Zeitschrift: Bulletins des séances de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 7 (1860-1863)
Heft: 48

Artikel: Note sur la traversée des Alpes par un chemin de fer
Autor: Marché, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-253497

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

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

NOTE SUR LA TRAVERSÉE DES ALPES

PAR UN CHEMIN DE FER.

Par M. E. MARCHÉ,
professeur à l'Ecole spéciale.

1. Je me propose dans cette note, d'analyser une très belle étude sur la traversée des Alpes au Simplon, due à l'un des plus éminents ingénieurs français, M. Eugène Flachat.

Mais avant de commencer l'analyse de ce travail, qui doit intéresser spécialement la Suisse et surtout les cantons méridionaux, je désire dire quelques mots d'une autre solution du même problème, actuellement en voie d'exécution, je veux parler du percement du Mont Cenis.

C'est un peu en opposition à cette solution, qu'est présentée celle de M. Flachat, c'est après avoir reconnu et démontré que la première a sacrifié un élément capital : le temps, qu'il propose la seconde. Ce sera donc rendre plus claires les idées nouvelles mises en avant, que donner d'abord connaissance des opérations exécutées au Mont Cenis et présentant simultanément les deux systèmes, en faciliter la comparaison.

Les renseignements que je vais donner sur le percement du Mont Cenis ont été recueillis dans le remarquable rapport fait à la Chambre sarde par le colonel Menabrea, en 1857.

2. L'ouverture d'une communication entre le Piémont et la Savoie, alors encore province sarde, reliant Gênes avec la France et la Suisse, était à la fois une question politique et une question commerciale. La question politique a quelque peu perdu son importance : la Savoie, isolée par la chaîne des Alpes, de la métropole, devait être malgré le bon vouloir du gouvernement, deshéritée de la plupart des avantages et des améliorations dont on dotait le centre : routes, ponts, relations commerciales, etc. Cet état d'infériorité, en conservant l'autonomie de la Savoie, en faisait un foyer de mécontentements et même d'opposition politique. D'un autre côté, le Piémont qui ne possédait pas encore la Lombardie, voyait les chemins de fer autrichiens atteindre le cœur de l'Italie et devait chercher un contrepoids dans l'ouverture d'une prompte communication avec son alliée, la France.

Avant 1848, la question était déjà à l'étude et on cherchait un passage permettant d'atteindre un col par deux vallées opposées, à peu près à la même hauteur, pour le traverser par un souterrain de longueur modérée.

3. Le meilleur passage par la facilité des accès, la rapidité du percement, la nature des terres et des roches est celui du Col de Fréjus entre Bardonnèche et Modane. Il fut indiqué par un simple particulier aujourd'hui décédé, M. Medail, et les études faites par l'ingénieur Maus et le chevalier Angelo Sismonda ont démontré l'excellence de ce choix. Un projet fut donc étudié, d'après lequel l'entrée méridionale de la grande galerie de communication entre les deux vallées se serait trouvée dans le vallon de Rochemolle à 1363 mètres au-dessus du niveau de la mer et la sortie, au nord, près de Modane, à 1150 mètres.

La longueur de la galerie eût été de 12,230 mètres, la pente totale de 213 mètres, soit $18^m,80$ par kilomètre. Elle se fut étendue du midi au nord en déclinant de 22° vers l'ouest et passant à 1600 mètres au-dessous du sommet du Col de Fréjus. L'accès au midi se serait fait par une rampe de $0^m,035$ par mètre ; au nord, cette rampe n'aurait pas excédé $0^m,030$.

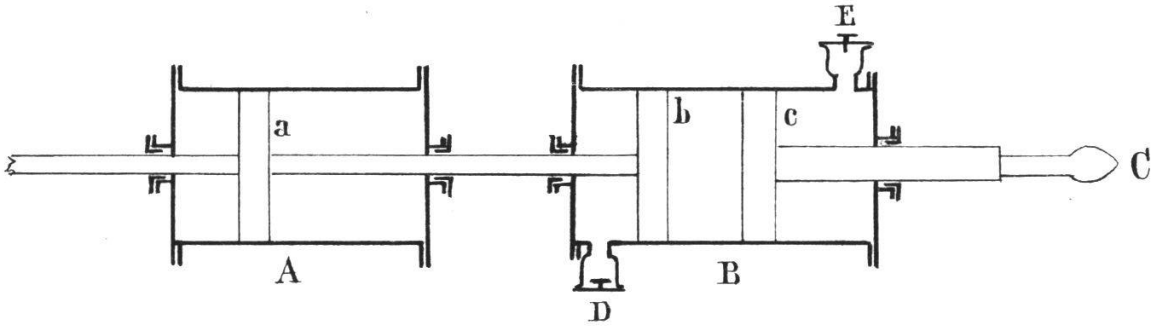
4. Percer un souterrain dans ces conditions, avec une longueur de 12 kilomètres, alors qu'il est impossible de faciliter et d'accélérer le percement au moyen de puits creusés dans le flanc de la montagne — puits qui permettraient d'attaquer simultanément la galerie en plusieurs points et alimenteraient d'air respirable les ouvriers — que, par conséquent, le forage, exécuté seulement en deux points éloignés de 6000 mètres du milieu, serait d'une extrême lenteur, et qu'enfin les eaux n'auraient d'écoulement que d'un seul côté, constituerait une œuvre dispendieuse, difficile et surtout longue.

