

Fribourg, le 18. Décembre 1886.



**LE PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ÉTAT  
DU CANTON DE FRIBOURG,**

*Chemin de fer  
21. XII. 86.*

Au Haut Conseil fédéral suisse,  
à Berne.

*J*

Très honorés Messieurs,

*lettre  
21. XII. 86.*

*W*

Nous avons l'honneur de vous transmettre 15 exemplaires du rapport des experts chargés par la conférence intercantonale du 5 Janvier dernier, dont nous vous avons déjà transmis le procès-verbal, d'examiner les différents projets relatifs à la traversée du Simplon. Si vous désirez en recevoir un plus grand nombre, nous nous empresserons de vous les faire parvenir.

Nous attendons pour la convocation d'une nouvelle conférence que la Compagnie des chemins de fer de la Suisse occidentale-Simplon nous ait fait connaître, comme nous le lui avons demandé, ses vues sur le choix du tracé et les dispositions qu'elle se propose de prendre pour son exécution.

Veillez agréer, très honorés Messieurs, l'assurance de notre considération distinguée.

J. De Président,  
*Chs. Wolf*

*Verteilung*  
2 Ex. adm. hist.  
6 Ex. techn.  
1 Ex. l'arr.  
Rest archiv.

*15.  
Bachmann, 2 part.*

10133/86

Cheminier  
21. 24. 86

# RAPPORT DES EXPERTS

SUR LE

# Percement du Simplon



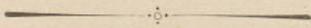
LAUSANNE

IMPRIMERIE ADRIEN BORGEAUD, CITÉ-DERRIERE, 26

1886

B.

PERCEMENT DU SIMPLON



**RAPPORT DES EXPERTS**

**1886**

RAPPORT DES EXPERTS

SUR LE

# Perceement du Simplon

---

o

LAUSANNE

IMPRIMERIE ADRIEN BORGEAUD, CITÉ-DERRIERE, 26

—  
1886

# PRÉAMBULE

---

Les délégués des cantons de la Suisse romande : Fribourg, Vaud, Valais, Genève et Neuchâtel, de la Compagnie des chemins de fer de la Suisse-Occidentale et du Simplon, et de la Banque nouvelle des chemins de fer suisses, réunis en conférence le 22 mars 1886, à Lausanne, ont chargé

MM. Ernest Polonceau, Ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer d'Orléans, à Paris,

Doppler, Oberbaurath, Oberinspector der k. k. Generaldirection der oesterr. Staatsbahnen, à Vienne,

W. Huber, ingénieur civil, à Paris,

J. Dumur, » » à Lausanne,

d'examiner les différents projets présentés pour la traversée du Simplon et de répondre aux questions du programme ci-après :

## **I. Projet de la Société des anciens établissements Cail.**

1<sup>o</sup> Quelle est la valeur du projet présenté par cette Société, tant au point de vue de la construction qu'à celui de l'exploitation ? — Quels en seraient les avantages et les inconvénients, spécialement au point de vue :

a) du coût ;

b) du débit, de la facilité et de la rapidité du transport ;

c) de la sécurité.

2<sup>o</sup> Conviendrait-il pour un passage de l'importance du Simplon ?

## **II. Projet de chemin de fer à voie et à système d'exploitation normaux.**

1<sup>o</sup> Quelle est la valeur comparative des projets présentés, au point de vue de la construction et de l'exploitation ?

2<sup>o</sup> Peut-on admettre la construction d'un tunnel à une seule voie ? — Quels en seraient les avantages et les inconvénients au point de vue :

a) du coût ;

b) de la ventilation ;

c) du débit.

**III. A quel projet les experts donnent-ils la préférence ?**

Quelles sont éventuellement les modifications proposées par les experts à ces différents tracés de manière à réduire le coût le plus possible tout en présentant des conditions d'exploitation aussi faciles que les passages alpins voisins.

Les experts auraient également à répondre aux questions qui pourraient leur être soumises, en cours d'expertise, par l'une ou l'autre des parties représentées à la conférence.

---

En outre, les projets ci-après ont été remis ultérieurement aux experts :

- a) Projet système Fell ;
- b) Projet système Agudio.

# RAPPORT DES EXPERTS

SUR LE

## PERCEMENT DU SIMPLON

---

Les experts soussignés ont l'honneur de remettre leur rapport sur les divers projets de traversée des Alpes par le Simplon.

Ils croient nécessaire d'exposer tout d'abord sommairement la situation du tracé du Simplon par rapport au St-Gothard et au Mont-Cenis.

Il n'existe aucune règle certaine pour tracer avec précision la ligne de partage entre deux courants commerciaux, par la raison que les préférences des voyageurs ou des expéditeurs dépendent de considérations diverses de prix, de temps, de formalités douanières ou autres, de responsabilité des transporteurs, de nationalité, etc.

Quelques cas particuliers permettent cependant de raisonner sur l'importance du trafic de la ligne du Simplon, importance qui a eu une grande valeur dans la décision de vos experts.

Voici les distances réelles et les distances virtuelles pour les traversées des Alpes entre diverses principales villes importantes :

*(Voir le tableau à la page suivante.)*

Tous les trains de voyageurs de Bâle pour le Gothard passent par Lucerne; les trains de marchandises passent par la voie la plus courte d'Aarau, Rapperswyl, Rothkreutz.

La ligne de Domo d'Ossola à Gozzano sera ouverte en 1887; celle d'Arona n'est pas classée, mais la province de Milan en demande le classement et il est probable qu'elle se fera lorsque le Simplon sera percé.

Il résulte de ce tableau que les voyageurs qui passent actuellement par le Mont-Cenis et le St-Gothard prendront la route du Simplon, puisque c'est le chemin le plus court de Paris et Boulogne vers Milan et Plaisance, et que, pour les directions Bâle-Gênes, Belfort-Milan, les voyageurs préféreront la traversée du Simplon, si le service s'y fait facilement, commodément et sans transbordements. Les touristes, après avoir visité le Valais, prendront cette voie pour passer en Italie.

Pour les marchandises de Paris et de Boulogne à Milan et à Plaisance, c'est la voie la plus courte,

## DISTANCES RÉELLES ET VIRTUELLES POUR DIVERSES TRAVERSÉES DES ALPES

d'après les formules d'Amiot.

PASSAGES	Belfort-Milan			Paris-Milan			Boulogne-Plaisance			Bâle-Milan			Bâle-Gênes			Belfort-Gênes				
	Distances en kilom.			Distances en kilomètres			Distances en kilomètres			Distances en kilom.			Distances en kilom.			Distances en kilom.				
	Réelles.	Majoration virtuelle.	Virtuelles.	Réelles.	Majoration virtuelle.	Virtuelles.	Réelles.	Majoration virtuelle.	Virtuelles.	Réelles.	Majoration virtuelle.	Virtuelles.	Réelles.	Majoration virtuelle.	Virtuelles.	Réelles.	Majoration virtuelle.	Virtuelles.		
Mont-Cenis . . . . .	719 70	118 80	838 50	945 70	110 30	1056 --	1268 53	140 30	1378 83	704 --	186 54	890 54	719 93	201 64	921 57	735 68	133 90	869 58		
Simplon {	via Arona . . .	525 --	109 74	634 74	834 14	145 13	979 27	1156 48	135 19	1291 67	497 71	105 64	603 35	--	--	--	--	--		
	via Gozzano . . .	540 85	120 74	661 59	850 --	156 13	1006 13	1160 26	146 19	1306 45	513 56	116 64	630 20	606 07	131 74	737 81	686 73	134 84	821 57	
Gothard {	via Lucerne {	Mulhouse	465 77	159 32	625 09	908 67	159 37	1068 04	1188 20	159 32	1347 52	379 06	159 32	538 38	520 97	133 09	654 06	607 14	133 09	740 23
		Delle . .	480 10	178 02	658 12	923 --	178 02	1101 02	1202 53	178 02	1380 55	--	--	--	--	--	--	621 47	151 79	773 26
	via Aarau-Rupperswyl {	Mulhouse	452 23	160 52	612 75	895 67	160 52	1056 19	1175 20	160 52	1335 72	366 60	160 52	527 12	507 97	134 29	642 26	594 14	134 29	728 43
		Delle . .	466 56	179 22	645 78	910 --	179 22	1089 22	1189 53	179 22	1368 75	--	--	--	--	--	--	608 47	152 99	761 46

NB. Voir l'annexe A, page 37, pour l'établissement des distances réelles, et l'annexe B, page 42, pour les majorations virtuelles.

Mais de Bâle à Gênes, de Belfort à Milan, ainsi que de Bâle à Milan, la voie est plus longue; pour amener le trafic des marchandises au Simplon, il faut que la solution adoptée combatte cet inconvénient, par des facilités de transports et par un profil avantageux qui permette un accroissement de vitesse et des réductions de tarifs, par suite de l'augmentation de la charge des trains.

Cette considération est d'autant plus importante que, pour une certaine partie du trafic, on passera aux Hôpitaux à la cote 1010 mètres, ligne de Vallorbes à Pontarlier.

Toutefois il est bon de noter que cette ligne du Jura peut être améliorée au moyen d'un tunnel de 6 kilomètres.

L'avis de vos experts est qu'à moins *d'avantages très considérables* pouvant se constater et s'apprécier clairement et nettement, se chiffrer en un mot, la traversée du Simplon n'est à proposer que si le trajet se fait sans transbordements, sans changements de voitures et si le profil n'est pas trop accidenté, puisque les transports à rechercher seront principalement ceux de Bâle, de Belfort, etc., et que, pour se les assurer et les absorber en grande partie, il faudra donner satisfaction aux voyageurs et abaisser les tarifs, ce que le St-Gothard ne pourra faire à cause de ses frais d'exploitation très élevés.

Tels sont les principes généraux qui forment la base du rapport de vos experts.

Nous allons passer successivement en revue les divers projets ou solutions proposés.

### Système Fell.

Le système Fell ne paraît pas mériter un long examen; ce système qui était une solution admissible lorsqu'il n'y avait ni le tunnel du Mont-Cenis, ni celui du St-Gothard, serait un non sens pour le Simplon.

Sans vouloir entrer ici dans une discussion complète de ce système, la Commission doit signaler ce qui, d'après elle, l'empêche de fonctionner régulièrement.

La machine Fell comporte aujourd'hui deux mécanismes indépendants, l'un qui commande des roues verticales à la façon ordinaire, l'autre qui agit sur un ensemble de roues verticales et horizontales.

Ce dernier type, incontestablement plus puissant que les premiers qui ont fonctionné au Mont-Cenis, est formé par deux châssis; un châssis porte la chaudière, les cylindres et le mécanisme qui transmet la force motrice à trois paires de roues verticales; l'autre châssis, à trois paires de roues également, reçoit une seconde paire de cylindres, les galets horizontaux, le mécanisme de transmission, l'eau et le combustible.

L'accouplement entre elles des roues horizontales, situées de part et d'autre du rail central, est fait au moyen d'engrenages, disposition que les experts considèrent comme défavorable à cause des chocs brusques qui donneront lieu à des ruptures fréquentes.

L'accouplement tout entier des roues horizontales et verticales du deuxième châssis se fait au moyen de bielles et de manivelles. Or le système horizontal et le système vertical n'ont et ne peuvent avoir aucun rapport l'un avec l'autre. Quand l'un agira avec une certaine puissance, l'autre agira avec une puissance moindre; il en résultera des entraînements et des résistances; de là des patinages, des secousses, des arrêts, puis des démarrages brusques, enfin toutes conditions d'un remorquage irrégulier et dangereux.

De plus, le système Fell ne remplirait pas le but que la Suisse recherche ; il ne pourrait se prêter à des transports considérables.

La section des manilles des tendeurs d'attelages étant actuellement de 982 mm.<sup>2</sup>, la résistance qu'il serait possible d'imposer au crochet de traction, à raison de 6 kg. par millimètre de section des manilles, n'atteindrait que 5892 kg. En admettant 1 kg. 6 pour la résistance par tonne au roulement, à une vitesse de 10 km. sur palier droit et 1 kg. en plus dans les courbes de 250 m. de rayon, la résistance totale par tonne au roulement serait respectivement de :

92 kg. 6	en rampe de 90 mm.	et courbes de 250 m.	; d'où charge de	$\frac{5892}{92.6}$	= 64 tonnes.		
82 kg. 6	»	80	»	250	»	$\frac{5892}{82.6}$	= 71 »
72 kg. 6	»	70	»	250	»	$\frac{5892}{72.6}$	= 81 »

Ces charges sont complètement insignifiantes et ne permettent pas un trafic sérieux. Par exemple on ne pourrait pas remorquer, en rampe de 90 mm., plus de 2 wagons de la Compagnie internationale des wagons-lits.

Si l'on objectait que l'on pourrait faire machine en tête et machine en queue, on reconnaîtrait que, même dans ces conditions, la charge remorquée ne surpasserait pas :

$$\begin{aligned} 64 + 64 &= 128^t \text{ en rampe de 90 mm.} \\ 71 + 71 &= 142 \quad \text{»} \quad 80 \text{ mm.} \\ 81 + 81 &= 162 \quad \text{»} \quad 70 \text{ mm.} \end{aligned}$$

D'ailleurs, la traction avec machine Fell en tête et en queue n'est pas admissible, surtout sur de pareilles rampes, toute fausse manœuvre des machinistes pouvant amener une rupture d'attelages dont les conséquences seraient très graves. On ne saurait, en tout cas, l'admettre pour les trains de voyageurs et, même avec un maximum de 162 tonnes, il ne serait pas possible de satisfaire aux besoins d'un trafic sérieux de marchandises.

L'application du système Fell à la traversée du Simplon amènerait indubitablement l'adoption d'un matériel spécial de voitures et wagons et un transbordement. Or, tout transbordement de voyageurs ou de marchandises est inacceptable pour le Simplon ; il ferait abandonner cette voie de communication aussi bien pour les voyageurs que pour les marchandises.

En résumé, les recettes que l'on obtiendrait ne seraient nullement en rapport avec les dépenses.

Il est utile de rappeler pour mémoire qu'au Mont-Cenis, on ne faisait pas de trains en double traction ; il y avait par jour 2 trains de voyageurs et 2 trains de marchandises avec voyageurs ; la charge brute maxima était de 28 tonnes pour les trains de voyageurs et de 32 tonnes pour les trains de marchandises avec voyageurs. Le tonnage brut transporté mensuellement était de 6000 tonnes, soit 72 000 tonnes par an.

Vos experts regrettent d'énoncer un jugement peu favorable à la proposition de M. Fell, dont ils estiment à un très haut degré l'intelligence, le caractère et le travail.

