du souterrain.

* *

Après avoir établi la supériorité incontestable du tunnel de base intermédiaire sur les tunnels de base Vauthier et Stockalper, il nous incombait de comparer d'une façon préliminaire ce premier souterrain avec celui patronné par MM. Favre et Meyer.

Comme nous l'avons dit plus loin, le tunnel Favre doit avoir son entrée nord près de la maison de tir à Brigue et sa sortie méridionale à 600 mètres environ en aval d'Iselle, à peu de distance de la tête sud du tunnel Vauthier. La tête nord est supposée à l'altitude de 678, la tête sud est à celle de 645 mètres; la longueur totale du souterrain devenait, selon l'auteur de la proposition, de 19 850 mètres. Ces divers chiffres doivent subir quelques rectifications, par suite des résultats bien plus précis aujourd'hui donnés par la triangulation et par le lever du terrain. C'est ainsi que la longueur du tunnel Favre deviendra de 20 050 mètres, et que le palier au nord du tunnel devra être porté à l'altitude de 680 mètres, pour permettre le plus facile dépôt des déblais du tunnel; nous ne faisons qu'effleurer ces rectifications, qui n'ont pu guider d'ailleurs notre raisonnement quant aux bases préliminaires du projet, vu qu'elles n'étaient pas encore connues au moment où il nous incombait de prendre des résolutions dans ce sens.

Des données moins complètes connues au commencement de l'année 1876 il découlait cependant avec certitude que le tunnel Favre serait de 1600 mètres environ plus long que le tunnel intermédiaire, et que son établissement exigerait un excédant de coût et une période de construction plus longue. Selon les données fournies par le mont Cenis et par le Gothard, il était permis d'évaluer à une année environ la durée plus longue de la construction et à 4000 fr. $\times$ 1600 mètres = 6 400 000 fr. la différence du coût d'établissement. Ajoutant à ce chiffre celui de la perte d'intérêt à subir pendant une année sur le coût de 18 1/2 kilomètres, soit sur environ 74 millions de capital, perte pouvant être évaluée entre 3 1/2 et 4 millions, on arrive à une charge supplémentaire de 10 millions que représenterait le tunnel Favre vis-à-vis du tunnel intermédiaire.

Cette charge supplémentaire se réduit cependant à 8 millions environ si l'on défalque d'une part 5 $\times$ 125 000 fr. pour les 5 kilomètres plus faciles sur le parcours entre la Gamsa et la gare de Brigue, parcours sur lequel le tunnel Favre permet d'utiliser comme corps de voie les digues du Rhône, et d'autre part 1 million environ pour la réduction de parcours de 1700 mètres sur le versant sud.

En face de l'augmentation de charge de 8 millions, aggravés

encore d'un atterroisement de l'ouverture du tunnel, nous devons compter à l'actif du tunnel Favre son altitude moins forte de 30 mètres environ que celle du tunnel intermédiaire.

Cet avantage est-il suffisant pour motiver un surplus de dépense de près de 8 millions? Nous ne l'avons pas pensé et nous ne le pensons pas aujourd'hui. En supposant par le Simplon un trafic de transit annuel de 500 000 à 600 000 tonnes; en supposant le surplus d'élévation de 30 mètres comme équivalant à six kilomètres de traction horizontale à raison de 1 centime par tonne et par kilomètre, on arrive à une dépense supplémentaire de 6 centimes par tonne et à une dépense supplémentaire annuelle de 600 000 tonnes $\times$ 6 centimes = 36 000 fr. Cette annuité ne saurait se mettre en balance avec celle que représente un excédant de 8 millions dans la dépense première.

A ce point de vue nous dûmes arriver au rejet du tunnel Favre vis-à-vis du tunnel intermédiaire. Nous ne pouvions méconnaître cependant que, tout en gardant sur le versant nord l'accès extrêmement facile donné par les digues du Rhône, il devenait possible d'obtenir un tunnel notablement plus court en faisant pivoter la direction du souterrain Favre autour d'un point situé à 6 kilomètres de la tête nord et en remontant la tête sud dans la vallée de la Diveria, de façon à la rendre identique avec la tête sud que nous avions choisie pour le tunnel intermédiaire. C'est là en résumé que nous trouvons le nœud de la situation. La tête sud des tunnels Vauthier et Favre est choisie près d'un angle de la vallée de la Diveria, dans une position qui paraît au premier abord très séduisante sur le terrain. Mais ce choix oblige de traverser le massif dans une direction plus braise et donne lieu à un notable allongement du souterrain, qui ne saurait se mettre en parallèle avec un modique et naturel allongement de la ligne dans la vallée de la Diveria. En reportant la tête sud comme nous venons de le dire, on peut réduire la longueur du tunnel ainsi modifié, de 20 à 19 kilomètres, tout en gardant les deux têtes à une altitude presque identique.

Cette modification se commande encore, pour le tunnel Favre, par la nécessité d'obtenir environ 1 kilomètre de longueur pour la gare internationale de Brigue. Cette condition indispensable est réalisée par le fait que le tunnel, pivotant autour du point sus indiqué, aura sa tête nord reportée vers le nord est de Brigue, elle ne pourrait guère être obtenue par le tracé de l'auteur même du projet.

Les considérations qui précèdent sont de nature à élucider déjà suffisamment la question du choix du tracé du tunnel et le programme que nous avons donné comme point de départ au personnel des études. Ce programme se résumait à prescrire l'étude de deux directions principales, toutes deux débouchant à 1100 mètres environ au-dessus d'Iselle, mais ayant l'une son point de départ nord à 1 kilomètre au nord-est de Brigue, l'autre sur la grande route du Simplon à la sortie de Brigue, à 300 mètres environ en aval du premier lacet, près du pont Napoléon.

* *

Cependant pour mieux élucider la question, et pour attribuer au projet Vauthier, pour lequel nous avons penché un moment, toute l'attention que comporte le caractère éminent de son auteur, nous avons encore fait exécuter un lever complet soit

des gorges de la Saltine, soit du versant sur lequel devrait être assise la ligne d'accès de ce projet entre Brigue et Viège.

..

La question était ainsi fixée en ce qui concerne le souterrain même. Mais il restait à résoudre un autre point très important, celui de la rampe à adopter pour l'accès méridional. On sait en effet que, sur le versant nord, les conditions de déclivité peuvent être assimilées à celles des plus faciles lignes de plaine et sont hors discussion.

Entre le point de sortie méridional du souterrain (687 mètres d'altitude) et la plaine de la vallée du Toce en face de Domo et peu en aval du confluent de la Diveria (272 mètres d'altitude), nous rencontrons une différence de niveau de près de 415 mètres. Le développement naturel des vallées de la Diveria, qui s'étend jusqu'au défilé de Crevola, et des vallées du Toce et de la Bogna, donne entre les mêmes points un parcours d'environ 19 kilomètres. Divisant la différence d'altitude par le parcours on trouve une déclivité moyenne de $\frac{415^m}{19\,000} = 0,0219$, soit sensiblement 22 pour mille. En déduisant du parcours de 19 kilomètres les paliers ou pentes réduites des stations d'Iselle, de Varzo et de Crevola, environ 1200 à 1500 mètres, la déclivité moyenne augmente et devient de près de 24 pour mille.

Les projets Vauthier et Stockalper ont été confinés dans ce programme d'un développement naturel et leurs auteurs ont adopté à cet effet, pour le tracé entre Gondo-Iselle et Domo d'Ossola, des déclivités variant de 20 à 25 pour mille.

M. Favre a cru devoir abandonner dans son projet cette base si simple. En s'inspirant, croyons-nous, de l'idée de mieux faire ressortir les faciles conditions d'exploitation de la ligne du Simplon, il s'est donné, sur le versant sud, la déclivité limite de 15 pour mille. Le développement naturel des vallées ne se prêtant pas à l'emploi de cette pente réduite, l'habile constructeur a cru devoir recourir à un allongement artificiel de près de 11 kilomètres, obtenu depuis le défilé de Crevola par un lacet remontant la vallée principale du Toce. Cet allongement comporte des travaux importants, entre autres un tunnel de 1800-1900 mètres au lacet près de Grodo. Il oblige de reporter plus haut dans le versant, cela jusqu'à concurrence de 100 mètres environ, le tracé entre Iselle et Crevola. La traversée de la large vallée du Toce en face de Domo ne permettant pas, sans remblais exagérés, l'emploi d'une rampe supérieure à 12 pour mille, il s'ensuit qu'une partie notable du parcours est perdue au point de vue de la stricte utilisation de déclivité maximum et que l'augmentation du parcours est encore moins favorable que ne le comporterait le rapport entre les coefficients de déclivité maximum.