5. Sans entrer dans le détail des systèmes qui furent proposés, nous dirons que M. Maus le premier fit le projet de machines, percuttant violemment la roche et la découpant en tranches horizontales qu'on eût fait ensuite sauter avec des coins. Ces machines étaient mises en mouvement par des roues hydrauliques installées dans les deux vallées au moyen de câbles et de poulies ; la ventilation devait être obtenue par des ventilateurs à force centrifuge placés sur l'axe même des poulies de transmission.

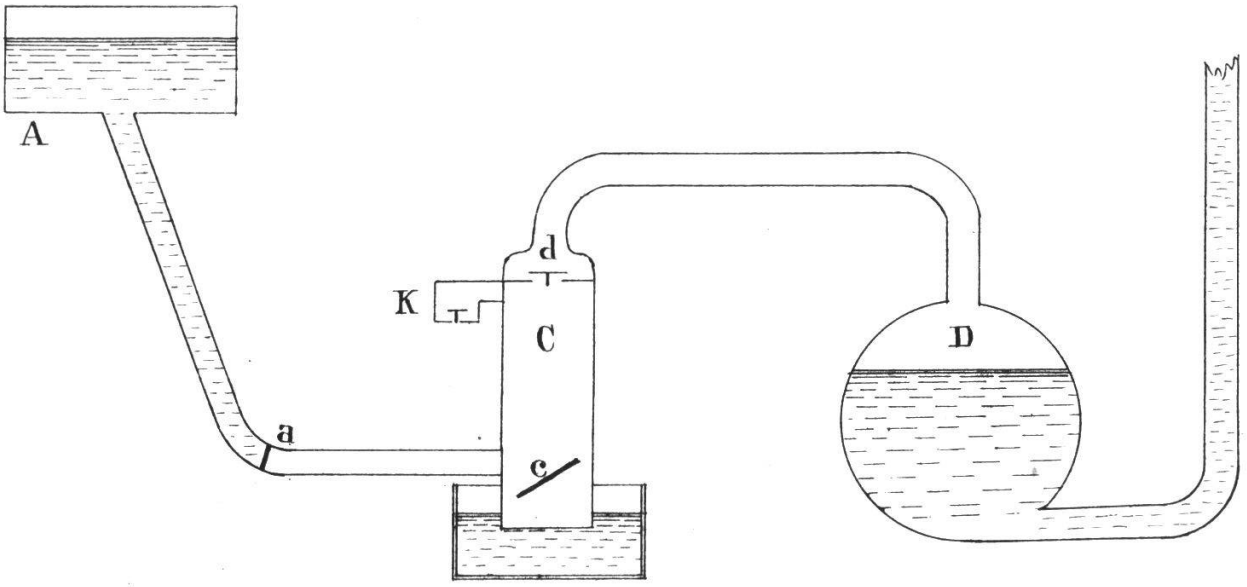
Il est inutile d'insister sur les graves difficultés qu'eût présentées une transmission par poulies et câbles, à une distance de 6000 mètres, les pertes dues aux frottements et surtout les fréquentes interruptions de travail auxquelles elle aurait donné lieu. Ajoutons que dans ce projet rien n'était indiqué sur les dimensions, la vitesse et les effets des ventilateurs.

6. On sait combien il est difficile de se procurer un bon courant d'air dans les travaux souterrains toutes les fois qu'il n'y a qu'une

Perforateur Bartlett.



Presse hydraulique à air.



seule ouverture. On manque alors de cette ventilation naturelle produite dans une galerie communiquant avec l'air extérieur en deux points inégalement élevés, et qui est due à la différence de température des deux extrémités. On ne peut non plus employer les foyers d'appel que si le souterrain communique avec un puits faisant l'office de cheminée. Aussi M. Maus indiquait-il les coins en bois de préférence à la poudre pour faire sauter les roches afin de n'avoir pas besoin de dissiper promptement avec une puissante ventilation les gaz et les vapeurs produits par l'explosion.

7. Le problème était donc triple. Il fallait :

1° Construire une puissante machine perforatrice.
2° Lui communiquer son mouvement au fond du souterrain.
3° Assurer la ventilation.

La solution a été due au concours de plusieurs ingénieurs.