### Systeme Agudio.

M. Agudio a présenté un projet modifié pour l'approprier au passage par dessus le faite du Simplon. D'après ce projet, la longueur totale de la ligne entre Brigue et Gondo serait de 24 kilomètres, divisée en quatre tronçons de 6 kilomètres. Chacun de ces tronçons fonctionnerait indépen-

damment des voisins, comme autant de chemins de fer funiculaires consécutifs, — le premier abandonnant son train au second, le second au troisième et ainsi de suite; — la voie serait entièrement protégée contre les neiges au-dessus de la cote 1300, par des galeries artificielles, en maçonnerie dans les couloirs d'avalanches et en tôle sur le reste du parcours.

M. Agudio réduit la déclivité maxima à 14 %; il porte les courbes minima à 250 mètres de rayon; il emploie deux câbles au lieu d'un, en en plaçant un de chaque côté du locomoteur, dont il porte le poids à 13 tonnes au lieu de 12.

Il annonce une vitesse de 12 kilomètres à l'heure; chaque section serait donc parcourue en 30 minutes; en comptant à chaque relai 10 minutes, on obtient, pour les quatre sections, 160 minutes, soit 2 h. 40 pour franchir les 24 kilomètres de Brigue à Gondo.

M. Agudio espère pouvoir composer des trains de 85 tonnes voyageurs, en n'employant qu'un câble et de 140 tonnes marchandises, en employant les deux câbles.

Pour obtenir le premier de ces chiffres, M. Agudio s'appuie sur le fait qu'à la Soperga, où son système est adopté, la charge des trains dépasse parfois 38 tonnes, lesquelles, avec le locomoteur de 12 tonnes, font 50 tonnes de charge brute.

La déclivité au Simplon étant réduite de 22 à 14 %, le câble, tel qu'il est calculé pour la Soperga, remorquerait  $\frac{22}{14} \times 50 = 78,57$  tonnes.

Mais l'auteur du projet compte renforcer le câble et le porter de 1 kg. 50 le mètre à 1 kg. 85; dès lors il remorquerait  $\frac{1,85}{1,50} \times 78,57 = 96,90$  tonnes.

Soit :

85 tonnes train,  
13 » locomoteur

environ, car les chiffres indiqués ne concordent pas absolument.

Pour remorquer 140 tonnes marchandises, M. Agudio fait travailler les deux câbles; mais leur effort utile ne double pas celui d'un seul câble; il applique un coefficient dont il ne donne ni l'explication, ni la valeur.

Sur chaque section, avons-nous dit, il pourra passer un train toutes les 40 minutes, et, pour une journée de 20 heures, il passera 15 trains dans chaque sens.

M. Agudio compte la journée à 20 heures, parce qu'il estime que 4 heures consécutives, sans passage de trains, sont indispensables aux réparations de la voie.

Poursuivant ses calculs, M. Agudio prouve que 10 trains de voyageurs par jour, à 85 tonnes, donnent :

$$10 \times 85 \times 365 = 310\ 250 \text{ tonnes par an, équivalant à } 300\ 000 \text{ voyageurs.}$$

Les 20 trains de marchandises à 140 tonnes l'un transporteront :

$$20 \times 140 \times 365 = 1\ 022\ 000 \text{ tonnes brutes ou la moitié } 511\ 000 \text{ tonnes nettes. (M. Agudio annonce } 611\ 380 \text{ tonnes, par erreur de calcul.)}$$

D'après cet exposé, il semble acquis que le système Agudio peut satisfaire au trafic prévu par le Simplon. Néanmoins, la Commission d'expertise est unanime à déconseiller l'application de ce système pour une grande artère internationale, et ceci par les raisons suivantes :

I. Les voyageurs et les marchandises ne s'échelonnent pas de façon à alimenter un train en partance à chaque tête de ligne, toutes les 80 minutes.

Pour les voyageurs, le jour sera plus chargé que la nuit, l'été que l'hiver, et les correspondances avec les trains dits rapides, partant de Brigue pour la vallée du Rhône et de Gondo pour Domo, auront une grande influence sur les heures auxquelles les voyageurs se présenteront le plus nombreux.

II. Les Compagnies d'Italie et de Suisse ne consentiront pas à faire 15 trains par 24 heures dans chaque sens, avec des charges telles que les amènera le funiculaire ; les marchandises petite vitesse devront attendre sur des voies de garage, ce qui ne présente pas d'autre inconvénient que d'obliger à des manœuvres supplémentaires ; mais que deviendront les voyageurs abandonnés à Gondo ou à Brigue au milieu de la nuit ?

III. Nous disons *de la nuit*, car l'accumulation sera plus grande la nuit que le jour, par le fait que les quatre heures d'interruption de service nécessaires aux réparations de la voie devront être prises pendant que le soleil est au-dessus de l'horizon. Bien que la voie soit couverte sur une grande longueur, le travail de nuit est toujours difficile, lent, coûteux et mauvais, pour ne pas dire impossible, surtout en hiver, à 2000 mètres au-dessus de la mer, en pleine région alpestre.

IV. On peut affirmer que, pendant huit mois de l'année, les voyageurs qui auront le choix entre les express du St-Gothard, leurs confortables *sleeping cars*, la facilité avec laquelle se fait ce passage des Alpes, et l'itinéraire par le Simplon avec son climat, ses arrêts à chaque relai du funiculaire, son long tube de tôle dans lequel circuleront les trains et le doute de pouvoir repartir de la tête de ligne sans perdre de temps, les voyageurs, disons-nous, n'hésiteront pas à gagner Lucerne par les trains de nuit récemment inaugurés, et à prendre la grande artère allemande. En été les touristes, enfermés dans le tube, ne verront de la pittoresque montagne que de courtes échappées par les ouvertures ménagées pour l'air et la lumière. Ils verront, il est vrai, encore moins dans le tunnel de base, mais cette obscurité sera compensée par la vitesse et l'absence de tout arrêt. Les experts croient enfin que les timides préféreront longtemps les moyens de traction connus à tous les aléas de la nouveauté.

Les marchandises seront moins fantasmagoriques, sans doute ; mais il ne faut pas se dissimuler que les habitudes des expéditeurs sont prises et ne seront déracinées que si la voie du Simplon offre à la fois économie, célérité et sécurité complète.

V. Un train en détresse par une rupture de câble, par celle d'un essieu, par celle d'un bandage ou toute autre cause indépendante du système Agudio, arrêtera le courant pendant un temps indéterminé. Les trains de plaine partiront à vide et voyageurs et marchandises s'accumuleront en amont et en aval, jusqu'à ce que l'avarie soit réparée et le locomoteur remis en état de se touer sur le câble. Pour peu que cette accumulation soit un peu lourde, comment parviendra-t-on à la débiter, puisque le poids est limité et qu'il n'est pas possible d'intercaler des trains supplémentaires ?

VI. M. Agudio prévoit :

4 000 mètres de petits tunnels ;

1 500 » de galeries en maçonnerie contre les avalanches ;

8 000 » de galeries artificielles contre les chutes de neige.

13 500 mètres de couverture en tout.

Les galeries contre les chutes de neige doivent être en tôle ondulée, maintenue dans un cadre de bois en grume, ou dans un demi-cadre s'appuyant contre le mur de revêtement. Ces galeries devront avoir la section des tunnels. Or une traction par câble exige une poulie par 10 mètres. En installant deux câbles, comme le propose M. Agudio, le nombre de ces poulies sera doublé et porté à une par 5 mètres. On a quelque peine à se figurer 2700 poulies tournant ensemble dans ces galeries, et les assimilant en quelque sorte à un vaste atelier industriel dont les transmissions seraient en mouvement.

Enfin comment fonctionneraient ces 2700 poulies, en hiver, par les basses températures de ces régions alpestres ? Il y a là une grande difficulté qui ne paraît pas résolue.

M. Agudio ne couvre sa voie qu'au-dessus de la cote 1300 ; mais au-dessous de cette cote, dans le voisinage des glaciers, les chutes de neige et leurs menées par les tourmentes sont encore dangereuses pour l'exploitation et nécessiteraient l'emploi fréquent des chasse-neige qu'il faudrait faire fonctionner par l'appareil locomoteur, au détriment du nombre des trains.

VII. M. Agudio estime le travail maximum à développer par le moteur fixe sur chacun des câbles, pour faire gravir aux trains de 140 tonnes une rampe de 14 ‰, à 640 chevaux-vapeur.

Il est sûr de trouver ces forces de 1300 chevaux à Brigue et à Gondo ; mais elles sont moins assurées en hiver au relai intermédiaire de *Grund* et surtout à celui de *Simplon village*.

Dans son premier projet, l'auteur prévoyait l'installation de machines de secours de 400 chevaux à 4 cylindres accouplés à chacun des arbres des turbines. Il ne parle pas de cette installation dans le second projet. Les conditions hydrauliques sont cependant les mêmes et il serait prudent de compter avec ces machines de secours.

Pour les passages à niveau rendus nécessaires au Simplon sur tous les points où la voie coupera la route, M. Agudio propose des ponts-levis en deux pièces, se rejoignant rabattus sur la crémaillère centrale. Quand les deux battants du pont sont relevés verticalement, comme le couvercle d'une boîte, ils servent de barrage à la route. Ces ponts sont manœuvrés par une manivelle agissant par des roues d'angle sur des leviers placés sous le pont ; c'est aussi sous le pont, près des rails, que passe le câble, libre de s'enrouler autour des bobines lorsque le tablier est levé. C'est une solution peut-être un peu compliquée et on ne voit pas ce qui adviendrait, si le locomoteur se présentait devant un de ces ponts avant que le garde-barrières ait eu le temps d'en faire la manœuvre ou que le mécanisme refusât de le faire basculer.

VIII. Le locomoteur remorquant un train se trouve toujours placé de manière à empêcher la descente des véhicules ; à la montée, il pousse le train devant lui et, à la descente, il le retient.

Dans ces conditions, le remorquage à la montée de trains de 40 tonnes n'a pas présenté d'inconvénients ; mais la Commission est d'avis qu'il n'en sera pas de même pour des trains de 85 et 140 tonnes : les résistances au refoulement du train seront notablement plus considérables que M. Agudio ne l'a prévu et on n'a aucune donnée pour les évaluer.

M. Agudio établit le devis comme suit :

*Devis.*

4 kilomètres de petits tunnels ordinaires à 800 fr. le mètre . . . . .	Fr.	3 200 000
9 km. 500 de voie couverte, dont 1500 m. en maçonnerie et 8000 m. en tôle, en moyenne à 150 fr. . . . .	»	1 425 000
20 km. de plateformes de voie en dehors des petits tunnels à 4 <sup>m</sup> 40 de largeur à 300 fr. . . . .	»	6 000 000
24 km. de voie, rails et crémaillère, à 75 fr. . . . .	»	1 800 000
Double ligne de câble avec supports, à 40 fr. . . . .	»	960 000
12 locomoteurs de 13 tonnes, à 2 fr. le kg. environ . . . . .	»	300 000
2 installations hydrauliques pour 1300 chevaux chacune . . . . .	»	900 000
Formation du capital, intérêts, etc. . . . .	»	1 415 000
<b>Total :</b>		<b>Fr. 16 000 000</b>

Dans ce devis, quelques chiffres semblent trop faibles.

Les galeries en tôle peuvent être établies pour 150 fr. le mètre, mais ce chiffre ne saurait être la moyenne entre le prix de ce système de protection et celui des galeries en maçonnerie.

Il convient, d'après l'expérience acquise dans les montagnes, de compter ces dernières à 500 francs le mètre, pour réunir les conditions voulues de solidité et de sécurité contre les avalanches.

La Commission estime de plus qu'un examen plus minutieux du terrain modifiera la proportion entre les deux genres de couverture et qu'il convient d'estimer 7000 mètres en tôle à 150 francs . . . . .

2 500 m. en maçonnerie à 500 fr. . . . .

Ensemble, Fr. 2 300 000

M. Agudio estimant . . . . . » 1 425 000

Augmentation de ce chef : Fr. 875 000

La plateforme de la voie à 4<sup>m</sup>40 est trop étroite; il faut la porter à 5 mètres au moins, car les semelles des poulies, placées extérieurement et à une certaine distance des rails doivent être solidement prises dans le ballast; cette dimension est d'autant plus nécessaire que les accotements sont encombrés par ces mêmes poulies, au détriment de la place indispensable au garage des équipes et des cantonniers.

On doit dès lors appliquer à l'infrastructure de la simple voie un prix analogue à celui des autres projets; les experts estiment à 400 000 fr. par kilomètre ces dépenses, au lieu de 300 000 francs; car si quelques parties sont relativement faciles, les gorges de la Saltine le sont moins; dans l'étroit défilé d'Algaby à Gondo, aux parois verticales, où le torrent et la route se disputent déjà la place, le prix du kilomètre sera bien supérieur. Augmentation de ce chef: 2 000 000 fr.

Si le projet est bien compris par la Commission, ce ne sont pas deux installations de 1300 chevaux qu'il faut compter, mais *quatre*, savoir: à Brigue, à Grund, à Simplon-village et à Gondo, chacune munie de deux machines hydrauliques de 640 chevaux, puisqu'il faut actionner deux câbles, plus les machines à vapeur de secours à Grund et à Simplon.

Augmentation: 1 100 000 fr.

*Récapitulation.*

Augmentations pour galeries . . . . .	Fr. 875 000
» pour infrastructure . . . . .	» 2 000 000
» pour installations. . . . .	» 1 100 000
	<hr/>
Total :	Fr. 3 975 000
En chiffres ronds . . . . .	Fr. 4 000 000

L'exécution du projet de M. Agudio, tel qu'il le présente, coûterait donc 20 millions au lieu de 16.

Qu'advierait-il, même à 16 millions, si le projet échouait ou ne répondait pas au programme ? Ces millions seraient dépensés en pure perte, ne laissant comme trace qu'une plateforme à 14 % de déclivité absolument inutilisable.

Il est difficile de contrôler les calculs de M. Agudio relatifs aux dépenses d'exploitation et au prix de revient de la tonne kilométrique, qu'il annonce devoir être de 0 fr. 041 ; il s'est servi de documents pris à la Soperga que les experts n'ont pas eus entre les mains.

Ce prix est certainement trop bas, attendu que le personnel, les matières de consommation, les dépenses d'entretien du matériel coûteront certainement 30 à 40 % plus cher au Simplon qu'à la Soperga.

Mais même en admettant la tonne kilométrique à 0 fr. 041, le calcul de M. Agudio est basé sur l'hypothèse du transport maximum de 900 000 tonnes, voyageurs et marchandises ; or, ce chiffre doit être réduit de 100 000 tonnes par suite d'une erreur de calcul, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment.

Enfin, s'il est permis d'admettre que l'on atteindra un trafic de 800 000 tonnes, ce ne sera pas dans les premières années, et la Commission est d'avis que la préférence dont jouiront certainement d'abord les grandes et faciles voies du Mont-Cenis et du St-Gothard, causera de graves mécomptes aux prévisions optimistes de M. Agudio.

Si, par cette raison, on admet qu'au commencement le trafic du Simplon soit réduit à 300 mille tonnes, les recettes nettes ne seront que de 720 000 fr., représentant 3,6 % et interdisant par conséquent tout amortissement, lequel est d'autant plus indispensable que cette ligne par dessus le col n'est considérée que comme provisoire.