En examinant cette proposition du constructeur du tunnel du Gothard, la première impression du conférencier fut qu'un allongement artificiel de la ligne d'accès méridionale du Simplon n'avait pas sa raison d'être; qu'en face d'avantages très douteux, au point de vue de l'exploitation, il comporterait une aggravation de dépenses très considérable et non justifiée. Cette aggravation semblait être représentée par une dépense d'environ 2 1/2 millions pour le tunnel de Grodo et par 4 1/2 millions pour le surplus de longueur de 9 kilomètres comptés à raison de 500 000 fr. en moyenne. L'augmentation

générale du coût devenait de 7 millions. L'étude plus complète du versant a prouvé que cette première évaluation n'avait rien d'exagéré et qu'au surplus du coût représenté par le lacet de Grodo il convenait d'ajouter encore une forte majoration kilométrique sur tout le parcours Iselle-Crevola, où le tracé à 15 ‰ se trouverait entièrement rejeté dans les parois rocheuses, tandis qu'un tracé avec déclivités de 20-25 ‰ peut se tenir généralement au pied de ces dernières. C'était donc à 8 ou 9 millions d'augmentation de dépense première qu'obligeait l'adoption de la rampe de 15 pour mille.

..

Sous le rapport de l'exploitation, nul doute qu'à *parcours égal* une rampe de 15 ‰ vaille mieux qu'une de 20-25 ‰.

Mais, abstraction faite des travaux et même au simple point de vue du coût d'exploitation, la question change déjà de face lorsqu'il s'agit d'obtenir la réduction de la déclivité par un allongement artificiel du parcours. Si l'opportunité d'un tel allongement peut se présenter parfois pour éviter des rampes tout à fait anormales et excessives, elle doit paraître fortement contestable dans beaucoup d'autres cas, où il s'agirait de réduire des rampes encore normales et très usuelles. Pour citer un exemple: on ne chercherait pas un développement artificiel pour gravir avec une rampe de 5 pour mille un coteau qui pourrait se franchir en ligne directe avec une déclivité de dix pour mille. Où est donc à cet égard la limite? On a souvent cherché à généraliser la question en appliquant avec plus ou moins de succès des formules théoriques. Si ces dernières ne sont pas sans valeur, il saute aux yeux cependant que la solution du problème ne saurait s'ériger en axiome ni prendre les allures et la netteté d'une formule algébrique. Ses facteurs varient sur une vaste échelle. Les considérations générales sont dominées ici par des circonstances de l'ordre particulariste et local et par des exigences de la grande pratique de l'exploitation. Essayons cependant de poser quelques jalons pour faciliter l'appréciation de la question qui se pose au Simplon.

Il est à remarquer, tout d'abord, que beaucoup d'éléments du coût de l'exploitation d'un chemin de fer augmentent en rapport direct avec la longueur du tracé. Il en est ainsi, par exemple, des frais d'entretien des terrassements, des ouvrages d'art et des clôtures, du déblaiement des neiges, du gardiennage de la ligne, du relevage de la voie, du remplacement des traverses et du ballast et, dans une certaine mesure aussi, du personnel des gares et des trains.

En face des éléments prémentionnés pour lesquels tout allongement non indispensable du parcours devient nuisible, et qui militent par conséquent en faveur de la rampe plus forte et plus courte, il en est un autre qui semble devoir faire pencher la balance en faveur de la rampe réduite, cela parfois même au prix d'un allongement de parcours. Il s'agit en effet du chapitre important de la *traction*.

Ici encore l'inconvénient de la plus forte rampe ne se manifeste pas d'une façon absolue et complète. Si l'on suppose deux tracés gravissant la même élévation, l'un au moyen de 15 kilomètres de parcours incliné à raison de 20 pour mille et l'autre au moyen de 20 kilomètres de parcours incliné à raison de 15 pour mille de pente, il est évident que le travail de remorque proprement dit sera plus fort sur le tracé plus long. En effet pour un même et constant travail vertical PH, le tracé plus long sera grevé

d'un plus fort travail horizontal PfL_1 au lieu de PfL . (Les chiffres L et L_1 représentant les parcours, P le poids et f le coefficient de la résistance due aux frottements.) Mais ce côté plus onéreux d'un allongement est compensé et au delà par la circonstance qu'à égalité d'effort les charges remorquées sur une plus forte rampe sont limitées et occupent un moindre poids par rapport à la locomotive et qu'il y a par conséquent disproportion entre le travail total et le travail utile. Cette difficulté sérieuse qu'ont éliminée avec plus ou moins de succès les divers systèmes de traction spéciaux, tels que ceux de *Fell* et de *Riggenbach*, ne saurait être contestée et évitée par le système à *adhésion libre*. Avec ce système la traction devient sans contredit plus onéreuse sur la rampe plus forte et plus courte.

Ce n'est pas ici la place d'entrer à cet égard dans des considérations de calculs que nous réservons à une publication prochaine. Nous devons nous tenir sur un terrain plutôt général, qui sera d'autant plus admissible d'ailleurs que les motifs qui parlent contre l'emploi du tracé Favre ont une portée si prépondérante qu'ils ne sauraient être atténués par quelques erreurs d'appréciation dans les détails. Sous le point de vue de la traction, le problème se trouve dominé en effet par des considérations pratiques d'organisation du service des transports, considérations qui nous font rejeter, d'une façon absolue même au point de vue de l'exploitation, la rampe de 15 pour mille. Pour nous servir d'une expression vulgaire, cette rampe n'est ni chair ni poisson. C'est une pure fiction que de croire qu'elle produira une exploitation plus facile et accentuera mieux le caractère de chemin de plaine de la traversée du Simplon. Les machines qui traineront leur charge maximum sur les chemins de fer de la plaine lombarde et sur la ligne d'accès très facile dans la vallée du Toce, entre les lacs et Domo d'Ossola (lignes présentant des alternances de rampes et de pentes de 10 à 12 pour mille), ces locomotives ne pourront jamais remorquer le même train sur une rampe de 15 pour mille régnant d'une façon continue sur 25 à 30 kilomètres. A moins d'une vitesse minime, leur puissance de vaporisation sera insuffisante; l'adhésion, qui n'est pas un obstacle lorsqu'il s'agit de franchir des rampes courtes en se servant de la force vive acquise, pourrait souvent faire défaut.

Cette situation des choses conduit forcément au dilemme : ou d'introduire entre Domo et Iselle un parc spécial de machines; ou de décomposer les trains à Domo. Ni l'une ni l'autre solution ne nous paraîtrait conforme aux exigences d'une bonne et facile exploitation du Simplon. Au point de vue du trafic, la grande et simple conception est celle que les trains formés à Milan, à Novare ou à la station de triage de Gravelona puissent traverser le Simplon sans désemparer. Au point de vue du service de traction, il sera avantageux de ne pas s'arrêter devant un obstacle si court, de maintenir l'unité du type des machines en parant par la double traction aux exigences de la rampe plus forte. Mais une fois cette double traction admise en principe, la raison conseille de la faire travailler au maximum de ce qu'elle peut produire; en d'autres termes, il s'agit d'arriver au résultat qu'entre Domo d'Ossola et Iselle deux machines puissent reprendre, en produisant tout le travail normal dont elles sont capables, le train, également chargé au maximum, qu'aura conduit à Domo une seule machine de même type.

Cette condition ne peut guère être remplie par la déclivité de 15 pour mille. Selon les études publiées par le bureau technique fédéral, ce serait la rampe de 28 pour mille qui correspondrait, dans l'hypothèse de l'adhésion au sixième, et celle de 22 pour mille dans l'hypothèse d'une adhésion au huitième, au travail double de celui qu'exige la remorque sur une rampe de 10 pour mille. Nous pensons que l'adhésion du sixième peut être considérée comme une moyenne normale. Il faut envisager cependant que la double traction produit toujours quelque perte d'effet utile par rapport au travail isolé de deux machines simples. Cette considération, et celle que les calculs prémentionnés s'appliquent à une ligne droite et ne tiennent pas compte de la valeur donnée par la résistance dans les courbes, nous conduisent à adopter un coefficient plus faible que 28 pour mille, coefficient que nous eussions désiré même de pouvoir réduire à 21-22 pour mille.

L'ensemble des motifs qui précèdent nous a conduit à rejeter l'idée de M. Favre de disposer la ligne d'accès méridionale avec une déclivité de 15 pour mille, se développant par un lacet de 11 kilomètres dans la vallée d'Antigorio. Tout parle, dans le cas particulier, en faveur de la rampe plus forte et en proportion plus courte, qui correspond non-seulement au mode de traction le plus simple, mais qui encore permet de réduire tous les frais d'exploitation qui sont proportionnels à la longueur du parcours et qui enfin répond à une économie de 8 à 10 millions dans le coût des travaux.