8. M. Daniel Colladon, de Genève, indiqua l'emploi de l'air comprimé comme moteur en même temps que comme agent de ventilation. A l'aide d'une machine quelconque, on comprimait l'air à l'entrée du souterrain, un long tuyau l'amenait à l'outil à forer la mine et maintenait pur l'atmosphère en se dégageant, dissipant par sa force expansive les produits gazeux de la respiration des hommes et de l'explosion de la poudre.

9. M. Th. Bartlett, ingénieur du Victor-Emmanuel, inventa une machine à perforer les roches, mue par la vapeur, et dont nous allons indiquer le principe.

(Voir la planche ci-contre).

A est un cylindre horizontal dans lequel se meut un piston *a* sous l'action de la vapeur, B est le cylindre pneumatique. Deux pistons *b* et *c* se meuvent dans ce cylindre, le premier *b* est relié par une tige au piston *a*, le second *c* porte l'outil à forer C, entre les deux se trouve une petité quantité d'air par l'intermédiaire duquel sera transmis au piston *c* le mouvement du piston *b*. Ajoutons qu'en D et E sont deux soupapes équilibrées s'ouvrant D de dehors en dedans, E de dedans en dehors.

Supposons que le piston *a* se meuve dans la direction de la flèche, ainsi que *b* qui lui est invariablement relié, au commencement du mouvement l'air contenu entre les 2 pistons *b* et *c* sera comprimé, mais dès que sa pression aura atteint celle de la vapeur, le piston C recevra l'action des 2 autres et marchera dans la même direction et par conséquent le fleuret frappera la roche. Lorsque le piston C approche de la fin de sa course il démasque la tubulure qui porte la soupape E, une partie de l'air comprimé qui remplissait l'intervalle des 2 pistons s'échappe et le piston C et par conséquent l'outil atteignent la fin de leur course sans choc, puisque dès que la soupape

E est découverte la pression du piston *b* n'est plus employée qu'à chasser l'air et n'agit plus sur l'outil. Au retour, une raréfaction se produit entre les 2 pistons qui permet l'admission de l'air extérieure par la soupape D. Cette machine donne 2 à 300 coups par minute. Un mouvement de rotation est en même temps imprimé au fleuret, avec une très grande vitesse. On a ainsi une imitation parfaite du travail à la main du mineur.

La transmission du mouvement a lieu par degrés continus, grâce à l'interposition d'un coussin d'air comprimé qui amortit les chocs qui mettraient en pièces tout le système.

10. Cette machine serait donc très utile pour accélérer le percement d'une mine à ciel ouvert ou d'un souterrain peu profond, dans lequel il serait possible de produire la vapeur motrice ou de l'amener par des tubes d'une faible longueur, mais dès que la profondeur du souterrain deviendra assez grande, il sera impossible d'y entretenir un fourneau et une chaudière ou d'y amener la vapeur par des tuyaux sans une énorme condensation, et cela fût-il possible, il resterait à produire une ventilation qui pût rendre tolérable la température et chasser la vapeur qui jaillit du cylindre à chaque coup de piston.

Mais si on applique les idées de M. Colladon à la machine de M. Bartlett, c'est-à-dire si on substitue à la vapeur l'air comprimé comme moteur, le problème est résolu quant au perforateur, et il ne reste plus qu'à trouver moyen de produire et d'amener économiquement l'air comprimé nécessaire.

11. C'est en effet la machine Bartlett qui, modifiée par l'expérience, réduite à un seul cylindre et disposée de façon à ce que sur un même batis on pût placer plusieurs outils à forer, dans des directions quelconques et percer jusqu'à 20 trous de mine à la fois, est actuellement employée au percement.

Le modèle de l'appareil a été construit en Belgique ; dans les essais qui ont eu lieu la violence des coups frappés par les burins dépassait toute espérance. Un bloc de marbre de plusieurs mètres cubes était non seulement perforé avec une grande rapidité, mais en outre, tellement ébranlé par les chocs qu'il se fendait et se déplaçait quoique il fût scellé avec du plâtre sur le sol.

12. Quant au moyen d'obtenir l'air comprimé, il est dû à MM. Grattoni, Grandis et Sommeiller qui ont inventé la presse hydraulique à air.

La compression de l'air par une machine à piston mue par une roue hydraulique entraînerait la perte d'une grande partie de la force motrice, aussi se proposa-t-on de comprimer l'air par l'emploi d'une colonne d'eau, afin d'éviter les organes intermédiaires et les réductions d'effet utile qui en sont la conséquence. Il existe déjà des machines soufflantes à colonne d'eau, mais comme on n'y emploie que

la pression hydrostatique, l'effet en est limité par la hauteur de la colonne d'eau dont on dispose.