En résumé, tout en rendant justice à l'invention de M. Agudio et à sa judicieuse application sur certaines lignes locales, la Commission n'est pas d'avis de proposer ce système pour la traversée du Simplon, parce que les difficultés que l'on rencontrerait dans l'exploitation ne permettraient pas d'attirer le trafic sur cette nouvelle ligne de transit et que, par suite, les dépenses faites seraient, après quelques années, complètement perdues sans avoir produit pendant ce court laps de temps d'exploitation, l'intérêt même du capital engagé.

**Système proposé par M. le colonel de Bange, au nom de la  
Société des anciens établissements Cail.**

La Société des anciens établissements Cail a remis, le 29 juin 1886, un nouveau projet. Il est un peu plus complet et détaillé que celui qui avait été remis aux experts à Lausanne, sans que l'économie de tout le système soit sensiblement modifiée; quelques améliorations ont été apportées à la suite des observations faites à Lausanne par les experts à M. le colonel de Bange.

Cette affaire se présente a priori sous une apparence favorable, puisque la Société des anciens établissements Cail, moyennant un forfait de 39 millions, tout en laissant cependant à la charge de la Compagnie Suisse-Occidentale-Simplon l'achat des terrains, la construction des gares et l'établissement des clôtures, se charge d'exécuter le projet et en outre d'exploiter également à forfait moyennant une subvention de 700 000 fr. au minimum par an, une garantie de trafic annuel qui, à des prix unitaires, s'élève à 735 000 fr. et, enfin, remise du quart des intérêts au-dessus de 7 % de revenu du capital engagé.

Votre Commission trouve tout d'abord qu'il est bien dangereux de garantir à la Société des anciens établissements Cail un trafic minimum.

Cette proposition serait cependant admissible s'il n'y avait pas à donner à forfait une somme de 39 000 000 fr.; cette somme de 39 millions donnée à fonds perdus nécessite de la part de vos experts un examen des plus complets; car si les prévisions de la Société des anciens établissements Cail ne se réalisaient pas, elle devrait naturellement abandonner la partie, et les Cantons, le Gouvernement fédéral et la Compagnie Suisse-Occidentale-Simplon auraient dépensé des millions en pure perte, sans compter les réclamations que pourrait faire la Société des anciens établissements Cail si, les voyageurs et les expéditeurs n'appréciant pas ce mode de transport, les recettes n'avaient pas atteint annuellement 735 000 fr.

L'abandon de ce moyen de transport jetterait un tel discrédit sur l'affaire du Simplon qu'il deviendrait très difficile de reprendre cette question.

**EXAMEN TECHNIQUE**

**I. Voies d'accès.**

Les voies d'accès ou plutôt les plans inclinés sur les deux versants ont été étudiés par la Société d'une manière approximative; votre Commission, après un examen sur place, est d'avis :

1° Que, sur le versant italien, le plan incliné présente des difficultés presque insurmontables qui, en tout cas, obligeraient à des travaux extraordinairement coûteux; par suite de la nature du terrain et de la nécessité d'éviter les avalanches, on serait forcé de faire passer fréquemment le tracé d'un côté à l'autre de la vallée.

2° Que, sur le versant suisse, le plan incliné, tout en étant coûteux, ne présente pas de difficultés pouvant le faire rejeter.

3° Que, sur le versant suisse, comme sur le versant italien, par suite des dimensions du pont-locomotive sur lequel seraient chargés les wagons, la hauteur des divers petits tunnels devrait atteindre 10<sup>m</sup> environ; des tunnels dans ces conditions seraient très coûteux, surtout à flanc de côteaux. On n'a pas de précédents pratiques pour les épaisseurs à donner et de plus votre Commission estime que les prévisions de la Société sont insuffisantes, qu'une plus grande longueur de tunnels serait à prévoir sur le versant suisse et sur le versant italien.

## II. Tunnel de faite.

Le tunnel de faite, ainsi que l'a formellement dit le colonel de Bange, n'a pas été prévu avec revêtement intérieur.

Votre Commission estime qu'il est absolument nécessaire de le faire ainsi et par conséquent inadmissible de ne pas ajouter aux dépenses prévues au forfait une somme de 450 fr.  $\times$  8 400<sup>m</sup> = 3 780 000 fr. pour revêtement intérieur, ce qui porterait la dépense du projet de la Société des anciens établissements Cail à 42 780 000 fr., à laquelle il faudrait ajouter les dépenses d'achat des terrains, de la construction des gares et de l'établissement des clôtures qui ne sont pas comprises dans le forfait.

## III. Appareil porteur et moteur.

Votre Commission a examiné l'appareil porteur et moteur que nous appellerons *pont-locomotive*. Elle a constaté que le poids de ce pont-locomotive, évalué à 150 tonnes, atteindrait au minimum 196 tonnes; que, dans ces conditions, le travail résistant serait supérieur au travail moteur d'une quantité assez considérable; que le démarrage ne serait admissible théoriquement que si l'on avait recours à l'admission directe dans les deux cylindres de chaque machine, mais que ce démarrage ne serait pas possible dans toutes les positions du pont-locomotive; qu'on ne voit pas comment on pourrait manœuvrer mécaniquement, facilement, ce bloc de 346 tonnes; que bien des causes ont été négligées; que des coefficients faibles ont été pris, et que, par conséquent, en pratique, le pont-locomotive ne démarrerait pas par les raisons suivantes :

1° Au-delà de 8 roues accouplées, il n'est guère possible d'obtenir un bon service, par suite de la difficulté de ne pas perdre de grandes quantités de travail en frottement par la complication du mécanisme et par l'impossibilité d'avoir plus de 8 roues accouplées approximativement au même diamètre. Que sera donc cette difficulté lorsqu'il s'agira d'une machine à 20 roues accouplées ?

2° L'essieu moteur proposé ne paraît pas possible. Cet arbre, à moitié indépendant avec coussinets logés dans les roues, ne suivant pas le mouvement de celles-ci dans le sens vertical, ou ne le suivant que par l'action des coussinets des roues, se trouverait de suite dans des positions telles que l'action des bielles motrices en amènerait la rupture, sinon au démarrage, du moins après quelques tours de roues.

3° Le démarrage d'un bloc de 346 tonnes présente des difficultés toutes spéciales. Toutes les fois qu'en industrie un grand travail moteur se produit, il se fait successivement; pour un train, par exemple, la locomotive démarre d'abord un premier wagon, puis un second, puis un troisième

et tous les wagons successivement, par l'intermédiaire de ressorts. Là, il n'y a aucun ressort ; c'est un bloc de 346 tonnes qu'il faut démarrer en une fois. Aucune expérience pratique n'a été faite sur les difficultés que l'on rencontrera.

#### IV. Amarrage des wagons.

La Société a proposé, pour l'amarrage des wagons sur le pont-locomotive, que les extrémités des voies fussent légèrement relevées, de façon à maintenir les voitures et wagons au centre, puis une fois en place, les voitures et wagons seraient fortement amarrés au moyen de tendeurs.

Votre Commission pense d'abord que cette surélévation du rail est absolument impraticable ; outre l'inconvénient de causer des soubresauts qui amèneraient la rupture des ressorts et des boîtes, elle rendrait l'entrée des wagons encore plus dangereuse, car l'effort produit pour faire franchir cet obstacle au dernier wagon rejeterait inévitablement le premier hors du pont-locomotive.

Enfin, malgré toutes les précautions prises, un machiniste imprudent pourrait pousser un peu trop vivement les wagons et ce n'est pas alors le simple relèvement du rail qui les arrêterait ; ils tomberaient d'une hauteur considérable.

Dans toute gare terminus, les gouvernements exigent des buttoirs ; ils devraient exister aux deux extrémités du pont-locomotive ; votre Commission est tout à fait absolue sur cette question ; ce qu'on demande, dans une gare où le seul inconvénient est d'endommager un trottoir ou un bureau, d'amener un déraillement de locomotive ou de wagons sur un terrain à niveau, doit être exigé sur un pont où l'absence de buttoir amènerait une catastrophe pour chaque imprudence.

Ces buttoirs devraient pouvoir s'abaisser pour laisser passer les wagons à l'arrivée ou au départ ; ce serait donc des appareils assez compliqués et coûteux.

#### V. Longueur utilisable du pont-locomotive.

Le pont-locomotive a 35 mètres de longueur ; si nous en retranchons les deux buttoirs de 2<sup>m</sup>50 chacun, il ne reste plus que 30 mètres utilisables.

La longueur moyenne d'une voiture à voyageurs étant de 9<sup>m</sup>30 et celle d'un wagon à marchandises de 7<sup>m</sup>30, on ne pourrait, en moyenne, mettre sur les deux voies plus de six voitures à voyageurs ou huit wagons à marchandises.

#### VI. Exploitation.

La Société admet que deux ponts-locomotives partiront en même temps ; ce n'est guère admissible, en montant ; car si on accouple deux masses de 346 tonnes, on aura des pertes de force considérables ; et, si on ne les accouple pas, elles viendront se tamponner.

A la descente, il faudra les accoupler ; or, cette descente d'une masse d'environ 700 tonnes sous la conduite de deux agents différents, paraît à votre Commission une opération plus que périlleuse.

La Société calcule qu'elle pourra faire ainsi 14 trains. Il est évident que le temps qu'elle a calculé est trop court à cause des fausses manœuvres; mais enfin, en acceptant ce temps et sans admettre, bien entendu, l'accouplement des deux ponts-locomotives, on arrive, en supposant qu'on ne transporte que des marchandises, à  $14 \times 8 = 112$  wagons par jour, dans chaque sens, comme maximum de travail, ce qui est absolument insuffisant et n'est nullement en rapport avec la dépense.

#### VII. Freins, accidents, accrochage au haut du plan incliné.

La Commission ne s'est pas occupée de la question des freins à la descente, quoiqu'elle ne soit pas résolue, parce qu'elle estime que l'on arrivera toujours à installer un frein permettant la descente avec toute sécurité; ce sera un appareil coûteux, mais il n'y a pas là d'impossibilité.

Un point que la Commission ne trouve pas éclairci, c'est comment on arrêtera le pont-locomotive au haut de la rampe. Lorsque ce bloc arrivera, s'il a une certaine vitesse, il viendra démolir le quai; si l'on met des ressorts, ils réagiront et renverront le bloc de 346 tonnes en arrière. Il y a là une manœuvre délicate que la Commission ne prétend pas impossible, mais qui est encore périlleuse et demandera des installations coûteuses.

Pour les déraillements qui pourront se produire, — car il faut considérer que les rampes sont fréquemment à flanc de côteaux, que des fragments de rochers, de petites avalanches, peuvent survenir au moment du passage du pont locomotive, que la neige plus ou moins abondante couvrira fréquemment la voie, que les pluies, les orages, dégarniront les traverses, — comment pourra-t-on relever une pareille masse de 346 tonnes? Sur quoi prendre son appui pour la soulever? Les agrès sont à créer et *comment les transportera-t-on* sur le lieu de l'accident?

Enfin, en cas de déraillement, que deviendront les wagons placés sur le pont-locomotive? — Ils seront infailliblement projetés dans la vallée; chaque déraillement se transformera en catastrophe. Sans compter l'interruption de trafic, qui durera pendant un temps plus ou moins considérable.

---

En résumé, par toutes les diverses raisons exposées ci-dessus, la Commission, à l'unanimité, est d'avis que la proposition de la Société des anciens établissements Cail ne peut être admise :

1<sup>o</sup> Parce que le système proposé est dangereux et sujet à accidents qui, en admettant la possibilité de sa réalisation pratique, amèneraient une défaveur complète sur ce mode de transport;

2<sup>o</sup> Parce que ce système ne permet pas de satisfaire aux exigences du trafic;

3<sup>o</sup> Parce que ce système, théoriquement et pratiquement, tel que l'a présenté la Société des anciens établissements Cail, ne lui paraît pas pouvoir fonctionner.

En terminant, votre Commission croit devoir signaler qu'elle ne connaît pas l'opinion du gouvernement italien sur ce système; elle pense qu'il pourrait y avoir là des difficultés à prévoir.

Cependant la Commission, tout en rejetant le projet de la Société des anciens établissements Cail, n'en doit pas moins féliciter cette Société, et tout spécialement M. le colonel de Bange de l'idée toute nouvelle du pont-locomotive qui, avec de certaines modifications et dans des circonstances spéciales, pourrait rendre des services; ces tentatives nouvelles sont certainement à encourager; malheureusement la Commission n'a pas cru que, dans le cas particulier du Simplon, l'application en fût possible.

## Examen d'ensemble des systèmes Fell, Agudio, Société des anciens établissements Cail et autres.

La Commission, après avoir étudié très en détail ces trois systèmes, est d'avis qu'elle ne peut les admettre, parce qu'ils sont ou impossibles à réaliser, ou d'une réalisation très coûteuse, surtout en comparant la dépense à la recette. Comme elle l'a déjà exposé, la traversée du Simplon ne peut avoir de raison d'être que si elle se fait facilement, sans transbordements, ni changements.

Si l'on admettait ces transbordements, changements, manœuvres, etc., on pourrait arriver à de meilleurs résultats, soit par une série de monte-wagons mis en mouvement au moyen d'accumulateurs comme on en installe à la gare St-Lazare de Paris, soit en ayant recours au système de M. Gonin, ingénieur en chef, ou au système Abt (crémaillère), qui paraîtraient à votre Commission préférables à tous égards aux systèmes Fell, Agudio, Société des anciens établissements Cail, soit par de simples locomotives avec lesquelles on arriverait à remorquer des trains sur des rampes de 90 mm.

En employant des rails en acier de 50 à 55 kilog. le mètre courant, on pourrait faire circuler des locomotives à dix roues accouplées avec 16 tonnes d'adhérence par essieu<sup>1</sup>.

Ces locomotives remorqueraient à simple traction 34 tonnes et en double traction 61 tonnes, soit par jour, en admettant 3 trains par heure, un trafic journalier dans chaque sens de 44 000 tonnes ou par an de 1 600 000 tonnes brutes.

Il est certain qu'avec un tunnel de faite qui ne serait pas plus considérable que ceux des projets Fell, Agudio, anciens établissements Cail, on pourrait franchir le Simplon par des rampes inférieures à 90 mm. L'emploi des locomotives serait donc une solution meilleure que ces divers systèmes; mais la Commission est d'avis que, même ainsi, il n'y aurait aucune chance de réaliser une exploitation rémunératrice.

### Système à exploitation normale.

#### Des tunnels à diverses altitudes.

A la suite de l'étude des diverses solutions proposées pour la traversée des Alpes au Simplon, la Commission est unanime à déclarer que c'est seulement par un tunnel de base que cette traversée est possible, c'est-à-dire présente, au point de vue financier et au point de vue des relations de la Suisse avec l'Italie, un intérêt sérieux.