En conséquence, nous avons donné à notre personnel des études l'instruction suivante :

« De rechercher pour la ligne d'accès méridionale entre Iselle et Domo une ligne dont l'inclinaison, selon les exigences du sol, pourra varier entre 20 et 25 pour mille. »

Ce n'est que plus tard en effet que l'avancement de nos opérations, joint à quelques essais préliminaires, nous a fait reconnaître d'une part que nous disposions d'une longueur moins grande que cela ne paraissait ressortir du mesurage sur la carte, d'autre part qu'il était possible d'adopter, sans aggravation notable au point de vue des travaux, une rampe uniforme de 23,8 pour mille qui se retrouve sur les profils en long exposés dans la salle.

Telles ont été les bases fondamentales des opérations sur le terrain. Il convient de s'arrêter encore un instant à ces dernières.

Commencées sur le versant sud à la fin du mois de mai 1876, ces opérations n'ont pu être terminées qu'au mois de février 1877. Elles furent d'ailleurs favorisées par un hiver exceptionnellement doux.

Il paraîtrait banal que nous voulussions insister ici sur l'exactitude du travail exécuté, exactitude garantie non-seulement par le choix du personnel, mais encore par les moyens de contrôle que nous avons énumérés. Il y a lieu de dire quelques mots sur la *triangulation*.

Les *signaux* du réseau trigonométrique ont été établis d'une façon très définitive et durable. Il nous a semblé, en effet, que les difficultés d'installation sur les pointes élevées justifiaient d'exécuter ces signaux d'emblée d'une façon complète et telle qu'ils pourront servir plus tard pour l'exécution du souterrain.

Chaque signal se compose (voir la planche annexée) d'un tuyau en fer étiré de 10 centimètres de diamètre, scellé de 15 à

20 centimètres dans le sol, généralement rocailleux, et entouré jusqu'à une hauteur de 1^m15 au-dessus du sol d'un massif en maçonnerie-ciment, massif formant un cône tronqué, dont les diamètres sont de 40 et de 70 centimètres. La base et le dessus de ce cône sont formés de plateaux circulaires en bois, enfilés dans le tuyau et liés entre eux au moyen de tirants en fer. La maçonnerie est recouverte d'une chape en ciment. Le tuyau scellé dans le sol dépasse le plateau supérieur de 10 centimètres environ. Il peut se raccorder au moyen d'un manchon et de bouts taraudés à un second tuyau formant signal ou à une pièce supérieure de ce dernier formant couvercle et empêchant l'infiltration de l'eau, dont la congélation produirait l'avarie du tuyau.

Cette même partie saillante peut aussi recevoir un gabarit en tôle repérant les vis du théodolite par rapport à l'axe vertical du tuyau, et permettant ainsi de faire correspondre le centre de la rotation horizontale de la lunette avec le milieu du signal. Le théodolite se fixe sur le plateau supérieur au moyen d'une barre métallique traversant la douille en dessous de l'instrument, barre dont les extrémités un peu aplaties sont vissées au moyen de fortes vis à bois ordinaires sur la cible en bois supérieure. La réaction des vis de réglage de l'instrument assure son immobilité en dehors des mouvements rotatifs de ses organes. Cette dernière précaution de fixation directe sur le massif paraissait indispensable. Il faut considérer en effet qu'une grande partie des signaux se trouve sur des pointes élevées jusqu'à 3246 mètres (Wasenhorn), sur lesquelles l'opérateur a beaucoup de peine à se tenir debout, et dans le sol rocailleux desquelles les pieds d'un instrument ne pourraient guère se fixer. Les rafales fréquentes risqueraient aussi de renverser à chaque instant et l'instrument et l'opérateur, déjà fort gêné dans ses opérations par le froid qui était parfois tel qu'il fallut se servir du plat des deux mains pour actionner des vis que les doigts ne pouvaient plus manœuvrer.

Le travail de l'installation des signaux avait absorbé la majeure partie des mois d'août et de septembre 1876. A l'époque où devaient commencer les opérations, c'est-à-dire dans le milieu de septembre, moment où l'on pensait obtenir les conditions météorologiques les plus favorables, le temps se mit à la pluie. Pendant les intervalles, les sommets étaient couverts de nuages et de brouillards qui empêchèrent toute observation. Ces circonstances et la saison déjà avancée ne nous laissèrent pas sans inquiétude sur la possibilité de terminer le travail en 1876. Pour atteindre ce but nous nous décidâmes à organiser deux brigades d'observation, dont la marche était coordonnée de façon à ce que l'opération de l'une ne gênât pas la vision de l'autre. Deux ascensions infructueuses furent tentées au Wasenhorn. Enfin le 7 octobre arriva la nouvelle que le dernier signal était fait, nouvelle qui occasionna un véritable soulagement.

Le mesurage à la latte et au ruban des bases longues, celle Gamsen-Naters de 3224^m 68, et celle de Domo-Crevola de 3172^m 76 en moyenne, a donné des différences moyennes de 0^m 38 pour les six mesurages de la première et de 0^m 28 pour les quatre mesurages de la seconde. Les mesurages à la latte avec niveau présentent un écart de 7 centimètres seulement pour la dernière.

Le mesurage des angles sera publié ultérieurement. Il a été fait avec des théodolites de 18 centimètres de diamètre de

graduation horizontale. Le nombre des répétitions sur chaque point était de dix. Toutes les répétitions ont été faites de gauche à droite, mais au bout des cinq premières observations on faisait décrire à la lunette une révolution horizontale de 200 degrés. Il s'agissait en effet d'instruments à division centésimale.

Ces instruments ne sont pas les plus parfaits qu'on puisse employer pour une telle opération. Cependant, fort bien réglés, ils paraissaient plus que suffisants pour le but principal, qui était de connaître l'épaisseur exacte du massif et la longueur du souterrain à quelques décimètres près, chose d'autant plus nécessaire que le détail de la carte fédérale est dans cette partie notoirement inexact. Le résultat recherché a été atteint. Le calcul des triangles donne entre Viège et Domo sur près de 35 kilomètres de distance à vol d'oiseau (distance plus que triple en suivant le développement des triangles) une erreur totale de 0^m 69. La moyenne des mesurages de la base Crevola-Domo donne en effet une longueur de 3172^m 76, tandis que la longueur calculée en partant de la base Brigue-Gamsen est de 3173^m 45.

En tenant compte des influences de réfraction de lumière et autres, on peut arriver à un résultat encore notablement plus exact. Notre but, nous le répétons, était de faire une opération bien suffisante pour déterminer à quelques décimètres près la longueur du souterrain, et en même temps d'établir des signaux assez distinctifs pour permettre de les employer pour l'exécution de ce dernier. Dans le même esprit de fournir un travail *durable* et pouvant servir plus tard pour l'exécution, nous avons aussi fait fixer par de belles bornes en gneiss tous les sommets d'angles de nos polygones d'opération.

Le canevas trigonométrique avec la désignation des signaux et de leurs altitudes et avec l'indication des angles de côtés des triangles figure sur la planche annexée. Autant que les exigences de l'observation le permettaient, on a cherché à éviter des angles trop aigus ou trop obtus et à se rapprocher de l'idéal de triangles équilatéraux, qui donnent les meilleures chances d'exactitude et de compensation d'erreurs. Ce but n'a pas été trop mal atteint.

Pendant la durée des opérations mêmes, c'est-à-dire pendant l'année 1876, on avait régulièrement complété les plans de situation, carnets de nivellement et autres documents se liant aux opérations sur le terrain. De plus on avait pendant les jours de pluie, heureusement rares, préparé une première copie des feuilles originales levées au moyen de planchettes spéciales à rouleaux, permettant d'employer des feuilles d'une longueur de deux mètres. Le travail de cabinet proprement dit ne commença cependant qu'au mois de février 1877 à Lausanne. Après nouvelle vérification de tous les calculs et carnets, on rapporta les nombreux profils et termina une première copie des plans parcellaires, copie destinée à recevoir les projets. Sur les profils en travers rapportés on détermina par procédé graphique les intersections des plans horizontaux espacés verticalement de deux mètres et correspondant aux chiffres pairs de l'altitude au-dessus du niveau de la mer. Ces points d'intersection déterminés, on fit des tableaux donnant leurs distances au piquet, soit au point du polygone d'opération, tableaux qui servirent à établir sur les plans parcellaires les courbes de niveau. Conjointement à ce travail, on fit les calculs de la triangulation et le canevas d'un plan à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ devant

résumer cette triangulation, le tracé du tunnel et d'un tronçon de ses lignes d'accès.