MM. Grattoni, Crandis et Sommeiller utilisent en outre la force vive acquise pendant la chute de la colonne. Voici un aperçu de leur système:

13. AB est une conduite partant d'un canal supérieur ou d'un réservoir, *a* la soupape d'admission, C un cylindre vertical dans lequel s'opère la compression de l'air, *c* une soupape manœuvrée par des moyens extérieurs, *d* une 3e soupape qui fait communiquer la capacité C avec le réservoir d'air comprimé D et enfin *k* la soupape d'admission de l'air extérieur.

Supposons qu'on ouvre *a* graduellement, le liquide s'écoule doucement, l'air contenu dans le cylindre D est comprimé jusqu'à ce que sa pression fasse équilibre à celle de la colonne d'eau augmentée de la pression atmosphérique, mais si la soupape *a* est ouverte entièrement l'eau s'élèvera d'abord jusqu'au niveau précédent, mais en vertu de la force vive acquise elle le dépassera et l'air comprimé atteindra une pression supérieure; on ferme *a* et l'air fortement comprimé se rend par la soupape *d* dans le réservoir, on ouvre C, l'eau contenue dans le cylindre s'écoule, une raréfaction se produit, l'air extérieur entrant par la soupape *k*, remplit de nouveau l'espace D et la manœuvre se renouvelle. Tous ces mouvements s'exécutent avec une extrême douceur.

Cette machine jointe au perforateur Bartlett modifié complète le système adopté pour le percement du tunnel.

14. Un nouvel examen des lieux a conduit à modifier le premier tracé adopté pour la galerie: on résolut de lui donner, à partir de son milieu une double pente permettant l'écoulement naturel des eaux. La longueur fut fixée à 12700 mètres, la pente méridionale à $0^m,020$ par mètre, la pente septentrionale à 0,023 et la hauteur du point milieu à 1335^m au-dessus du niveau de la mer.

15. La Commission gouvernementale chargée de l'étude de la question fit faire de nombreux essais sur le perforateur Bartlett, nous en rapportons les résultats suivants.

NATURE de la ROCHE	Durée de l'expérience	Nombre de coups de l'outil		Profondeur des trous		Volume d'air comprimé employé	
		total	par minute	totale	par minute	total	par minute
	secondes					m3	
Siénite. . . .	337	1586	282	0m,120	0,0214	1,177	0,247
Calc. schisteux	270	1160	258	0,355	0,0789	0,884	0,196
Arenaire. . .	390	1760	271	0,575	0,0884	»	»
Gypse	150	740	296	0,590	0,2360	0,550	0,220

De ces expériences, la Commission a conclu que l'emploi des appareils nouveaux réduirait à 6 les 36 années exigées par les moyens ordinaires, c'est-à-dire, a compté sur un avancement de 3m00 par jour à chaque extrémité au lieu de 0m,500.

Mais cette conclusion du rapport officiel est accompagnée de nombreuses réserves; c'est qu'en effet, les inconnues abondent, qu'il faut compter avec l'imprévu et lui faire une large part, aussi pensons-nous ne pas devoir espérer une aussi prompte solution.

16. Rien n'indique, dans les documents officiels, quelle sera la section du souterrain, mais il est évident que la section ordinaire 40m.q. serait insuffisante pour un tunnel de 12700m de longueur, sans puits.

Il faut donner une section d'écoulement d'air proportionnée à la longueur de la galerie; la vapeur sortant des locomotives ne doit pas envelopper les trains, elle doit se loger dans la partie haute du tunnel où elle trouve des parois froides et s'y condense. La fumée et les gaz produits par la combustion doivent également se tenir dans cette région jusqu'à la sortie du tunnel. Il faut en outre pouvoir réparer le souterrain, placer un revêtement, si les roches d'abord saines se désagrègent et par conséquent installer des cintres sans arrêter la circulation sur les voies. Enfin on doit pouvoir parcourir à pied sans danger le tunnel. Toutes ces considérations nécessitent le choix d'une section considérable.

Les souterrains ordinaires ont 40m.q. de section, le souterrain de la Nerthe en a 59, nous pouvons donc exiger 70m.q. du tunnel du Mont Cenis. Un avancement de 3m par jour nécessiterait donc un

déblai de $70 \times 3 = 210$ mètres cubes qui serait enlevé à la mine par 12 explosions de 14 kilogr. de poudre chacune.

D'après les prévisions de la Commission chaque explosion rend 1400 mètres cubes d'air nuisible et exige 2100 mètres cubes d'air, mais les gaz ne sont pénétrables que par une grande agitation et pour obtenir cette agitation, il faudrait que l'air injecté eût une vitesse considérable, or en introduisant la quantité désignée ci-dessus 2100 mètres cubes par explosion, on ne produira qu'un courant dont la vitesse sera très faible (de 0^m016 à 0^m025) et par conséquent les gaz mettront un long temps à sortir de la galerie, et comme ils ne seront que faiblement mélangés à l'air, peut-être ne seront-ils pas respirables pour les ouvriers.