La Commission a examiné avec le plus grand soin les divers projets de tunnel et les voies d'accès; elle est d'avis que le projet à adopter dépend complètement du capital qui sera réalisable.

Pour elle, la meilleure solution serait incontestablement le tunnel de base de 20 kilomètres de longueur. Si l'on peut réaliser le capital suffisant, c'est celui qu'elle conseillerait sans hésitation. Si ce capital ne peut être atteint, il faut se rejeter sur le tunnel de 46 kilomètres de longueur qui donnerait encore toute satisfaction au point de vue de l'exploitation.

La Commission expose les divers travaux auxquels elle s'est livrée pour connaître les meilleures conditions d'un tunnel, les difficultés que l'on rencontrera pour le percement et les moyens de les vaincre.

<sup>1</sup> La locomotive-tender pour le tunnel sous la Mersey a les charges suivantes par essieu : 1<sup>er</sup> essieu, 16 900 ; 2<sup>me</sup>, 17 600 ; 3<sup>me</sup>, 17 300 kg.

Elle pose comme première condition, dans tous les cas de tunnel plus ou moins long, à simple ou double voie, la réduction des rampes autant que possible à 2 mm. par mètre et au maximum à 3 mm. par mètre, pour les raisons suivantes : plus la rampe est forte, plus la charge remorquée est faible et plus la production de fumée et de gaz irrespirables est considérable.

Le tableau ci-dessous donne les productions de fumée et de gaz irrespirables suivant les rampes.

Une locomotive à 8 roues accouplées de 1<sup>m</sup>26 de diamètre dépense les quantités ci-après de combustible par kilomètre; ces quantités varient suivant la vitesse et la charge :

Rampes maxima.	Courbes minima.	Vitesse.	Charge.	Admission.	Dépense par kilomètre.	
					Eau.	Combustible.
Mm.	M.	Km.	Tonnes.	%	Litres.	Kg.
3	1000	15	900	36,0	281	35
6	1000	15	665	44,0	343	43
8	700	15	550	50,5	394	49
10	500	15	460	57,5	445	55,6
20	300	15	245	65,0	505	63

Quantité d'air nécessaire à la combustion, volume de gaz s'échappant pendant 1 heure et 1 heure 20 minutes pour les diverses consommations ci-dessus <sup>1</sup> :

Poids de charbon consommé par heure et par kilomètre.	Volume d'air nécessaire à la combustion totale par heure.	Volume de gaz à 300° s'échappant par la cheminée par heure.	Volume d'acide carbonique. (Résultats pratiques par heure.)	Volume d'air nécessaire à la combustion totale en 1 h. 20.	Volume de gaz à 300° s'échappant par la cheminée en 1 h. 20.	Volume d'acide carbonique. (Résultats pratiques pour 1 h. 20.)
Kg.	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>
35	633,500	4355,200	445,192	884,660	4806,933	453,589
43	778,300	4664,960	441,522	1038,730	2219,946	488,695
49	886,900	4897,280	461,269	1182,530	2529,706	215,025
55,6	1006,360	2158,432	483,401	1341,810	2878,446	244,535
63	1140,300	2439,360	217,386	1520,400	3252,480	289,848

Ce simple aperçu montre combien, de ce fait, la réduction de la rampe dans un tunnel est nécessaire et d'autant plus que la section du tunnel est moindre.<sup>1</sup>

Dans les tunnels, les voies sont toujours plus ou moins humides et l'adhérence est diminuée dans des conditions très notables; l'utilisation de l'adhérence, qui est de 0,14 à ciel ouvert, descend pour les tunnels à 0,10 et même à 0,08, c'est-à-dire que pour éviter le patinage de la machine et même l'arrêt du train dans le tunnel, il est nécessaire de ne faire remorquer à une machine qu'environ 60 % de la charge qu'elle remorquerait sur une ligne à ciel ouvert.

<sup>1</sup> Il a été admis que le combustible était de qualité moyenne :

Carbone	0,88
Hydrogène	0,05
Cendres et divers	0,07
	<hr/> 1,00

Il y a donc tout intérêt à réduire les rampes au minimum dans les tunnels, afin d'avoir moins de fumée, moins de gaz irrespirables et moins de vapeur d'eau, et aussi afin d'éviter le passage d'un trop grand nombre de trains par suite de la réduction de la charge.

L'utilité des rampes faibles est d'autant plus grande si l'on doit atteindre une certaine hauteur ; il est alors préférable d'augmenter les rampes d'accès plutôt que les rampes du tunnel, puisque l'utilisation de l'adhérence, qui est de 14 % sur les rampes d'accès, n'est que de 8 % dans le tunnel.

La Commission est d'avis que la somme la plus considérable doit être réservée pour le tunnel, c'est-à-dire qu'on doit dépenser le *minimum* absolu pour les voies d'accès et consacrer le maximum disponible au tunnel ; car, une fois le tunnel percé, il n'est plus possible d'y rien changer, tandis que les voies d'accès peuvent être améliorées plus tard et des stations érigées sans augmentation notable de dépenses ; on peut n'exécuter ces travaux qu'au fur et à mesure des besoins du trafic et réaliser une réduction sur le capital, tout en bénéficiant des intérêts et de l'amortissement de cette réduction de capital.

La Commission comprendrait l'exploitation d'un tunnel à simple voie de la manière suivante :

1<sup>o</sup> Débuts de l'exploitation.

De Viège à Domo d'Ossola, on aurait une simple voie d'un bout à l'autre, minimum de dépenses par tous les moyens possibles pour travaux d'art et terrassements, une simple voie de garage à chaque entrée du tunnel pour garer les wagons et locomotives des travaux d'entretien.

Les machines remorqueraient les trains de Viège à Domo d'Ossola et retour sans rompre charge ; s'il était absolument nécessaire, des haltes seraient créées au-dessus de Brigue à Iselle, à Varzo, à Crevola.

2<sup>o</sup> Trafic moyen.

Lorsque le trafic augmenterait, la charge des trains serait aussi augmentée ; le renfort serait fait en queue de Viège à l'entrée nord du tunnel, sans atteler la machine de queue ; à l'entrée nord du tunnel, la machine de renfort retournerait à Viège et le train serait remorqué dans le tunnel à simple traction, ce que rendrait possible la faible rampe.

On opérerait d'une manière semblable de Domo d'Ossola à l'entrée sud du tunnel.

3<sup>o</sup> Trafic fort.

Le trafic augmentant notablement, on établirait des voies de garage aux deux têtes du tunnel, pour garer les trains et les machines et traverser le tunnel avec la charge maxima.

4<sup>o</sup> Très fort trafic.

On établirait la double voie de Viège à la tête nord du tunnel et de Domo d'Ossola à la tête sud, et on agrandirait les voies de garage aux deux têtes du tunnel.

Avec cette dernière disposition, on pourrait faire passer par le tunnel à simple voie un trafic aussi considérable que l'on voudrait. En admettant qu'on abandonnât 50 % du temps pour les trains de voyageurs, qu'on adoptât une vitesse moyenne de 30 kilomètres à l'heure pour les trains de marchandises et, sur ces 12 heures, 2 heures de perte pour diverses causes, on pourrait faire passer par le tunnel dans chaque sens 40 trains de marchandises par 24 heures.

Une machine à 8 roues accouplées <sup>1</sup> peut remorquer 800 tonnes brutes, soit par journée 8000 tonnes et par an 2 920 000 tonnes.

En admettant un chargement utile de 50 %, ce qu'on peut obtenir, le tonnage de marchandises annuellement transportées s'élèverait à 1 460 000 tonnes.

Or le maximum de tonnage de marchandises transportées par le St-Gothard a été en 1885 de 425 000 tonnes.

Nous donnons ci-dessous les charges exactes qui peuvent être remorquées à 15 et 30 kilomètres en admettant des coefficients d'adhérence de 0,14 — 0,10 — 0,08, ainsi que le calcul des charges que l'on peut remorquer par suite de la section des manilles :

**Locomotive à 8 roues accouplées de 1<sup>m</sup>,26 de diamètre, pesant 49 tonnes en feu et 70 tonnes avec tender.**

CHARGE	ADHÉRENCE UTILISÉE $0,14 \times 49\ 000^k = 6\ 860^k$	ADHÉRENCE UTILISÉE $0,10 \times 49\ 000^k = 4\ 900^k$	ADHÉRENCE UTILISÉE $0,08 \times 49\ 000^k = 3\ 920^k$
<i>1<sup>o</sup> Vitesse à 15 kilomètres à l'heure.</i>			
En rampe de 2 mm.	$\frac{6860}{1,7 + 2} - 70 = 1784^t$	$\frac{4900}{1,7 + 2} - 70 = 1254^t$	$\frac{3920}{1,7 + 2} - 70 = 990^t$
En rampe de 3,5 mm.	$\frac{6860}{1,7 + 3,5} - 70 = 1250^t$	$\frac{4900}{1,7 + 3,5} - 70 = 872^t$	$\frac{3920}{1,7 + 3,5} - 70 = 684^t$
<i>2<sup>o</sup> Vitesse à 30 kilomètres à l'heure.</i>			
En rampe de 2 mm.	$\frac{6860}{2,32 + 2} - 70 = 1518^t$	$\frac{4900}{2,32 + 2} - 70 = 1064^t$	$\frac{3920}{2,32 + 2} - 70 = 837^t$
En rampe de 3,5 mm.	$\frac{6860}{2,32 + 3,5} - 70 = 1108^t$	$\frac{4900}{2,32 + 3,5} - 70 = 771^t$	$\frac{3920}{2,32 + 3,5} - 70 = 603^t$
<i>Section des manilles 982 mm.<sup>2</sup> — Résistance au crochet du tender.</i>			
En rampe de 2 mm. $4^k \times 982\ \text{mm.}^2 = 3928$ d'où :			
Charge maxima à 15 kilomètres $\frac{3928}{1,7 + 2} = 1060$ tonnes.			
» à 30 kilomètres $\frac{3928}{2,32 + 2} = 909$ tonnes.			
En rampe de 3,5 mm. $4^k,5 \times 982\ \text{mm.}^2 = 4419^k$ d'où :			
Charge maxima à 15 kilomètres $\frac{4419}{1,7 + 3,5} = 850$ tonnes.			
» à 30 kilomètres $\frac{4419}{2,32 + 3,5} = 759$ tonnes.			

<sup>1</sup> Nous admettons dans ce cas des machines à 8 roues accouplées à 14 tonnes d'adhérence par essieu, soit 56 tonnes de poids adhérent.

La question de l'aération d'un tunnel a été l'objet d'une étude spéciale de la Commission, au point de vue de la longueur exceptionnelle et dans le cas d'un tunnel à simple voie ou d'un tunnel à double voie.

Le tunnel du St-Gothard s'aère tout naturellement et sans aucune difficulté, malgré un trafic considérable et des rampes de 5,8; la différence de niveau est de 36 mètres.

Au Mont-Cenis la ventilation se fait par des moyens naturels; le dénivellement de 132<sup>m</sup>50 entre les deux bouches du tunnel et la *différence notable de température entre l'intérieur et l'extérieur assurent une ventilation suffisante.*

Ces conditions de ventilation se sont améliorées à la suite de l'ouverture du raccordement de Modane, bien *qu'il en soit résulté un certain allongement du tunnel.*

Trois ou quatre jours par an, au plus, il arrive que par des circonstances atmosphériques exceptionnelles, le tirage naturel ne s'exerce pas avec une suffisante énergie et parfois le courant se renverse dans le sens de Bardonnèche vers Modane; on remédie alors au défaut d'aération en diminuant la charge des trains, afin qu'ils puissent parcourir le tunnel ayant le feu bas et avec une vitesse plus grande <sup>1</sup>.

Il n'est jamais nécessaire de recourir à des mesures spéciales en ce qui concerne les trains de voyageurs, par suite de la grande vitesse de ces trains.

De tout temps, les compresseurs ont été maintenus à Bardonnèche et les aspirateurs à Modane.

A Bardonnèche, il y a 7 compresseurs système Sommeiller. L'un d'eux est hors de service depuis longtemps; des 6 autres, 5 opèrent continuellement, le sixième est en réserve.

Ces compresseurs donnent par 24 heures 7500 m<sup>3</sup> d'air à 4 atmosphères; ce volume rendu à la pression atmosphérique donne 30 000 m<sup>3</sup> soit  $\frac{1}{18}$  du volume du tunnel; ainsi avec ce moyen *seul* il faudrait 18 jours pour renouveler l'atmosphère du tunnel.

Le tube de conduite d'air a 200 mm. de diamètre sur les 8 premiers kilomètres et 140 mm. pour les quatre derniers; le long de la conduite, il y a des robinets de prise d'air qui s'ouvrent partie le long du souterrain et partie dans les douze chambres de refuge existant à des intervalles d'un kilomètre l'une de l'autre; les robinets sont ouverts par le personnel de surveillance de la ligne pour chasser l'air des points où il est le plus vicié. — Pour un tel usage, d'après l'opinion de M. l'ingénieur en chef Frescot dont nous tenons ces renseignements, cinq compresseurs sont certainement excessifs; mais on les maintient en service par égard pour le public qui se sent rassuré par le bruit d'échappement de l'air.

Les mêmes raisons d'égards pour le public ont amené à maintenir en activité trois aspirateurs à cloche qui se trouvent à l'embouchure du côté de Modane; leur action pourrait être nuisible étant opposée à celle du tirage naturel, si elle n'était tout à fait insignifiante.

Votre Commission est d'avis que la ventilation se fera naturellement dans le tunnel du Simplon, aussi bien pour le tunnel à simple voie que pour le tunnel à double voie, par suite surtout des faibles rampes proposées par la Commission, l'air s'y trouvant beaucoup moins vicié; — que, néanmoins, *pour rassurer le public*, il sera nécessaire de maintenir à tous les kilomètres des chambres de refuge dans lesquelles on enverra de l'air au moyen des compresseurs établis aux deux extrémités du tunnel; — que si la ventilation naturelle par suite de la plus grande longueur du tunnel présentait des difficultés, il serait facile d'y remédier.

<sup>1</sup> Cette mesure est très sage; mais il aurait été préférable d'adopter dans le tunnel du Mont-Cenis de faibles rampes, afin de pouvoir marcher toujours le feu bas et à une certaine vitesse, ainsi que votre Commission le propose pour le Simplon.

Ce qui rend surtout la ventilation nécessaire dans l'intérieur d'un tunnel, c'est le dégagement de fumée et de gaz, spécialement d'acide carbonique et d'oxide de carbone plus ou moins asphyxiants et même délétères, par suite de la combustion du charbon nécessaire à la production de vapeur des locomotives.

Si l'on parvenait à isoler les gaz irrespirables, la question d'aération du tunnel au point de vue des voyageurs serait singulièrement simplifiée.