La fixation du tracé fut entreprise dès qu'on fut suffisamment orienté sur les conditions générales et sur la possibilité d'employer une déclivité uniforme sans rendre plus difficile le passage du défilé de Crevola et la traversée inévitable de la Diveria. Nous vîmes au dernier moment qu'il était possible d'améliorer d'une façon très heureuse les débouchés du tunnel d'abord prévus sur le terrain, de placer la tête méridionale un peu plus en amont dans une formation plus facile, d'éviter le tracé en courbe d'une partie notable de l'extrémité du souterrain, et d'obtenir pour la gare d'Iselle une position commode et vaste, permettant de loger les déblais du tunnel. L'emplacement de la station de Varzo fut également modifié et exigea encore quelques levés supplémentaires. La station de Crevola et la courbe au passage du défilé de même nom donnèrent lieu à une série de tâtonnements, destinés à en réduire le coût par des dispositions spéciales, compensant et diminuant le terrassement relativement trop fort qui résultait du passage forcé par une courbe dont nous ne voulions pas prendre le rayon au-dessous de 300 mètres.

Il serait trop long ici de s'arrêter à tous les détails du tracé. Il convient cependant de parler encore de quelques principes fondamentaux qui ont guidé la fixation de ce dernier. Dans les deux sections difficiles, qui se concentrent l'une entre Iselle et le confluent de la Cherasca et l'autre entre le défilé de Crevola et un point situé à deux kilomètres environ en aval de Varzo, on rencontre deux principales catégories de terrain : a) les parois de rochers plus ou moins abruptes et b) les cônes d'éboulement, formés d'un mélange de débris rocaillieux de toutes dimensions, depuis les blocs ayant les dimensions d'une maison jusqu'aux pierres de la grosseur d'un élément de macadam.

Ces derniers terrains ont un aspect assez sauvage et l'imagination se représente aisément un certain danger à les passer, apparence de danger qui se trouve un peu amoindrie cependant par l'observation qu'un très grand nombre de ces amoncellements sont couverts de châtaigniers et autres arbres d'un certain âge et que la population de la contrée n'a pas craint de construire des habitations dans les oasis qu'on rencontre au milieu de ces débris. En vérité, le danger relatif existe partout, mais il faut se demander s'il ne s'exagère pas sous l'impression du voisinage de rochers gigantesques. Il faut se demander de combien de centaines de siècles on constate les effets et si le pied des masses ébouloées ne présente pas une certaine sûreté vis-à-vis de parois qui paraissent intactes, mais qui pourront s'ébouler dans le cours d'un siècle à venir.

Cette considération nous a engagé à nous départir d'une opinion que nous avons déjà entendu exprimer à plusieurs reprises, celle qu'il convenait de traverser ces cônes d'éboulement en galeries souterraines. En vérité l'exécution d'un souterrain serait dans ces formations d'une difficulté extrême. Elle serait inefficace à notre avis dans le cas d'un éboulement très sérieux, qui ne manquerait pas de disloquer et probablement de briser le tube de maçonnerie qui aurait été placé avec la plus grande peine dans ce chaos de débris. S'il en était ainsi, la circulation serait interrompue pendant des mois, car un souterrain dans ces conditions ne se rétablit pas du jour au lendemain.

Cette appréciation des choses nous a conduit à la solution

de contourner les cônes d'éboulement par des remblais. Ces derniers présenteront dans leur partie aval des talus raides inclinés à raison de 100 % ou de 2 de base sur 3 de hauteur, inclinaison que permettent d'adopter et la nature pierreuse du remblai et la disposition d'un perré sec pour lequel les blocs peu équilibrés, qu'il faut faire sauter en tout état de cause, fourniront d'excellents matériaux situés à proximité. Comportant les talus raides à l'aval et adossés à une pente, ces remblais ne présentent pas en général un cube très considérable. Ce n'est qu'exceptionnellement que nous entaillons une faible partie du corps de la voie dans ces masses de débris. Bien que douées d'une poussée faible, elles seront à retenir cependant par des murs secs, généralement peu élevés. Les matériaux pour les remblais mêmes doivent être pris de façon à débayer autant que possible la partie supérieure du cône et à laisser entre la voie et la paroi du rocher une zone de terrain en contre-bas du rail qui servira à retenir d'ultérieurs éboulements.

La disposition d'un remblai avec talus raides en maçonnerie sèche est d'ailleurs celle que justifie non-seulement la pratique des routes alpestres, mais encore l'exemple du chemin de fer du Brenner. Au mont Cenis on n'a pas craint d'échancrer fortement les cônes pierreux et la pratique ne semble pas avoir fait trouver jusqu'à ce jour dans ces terrains des difficultés qui ne font pas défaut cependant dans d'autres formations de ce passage. En général dans nos combinaisons nous avons moins cherché la réduction outrée des cubes que la facilité des transports et la simplicité dans l'organisation des travaux.

La gare de Domo d'Ossola et les stations d'Iselle, Varzo et Crevola méritent quelque mention spéciale. Nous avons supposé dans chacune de ces trois dernières stations quatre voies, formant deux systèmes de couples ou demi-lunes reliées entre elles par un double branchement dont les aiguilles ne peuvent être prises qu'en talon dans le sens normal de la marche qui est à gauche, comme sur les chemins de fer français, italiens et ceux de la Suisse Occidentale.

Cette disposition permet de faire dépasser dans chaque sens un train et elle rend impossible qu'un train direct s'engage dans une fausse voie à la rencontre d'un autre train. Les voies de gare ont généralement 400 mètres entre les piquets de police. Seules les voies de Crevola deviennent un peu courtes à cause de la position très tourmentée de cette station serrée entre deux courbes, fortement rejetée vers l'aval par le passage du défilé, ce qui nous a conduit à reporter le système des voies vers l'amont pour réduire les remblais.

La gare de Domo est disposée à l'emplacement des travaux existants qui seront cependant à exhausser, la gare anciennement prévue étant très insuffisante comme surface et comme longueur de palier. Sa position par rapport à la ville est très commode. Bien que nous ayons admis comme règle des trains devant passer sans décomposition et être simplement renforcés par la double traction dans le sens Brigue, nous avons cependant supposé pour les cas exceptionnels un petit système de gare de triage avec une voie en pente commandant 5 tiroirs. La disposition du système restant des voies a été très raisonnée au point de vue des manœuvres et nous la croyons bonne. Il faudra dans cette gare un petit atelier et une demi-rotonde pour locomotives, un système d'alimentation, des remises à voitures, etc., etc.

Les dispositions assez vastes de la gare internationale de

Brigue ont été étudiées en se servant des plans d'autres gares, entre autres de celles de Modane et de Ventimiglia. La gare présente un fort remblai qui facilitera le dépôt des 700 000 mètres cubes de matériaux qui doivent sortir de la moitié nord du grand tunnel. Les bâtiments seront d'abord en règle-mur, les ateliers sont cependant disposés vers l'amont, parallèlement à la Saltine, dans un faible remblai. Cette disposition facilitera les fondations et la prise d'eau pour la force motrice.

Un examen de la position des maisons de garde démontrera que ces bâtiments occupent généralement des emplacements qui permettent une vue aussi lointaine que possible.

L'explication des couleurs ressort facilement des plans. La couleur rose s'applique à la plateforme en ballast, la couleur brune aux routes et chemins existants, la couleur jaune aux chemins corrigés et aux plateformes de voie à déchausser ou de chambres d'emprunt ou de dépôts à créer. Le talus brun signifie déblai ordinaire dans les terrains meubles, le talus vert remblai ordinaire, le talus gris violet remblai ou déblai pierreaux ou perreyé, et muni de hachures transversales, le fruit des parois en rocher. La couleur rouge foncée enfin correspond aux murs de soutènement, ouvrages d'art et bâtiments.

..

Il nous reste à parler des résultats du *jaugeage* des cours d'eau destinés à fournir la force motrice pour la ventilation et pour la perforation mécanique du tunnel. Exceptionnellement doux, l'hiver de 1876-77 n'était pas favorable pour permettre de juger exactement des minimums de quantité qui doivent se présenter pendant la période des grands froids. Ceci nous engagera à poursuivre les observations pendant l'hiver 1877-78.

En 1876-77 nous avons établi du côté sud des Alpes deux barrages dans le lit de la Diveria, situés l'un à 3 kilomètres en amont de la tête méridionale du tunnel, à l'altitude de 768^m, et l'autre à 4 kilomètres de cette tête, près du poste frontière de Gondo, à l'altitude de 828^m, soit 140 mètres environ au-dessus du niveau de l'embouchure du souterrain. Pour le cas où les eaux de la Diveria ne suffiraient pas, nous avons fait établir un barrage semblable dans la vallée de la Cherasca, située à 7 kilomètres en aval de l'embouchure méridionale du tunnel.

Chaque barrage se composait d'un chenal planchéié de 3^m 50 de largeur sur 0^m50 de hauteur et 10 mètres de longueur. La partie amont de ce chenal se raccordait à un radier également planchéié, mais ayant ses parois verticales évasées, de façon à former en plan horizontal un entonnoir. Les parois étaient solidement appuyées par de grosses pierres.