Pour obtenir une expulsion rapide des gaz, avoir une grande vitesse du courant, il faudra peut-être introduire une plus grande quantité d'air comprimé et le moteur hydraulique pourra devenir insuffisant.

Il reste donc sur l'aérage une éventualité d'insuffisance des moyens.

17. D'un autre côté, la Commission a constaté que le travail du perforateur était douze fois plus rapide que celui de l'ouvrier; mais il faut remarquer, avec M. Flachat, que le forage des trous ne constitue qu'une seule des opérations du mineur, de telle sorte que quoique le temps du forage soit réduit par le perforateur au douzième, le nettoyage des trous, leur bourrage, l'éloignement du chariot avant l'explosion, le dégagement des gaz, l'enlevage des débris, le retour des chariots, le changement des burins brisés, etc., exigeant toujours le même temps, l'opération totale ne sera pas aussi rapidement exécutée qu'on l'annonce.

En un mot, il reste dans le projet plusieurs points que l'expérience pourra seule éclaircir, et dans l'état actuel de la question, quelque ingénieux que soient les moyens employés, il est à peu près certain qu'un long temps sera nécessaire pour terminer l'entreprise, et que ce temps peut être d'une trentaine d'années.

18. En juin 1860, l'avancement du côté de la France, par les moyens ordinaires était de 1380^m, mais les travaux étaient suspendus faute d'aérage. Du côté de l'Italie, les travaux étaient également arrêtés devant une roche d'une extrême dureté. Les machines perforatrices et la presse hydraulique à air étaient rendues, mais leur montage n'était pas commencé. Depuis, les journaux ont annoncé que les machines fonctionnaient avec un plein succès.

19. Ainsi, devant les difficultés de la traversée des Alpes, les promoteurs du percement du Mont Cenis, gardant les moyens ordinaires d'exploitation, ont cherché des procédés nouveaux pour la construction de la ligne, ne reculant pas devant un tunnel dont le

prix sera de plus de 40 millions et par conséquent grèvera chaque année l'exploitation, d'une somme de 2 millions.

M. Flachat, partant du principe inverse, propose d'installer la la voie par les procédés ordinaires, à ciel ouvert, dans les régions élevées, en suivant à peu près la configuration du sol, et comme la voie ainsi établie présenterait des rampes considérables et des courbes de petits rayons, d'employer un système spécial d'exploitation, un matériel nouveaux et des machines plus puissantes.

20. Nous allons entrer dans quelques détails sur le projet de M. Flachat, mais nous ferons d'abord remarquer que le système proposé est dans l'ordre d'idées, dans la tendance générale, qui président actuellement aux constructions de voies ferrées :

Lorsqu'on installait les premières lignes, on reculait devant l'emploi des plus faibles rampes et on allongeait le tracé, on augmentait par conséquent le prix de revient, pour les éviter; il semblait alors audacieux de dépasser une pente de $0^m,005$ par mètre; puis s'établit sur la ligne d'Orléans à Etampes, une rampe de $0^m,008$ qui devait, disait-on, compromettre l'avenir de la ligne. La puissance des machines augmentant, vinrent des inclinaisons de 0,010 à 0,015, on passa le Semmering avec une rampe de 0,028 en inventant la machine Engerth, on employa 0,030 à 0,036 sur la ligne de Gênes à Turin et enfin 0,040 à 0,050 au passage des Alleghanys (Amérique). On ne songe donc plus, dans aucune circonstance, à doubler la distance de deux points, pour remplacer une rampe de 0,010 par une de $0^m,005$, et encore moins à la sextupler pour substituer une rampe de 0,005 à une de 0,030; on accepte les exigences de la configuration du sol, et on demande à la puissance des machines, de vaincre l'augmentation de résistance qu'apporte l'augmentation d'inclinaison. C'est ce que M. Flachat propose de faire pour le passage du Simplon et pourquoi il admet un tracé en rampes de $0^m,050$ à $0^m,060$, un matériel spécial et des machines plus puissantes.

21. Sans insister sur les nombreuses considérations qui s'attachent à la prompte exécution d'nne ligne, faisant communiquer l'Italie avec la France et l'Allemagne, en traversant la Suisse, il est bon d'examiner les différents points par lesquels le passage des Alpes pourrait s'effectuer. Ces passages sont :

Le Simplon, le St. Gothard, le Lukmanier, le Bernardin, le Splugen.

Le point d'arrivée de tous ces tracés serait naturellement Milan et la Lombardie : il y aurait là des sources certaines de trafic basées sur un sol, une culture et un climat différents, une grande richesse de capitaux, une terre fertile que ne manquerait pas d'alimenter, la nouvelle ère d'activité qui doit, en Italie, succéder aux troubles de son organisation.