L'un de vos experts, M. Ernest Polonceau, a communiqué à la Commission une disposition spéciale qui pourrait résoudre le problème; elle consisterait à disposer, soit à la partie supérieure du tunnel, soit sur le côté (en adoptant une cheminée de locomotive d'une forme spéciale) un tube, une cloison ou un canal fermés par des clapets, laissant seulement passer la cheminée de la locomotive ou s'ouvrant pour le passage de la fumée et de la vapeur, qui seraient aspirées par un ventilateur placé aux entrées du tunnel.

La dépense du tube, de la cloison ou du canal dans le tunnel varierait, suivant les types adoptés, de 80 fr. le mètre à 225 fr., soit pour un tunnel de 16 km. de 1 280 000 fr. à 3 613 000 fr.

Cette solution par laquelle les gaz irrespirables ne seraient plus mélangés avec l'air du tunnel serait évidemment la meilleure; néanmoins la Commission pense que, même pour un tunnel à voie unique, un simple ventilateur aux deux extrémités du tunnel suffirait parfaitement; des portes seraient placées aux deux extrémités et fermées aussitôt le train passé; bien entendu cette ventilation ne pourrait que suivre la ventilation naturelle et lorsque cette ventilation naturelle serait établie les aspirateurs ne devraient agir que dans le même sens.

Si la question de dépenses ou des difficultés de quelque autre genre faisaient rejeter les précédents systèmes, on pourrait encore employer des machines système Lamm et Franck, par exemple, pour le remorquage des trains de voyageurs.

Votre Commission a examiné cette hypothèse et, après étude, a établi les conditions de construction d'une machine de ce système, devant remorquer des trains de 450 tonnes sur une longueur de 20 600 mètres, dont 20 000 mètres en tunnel.

Elle a supposé une machine ayant les dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre . . . . .	mm.	600
Course du piston . . . . .	»	650
Diamètre des roues couplées . . . . .	»	1 400
» des roues porteuses . . . . .	»	950
» moyen du récipient . . . . .	»	2 700
Longueur du récipient . . . . .	»	8 000
Volume total en litres . . . . .	l.	45 000
» d'eau chaude . . . . .	»	40 000
» de vapeur . . . . .	»	5 000
Pression maxima dans le récipient . . . . .	kg.	45
Poids de la machine vide . . . . .	»	40 000
» » en service . . . . .	»	80 000
Poids par essieu . . . . .	»	16 000
Poids sur les 6 roues couplées . . . . .	»	48 000
Traction d'après $\frac{1}{8}$ de ce poids . . . . .	»	6 000

Les essieux des roues porteuses munis de boîtes radiales pour permettre le passage dans les courbes.

Pour la facilité des calculs, les experts ont admis que les générateurs seraient placés à 300 m. de chaque entrée du tunnel, que le profil du tunnel serait symétrique avec rampe de 2 mm. par mètre de chaque côté.

Le parcours des locomotives sans foyer serait alors de  $300 + 20\ 000\text{ m.} + 300\text{ m.} = 20\ 600\text{ m.}$   
Voici les diverses conditions de ce système :

I. *Equilibre entre le travail résistant et le travail moteur.*

Poids à remorquer	450 tonnes.
Poids de la locomotive en service	80 »
Ensemble	530 tonnes.

A la vitesse de 40 kilomètres à l'heure, la résistance par tonne de train en palier alignement pouvant être de 3 kilogrammes, on aura, pour travail ou roulement du train de 530 tonnes :

2 fois $530\text{ t} \times 3\text{ kg} \times 300\text{ m.}$	= 954 000 kilogrammètres
$530 \times (3 + 2) \times 10\ 000\text{ m.}$	= 26 500 000 »
$530 \times (3 - 2) \times 10\ 000\text{ m.}$	= 5 300 000 »
	32 754 000 kilogrammètres
Travail dû au mécanisme de la locomotive $18\text{ kg} \times 80\text{ t} \times 20\ 600\text{ m.}$	= 29 664 000 »
	Travail résistant total 62 418 000 kilogrammètres

que la locomotive devra vaincre en traversant le tunnel sur un parcours de 20 600 mètres.

Or, d'après les calculs et les expériences de MM. de Mondésir et Lavoigne, ingénieurs en chef des ponts et chaussées, 1 litre d'eau chaude de ces machines fournit 1500 kilogrammètres au moins de travail utile; la locomotive proposée contenant 40 000 litres pourra développer un travail moteur d'au moins  $40\ 000 \times 1500 = 60\ 000\ 000$  kilogrammètres et, au besoin, un travail de 62 418 000 kilogrammètres, attendu que les 1500 kilogrammètres obtenus l'ont été sur de petits moteurs de tramways; il est évident qu'avec de grands volumes d'eau, le travail produit par litre sera supérieur à 1500 kilogrammètres.

II. *Adhérence utilisée.*

La résistance du train au roulement dans la rampe de 2 mm. du tunnel à la vitesse de 40 km. étant de  $530\text{ t} (3^k + 2^k) = 2650$  kilogr. et le poids *adhérent* de la locomotive étant de 48 000, le coefficient d'adhérence n'atteindra pas 6 %. Il n'y aura pas à redouter le patinage.

III. *Conditions de marche et dépense de vapeur.*

L'effort moteur total nécessaire en rampe de 2 mm. est de

$$530\text{ t} (3^k + 2^k) + 18^k \times 80\text{ t} = 4090\text{ kilogr.}$$

et sera réalisable avec une pression moyenne effective sur les pistons de :

$$\frac{4090}{D} = \frac{4090}{(60^2 \times 0,65)} = \frac{4090}{4671} = 2^{\text{kg}}45\text{ par centimètre carré.}$$

$d = 60$  cm. diamètre du cylindre.

$C = 0^m,65$ , course du piston.

$D = 1^m,40$ , diamètre des roues accouplées.

A une admission de 33 % et à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure (2,53 tours de roue motrice par seconde), il suffit que la vapeur soit admise à 5 kilogr. de pression dans les cylindres pour obtenir sur les pistons une pression moyenne de 2<sup>k</sup>,45.

Dans ces conditions, la quantité de vapeur à fournir par l'eau de la chaudière de la locomotive sera de  $4 \times \frac{\pi \times 0,60^2}{4} \times 0,33 \times 0^m,65 \times 3^{kg},18 \times \frac{1000^m}{\pi \times 1^m,40}$  par kilomètre, soit 175 kilogr. par kilomètre de rampe de 2 mm. (3<sup>kg</sup>,18 est la densité de la vapeur à 5 kilogr. de pression).

En palier on aura : Effort moteur  $530^t \times 3 + 18^k \times 80^t = 3030$  kilogr.

Pression moyenne sur les pistons  $\frac{3030}{4671} = 1^k,81$ .

Admission correspondante, 22 %.

Vapeur par kilomètre  $\frac{175^k \times 0,22}{0,33} = 117$  kilogr.

En pente de 2 mm. : Effort moteur  $530^t \times (3^k - 2^k) + 18^k \times 80^t = 4970$  kilogr.

Pression moyenne sur les pistons  $\frac{4970}{4671} = 1^k,18$ .

Admission correspondante, 15 %.

Vapeur par kilomètre  $\frac{175 \times 0,15}{0,33} = 80$  kilogr.

La dépense totale de vapeur sur les 20 600 m. du parcours sera donc égale à :

Palier, 2 fois 0 <sup>km</sup> .300	$\times 117^{kg}$	=	70 <sup>kg</sup> ,20
Rampe 2 mm., 10 kilom.	$\times 175^{kg}$	=	1750 <sup>kg</sup> ,00
Pente 2 mm., 10 kilom.	$\times 80^{kg}$	=	800 <sup>kg</sup> ,00
			2620 <sup>kg</sup> ,20

D'après cela, les générateurs placés aux extrémités du tunnel devront pouvoir produire par heure 5240 kilogr. de vapeur. La vitesse étant de 40 kilom. à l'heure, on mettra une demi-heure pour parcourir les 20 600 mètres.

Si l'on monte 4 générateurs de 100 m<sup>2</sup> de surface de chauffe à chaque extrémité du tunnel, on obtiendra cette quantité de vapeur en admettant une production par heure et par mètre carré de 13 kilog., ce qui est peu.

Ce procédé de traction serait plus coûteux que par des locomotives ordinaires; mais l'augmentation de dépenses ne serait pas suffisamment considérable pour faire renoncer à l'emploi du système Lamm et Franck, si l'on éprouvait des difficultés pour la ventilation du tunnel du fait de l'emploi de locomotives ordinaires.

Il est donc établi d'une manière certaine pour votre Commission que, d'une façon ou d'une autre, l'exploitation d'un tunnel de 20 kilomètres de longueur à simple ou double voie ne présente aucune difficulté pour la ventilation et que, s'il en survenait d'imprévues, il serait facile de les sur-

monter avec une légère augmentation de dépenses qui ne serait nullement de nature à faire abandonner l'exploitation.

Votre Commission est d'avis que des dispositions spéciales de ventilation ne seraient utiles à prendre qu'afin d'être dans des conditions meilleures qu'au St-Gothard, au Mont-Cenis et à l'Arlberg, et pour que, dès les premiers jours de l'exploitation, l'impression du public soit favorable à la traversée des Alpes par le Simplon.

La Commission, étant édifiée sur la possibilité d'exploitation, s'est préoccupée des conditions et difficultés de construction du tunnel du Simplon.

La première difficulté de construction qui se présente est la température que l'on rencontrera sur une longueur plus ou moins considérable dans l'intérieur du tunnel.

La température de la roche à l'Arlberg n'a jamais dépassé 19° centigrades, au Mont-Cenis 29°,5 et au St-Gothard 30°,8 centigrades.

Des études et travaux qui ont été faits pour se rendre compte de la **température** de la roche pour les divers projets de tunnels, il résulte que, pour le tunnel de 20 kilomètres, projet d'août 1882, on aurait une température supérieure à 30°,8 sur une longueur de 11 kilomètres, et comme température maxima 34° et même 35°. Après de nouvelles études, M. le professeur Renevier croit que le maximum de la température atteindrait 42°.

Votre Commission ne doit pas vous laisser ignorer que M. le professeur Heim maintient cependant les conclusions de son précédent rapport et croit que M. Renevier n'a peut-être pas eu assez égard à la température de la surface extérieure des montagnes et à la conformation du terrain latéralement au profil.

Pour le tunnel de 16 kilomètres de longueur, la température atteindrait 38 à 40° centigrades sur une longueur de 4 kilomètres et dépasserait ainsi celle du St-Gothard.

La Commission est donc d'avis qu'on peut admettre que l'on rencontrera, pour le tunnel de 16 kilomètres, des températures supérieures à celles du St-Gothard sur 4 kilomètres et que cette température pourra atteindre sur 2 kilomètres 38° à 40°; malgré cela, après un examen approfondi, elle croit possible la construction d'un tunnel dans ces conditions.

Tout d'abord elle rejette complètement l'exemple du St-Gothard, où les difficultés rencontrées du fait de la température n'ont été grandes que parce qu'aucune des précautions et dispositions nécessaires pour se mettre dans des conditions favorables de travail n'avaient été prises. Les installations aux deux extrémités du tunnel, pour la santé et le bien être des ouvriers et pour les soins aux malades, étaient à peu près nulles; rien n'avait été prévu dans l'intérieur pour l'alimentation du personnel et l'éloignement des déjections; les ouvriers buvaient de l'eau contaminée, crevaient, pour respirer, la conduite de ventilation sur son parcours, et si, d'après les rapports officiels, l'air arrivait en quantité suffisante pour la respiration, il n'arrivait pas dans les parties chaudes en quantité assez notable pour abaisser sensiblement la température.

La force motrice disponible au St-Gothard était insuffisante en général et dans bien des cas cette insuffisance a entravé les travaux, ce qui ne sera pas le cas au Simplon.

Le mode de paiement à l'entreprise, ayant pour base l'avancement des galeries d'attaque, rendait encore plus fâcheuses les conditions du travail dans le tunnel, par la nécessité pour l'entrepreneur d'avancer avant tout ces galeries.

La Commission est d'avis que des travaux bien conduits auraient diminué dans une proportion considérable toutes les difficultés rencontrées, et la preuve de ce qu'elle avance est que, parmi les

ouvriers qui étaient au front d'attaque, exposés à la plus haute température de la roche, la mortalité a été cependant normale et qu'aucune maladie ne s'est produite du fait de la température. La Commission croit donc que, si les travaux sont dirigés avec soin, si on adopte les dispositions prises à l'Arlberg pour les logements d'ouvriers, l'installation d'hôpitaux, d'écoles, etc..., si l'on est sévère pour l'admission du personnel travaillant dans le tunnel, si l'on surveille les divers établissements afin d'éviter les causes d'ivresse et de débauche, si l'on fait activement les travaux de revêtement intérieur de manière que les galeries d'attaque n'aient qu'une faible avance sur la partie du tunnel achevée, si une ventilation énergique est installée, si l'on dispose sur les chantiers des water-closets et un service de boisson, — on arrivera sans peine aux 4 kilomètres où la température dépassera celle trouvée au St-Gothard.

On peut admettre qu'une ventilation énergique pourra rafraîchir notablement la roche. La Commission a, à l'appui de cette opinion, un fait incontestable, c'est qu'après deux ans au St-Gothard, la température de l'intérieur du tunnel s'est abaissée de 7°. Il est donc évident que si, dès le commencement des travaux on ventile énergiquement, on diminuera d'une manière notable la température dans le tunnel et sans grande dépense, attendu qu'il suffira d'une force de 120 chevaux pour avoir une vitesse de 4 m. par seconde, vitesse qu'il ne faut pas dépasser; si en outre, une fois par semaine, on arrête les travaux et qu'on ventile à double vitesse<sup>1</sup> on pourra abaisser dans une certaine mesure la température de la roche.

La Commission ne saurait trop insister sur la nécessité qu'il y aura à procéder rapidement au revêtement intérieur du tunnel, car c'est là une cause de refroidissement constatée au Gothard.

Par les diverses dispositions indiquées, la Commission pense qu'on travaillera dans le tunnel sur presque tout le parcours, sans grandes difficultés; cependant, voulant parer à toutes les éventualités, elle a admis que sur 1 ou 2 kilomètres, c'est-à-dire sur 1 kilomètre de chaque front d'attaque, on rencontrerait des températures telles que ces moyens pourraient être insuffisants.

Elle croit que, dans ce cas, on devrait prendre les dispositions suivantes :

1° *Rafrâichissement par la ventilation.*

On ventilerait énergiquement les galeries d'attaque une fois par semaine, en suspendant les travaux seulement dans ces galeries; par suite de la différence des sections des galeries d'attaque et du tunnel en construction, on pourrait atteindre des vitesses de 12<sup>m</sup> à la seconde; cette ventilation amènerait un refroidissement de la roche très notable et lorsqu'on atteindrait des températures de 40°, en ne travaillant qu'un jour sur deux ou 12 heures sur 24, on arriverait bien certainement à traverser ces 2 kilomètres et tout se résumerait en un ralentissement de l'avancement qui, pour une longueur de 2 kilomètres serait de 50 %; l'avancement dans les parties centrales du St-Gothard ayant été de 3<sup>m</sup>5 par jour, on peut admettre que sur 2 ou même si l'on veut sur 4 kil. on aurait, du fait des hautes températures, un retard dans l'achèvement du percement du Simplon de sept mois environ.