Les filtrations ne pouvaient être empêchées. Le mesurage s'est opéré par constatation de la section mouillée et de la vitesse dans le chenal étroit. Il a été exécuté tous les deux jours, d'abord par nos ingénieurs, puis après le départ de ceux-ci par les gendarmes du poste de Gondo. Les résultats moyens sont consignés dans un tableau annexé.

Les minimums ont été de 1356 litres par seconde à la Diveria et de 1200 litres par seconde à la Cherasca. Sauf les influences d'un hiver peu rigoureux, ces résultats peuvent bien être considérés comme des minimums réels, puisque les barrages perdaient encore fortement. Il est à supposer même qu'avec une bonne captation le débit pourrait être augmenté de 10-15 pour cent. C'est aux fuites régulières qu'il faut attribuer les anomalies et différences dans les jaugeages des deux barrages de la Diveria.

La colonne d'eau pouvant être portée dans les conditions de bon fonctionnement des turbines jusqu'à 180 mètres, le minimum de 1356 litres par seconde, obtenu dans la Diveria pendant l'hiver 1876-77, correspondrait à une force théorique de $\frac{1356 \text{ litres} \times 180 \text{ mètres}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 3254$ chevaux théoriques, ce qui donne environ 2000 chevaux effectifs, force bien suffisante et qui permettrait de renoncer à la Cherasca, surtout si l'emploi de perforateurs hydrauliques doit permettre une meilleure utilisation de la force.

Par des raisons de surveillance, il conviendra d'établir la prise d'eau près du poste de Gondo. Cette exigence se rencontre avec des dispositions favorables de la gorge qui se resserre peu en amont de Gondo et permet un barrage facile. Il faut dire pourtant qu'à Gondo la Diveria reçoit un affluent très important, le torrent de Stalden ou de Zwischenbergen, dont l'embouchure est située à la cote 828, soit 140 mètres seulement au-dessus de la sortie du tunnel.

Pour ne pas perdre la pression maximum de 180 mètres qui n'est pas obtenue au confluent des deux torrents, on sera obligé d'établir pour la Diveria et pour le torrent de Stalden deux prises d'eau séparées qui correspondront rationnellement à deux canalisations. On aura ainsi deux cordes à l'arc, et on pourra marcher même en cas d'avarie à l'une des prises d'eau.

La topographie du terrain aux alentours des prises d'eau a été levée avec grand soin, ainsi que celle de la grande route et du fond de la vallée sur le tronçon Iselle-Gondo, qui doit recevoir la canalisation. La suffisance probable des quantités d'eau sur le versant sud nous a fait renoncer à l'idée de rejeter sur ce versant le Kaltwasserbach, qui coule actuellement dans la Saltine et pourrait être dévié depuis les grandes galeries près du col. Les jaugeages ont d'ailleurs donné en hiver des quantités minimales pour ce cours d'eau, très abondant en été.

Du côté nord des Alpes, la situation est moins simple au point de vue des forces motrices. Nous savions d'emblée qu'il ne fallait pas compter sérieusement sur la Saltine seule. Les jaugeages de ce torrent ont en effet donné des résultats très maigres. Au mois de janvier 1877 la quantité est descendue à 150 litres par seconde. Force est ici de recourir au Rhône. Le débit minimum de ce fleuve sous le pont de Naters, en amont de l'embouchure de la Saltine, a été trouvé d'environ 11 000 litres par seconde.

En barrant le Rhône à 2 kilomètres en amont de ce point, à l'embouchure de la Massa, on obtient une chute de 8 à 9 mètres seulement, qui ne donnerait guère que 800 chevaux de force effective. Depuis ce confluent, le lit du Rhône devient plus rapide et le fleuve prend le caractère torrentiel. La Massa est en été presque aussi forte que le Rhône, mais ses eaux en hiver sont insignifiantes et n'atteignent guère que le 15 à 20 pour cent des quantités fournies par le cours d'eau principal. Il ressort de cette situation, que nous ferons élucider encore pendant l'hiver 1877-78, qu'il sera préférable de renoncer au débit de la Massa et de reporter la prise d'eau dans le Rhône même, à 3 kilomètres en amont de ce confluent, près du défilé de Hochfluh, à la cote 720, où l'on obtiendra une chute de près de 50 mètres et un terrain plus favorable pour le barrage. Les levés au $\frac{1}{1000}$ ont été également étendus jusqu'à Hochfluh.

..

L'étude géologique du tunnel a été confiée en automne 1877 à trois savants distingués : MM. les professeurs *Renevier*, de

Lausanne, Lory, de Grenoble, et Heim, de Zurich. Ces experts ont parcouru la montagne dans les derniers jours du mois d'août, leur rapport n'est pas encore connu, mais nous pouvons dire que leur impression est très favorable. Parmi les questions spéciales qui ont été posées, celle qui se rapporte aux filtrations qui pourraient être à craindre, au point où la ligne intermédiaire se rapproche du lit de la Saltine, traversant en ce point des roches de schistes lustrés et calcaires, a reçu une réponse plutôt favorable. Si des filtrations ne sauraient être évitées, elles seront selon toute probabilité peu importantes, infiniment moins importantes par exemple que celles qu'on rencontre au tunnel du Gothard près d'Airolo.

La configuration géologique du tunnel est du reste déjà élucidée par les travaux préparatoires d'un géologue de distinction, feu M. Gerlach. On traverse sur la partie nord les schistes lustrés, et les schistes calcaires jusqu'à la vallée de la Ganther. De là jusqu'au milieu du tunnel alternent des massifs plus ou moins épais de micaschistes, schistes amphiboliques et serpentineux. La partie méridionale du tunnel est encore composée de roches métamorphiques très compactes, essentiellement des gneiss granitiques de la vallée d'Antigorio. Ces gneiss sont très délités et donnent de beaux matériaux qui trouveront un utile emploi dans les travaux. On les retrouve dans plusieurs ouvrages de la route du Simplon, entre autres dans le monumental pont de la Cherasca, à 6 kilomètres en aval d'Iselle. On s'en sert dans l'Ossola pour faire des boute-routes, des clôtures, des supports de treilles et jusqu'aux poteaux du télégraphe, qui sont formés de longues et étroites dalles de gneiss.

**

Le conférencier s'arrête à ces données très générales, données déjà longues pour l'objet d'une séance, bien qu'elles ne fournissent encore qu'un faible aperçu des travaux exécutés. C'est avec un sentiment de vive satisfaction qu'il rend hommage au mérite de ses principaux collaborateurs, MM. les ingénieurs A. Weiss, de Berne, Alfred Emery, du canton de Vaud, G. Rey, de Genève, et M. le docteur Dorst, de Cologne, ancien ingénieur du Berne-Lucerne, autrefois attaché à l'une des expéditions vers le pôle arctique. C'est avec une satisfaction non moins grande que le conférencier soumet la primeur de ses études à ses collègues de la Société vaudoise des ingénieurs et architectes. Ces études forment aujourd'hui une base sérieuse et complète pour les devis, une démonstration irrécusable de la facilité du passage du Simplon, dont les accès nord seront entièrement livrés à l'exploitation en 1878 et dont les accès méridionaux ne comportent que 18 kilomètres de ligne moins facile, et dont 12 kilomètres seulement peuvent être rangés parmi les chemins d'une exécution proprement dite difficile.

Espérons, conclut M. Lommel, que cette question, qui préoccupe si vivement et à si juste titre le canton de Vaud, fera sous peu un grand pas. La compagnie du Simplon l'a courageusement abordée et elle a entrepris un travail qui présente presque une légère disproportion avec ses forces actuelles, en consacrant près de cent mille francs aux études dont vous voyez les résultats. Mais dans la recherche des grands résultats il faut toujours risquer un enjeu. Le succès appartient au courage et à l'initiative et cette dernière manque rarement son but si elle est jointe à la persévérance, et si elle a pour objectif une solution fondamentalement vraie et bonne.

LE CHEMIN DE FER DE JOUGNE A ECLÉPENS

Par M. PEREY, ingénieur.

Deuxième partie.

DÉPENSES DE CONSTRUCTION

L'entreprise générale n'ayant pas, à notre connaissance du moins, communiqué de renseignements officiels sur le coût réel de la construction, et les archives de la Compagnie de Jougne ne laissant rien d'exact à cet égard, nous sommes dans l'impossibilité de donner un chiffre précis et devons nous borner à émettre quelques hypothèses appuyées sur des renseignements ou faits particuliers qui nous permettront de l'établir d'une façon approximative.

Nous avons d'abord un devis estimatif, très résumé, arrêté par le conseil de la Compagnie à la date du 22 février 1868, accusant comme dépenses proprement dites de construction 8 200 000 fr., mais qui ne donne ni les quantités d'ouvrages ni les prix d'unité.