22. A égalité dans le valeur technique, quel serait le meilleur de ces passages ?

On remarquera que les chemins français : l'Est par Bâle et le Lyon par Jougne, Lausanne et Sion, atteignent plus ou moins directement les deux premiers, le Simplon et le St. Gothard ; ils ne pourraient rejoindre les autres que par de longs détours.

Les chemins allemands arriveraient à tous les passages dans des conditions géographiques à peu près identiques par le duché de Bade, la Bavière ou le Wurtemberg. C'est donc sur les deux premiers que se concentrent le plus d'intérêts.

Ajoutons que pour la Suisse, la densité des populations, la richesse industrielle, agricole et commerciale des territoires parcourus désigneraient aussi les 2 premiers passages.

23. La planche ci-contre représente les profits des divers cols d'une manière comparative, ce qui permet d'apprécier simultanément leur plus ou moins grande facilité d'accès. On y a indiqué la direction d'un tunnel à 1300^{m} au-dessus du niveau de la mer, comme au Mont Cenis.

Enfin le tableau suivant donne les dépenses à faire pour atteindre les différents cols et du côté de la Suisse et depuis Milan, soit qu'on utilise la navigation des lacs (Thoune, Lucerne, Lacs Majeur et de Côme), soit qu'on établisse une ligne non interrompue de chemins de fer. On y a ajouté la hauteur à franchir sur chaque col, la longueur d'une voie le traversant par des rampes de 50 millimètres et enfin la longueur d'un tunnel à 1300^{m} au-dessus du niveau de la mer.

NOMS des PASSAGES	Longueur et dépenses d'exécution des chemins restant à établir pour compléter les passages des Alpes jusqu'aux chemins italiens				HAUTEUR à FRANCHIR			Longueur du THALWEG naturel	Longueur d'un TRACÉ pr rampes de 50mm	LONGUEUR d'un SOUTERRAIN à 1300m au-dessus du niveau de la mer
	en utilisant la navigation des lacs		par une ligne non interrompue							
	Distances	Dépenses	Distances	Dépenses	Versant du Nord	Versant du Midi	Totale			
	Kilomèt.	Francs	Kilomèt.	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres
Simplon. . .	115	38 425 000	179	55 475 000	1355	1120	2475	25 500	49 500	11 700
St.-Gothard.	182,6	60 725 000	250	85 392 500	1280	980	2260	24 000	45 200	17 600
Lukmanier I	160,8	52 000 000	238,4	78 860 000	1350	1570	2920	24 500	58 400	15 800
Id. II	147,7	52 000 000	216,6	70 140 000	804	1024	1828	28 500	36 560	18 700
Bernardin. .	144	47 700 000	198	65 250 000	1190	1510	2700	40 000	54 000	24 000
Splugen. . .	155	48 600 000	209	68 980 000	1165	1665	2830	32 000	56 600	15 600

L'examen de ces documents doit suffire pour faire ressortir les avantages d'un passage du Simplon et expliquer pourquoi M. Flachat a préféré l'étude de cette traversée.

24. Voici en quelques mots le système dont M. Flachat propose l'emploi :

« Etablir le chemin dans les régions des cônes d'éboulement, des avalanches, des neiges fixes pendant l'hiver et des tourmentes.

» Le protéger contre les eaux torrentielles et les inondations ; lui faire franchir le sommet des cols à ciel ouvert ou tout au plus par un souterrain de 2 à 3000 mètres, l'exploiter dans une région où la température peut s'abaiser jusqu'à 25 ou 30 degrés centigrades au-dessous de zéro, adopter enfin des rampes continues de 30 à 50 millièmes, combinées avec des courbes de 25 mètres de rayon. »

Nous ferons remarquer que la région des neiges fixes commence à 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer et qu'on aura déjà à vaincre ces obstacles pendant 300^{m} au Mont Cenis.

25. Nous allons examiner les objections qui peuvent êtres faites à ce projet et que nous classerons ainsi : cônes d'éboulement, neige et avalanches, tourmentes.

Les cônes d'éboulement sont des portions de cône dont la base repose dans la vallée et dont le sommet s'appuie sur le flanc de la montagne, la génératrice faisant avec la verticale un angle très faible. Ils sont toujours placés à l'ouverture d'une petite vallée transversale à la principale. Ils sont composés de débris de rochers supérieurs, détachés par la double action du froid et de l'humidité et entraînés par l'avalanche.

C'est dans les formations schisteuses qu'ils ont le plus grand volume, ils offrent alors entre les fragments des plans de glissement qui rendent leurs mouvements faciles, soudains et dangereux.