2° *Rafrâichissement par aspersion d'eau froide pulvérisée.*

Il y a sans doute quelque inconvénient à introduire encore de l'eau dans un tunnel où l'on cherche au contraire à s'en débarrasser; mais lorsqu'il ne s'agit que de petites quantités, cet

<sup>1</sup> Les ventilateurs devraient être en nombre suffisant pour empêcher tout arrêt en semaine; il serait facile le dimanche, par exemple, de faire marcher tous les ventilateurs; la force ne manquerait pas, les perforateurs ne travaillant pas.

inconvenient n'est pas sensible, ainsi que le prouve l'expérience de l'Arlberg où l'emploi des perforatrices Brandt, à l'attaque ouest, exigeait une dépense de 7 litres par seconde.

En réduisant la ventilation à un volume d'environ 200 mètres cubes d'air introduit dans le tunnel par minute, ce qui correspond à une vitesse de 0<sup>m</sup>50 par seconde pour le courant dans la galerie d'avancement de base, et en admettant, ainsi que cela paraît résulter des observations faites au St-Gothard depuis l'ouverture de l'exploitation, qu'à cette vitesse de courant d'air de 0<sup>m</sup>50 par seconde, 1 mètre carré de paroi de tunnel abandonne à l'air  $\frac{1}{100}$  de calorie par minute et pour chaque degré de différence de température entre les deux milieux, on voit que la quantité de chaleur qu'abandonneraient les parois des deux galeries de base et de faite, sur un kilomètre de développement maximum pris par les chantiers de construction, et en supposant que l'on maintienne la température du milieu ambiant à 10° en moyenne au-dessous de la température correspondante de la roche, — serait par minute :

Galerie basse, 1000 <sup>m</sup> à 10 <sup>m</sup> 2 de superficie à 0,01 calorie pour chaque degré de différence de température = 100 calories et pour 10 degrés d'abaissement . . . . .	1000 calories
Galerie haute, 1000 m × 8 <sup>m</sup> 2 60 × 0,01 cal. × 10° = . . . . .	860 calories
Soit un total de . . . . .	1860 calories ou 2000 en nombre rond.

On pourra maintenir l'eau destinée au rafraîchissement à une température de 15°, en l'amenant sur les chantiers dans des tuyaux enveloppés de matières mauvaises conductrices de la chaleur.

Si l'on suppose que, projetée et pulvérisée à une pression de 10 atmosphères, l'eau parvienne à enlever à l'air une quantité de chaleur correspondante à sa propre augmentation de température jusqu'à 20° seulement, on trouve qu'il faudrait injecter par minute une masse d'eau x telle que

$$x \text{ litres} \times 5^\circ = 2000 \text{ calories; d'où } x = 200 \text{ litres par minute ou } 3,5 \text{ par seconde.}$$

Pour cette projection d'eau, il faudrait une conduite de 10 centimètres de diamètre, le travail à vaincre serait de 2000 kilogrammètres nécessitant une machine de 30 chevaux.<sup>1</sup>

3° *Rafraîchissement par la fusion de la glace.*

Un kilogramme de glace exigeant 79 calories pour sa fusion, on voit que, dans les mêmes hypothèses que celles énoncées pour le rafraîchissement au moyen de l'eau pulvérisée, il faudrait introduire dans le tunnel  $\frac{2000}{79} = 25$  kilog. de glace par minute pour abaisser de 10° la température des chantiers sur un kilomètre de galerie de base et de galerie de faite.

Cette quantité représente une masse journalière de 40<sup>m</sup>5 environ et ne fournirait qu'un débit de  $\frac{1}{2}$  litre d'eau dans le tunnel par seconde.

4° *Rafraîchissement au moyen de l'expansion de l'air comprimé.*

Trois mètres cubes d'air comprimé à 4  $\frac{1}{2}$  atmosphères fournissent au St-Gothard par leur expansion un rafraîchissement équivalent à 78 calories.

Pour faire équilibre aux 2000 calories environ abandonnées par la roche en une minute dans les deux galeries de base et de faite supposées rafraîchies de 10° en moyenne sur un kilomètre, il

<sup>1</sup> De récentes expériences faites sur la demande d'un des experts au puits de l'Eparre à St-Etienne, ont prouvé que 10 litres d'eau *par minute*, pulvérisée dans une galerie de mine, avaient abaissé la température de 3°.

faudrait par conséquent y introduire  $\frac{2000}{78} = 25$  fois plus d'air que ci-dessus, soit  $75^m^5$  d'air comprimé (à l'origine à 5 atmosphères) par minute.

Un rafraîchissement *complet* des chantiers au moyen d'air comprimé exigerait une force motrice de 5000 chevaux de chaque côté du tunnel.

Si l'on admet toutefois qu'à partir des températures au-dessus de  $30^\circ$  l'on interrompe tous les travaux sauf ceux des deux galeries d'avancement, on pourra se borner à ne rafraîchir complètement que ces chantiers d'avancement seulement.

Il suffirait alors d'introduire dans chacun de ces chantiers  $15^m^5$  d'air à 5 atmosphères ou  $10^m^5$  à 8 atmosphères, pour y maintenir une température d'une dizaine de degrés inférieure à celle de la roche, mais qui remonterait à cette dernière à environ  $250^m$  en arrière des fronts de taille.

L'introduction de cette masse d'air exigerait 20 compresseurs et une force de 2000 chevaux à chaque tête du tunnel.

Les dépenses exigées par les moyens de rafraîchissement indiqués seraient calculées ainsi qu'il suit :

a) Ventilation à pression normale.

4 ventilateurs . . . . .	Fr. 200 000
Diaphragme . . . . .	» 200 000
Bâtiment, galeries supplémentaires, imprévu. . . . .	» 100 000
Ensemble. . . . .	Fr. 500 000

de chaque côté du tunnel.

Plus la force motrice nécessaire de 400 chevaux de chaque côté du tunnel.

b) Aspersión d'eau pulvérisée.

Si l'on suppose que l'on utilise directement la pression d'une chute d'eau, *ce qui est possible*, les travaux se réduiraient à l'installation d'une simple conduite.

La dépense serait de chaque côté du tunnel :

Captation . . . . .	Fr. 15 000
10 000 <sup>m</sup> conduite de 0 <sup>m</sup> 100 y compris l'enveloppe non conductrice à 20 fr. le mètre posé . . . . .	» 200 000
Réseau dans les chantiers et appareils pulvérisateurs . . . . .	» 40 000
	Fr. 255 000

plus la force motrice détournée qui serait d'environ 30 chevaux de chaque côté.

c) Glace.

Quantité journalière à introduire à chaque tête,  $40^m^5$ .

Prix du mètre cube à la tête. . . . .	Fr. 15
Transport et manipulation . . . . .	» 10
	Fr. 25 soit par jour 1000 fr.

En admettant que la durée du percement des deux derniers kilomètres de chaque côté soit de . . . . .	450 jours
Que le temps pour terminer ultérieurement soit de . . . . .	200 »
Ensemble . . . . .	650 jours

La dépense serait de chaque côté de 650 000 fr., soit pour l'ensemble 1 300 000 fr.

Les experts ont fixé un prix de 15 fr. pour le mètre cube de la glace; ce prix est élevé, attendu qu'avec la machine Raoul Pictet on pourrait fabriquer de la glace à 7 fr. le mètre cube, y compris l'amortissement et les intérêts des machines, moteurs et dépenses d'installations.

*d/* Air comprimé.

Ce moyen exigerait, comme nous l'avons dit, la suspension des travaux autres que ceux des galeries d'avancement.

Il demande 20 compresseurs et une force motrice de 2000 chevaux pour la compression uniquement.

Mais comme l'air comprimé serait également utilisé pour la perforation et que les installations ci-dessus n'atteignent pas le double de celles de l'Arlberg côté Est, tandis que dans le devis du Simplon on prévoit pour les installations une somme de plus du double de celles réellement dépensées à l'Arlberg, il n'y a donc pas lieu de prévoir des dépenses supplémentaires de ce fait.

La durée de la construction serait toutefois augmentée par suite de la suspension des travaux. Ce retard peut être évalué à 15 mois.

*En résumé*, sur cette question des difficultés que l'on pourra rencontrer au milieu du tunnel par suite de la haute température, votre Commission pense avoir établi qu'il est possible de les vaincre par l'un des divers procédés indiqués et même, s'il est nécessaire, par l'emploi simultané de deux de ces procédés.

Elle est convaincue que presque toutes les difficultés qui se sont produites au St-Gothard disparaîtraient au Simplon par une bonne organisation des chantiers, par des installations rationnelles aux deux têtes du tunnel et par une surveillance rigoureuse du personnel admis et de sa moralité; — qu'enfin dans les parties à hautes températures, on arrivera à en supprimer les inconvénients en ne travaillant que toutes les 12 heures, et que cette perte de temps sera compensée par la marche normale des travaux.

La Commission estime que les hautes températures occasionneront seulement une augmentation de dépense de deux millions et un retard dans l'achèvement du percement de 15 à 18 mois.

Les forces motrices d'environ 4000 chevaux à chaque tête de tunnel et les installations mécaniques et autres, d'un coût de 7 1/2 millions qui ont été prévues sont largement suffisantes pour parer à toutes les éventualités.

**Forces motrices disponibles.**

La Commission a cherché à se rendre compte des forces motrices disponibles aux deux extrémités du tunnel, soit pour la perforation mécanique, soit pour la ventilation; elle est d'accord que les renseignements publiés en 1882 par le comité du Simplon sont exacts, c'est-à-dire qu'on disposerait sur le versant sud, *aux eaux les plus basses*, d'au moins 6300 chevaux théoriques soit 4000 chevaux effectifs amenés par 3 ou 4 conduites distinctes et, aux basses eaux moyennes, de 8100 chevaux théoriques, soit 6000 chevaux effectifs.

On sait qu'au tunnel du St-Gothard, du côté d'Airolo surtout, la force motrice est descendue à 400 chevaux; on disposerait donc d'une force dix fois plus considérable.

Sur le versant nord, en outre de la Massa et de la Saltine, si l'on faisait un barrage du Rhône à Hochfluh, on aurait une force disponible de 5952 chevaux théoriques. Si l'on établissait ce barrage à Mörel avec un canal de 4500<sup>m</sup>, on aurait une chute de 55<sup>m</sup> correspondant à une force de 10560 chevaux.

On voit donc que, sur les deux versants et en ne dérivant qu'une partie des eaux du Rhône sur le versant nord, on aurait largement les forces nécessaires pour actionner les machines perforatrices et les ventilateurs les plus puissants; sous ce rapport, on se trouverait dans des conditions bien supérieures à celles qu'on avait au St-Gothard et à l'Arlberg.

Enfin la Commission appelle l'attention sur la possibilité d'employer l'électricité pour transmettre les forces économiquement; il y a là une nouvelle facilité d'exécution économique des travaux qui n'existait pas autrefois.

#### **De la section du tunnel.**

La Commission a étudié les diverses sections de tunnels à simple et double voie; elle est tombée d'accord sur les dimensions suivantes:

Pour le tunnel à simple voie, la hauteur sous clef serait de 6<sup>m</sup>50, au-dessus des traverses; la largeur aux naissances, c'est-à-dire à 2<sup>m</sup>50 du rail, de 5<sup>m</sup>50; pour le tunnel à double voie, la hauteur est de 6<sup>m</sup>10 et la largeur de 8<sup>m</sup>20 aux naissances; dans les deux cas, l'appareillage doit être radial.

Le tunnel à double voie a 42<sup>m</sup>52 de section.

» à simple voie a 32<sup>m</sup>75<sup>1</sup> »

#### **Des tunnels à simple voie et des tunnels à double voie.**

La Commission est d'avis que, pour un tunnel de 15 à 16 kilomètres, il y a économie de 9 à 10 millions en faveur du tunnel à simple voie sur le tunnel à double voie.

Elle n'ignore pas qu'on reproche généralement aux tunnels à simple voie comparés à ceux à double voie de ne pouvoir être ventilés aussi facilement, de ne pas permettre un débit aussi considérable, de rendre les réparations plus difficiles, d'être en défaveur auprès du public et d'augmenter les chances de danger en cas d'accident. — Toutefois et bien que reconnaissant la supériorité du tunnel à double voie relativement à celui à voie unique, la Commission estime qu'un tunnel à simple voie, établi dans les conditions proposées, serait suffisant et fournirait une solution admissible du passage du Simplon.

Elle a examiné quelle serait l'économie réalisée si l'on exécutait le tunnel du Simplon en donnant à la voûte le profil correspondant à la double voie et en restreignant la partie inférieure du profil à la largeur de la simple voie; cette économie serait probablement de 5 à 6 millions. Mais la Commission ne saurait recommander cette solution, parce que l'élargissement du profil à la double voie, s'il devenait nécessaire, le serait précisément au moment du plus fort trafic et ne

<sup>1</sup> Le tunnel des Loges du Jura neuchâtelois d'une longueur de 3260<sup>m</sup> a une section de 18<sup>m</sup>50 avec des déclivités de 27<sup>mm</sup> par mètre sur 2260 mètres.

pourrait être exécuté qu'en causant un trouble sensible dans l'exploitation et un danger continuel; enfin le point essentiel c'est que cette économie, *calculée* de 5 à 6 millions, que la Commission donne *sous toutes réserves*, pourrait bien se réduire considérablement suivant la nature de la roche que l'on rencontrera. Sur bien des points, il ne serait ni possible ni prudent de ne pas procéder de suite à l'exécution complète du tunnel à double voie et l'économie réalisée serait alors de bien peu d'importance.

#### Du tracé à adopter.

La Commission a étudié les divers tracés et, après examen, discussion et études sur le terrain, elle est d'avis d'adopter le tracé proposé par M. l'ingénieur en chef Meyer.

Ce tracé a son origine au kilomètre 137,969 de la ligne de Lausanne à Brigue, à 4 kil. 310 de la gare de Viège; il traverse obliquement la plaine, puis se développe à flanc de coteau, sur une longueur de 8981 mètres jusqu'à la tête du grand tunnel, placé sur la rive gauche à 40 mètres au-dessus de la Saltine, à la cote 820<sup>m</sup>.

Les courbes ont un rayon minimum de 300 mètres et sont séparées par des alignements de 50 mètres au moins.

La cote d'altitude au départ est de 652<sup>m</sup>65; le tracé est en rampe de 12<sup>mm</sup> sur 291<sup>m</sup>, puis de 20<sup>mm</sup> sur 8190 mètres, et en palier sur 500 mètres à la cote 820<sup>m</sup> à l'entrée du souterrain. Le tunnel est en rampe de 3<sup>mm</sup> sur 8428<sup>m</sup>, puis en pente de 2<sup>mm</sup> sur le versant sud.