Nous avons ensuite un devis estimatif détaillé, dressé par le contrôle de l'Etat en 1868 ou 1869, sur des bases sérieuses comme quantités et prix, montant à 6 400 000 fr., sans les frais généraux et le service des capitaux (voir annexe I), et que nous résumons et mettons en comparaison avec le premier dans le tableau ci-dessous :

Nature des dépenses.	Devis de la Compagnie. Fr.	Devis du Contrôle Fr.
Acquisitions de terrains.....	772 200	600 000
Terrassements et ouvrages d'art.	4 792 960	3 105 355
Voies et accessoires	1 364 840	1 056 000
Stations et maisons de gardes ...	225 000	304 300
Clôtures et télégraphes	50 000	51 600
Matériel fixe et outillage.....	100 000	131 950
Matériel roulant	870 000	872 500
Mobilier des gares	25 000	20 000
Imprévu.....	»	258 295
Total pour les travaux...	8 200 000	6 400 000
Frais généraux d'administration .	3 695 000	?
Service des capitaux		
Perte sur la valeur nominale des titres.....		
Déficit d'exploitation		
Total général...	11 895 000	?

D'un autre côté, voici quelles seraient les valeurs que l'entreprise aurait retirées en réalisant les titres actions et obligations de la Compagnie qu'elle avait en mains :

6424 actions, vendues 140 fr., font fr.	899 360	} 4 287 360
14 000 obligations » 242 » » »	3 388 000	
A ajouter le montant des subventions.	Fr. 3 695 000	
Total minimum	Fr. 7 982 360	

En outre l'entreprise a dû retirer une certaine somme des autres titres déjà placés ou qu'elle conservait en mains, lesquels représenteraient, en leur attribuant le même prix, ce qui est très exagéré :

1776 actions . . à 140 fr. l'une . .	Fr. 248 640	} 829 440
2400 obligations à 242 fr. » . .	» 580 800	
Total maximum	Fr. 8 811 800	

Les sommes encaissées par l'entreprise Alazard sont donc comprises entre 7982360 fr. et 8811800 fr., et il est bien connu qu'elle a réalisé un beau bénéfice malgré les frais exceptionnels occasionnés par les glissements de terrains, la perte d'un grand nombre de procès, le déficit de trois ans d'exploitation (100 000 fr. au moins), l'intérêt sur les avances qu'elle avait dû faire en sus des subventions, jusqu'au moment où elle a réalisé ses titres (1872), c'est-à-dire pendant trois ans environ, etc., etc.

De tout ce qui précède nous croyons pouvoir déduire que la construction proprement dite n'a pas coûté plus de 6 millions, (sans les frais généraux et le service des capitaux), soit environ 200 000 fr. le kilomètre. Nous avons pu vérifier une bonne partie des prix portés dans le devis du contrôle et nous les avons trouvés notablement supérieurs aux prix réellement dépensés, et cette différence compense amplement les augmentations de quantités qui se sont produites sur les terrassements et ouvrages d'art; enfin une partie du matériel prévu n'a pas été fourni. (Matériel roulant, 570 000 fr., au lieu de 870 000.) En général les travaux, surtout les terrassements et ouvrages d'art, ont été bien menés et exécutés très économiquement, mais, comme nous l'avons dit, le parachèvement laissait beaucoup à désirer.

EXPLOITATION, RACHAT PAR LA SUISSE OCCIDENTALE

La ligne a été ouverte à l'exploitation entre Cossonay et Vallorbes le 1^{er} juillet 1870, d'abord avec trois trains dans chaque sens, puis avec deux, minimum prévu dans la concession.

L'exploitation et l'entretien se sont faits par et pour compte de l'entreprise Alazard jusqu'au 30 juin 1873, mais les résultats n'en ayant pas été communiqués officiellement, ici encore nous ne pouvons donner de renseignements positifs et complets; toutefois le chiffre des recettes en 1873 et 1874 montre clairement qu'elles n'ont pas dû couvrir les dépenses d'exploitation les années précédentes.

Comme trafic local la ligne de Jougne ne dessert qu'une faible population et ne la relie pas directement avec ses centres d'affaires naturels. En effet, la population immédiate, c'est-à-dire celle des localités de Vallorbes, Croy-Romainmotier, Arnex et La Sarraz en totalité et le tiers de celle de Penthalaz-Cossonay (les deux autres tiers étant attribués aux directions sur Lausanne et Yverdon) n'atteint que 4600 âmes, soit 144 par kilomètre, tandis qu'elle est de 260 sur les lignes de la Broye.

En appliquant à cette population la règle donnée par M. l'ingénieur Michel, on trouve une recette kilométrique de

$$4600 \times 0 \text{ fr. } 60 = 2760 \text{ fr.}$$

La population totale desservie, c'est-à-dire celle de toutes les localités dont les gares de cette ligne forment les débouchés naturels, est de 18 000 âmes, mais, pour tenir compte des difficultés qu'opposent la distance, la topographie du pays, l'état des voies d'accès, la concurrence des routes ou celle d'autres voies ferrées, nous la ramenons à un total de 12 000 qu'on peut considérer comme norme de la population locale desservie.

Nous donnons dans le tableau annexe II les coefficients de trafic pour chaque station rapportés à ces deux bases de population, c'est-à-dire à la population directe (base de M. Mi-

chel) et à la population intéressée, pour l'année 1874, dernière année d'exploitation complète comme ligne purement locale. Ces coefficients sont notablement inférieurs à ceux constatés sur d'autres lignes du pays, mais on peut remarquer une amélioration progressive.

On voit que pour toutes les gares, sauf Cossonay, le trafic local a très sensiblement augmenté par suite de l'ouverture jusqu'à Pontarlier, qui s'est faite le 1^{er} juillet 1875; l'ensemble des recettes a quadruplé de 1872 à 1876.

Quant au transit, il n'a pas pris l'importance qu'on pouvait attendre, mais il est facile de se rendre compte de ce fait et de voir que sans le Simplon la ligne de Jougne ne peut prétendre à un transit proprement dit, mais servir seulement de débouché pour la vallée du Rhône, la rive nord du Léman, Fribourg et Yverdon, dans leurs relations avec Pontarlier, Dijon-Paris, l'ouest et le nord-ouest de la France; en outre, tant que la fusion avec la Suisse Occidentale n'était pas complète, il restait quelques entraves au développement de ce trafic, qui ne peut manquer de s'accroître.

Le tableau ci-après nous montre les distances comparatives de quelques localités, suivant qu'on emprunte la ligne de Jougne ou les voies concurrentes des Verrières, du Jura bernois ou de Genève.

	Via Jougne.....	58 kilom.
Cossonay-Pontarlier..	» Auvernier.....	104 »
	» Neuchâtel.....	115 »
	» Jougne (Jonct. Daillens).	72 »
Yverdon-Pontarlier ..	» Cossonay-Jougne ..	82 »
	» Auvernier.....	81 »
	» Neuchâtel	92 »
Payerne-Pontarlier...	» Jougne (jonct. Daillens).	100 »
	» Auvernier.....	109 »
	» Lyss.....	137 »
Berne-Pontarlier	» Jougne (jonct. Daillens).	155 »
	» Yverdon-Auvernier.	164 »
	» Bienne.....	118 »
Lausanne-Paris	» Jougne.....	526 »
	» Auvernier.....	572 »
	» Genève	685 »
Genève-Paris	» Jougne	574 »
	» Ambérieux.....	624 »
	» Auvernier.....	620 »

Il résulterait des chiffres ci-dessus que le trafic de Pontarlier, ou Dijon-Paris, attribuable à la ligne de Jougne, d'après la plus courte distance, aurait pour limites les gares ci-après :

Ligne Yverdon-Neuchâtel. Grandson.

- » Lausanne-Genève.. En entier à la ligne de Jougne.
- » Lausanne-Louèche-Simplon. — d° —
- » Genève-Lyon..... A 18 kilom. au delà de Genève.
- » Payerne-Lyss..... Faoug.
- » Fribourg-Berne.... Schmitten.

La région desservie par la ligne de Jougne comprendrait donc (pour la destination Dijon-Paris) les cantons de Valais, Vaud, Fribourg et Genève, mais il serait plus conforme à la réalité d'en sortir le trafic de ce dernier canton que la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée aura bien soin de conserver.

La recette brute kilométrique, qui était de 2710 fr. en 1872

et de 3141 en 1874, s'est élevée en 1876 à 9500 fr., sur lesquels le trafic local entre pour 2623 fr. environ et le transit pour 6877 fr.