Il semble à peu près impossible d'ouvrir une tranchée sur le versant de ces cônes sans entraîner toute la partie supérieure, mais comme l'origine de la plupart de ces éboulements se perd dans les siècles des premiers âges, ils sont recouverts d'arbres, d'arbustes, de végétation dont les racines favorisent la raideur des talus, et le plus grand nombre peuvent être considérés comme des remblais fixes.

Quant aux plus instables, ceux de formation schisteuse, ils devront être sondés au pied et aux flancs et ramenés au talus naturel résultant de leur composition géologique. Les tranchées seront évitées, ou sinon considérées toutes comme offrant le danger du glissement et par conséquent traitées comme d'importants travaux d'art.

26. La neige présente trois espèces d'obstacles :

Par les avalanches, elle encombre ou détruit la route.

Elle recouvre en tombant, soit continuellement, soit par intervalles, le sol du chemin.

Enfin, elle s'introduit sous les parties couvertes à l'état de poussière fine et pourrait ainsi affaiblir peu à peu l'adhérence des machines, arrêter les trains.

27. Certaines avalanches suivent habituellement les vallées transversales à la vallée principale, celles-ci, leur cours est connu.

L'avalanche fait elle-même son plan de glissement, si elle rencontre une excavation, un escarpement, elle remplit les intervalles et conserve ainsi son plan de glissement, elle s'alimente dans les trois plans.

Les autres, qui sont les plus dangereuses, descendent des flancs des montagnes sans que leur cause s'explique par l'existence d'une vallée transversale.

Les avalanches ont donc, en général, comme les cours d'eaux, leur hydrographie connue, leur chute affecte une certaine continuité et peut être plus ou moins prévue :

On peut reconnaître facilement les points où les avalanches se produisent, prévoir leur intensité d'après l'état de la température et restreindre ainsi les limites de l'imprévu.

Au reste, dans chaque passage des Alpes, leur régime est très bien connu des habitants.

28. On combattra les avalanches par des galeries, soit en maçonnerie, soit en bois, soit creusées dans le roche. Ce sont de travaux connus mais qui, pour un chemin de fer seront plus consistants, plus dispendieux, plus étendus que pour les routes actuelles.

M. Flachat suppose que un tiers du parcours devra être ainsi couvert, ce qui met la dépense à environ 70 000 francs par kilomètre (200 francs le mètre courant).

29. La neige en tombant peut recouvrir la voie pendant des semaines entières :

Au Grimsel, pendant l'hiver de 1845 à 1846 il est tombé $17^m,55$ de neige, en 8 mois, réduits à la fin d'avril en une couche tassée de $2^m,30$; le poids spécifique devent de 290 kil. le mètre cube, 613 kilogr.

Au St. Bernard, de 1847 à 1858, l'épaisseur annuelle a varié de $3^m,53$ (1857) à $13^m,42$ (1853). La moyenne a été de $8^m,39$.

Il importe surtout de connaître le maximum de neige tombé par jour :

Années	Hauteurs	Années	Hauteurs	Années	Hauteurs
1847	0,610	1852	0,398	1856	0,450
1848	0,560	1853	0,375	1857	0,350
1849	0,450	1854	0,350	1858	0,300
1850	0,342	1855	0,375	1859	0,350
1851	0,620				

Au St. Bernard, en treize années le nombre de jours de neige a été de 1030, soit en moyenne 79 jours par an (maximum, 151; minimum, 34).

Sur ces 1030 jours, l'épaisseur de la neige a été:

Pour	6	jours de	0,65 à	0,50
»	43	»	0,50 à	0,30
»	96	»	0,30 à	0,20
»	256	»	0,20 à	0,10
»	629	»	0,10.	

Ainsi pendant 6 jours seulement sur 1000 la hauteur de neige excède $0^m,50$, pendant les $^9/_{10}$ du temps elle n'atteint pas $0^m,20$, et pendant les $^6/_{10}$, $0^m,10$.

Ce résultat n'est-il pas rassurant? Il existe, en effet, entre St. Pétersbourg et Moscou un chemin de fer exploité à une latitude où l'hiver a la même durée que dans les Alpes, où la neige couvre incessamment la terre pendant sept mois de l'année, où elle tombe comme dans les Alpes à l'état de poussière fine, de grésil ou de flocons; cependant on n'y redoute ni que la neige modifie ou annule l'adhérence des machines, pénètre dans les foyers et les éteigne, ni qu'elle encombre la voie, et le service y est très régulier.

30. Si sur les lignes actuelles, en France, des retards ou des interruptions de service ont lieu par l'encombrement des voies par la neige, c'est qu'on laisse à celle-ci le temps de s'accumuler, de sorte que les trains s'y engagent jusqu'à ce que la machine s'encombre et que son avant forme un tampon sur lequel la neige adhère et s'accumule, la résistance devient alors insurmontable et le foyer est refroidi et le feu s'éteint.