Le tracé de la rampe d'accès du côté du Nord est plus avantageux que les précédents; ce tracé, un peu plus sinueux, a permis de supprimer tous les tunnels jusqu'à la Saltine et de traverser avantageusement la Gamsa, en amont de son cône de déjection, par un viaduc de 30 mètres d'ouverture sur 8 mètres de hauteur.

Arrivé sur les bords de la Saltine, le tracé s'infléchit à droite pour éviter un couloir descendant jusqu'au torrent, puis à gauche sous le mamelon de Wickert qui est franchi par un tunnel de 375 mètres, après lequel le tracé est en palier et en remblais de 40<sup>m</sup> à 10<sup>m</sup> de hauteur au-dessus de la Saltine, adossé à la berge gauche dans la gorge même du torrent qui subirait quelques déviations.

Ce remblai considérable serait formé avec les déblais du grand tunnel et de celui de Wickert.

La station de Brigue est établie sur ce palier à la cote 820 m., à une distance de 2800 m. du centre de la ville et à 1600 m. du pont Napoléon.

Sur le versant sud, le tunnel débouche à la cote 830 m. en aval de Gondo; la distance jusqu'à la frontière italienne n'est que de 600 m.

La Commission n'a pas cru nécessaire de faire une étude plus détaillée de la voie d'accès du côté sud, puisque rien ne pourra être décidé sans connaître le tracé de Domo d'Ossola à la tête sud du tunnel; la distance entre cette tête du tunnel et la frontière suisse n'étant pas très grande, les modifications demandées par le gouvernement italien pour faciliter son tracé jusqu'à Domo-d'Ossola, ne seront jamais coûteuses et l'on pourra être très conciliant sans dépenses notables, la faible rampe du tunnel sur le versant sud permettant d'abaisser sans difficulté la tête du tunnel sur le versant italien.

Le coût de ce tracé peut être évalué comme suit, en prenant des prix que nous croyons plutôt supérieurs qu'inférieurs aux nécessités des travaux :

Versant Nord (voie unique).	Longueur	Tunnel à simple voie.		Tunnel pour double voie. Une seule voie posée.	
		Dépenses par kilom.	Dépenses totales.	Dépenses par kilom.	Dépenses totales.
	Mètres.	Francs.	Francs.	Francs.	Francs.
De l'origine au kilomètre 1,400 . . . . .	1 691	160 000	270 560	160 000	270 560
Du kilom. 1,400 au kilom. 3,900 . . . . .	2 500	300 000	750 000	300 000	750 000
» 3,900 » 7,600 . . . . .	3 700	200 000	740 000	200 000	740 000
» 7,600 » 8,690 . . . . .	1 090	600 000	654 000	600 000	654 000
Total pour la rampe d'accès Nord . . . . .	8 981	270 000	2 414 560	270 000	2 414 560
Grand tunnel . . . . .	16 070	2 920 000	46 924 400	3 472 000	55 795 040
Rampe d'accès Sud . . . . .	600	—	400 000	—	400 000
Ensemble . . . . .	25 651	—	49 738 960	—	58 609 600

Les dépenses totales de la ligne du Simplon pourraient donc s'établir comme suit :

	Avec tunnel à simple voie.	Avec tunnel pour double voie. Une seule voie posée dans le tunnel.
	Francs.	Francs.
Rampe d'accès versant Nord (voie unique) . . . . .	2 414 560	2 414 560
Grand tunnel . . . . .	46 924 400	55 795 040
Rampe d'accès versant Sud (voie unique) . . . . .	400 000	400 000
Dépenses à Viège, pour douane, dépôt, voies, stations . . . . .	300 000	300 000
Matériel : 13 locomotives à 70,000 fr. . . . .	910 000	910 000
Sommes à prévoir pour vaincre les difficultés de la haute température dans le tunnel, si on les rencontrait . . . . .	2 000 000	2 500 000
TOTAL . . . . .	52 948 960	62 319 600

Il y aura à ajouter à ces dépenses celles de formation du capital et des intérêts intercalaires ; mais en réduisant la hauteur du tunnel à simple voie de 6<sup>m</sup>50 à 6<sup>m</sup>10, on réaliserait une économie d'environ 1 200 000 fr. et les dépenses totales du tunnel à simple voie seraient de 51 750 000 francs.

Quant à la durée des travaux, la Commission pense qu'elle ne dépassera pas 6 années si les hautes températures ne se présentent pas au centre du tunnel ; si les difficultés spéciales prévues se rencontrent, il faudra compter 18 mois de plus.

Pour résumer tous les travaux contenus dans ce rapport, la Commission nommée pour examiner les divers projets de percement de Simplon, expose les conclusions auxquelles de sérieuses études comparatives l'ont amenée :

1<sup>o</sup> Les systèmes Fell, Agudio et des anciens établissements Cail sont à rejeter. Les uns ne donnent qu'une solution imparfaite de la question, en ne satisfaisant pas aux besoins du trafic. Tous présentent des inconvénients plus ou moins graves au point de vue de la sécurité; fussent-ils exécutés, ils seraient abandonnés après un délai peu considérable, soit par suite d'accidents, soit par suite de recettes d'exploitation insuffisantes.

2<sup>o</sup> La traversée des Alpes par le Simplon ne peut se faire que par un tunnel de base.

Ce principe admis, deux systèmes sont possibles :

Le tunnel de 20 kilomètres;

Le tunnel de 16 kilomètres.

Le tunnel de 20 kilomètres paraîtrait la meilleure solution; mais les grandes dépenses qu'il occasionnerait semblent devoir le faire rejeter.

Il coûterait de 65 à 70 millions pour un tunnel à simple voie, et de 85 à 90 millions pour un tunnel à double voie; la possibilité de rencontrer sur 11 kilomètres des températures notablement supérieures à celles du St-Gothard et l'incertitude sur les maxima que l'on pourra trouver, pourraient occasionner des dépenses exceptionnellement considérables qu'il nous paraît très difficile d'apprécier.

La Commission propose donc le tunnel de base de 16 070 m. de longueur aux altitudes de 820 et 830 m. Si les capitaux que l'on pourra réaliser sont suffisants, elle donne incontestablement la préférence au tunnel à double voie; mais tout en ne méconnaissant pas qu'un tunnel à simple voie présente des inconvénients pour l'entretien, elle est convaincue que, si la raison d'économie le fait préférer, le tunnel à simple voie, ayant les dimensions prévues par la Commission (32<sup>m</sup>,75) peut satisfaire à tous les besoins du trafic; la gêne d'exploitation qui en résultera nécessitera seulement en cas de fort trafic des installations plus considérables comme voies, gares, dépôts, etc., sur les deux versants.

En terminant, la Commission signale les facilités que trouvera le percement du Simplon, comparativement aux autres percements de tunnels et qui ont influé sur les prix qu'elle a fixés.

- a) Faible altitude des deux têtes du tunnel, 820 m. et 830 m.
- b) Force motrice en abondance et pour ainsi dire sans limite, grâce aux progrès actuels de l'électricité.
- c) Eclairage plus complet par suite encore des progrès de l'électricité.
- d) Proximité du chemin de fer sur le versant nord.
- e) Faible longueur des voies d'accès permettant d'approvisionner facilement les chantiers.
- f) Réduction de prix de la main d'œuvre et des matières et matériaux.

Lausanne, le 17 novembre 1886.

Ernest POLONCEAU.    DOPPLER.    J. DUMUR.    W. HUBER.

---

## Annexe A.

---

# DISTANCES DIVERSES

par le Simplon, le St-Gothard et le Mont-Cenis.

---

1° **Paris-Milan**, par le Simplon et Arona.

Paris-Pontarlier (Graph. P.-L.-M.) . . . . .			453 <sup>k</sup> 55
Pontarlier-Lausanne . . . . .	}	257 <sup>k</sup> 96	71 48
Lausanne-Viège . . . . .			136 66
Viège-Domo-d'Ossola . . . . .			49 82
			711 51
Domo-d'Ossola-Arona (jonction) . . . . .			57 67
Arona (jonction)-Milan . . . . .			64 96
		<i>Total, Paris-Milan.</i>	834 <sup>k</sup> 14

2° **Paris-Milan**, par le Simplon et Gozzano-Novare.

Paris-Domo-d'Ossola (voir n° 1) . . . . .			711 <sup>k</sup> 51
Domo-d'Ossola-Gozzano. . . . .			53 72
Gozzano-Novare (Graph. Alt. Ital.) . . . . .			35 59
Novare-Milan ( » ) . . . . .			49 17
		<i>Total, Paris-Milan.</i>	849 <sup>k</sup> 99

3° **Bâle-Milan**, par le Mont-Cenis.

Bâle-Lausanne, par Delémont-Bienne . . . . .			188 <sup>k</sup> 74
Lausanne-Genève . . . . .			60 16
Genève-Culoz (Graph. P.-L.-M.) . . . . .			66 30
Culoz-Modane ( » ) . . . . .			134 60
Modane-Turin (Graph. Alt. Ital.) . . . . .			105 00
			554 80
Turin-Milan ( » ) . . . . .			149 20
		<i>Total, Bâle-Milan.</i>	704 <sup>k</sup> 00



10° **Bâle-Gênes**, par le Simplon.

Bâle-Domo-d'Ossola (voir n° 8) . . . . .	375 <sup>k</sup> 08
Domo-d'Ossola-Gozzano . . . . .	53 72
Gozzano-Novare . . . . .	35 59
Novare-Gênes (Graph. Alt. Ital.) . . . . .	141 68
Total, <i>Bâle-Gênes</i> .	<u>606<sup>k</sup>07</u>

11° **Paris-Milan**, par le Gothard et Mulhouse.

Paris-Mulhouse (Graph. Est) . . . . .	491 <sup>k</sup> 40
Mulhouse-Bâle (Graph. Als.-Lor.) . . . . .	37 97
Bâle-Milan (voir n° 6) . . . . .	366 60
Total, <i>Paris-Milan</i> .	<u>895<sup>k</sup>67</u>

12° **Paris-Milan**, par Delle et le Gothard.

Paris-Belfort (Graph. Est) . . . . .	442 <sup>k</sup> 90
Belfort-Delle ( » ) . . . . .	21 90
Delle-Bâle . . . . .	78 60
Bâle-Milan (voir n° 6) . . . . .	366 60
Total, <i>Paris-Milan</i> .	<u>910<sup>k</sup>00</u>

13° **Boulogne-Plaisance**, par le Simplon et Arona.

Boulogne-Amiens . . . . .	123 <sup>k</sup> 00
Amiens-Chalindrey . . . . .	395 40
Chalindrey-Mouchard . . . . .	127 40
Mouchard-Pontarlier (Graph. P.-L.-M.) . . . . .	61 30
Pontarlier-Lausanne . . . . .	71 48
Lausanne-Viège . . . . .	136 66
Viège-Domo-d'Ossola . . . . .	49 68
Domo-d'Ossola-Arona . . . . .	57 67
Arona-Milan . . . . .	64 96
Milan-Plaisance . . . . .	69 23
Total, <i>Boulogne-Plaisance</i> .	<u>1156<sup>k</sup>48</u>

14° **Boulogne-Plaisance** par le Simplon et Gozzano.

Boulogne-Domo-d'Ossola (voir n° 13) . . . . .	964 <sup>k</sup> 62
Domo-d'Ossola-Gozzano . . . . .	53 72
Gozzano-Novare . . . . .	35 59
Novare-Mortara . . . . .	24 33
Mortara-Broni . . . . .	45 00
Broni-Plaisance . . . . .	37 00
Total, <i>Boulogne-Plaisance</i> .	<u>1160<sup>k</sup>26</u>

15° **Boulogne-Plaisance**, par le Gothard.

Boulogne-Amiens . . . . .	123 <sup>k</sup> 00
Amiens-Reims . . . . .	159 10
Reims-Chalons . . . . .	56 40
Chalons-Bleme . . . . .	44 90
Bleme-Chaumont . . . . .	88 90
Chaumont-Belfort . . . . .	180 90
Belfort-Montreux-Vieux . . . . .	14 10
Montreux-Vieux-Mulhouse . . . . .	34 10
Mulhouse-Bâle . . . . .	37 97
Bâle-Milan, via Rapperswyl . . . . .	366 60
Milan-Plaisance . . . . .	69 23
Total, <i>Boulogne-Plaisance</i> .	<u>1175<sup>k</sup>20</u>
Boulogne-Plaisance, via Lucerne . . . . .	1188 <sup>k</sup> 20

16° **Boulogne-Plaisance**, par le Mont-Cenis.

Boulogne-Paris . . . . .	253 <sup>k</sup> 60
Paris-Milan (voir n° 5) . . . . .	945 70
Milan-Plaisance . . . . .	69 23
Total, <i>Boulogne-Plaisance</i> .	<u>1268<sup>k</sup>53</u>

17° **Belfort-Gênes**, par le Simplon.

Belfort-Besançon . . . . .	95 <sup>k</sup> 80
Besançon-Mouchard . . . . .	40 70
Mouchard-Pontarlier . . . . .	61 30
Pontarlier-Domo-d'Ossola (voir n° 4) . . . . .	257 96
Domo-d'Ossola-Gênes (voir n° 10) . . . . .	230 97
Total, <i>Belfort-Gênes</i> .	<u>686<sup>k</sup>73</u>

18° **Belfort-Gênes**, par le Gothard.

Belfort-Montreux-Vieux . . . . .	14 <sup>k</sup> 100	14 <sup>k</sup> 10
Montreux-Vieux-Mulhouse . . . . .	34 100	34 10
Mulhouse-Bâle . . . . .	37 970	37 97
Bâle-Gênes, via Lucerne . . . . .	520 969	via Rappersweil . 507 969
Total, 607 <sup>k</sup> 139		<u>594<sup>k</sup>139</u>

19° **Belfort-Gênes**, par le Mont-Cenis.

Belfort-Besançon . . . . .	95 <sup>k</sup> 80
Besançon-Bourg . . . . .	153 90
Bourg-Culoz . . . . .	81 20
Culoz-Modane . . . . .	134 60
Modane-Turin . . . . .	105 00
Turin-Alexandrie . . . . .	90 08
Alexandrie-Gênes . . . . .	75 10
Total, <i>Belfort-Gênes</i> .	<u>735<sup>k</sup>68</u>

20° **Belfort-Milan**, par le Simplon.

Belfort-Delle . . . . .	21 <sup>k</sup> 90
Delle-Delémont . . . . .	39 93
Delémont-Sonceboz . . . . .	36 32
Sonceboz-Bienne . . . . .	14 53
Bienne-Neuchâtel . . . . .	29 10
Neuchâtel-Lausanne . . . . .	74 10
Lausanne-Viège . . . . .	136 66
Viège-Domo-d'Ossola . . . . .	49 82
Domo-d'Ossola-Arona . . . . .	57 67
Arona-Milan . . . . .	64 96

Total, *Belfort-Milan*, 524<sup>k</sup>99

Par Besançon, Mouchard, Pontarlier, cette distance serait de 579<sup>k</sup>00

21° **Belfort-Milan**, par le St-Gothard et Delle.