Nous n'avons pas de renseignements sur les dépenses pen-

dant les trois années d'exploitation par l'entreprise Alazard, mais on peut compter sur un déficit d'au moins 100 000 fr. Pour les années suivantes les résultats en sont consignés dans le tableau ci-après :

	Longueur moyenne exploitée	RECETTES		DÉPENSES		DÉFICIT		BÉNÉFICE	
		Totales	Par kilomètre	Totales	Par kilomètre	Total	Par kilomètre	Total	Par kilomètre
		Francs	Francs	Francs	Francs	Francs	Francs	Francs	Francs
1870	16								
1871	32								
1872	32	86 729	2 710						
1873	16	43 273	2 705						
	16	49 081	3 068	71 190	4 449	22 109	1 382	—	—
1874	32	100 524	3 141	218 078	6 815	117 554	3 674	—	—
1875	33	216 327	6 555	263 428	8 000	47 101	1 445	—	—
1876	35	332 492	9 500	294 054	8 400	—	—	38 438	1 100

N.B. Les chiffres ci-dessus ne comprennent que les dépenses proprement dites d'exploitation et d'entretien, et non les intérêts et l'amortissement du capital de construction.

En 1872 la perspective d'une prochaine ouverture de la partie française qui tirerait la partie suisse de son isolement, et d'une ligne en cul-de-sac ferait une ligne de transit, vint donner une valeur réelle aux titres de la Compagnie de Jougne, qui jusqu'alors n'avaient pas inspiré une grande confiance et se trouvaient encore en majeure partie dans les mains de l'entreprise Alazard. A la suite de négociations la Compagnie de l'Ouest racheta pour la Suisse Occidentale, qui n'était pas encore régulièrement constituée comme Compagnie propriétaire :

5424 actions sur un total de 8200

14000 obligations sur un total de 16 400

et devint ainsi prépondérante dans les assemblées générales de la Compagnie de Jougne, qui fut cependant conservée comme Compagnie distincte jusqu'à la fin de 1876 où la fusion est devenue définitive et complète.

Du 1^{er} juillet 1873 au 31 décembre 1876, l'exploitation et l'entretien de cette ligne se sont faits par la Suisse Occidentale pour compte de la Compagnie de Jougne, qui a été débitée des frais d'exploitation et des dépenses encore plus considérables, nécessitées par le parachèvement de la ligne, l'intérêt et l'amortissement du capital obligations.

Les recettes d'exploitation pendant ces trois années et demi ayant été de beaucoup insuffisantes à couvrir ces diverses dépenses, il en est résulté un découvert total de 1 220 850 fr. avancé par la Suisse Occidentale à la Compagnie de Jougne, en sorte que le prix de revient à la Suisse Occidentale de la ligne de Jougne se chiffrait comme suit, au 31 décembre 1876 :

Achat de 6424 actions	Fr. 942 400
Echange des 1776 autres actions, à raison de 5 actions J. E. contre une action Suisse Occid. »	39 465
Capital représenté par 16152 obligations non amorties	» 4 038 610
Travaux divers de parachèvement fr. 72 746	» 212 000
Travaux d'agrandissement de la gare de Vallorbes » 140 136	
Découverts d'exploitation, compris l'intérêt et l'amortissement des obligations, l'intérêt sur les avances de la Suisse Occidentale, etc.	» 1 005 105
Total	Fr. 6 240 715

soit par kilom. de ligne $\frac{6\,240\,715}{29,3} = 213\,000$ fr. nombre rond

et par kilom. exploité $\frac{6\,240\,715}{35} = 178\,300$ fr. » dont

l'intérêt au 6 % serait de 374 445 fr., soit 10 698 fr. par kilom. exploité. Il n'est donc pas à prévoir que de longtemps la Suisse Occidentale puisse être couverte de ses avances, mais il y évidemment pour elle un intérêt majeur à devenir propriétaire avant de cette ligne, même au prix de sacrifices momentanés.

Outre les 212 774 fr. pour travaux de parachèvement et agrandissement portés ci-dessus, il en a été exécuté pour une somme d'environ 260 000 fr. qui a été couverte par l'entreprise Alazard, ensuite de transaction ; et il faut prévoir une somme assez ronde pour ceux restant à faire.

SECTION FRANÇAISE DE LA LIGNE DE JOUGNE

Cette section s'étend entre la frontière près Vallorbes et le fort de Joux, où elle vient rejoindre la ligne de Dôle à Neuchâtel, sur une longueur de 18 901^m49.

Nous avons expliqué plus haut comment, malgré les vives instances de l'Etat de Vaud, appuyées des ingénieurs français du contrôle, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fut autorisée à employer des rampes de 25 m/m et des rayons de 300^m et à construire tout pour une seule voie.

La cote du rail à la frontière est de 860^m13 au-dessus de la mer ; de là le tracé s'élève en rampe de 25 m/m jusqu'à l'entrée du grand tunnel, où elle est réduite à 20 m/m, et arrive par une malencontreuse contre-pente de 20 m/m (la seule entre la gare des Hôpitaux et Cossonay) à la gare des Hôpitaux-Neufs ; à peu de distance, entre les villages de Touillon et des Hôpitaux-Vieux, se trouve le point culminant, à la cote 1014^m41, d'où la ligne descend sur Pontarlier avec des pentes de 23 m/m au maximum.

Jusqu'au tunnel de Jougne, le tracé suit, à mi-côte, la rive droite de la Jougne, traverse par-dessus la route nationale, la longe de très près jusqu'à l'entrée du village de Jougne, où il la franchit de nouveau par un petit tunnel. Enfin le village et le col proprement dit de Jougne sont traversés par le grand tunnel qui amène la ligne sur un plateau mouvementé sur

lequel est établie la gare des Hôpitaux ; de là, elle contourne à l'occident, puis rejoint la route qu'elle longe continuellement jusqu'à Pontarlier, en se développant dans le petit vallon qui donne naissance à la fontaine intermittente et au ruisseau de Fontaine-Ronde. Sur toute la section française le rayon descend à 300^m pour la plupart des courbes, mais l'ensemble du tracé est assez direct et ne forme pas des lacets très prononcés.

La contrée traversée est froide, sauvage, couverte de forêts et peu peuplée, surtout entre les Hôpitaux et le Frambourg ; les localités les plus importantes sont les villages de Jougne et des Hôpitaux, dont la gare servira aussi de débouché à plusieurs villages voisins.

Près du point de jonction avec la ligne des Verrières, mais un peu avant, se trouve la station de Frambourg, beaucoup moins importante que la première. Du point de raccordement la ligne de Jougne emprunte la seconde voie de la ligne des Verrières jusqu'à Pontarlier, gare de jonction des deux lignes, sur un parcours de 4 kilomètres. La distance totale, entre la frontière suisse près Vallorbes et Pontarlier, est de 22 769^m34.

On voit que, par la gare de Pontarlier, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée commande à la fois les deux lignes de Jougne et des Verrières, comme le fort de Joux commande les deux passages au point de vue militaire.

Les travaux ont été commencés en 1872 et terminés pour le 1^{er} juillet 1875, date de l'ouverture à l'exploitation.

Les difficultés rencontrées, abstraction faite du grand tunnel, sont moins grandes que pour la partie supérieure de la section suisse ; les terrassements sont moins considérables, les ouvrages d'art peu nombreux et peu importants ; la nature du terrain était aussi plus favorable et l'on n'a pas eu de mouvements de terrain à arrêter. Les travaux de terrassements et ouvrages d'art, murs de soutènement, perrés, etc., ont été très bien exécutés et parachevés et font un contraste frappant avec ceux de la partie suisse ; mais le fini de la surface ne peut malheureusement pas racheter la faiblesse du fond, c'est-à-dire les fortes rampes et les courbes de petit rayon.

Nous noterons comme travaux en dehors du courant les estacades en bois ou parapets maçonnés placés à la crête du talus de quelques tranchées pour retenir les blocs de rocher qui pourraient se détacher de la montagne.

Le grand tunnel de Jougne a une longueur de 1662^m, il est en rampe de 20^m/m et en alignement, sauf la partie inférieure qui est en courbe de 400^m de rayon. Il a été percé au moyen de cinq puits, dont les trois du centre ont été maçonnés et conservés comme cheminées pour l'aérage et l'évacuation de la fumée. Il est à simple voie et presque entièrement revêtu de maçonnerie.

Tout près se trouve un petit tunnel de 60^m, sous la route ; il n'y a pas, d'autre ouvrage d'art important.

Voici quel serait d'après des renseignements dus à l'obligeance de M. Lafage, chef de section de la construction, le coût approximatif des travaux.