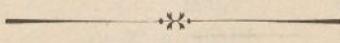
Belfort-Delle . . . . .	21 <sup>k</sup> 90
Delle-Delémont-Bâle . . . . .	78 60
Bâle-Milan . . . . .	366 06

Total, *Belfort-Milan*. 466<sup>k</sup>56

22° **Belfort-Milan**, par le St-Gothard et Mulhouse.

Belfort-Montreux-Vieux . . . . .	14 <sup>k</sup> 10
Montreux-Vieux-Mulhouse-Bâle . . . . .	72 07
Bâle-Milan . . . . .	366 06

Total, *Belfort-Milan*. 452<sup>k</sup>23



## Annexe B.

### ETABLISSEMENT DES DISTANCES VIRTUELLES

(MAJORÉES POUR LES RAMPES)

d'après la formule de M. AMIOT, ingénieur de la Compagnie P.-L.-M.

#### POUR DIFFÉRENTS PASSAGES DES ALPES

#### MAJORATIONS

##### A. SIMPLON

		Kilom.
<b>I. Paris-Milan (par Arona)</b>		
Paris-Pontarlier (Mémoire technique de 1882, pages 106-107)		52,14
Pontarlier-Lausanne ( » )	page 105) Pontarlier-Vallorbe 20,45	} . . . 40 95
	Vallorbe-Daillens 18,57	
	Daillens-Lausanne 1,93	
Lausanne-St-Maurice ( » )	» )	11 30
St-Maurice-Viège	St-Maurice-Evionnaz 6 <sup>k</sup> 311 à 10 ‰ Coeff. 0,3 1,90	} . . . 8 24
	Riddes-Sion 12,847 » » » 3,82	
	Sierre-Louèche 9,399 » » » 2,52	
Viège-Tunnel	10,290 à 20 ‰ » 0,6	6 20
Gondo-Domo-d'Ossola	23,268 à 25 ‰ » 0,8	18 60
Domo-Ornavasso	25,560 à 12 ‰ » 0,3	7 70
		145 13
<b>II. Paris-Milan (par Gozzano)</b>		
Paris-Ornavasso	Comme ci-dessus	145 13
Ornavasso-Gozzano	28 <sup>k</sup> 2 à 15 ‰ Coeff. 04	11 —
		156 13

**III. Bâle-Gênes**

			Kilom.
Bâle-Delémont	38k689 à 10 ‰	Coeff. 0,2	7,80
Delémont-Moùtier	12 à 15 ‰	» 0,5	6 —
Moutier-Court	7 à 25 ‰	» 0,9	6 30
Court-Tavannes	13 à 15 ‰	» 0,5	6 50
Tavannes-Bienne	22 à 25 ‰	» 0,5	19 80
Cornaux-Concise	32 à 10 ‰	» 0,2	6 40
Renens-Lausanne	4 à 10 ‰	» 0,2	— 80
			<hr/>
			53 60
Lausanne-St-Maurice	Voir n° I		11 30
St-Maurice-Viège	» »		8 24
Viège-tunnel	» »		6 20
Gondo-Domo-d'Ossola	» »		18 60
Domo-d'Ossola-Ornavasso	» »		7 70
			<hr/>
			105 64
Orvanasso-Gozzano	» n° II		11 —
Bussola-Pontedecimo	10k4 à 35 ‰	Coeff. 1,1	11 50
Pontedecimo-Gênes	12 à 12 ‰	» 0,3	3 60
			<hr/>
			131 74

**IV. Bâle-Milan (via Arona)**

Bâle-Lausanne	Voir n° III		53 60
Lausanne-St-Maurice	» »		11 30
St-Maurice-Viège	» »		8 24
Viège-tunnel	» »		6 20
Gondo-Domo-d'Ossola	» »		18 60
Domo-d'Ossola-Ornavasso	» »		7 70
			<hr/>
			105 64

**V. Bâle-Milan (via Gozzano)**

Bâle-Ornavasso	Voir n° IV		105 64
Ornavasso-Gozzano	» n° II		11 —
			<hr/>
			116 64

**VI. Boulogne-Plaisance (via Arona)**

Auxonne-Pontarlier. (Mémoire technique de 1882, page 105)			42 20
Pontarlier-Lausanne	Voir n° I		40 95
Lausanne-St-Maurice	» »		11 30
St-Maurice-Viège	» »		8 24
Viège-tunnel	» »		6 20
Gondo-Domo-d'Ossola	» »		18 60
Domo-d'Ossola-Ornavasso	» »		7 70
			<hr/>
			135 19

			Kilom.
<b>VII. Boulogne-Plaisance</b> (via Gozzano)			
Boulogne-Ornavasso	Voir n° VI	. . . . .	135,19
Ornavasso-Gozzano	» n° II	. . . . .	11 —
			<hr/>
			146 19

<b>VIII. Belfort-Gênes</b> (via Gozzano)			
Porrentruy-Glovelier	17 <sup>k</sup>	à 16 ‰ Coeff. 0,5 . . . . .	8 50
Glovelier-Delémont	12	à 10 ‰ » 0,2 . . . . .	2 40
Delémont-Moùtier		Voir n° III . . . . .	6 —
Moùtier-Court		» » . . . . .	6 30
Court-Tavannes		» » . . . . .	6 50
Tavannes-Bienne		» » . . . . .	19 80
Cornaux-Concise		» » . . . . .	6 40
Renens-Lausanne		» » . . . . .	— 80
Lausanne-St-Maurice		» » . . . . .	11 30
St-Maurice-Viège		» » . . . . .	8 24
Viège-tunnel		» » . . . . .	6 20
Gondo-Domo-d'Ossola		» » . . . . .	18 60
Domo-d'Ossola-Ornavasso		» » . . . . .	7 70
Ornavasso-Gozzano		» » 11,— } . . . . .	26 10
Bussola-Pontedecimo		» » 11,50 }	
Pontedecimo-Gênes		» » 3,60 }	
			<hr/>
			134 84

## B. MONT-CENIS

<b>I. Paris-Milan</b>			
Tenay-Artemare	24 <sup>k</sup>	à 10 ‰ Coeff. 0,2 . . . . .	4 80
Aix-Chambéry	14	à » » 0,2 . . . . .	2 80
Epière-La Chambre	13	à » » 0,2 . . . . .	2 60
La Chambre-St-Jean de Maurienne	10	à 14 ‰ » 0,4 . . . . .	4 —
St-Jean de Maurienne-St-Michel	13	à 23 ‰ » 0,8 . . . . .	10 40
St-Michel-Modane	17	à 30 ‰ » 1,0 . . . . .	17 —
Modane-frontière	18,7	à 26 ‰ » 1,0 . . . . .	18 70
Frontière-Bussoleno	41	à 30 ‰ » 1,0 . . . . .	41 —
Bussoleno-Turin	45	à 10 ‰ » 0,2 . . . . .	9 —
			<hr/>
			110 30
<b>II. Boulogne-Plaisance</b>		Comme ci-dessus . . . . .	110 30
			<hr/>

	Kilom.
<b>III. Bâle-Milan</b>	
Bâle-Lausanne	Voir n° III A . . . . . 53,60
Lausanne-Genève	60,2 à 10 ‰ Coeff. 0,2 . . . . . 12 04
Genève-Bellegarde	33,4 à 12 ‰ » 0,3 . . . . . 10 —
Bellegarde-Seyssel	18, à 12 ‰ » 0,3 . . . . . 5 40
Aix-Chambéry-Turin	Voir n° I. 110 <sup>k</sup> 30 — 4,80 . . . . . 105 50
	<hr/> 186 54
<b>IV. Bâle-Gênes</b>	
Bâle-Turin	Comme ci-dessus . . . . . 186 54
Bussola-Pontedecimo	Voir n° III A . . . . . 11 50
Pontedecimo-Gênes	» » . . . . . 3 60
	<hr/> 201 64
<b>V. Belfort-Gênes</b>	
Besançon-Mouchard	42 <sup>k</sup> 3 à 10 ‰ Coeff. 0,2 . . . . . 8 50
Bourg-Turin	Comme ci-dessus I B. . . . . 110 30
Bussola-Pontedecimo	» » IV B. . . . . 11 50
Pontedecimo-Gênes	» » » . . . . . 3 60
	<hr/> 133 90

### C. GOTHARD

I. <b>Paris-Milan</b> (par Lucerne). Voir Mémoire technique de 1882, page 105 . . . . .	459 32
<b>II. Paris-Milan</b> (par Aarau-Rupperswyl)	
Bâle-Olten. Voir Mémoire technique de 1882, page 105 . . . . .	19 20
Olten-Aarau	13 <sup>k</sup> 399 à 10 ‰ Coeff. 0,2 . . . . . 2 70
Aarau-Rothkreuz	46,629 à » » » . . . . . 9 30
Rothkreuz-Immensee	10,100 à » » » . . . . . 1 02
Immensee-Erstfeld	37,268 à » » » . . . . . 7 45
Ersfeld-Biasca	Voir Mémoire technique de 1882, page 105 . . . . . 71 76
Biasca-Giubiasco	» » » » » . . . . . 4 46
	<hr/> 115 89
Giubiasco-Chiasso	» » » » » . . . . . 31 33
Chiasso-Milan	» » » » » . . . . . 13 30
	<hr/> 160 52

	Kilom.
<b>III. Bâle-Gênes</b>	
Bâle-Giubiasco	Voir n° II . . . . . 115,89
Giubiasco-Pino	16 <sup>k</sup> 38 à 10 ‰ Coeff. 0,2 . . . . . 3 30
Bussola-Pontedecimo	Voir n° V B. . . . . 41 50
Pontedecimo-Gênes	» » . . . . . 3 60
	134 29
<b>IV. Belfort-Gênes</b>	
Porrentruy-Glovelier	Voir n° VIII A. . . . . 8 50
Glovelier-Delémont	» » . . . . . 2 40
Delémont-Bâle	39 <sup>k</sup> à 10 ‰ Coeff. 0,2 . . . . . 7 80
Bâle-Gênes	Voir n° III ci-dessus . . . . . 134 29
	152 99
<b>V. Boulogne-Plaisance</b>	
Comme Paris-Milan (via Lucerne) . . . . .	159 32
» » (» Aarau-Rupperswyl) . . . . .	160 52
<b>VI. Belfort-Milan</b> (via Mulhouse-Bâle) Voir n° I . . . . .	159 32
<b>VII. Belfort-Milan</b> (via Delle-Bâle)	
Belfort-Bâle	Voir n° IV . . . . . 18 70
Bâle-Milan . . . . .	159 32
	178 02



# TRAVERSÉE DU SIMPLON PAR UN CHEMIN DE FER

## PLAN DE SITUATION

— Ligne projetée pour la traversée du Simplon de Viège à Domo-d'Ossola.  
- - - Ligne en construction de Gozzano à Domo-d'Ossola.

Annexe N° I au Rapport d'expertise 1886.



Bureau topographique fédéral

Echelle 1/100000



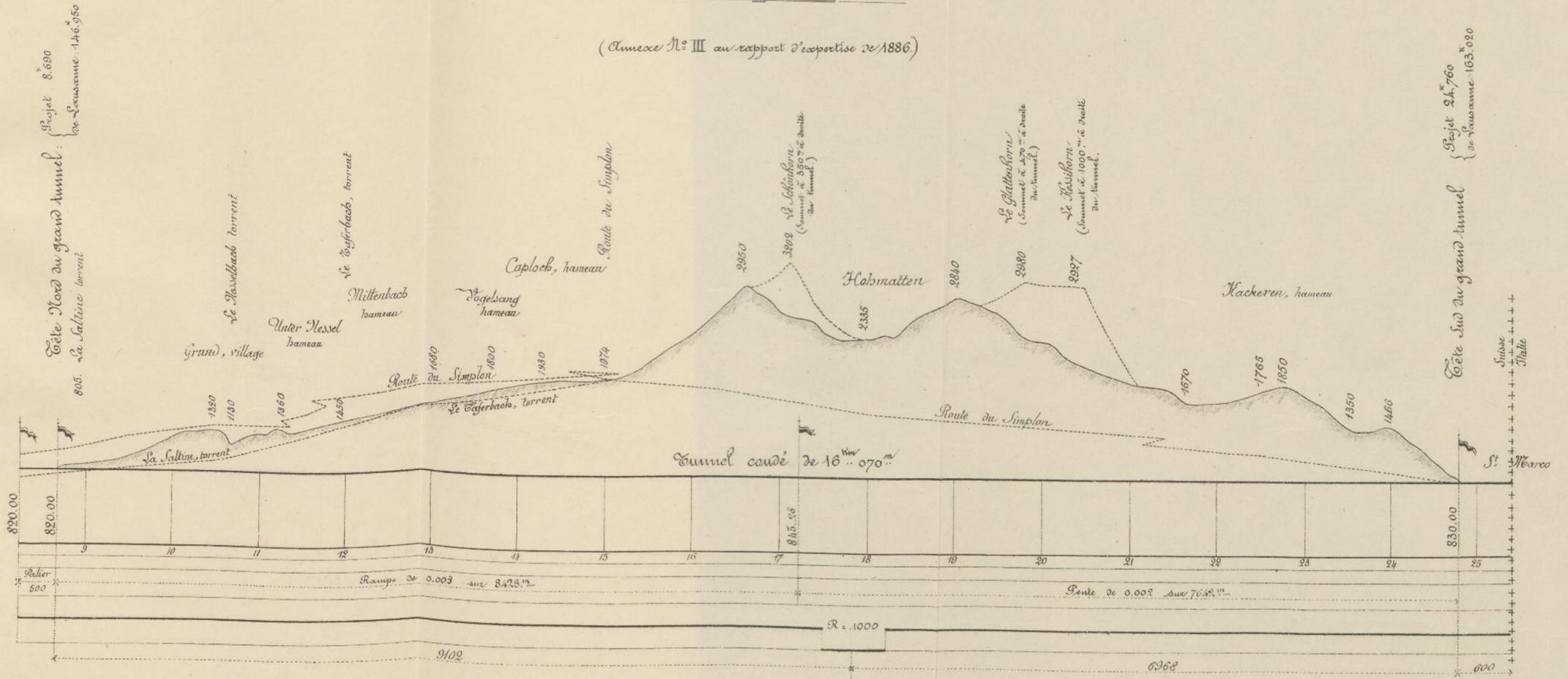
Report sur pierre 1886.



# Traversée du Simplon par un chemin de fer. Coupe en long du grand tunnel.

Echelle: 1/50 000

(Annexe N° III au rapport d'expertise de 1886)



Cotes du rail  
Niveau de la mer  
Kilométrage  
Déclivités  
Courbes, centre à droite  
Alignements  
Courbes, centre à gauche