Terrassements 537 000 ^m 3		Fr. 1 155 000	
Tunnels 1722 ^m 1 à 1120 fr....	Fr. 1 928 640		
Puits du tunnel.....	» 50 000	» 2 355 000	
Autres ouvrages d'art.....	» 376 360		
Pose de voie et ballastage, sans le matériel....	» 140 000		
Bâtiments des stations et maisons de gardes...	» 154 000		
Matériel de voie, matér. fixe, clôture, terrains, etc.	» 1 226 000		
Dépense totale.....		Fr. 5 000 000	

$$\text{Soit par kilom. de ligne } \frac{5\,000\,000}{19} = 263\,000 \text{ fr.}$$

mais il est probable que dans cette somme sont compris la fourniture de matériel, la pose et le ballastage de la double voie entre le fort de Joux et Pontarlier, en sorte que la dépense kilométrique effective se réduirait à 250 000 fr. environ (150 000 fr. sans le tunnel), non compris les frais généraux.

Par convention du 20 janvier 1874 avec la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, la Suisse Occidentale s'est chargée de l'exploitation et de l'entretien des deux sections de Pontarlier à Vallorbes (22*740) et de Pontarlier aux Verrières (11 294^m35) pour le prix de 10 000 fr. par an et kilomètre, tant que la recette brute kilométrique de ces deux sections ne dépasse pas 25 000 ; au delà le prix serait de 40 % de la recette brute. La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée encaisse les recettes et la Suisse Occidentale doit en outre payer l'intérêt au 5 % des deux tiers du capital engagé dans les installations de la gare commune de Pontarlier, en sorte que le bénéfice de la Suisse Occidentale est assez problématique.

Pour terminer nous résumerons cette modeste étude en disant :

Que la réalisation de la voie ferrée de Jougne, à l'époque où elle s'est produite, et sans qu'on fût assuré du raccordement à la frontière française, doit être reportée à la persévérance et au courage de la population vaudoise et de son gouvernement, qui n'ont pas craint d'y consacrer des sommes considérables et hors de proportion avec les avantages immédiats que le pays pouvait en retirer, en se plaçant à un point de vue plus élevé, celui de la construction d'une grande ligne de transit par le Simplon, dont la ligne de Jougne formait un nouveau chaînon.

Que la construction proprement dite, par une entreprise générale et sous le contrôle de l'Etat, a été faite convenablement et plus économiquement qu'elle n'aurait pu l'être par une Compagnie construisant elle-même ; mais qu'elle n'était pas achevée, notamment en ce qui concerne les travaux de revêtement, consolidation et assainissement des talus, ce qui explique la somme de près de 500 000 fr. déjà dépensée en parachevements, sans compter ce qui sera encore nécessaire.

Que le trafic local s'est montré inférieur à ce qu'on pouvait prévoir, même avec le chiffre très réduit de la population desservie, mais qu'il a suivi une progression constante.

Que le transit n'a pu et ne peut avoir une très grande importance tant que le Simplon n'est pas ouvert.

Que, pendant un certain nombre d'années encore, l'excédant des recettes sur les dépenses d'exploitation et d'entretien ne pourra suffire à couvrir l'intérêt et l'amortissement des obligations et celui des avances faites par la Suisse Occidentale, alors même que le déficit, qui était de 376 000 fr. en 1874, soit descendu à 220 000 fr. en 1876, grâce à l'ouverture de la section française.

Que les capitaux nécessaires à son achat étant déjà réalisés, cette ligne ne constituera pas une nouvelle charge pour la Suisse Occidentale par suite de sa fusion complète avec elle.

Que des intérêts d'un ordre supérieur obligeaient la Suisse Occidentale à reprendre la propriété de cette ligne dont elle avait dès l'origine reconnu l'importance et obtenu la concession, même au prix de sacrifices momentanés, à moins d'abdiquer toute vue et toute influence sur le Simplon.

Lausanne, 10 septembre 1877.

A. PEREY, ingénieur.

INDICATION DES OUVRAGES	UNITÉ DE MESURE	QUANTITÉS	PRIX DE L'UNITÉ	SOMMES		
				PARTIELLES	PAR OUVRAGE	TOTALES
<i>Report,</i>						
VII. Passages à niveau.						
P. N. avec maison de garde		12	—	3500	—	42000
» » guérite		10	—	1000	—	10000
» » sans guérite		6	—	500	—	3000
» particuliers et à piétons		20	—	200	—	4000
						59000
VIII. Stations.						
Station de la jonction		1	—			50000
» de la Sarraz et d'Arnex		2	—			70000
» Croix		1	—			46300
» Vallorbes		1	—			79000
Mobilier des stations						20000
						265300
IX. Clôtures et télégraphe.						
Clôture courante, y compris haie vive	Kilom.	40000	—	1	—	40000
Télégraphe		29000	—	400	—	11600
						51600
X. Matériel fixe et outillage.						
Changements et croisements		28	—	1800	—	50400
Ponts tournants pour locomotive		2	—	15000	—	30600
Plaques tournantes		4	—	4000	—	16000
Chariots roulants		2	—	1500	—	3000
Disques-signaux		11	—	500	—	5500
Arrêts-mobiles		5	—	100	—	500
Poteaux kilométriques		30	—	10	—	300
» de pente		50	—	10	—	500
Piquets pour le tracé définitif		600	—	—	75	450
Gabarits de chargement		5	—	200	—	1000
Grues fixes		5	—	2500	—	12500
» roulantes		1	—	3000	—	3000
Ponts-basculés		2	—	3000	—	6000
Outillage de la voie						2800
						131950
XI. Matériel roulant.						
Matériel roulant	Kil.	29	—	30000	—	870000
Outillage des machines						2500
						872500
<i>Total,</i>						6141705
<i>A valoir pour dépenses non prévues,</i>						258295
<i>Montant total de l'estimation,</i>						6400000

LIGNE DE JOUGNE

Annexe N 2.

RÉSUMÉ DU MOUVEMENT ET DES RECETTES D'EXPLOITATION

	POPULATION		EXERCICES	VOYAGEURS EXPÉDIÉS						MARCHANDISES EXPÉDIÉES						RECETTES		RECETTE par kilomètre exploité — Francs	
	immédiate	desservie		NOMBRE			PRODUITS — Francs			POIDS — Tonnes		PRODUITS — Francs		TOTALES — Francs					
A. Par gares d'expédition.																			
Cossonay	500	2500	1874	11.7	5849	2.3	12.0	5979	2.4	1.2	577	0.2	4.5	2251	0.9	16.9	8460	3.4	
			75		4656			4880			519			1958			7182		
			76		3773			4114			293			1643			6205		
La Sarraz	800	2300	1874	13.5	10815	4.7	7.0	5603	2.4	1.3	1013	0.4	3.0	2375	1.0	10.4	8296	3.6	
			75		10745			5864			1148			2511			8825		
			76		12197			7026			1398			3037			10683		
Arnex	600	1000	1874	6.2	3723	3.7	3.8	2312	2.3	0.5	280	0.3	1.3	773	0.8	5.0	3185	3.2	
			75		4609			3246			271			807			4224		
			76		5897			4207			379			1041			5455		
Croy-Romainmotier	700	3200	1874	11.9	8343	2.6	9.0	6299	2.0	4.1	2928	0.9	10.0	6975	2.2	19.7	13780	4.3	
			75		8707			6752			2888			6761			14202		
			76		10930			9001			4274			9707			19490		
Vallorbes	2000	3000	1874	5.7	11363	3.8	7.5	14931	5.0	1.7	3473	1.2	7.4	14712	4.9	15.2	30404	10.1	
			75		15078			16572			3945			16109			40465		
			76		16795			17904			4858			17198			51557		
B. Total pour le trafic local.																			
	4600	12000	1874	8.7	40093	3.3	7.6	35124	2.9	1.8	8270	0.7	5.8	27168	2.3	13.9	64125	5.3	2004
			75	9.5	43795	3.6	8.1	37314	3.1	1.9	8821	0.7	6.1	28145	2.3	16.5	74898	6.2	2270
			76	11.4	52386	4.4	9.8	44826	3.7	2.4	11204	0.9	6.7	31029	2.6	20.0	91792	7.6	2622
C. Transit et divers.....																			
			1874		13812			14351			6003			21148			36400		1138
			75		31624			59136			16812			73990			141429		4286
			76		46333			94125			28596			129587			240700		6877
D. Totaux annuels.....																			
			Longueur																
			Kilom. 16	1870															
			> 32	71															
			> 32	72		45617			42466			12038			42398			86729	2710
			> 32	73		46565			42968			13436			46534			92354	2884
			> 32	74		53905			49475			14273			48316			100524	3141
			> 33	75		75419			96450			25633			102135			216327	6555
> 35	76		98719			138952			39800			160616			332492	9500			

N. B. Les chiffres en petit caractère placés à gauche de ceux exprimant les nombres, poids ou produits, donnent le trafic par habitant de population immédiate et les chiffres placés à droite, le trafic par habitant de population intéressée.