Il n'en serait pas ainsi dans les Alpes et les voies y seraient constamment débarrassées de la neige qui tendrait à les encombrer.

Monsieur Flachat propose, pour remplir ce but, l'usage de charrues déversoir, poussées par des machines locomotives, enlevant la neige et la déversant à côté de la voie.

Les parties en contact avec la neige seraient maintenues à une haute température par la circulation de la vapeur dans la double enveloppe qui les constitue.

Le travail qui serait demandé à la machine pour cette opération serait insensible pour elle: 3 à 4 chevaux au plus.

Les jours de neige, les machines à charrues circuleraient de deux en deux heures; dans les hautes régions, elles seraient en permanence. Les trains se composeraient de deux charrues l'une à l'avant, l'autre à l'arrière de la machine et d'un vaste wagon chauffé portant une équipe d'ouvriers et leur servant de refuge.

La neige déposée par les charrues sur les côtés de la voie devrait être enlevée par les ouvriers, rejetée par un jet de pelle sur les

flancs intérieurs du versant et pour les tranchées et les galeries transportée au loin : 6 à 8 cantonniers par kilomètre suffiraient aisément à ce travail.

31. Les tourmentes constituent peut-être l'obstacle le plus difficile à surmonter, elles interrompent souvent la circulation, elles entassent la neige en certains points et font alors plus de victimes que les avalanches.

C'est le fléau le plus redouté des habitants et cela surtout parce qu'elles n'agissent pas comme les vents ordinaires, même les plus violents : les arbres sont tordus de la manière la plus bizarre, certaines parties d'une forêt sont rasées, sans que les parties voisines soient atteintes.

Aussi, pensons-nous avec beaucoup de personnes. que M. Flachat comparant ces tourmentes aux vents qui soufflent dans la plaine de Narbonne n'a pas fait la part assez large à cet obstacle.

Il est bien vrai qu'un matériel assez lourd et toujours rempli, comme serait celui d'un chemin des Alpes ne serait pas renversé par un ouragan aussi violent que celui qui dans la plaine de Narbonne a fait dérailler, le 27 février, le train de la ligne du midi, mais les effets inattendus et terrifiants des tourmentes ne permettent pas d'établir une analogie rassurante et toutes les personnes qui en connaissent les terribles effets n'admettent pas une traversée des passages dangereux autrement que dans une galerie en maçonnerie. Nous revenons plus loin sur ce point.

32. M. Flachat indique le tracé complet de la ligne dans ces conditions, nous ne pouvons ici reproduire les détails qu'il donne, qu'il nous suffise de dire que ce tracé a été complètement étudié, qu'il offre par l'emploi des rampes de $0^m,05$ par mètre et des courbes de petits rayons de grandes facilités relatives et qu'on trouve dans la configuration du sol et principalement dans la disposition des vallées du Rhône, de la Saltine et de la Gauther des avantages inattendus.

Il y a lieu de parler ici d'une modification au tracé proposé par M. Jacquemin et qui consiste à passer le sommet du col par un souterrain de 2000 mètres qui diminuerait le parcours de 8500 mètres et permettrait de couvrir le chemin dans la partie où les tourmentes sont le plus à redouter.

Ce souterrain serait exécutable en deux années parce qu'on pourrait percer des puits de longueur modérée et si, comme nous l'avons fait remarquer, les appréciations optimistes de M. Flachat sur le régime et la nature des tourmentes paraissaient douteuses, on aurait comme ressource le tracé pratique de M. Jaquemin.

33. Dans un devis approximatif, M. Flachat évalue ainsi les dépenses d'établissement de la ligne :

Construction de la voie	Fr.	6 920 000
Voie et accessoires	»	5 165 000
Stations, refuges, etc.	»	1 180 000
Matériel roulant.	»	4 770 000
Intérêt des fonds, imprévu, etc. (11 %)	»	1 965 000
Total	Fr.	20 000 000

C'est-à-dire que l'établissement de la ligne qui exigerait environ 50 millions en perçant un tunnel, n'en demanderait que 20 en suivant la configuration du sol et que d'un autre côté, pendant qu'un souterrain exigera 25 ou 30 ans pour être achevé, la ligne à ciel ouvert pourra être construite en un petit nombre d'années, les travaux pouvant être commencés, à la fois, en un aussi grand nombre de points qu'on le voudra.

34. Mais si la construction d'un tunnel grève l'exploitation, chaque année d'une somme de 3 000 000 francs, intérêt du capital d'établissement, la ligne à ciel ouvert n'exigeant que 1 200 000, l'exploitation de la seconde qui présente des rampes considérables, des courbes de petit rayon et des difficultés climatériques sera évidemment plus onéreuse qu'une exploitation ordinaire.

Il nous reste donc à examiner la possibilité de cette exploitation, et si le prix annuel ajouté à l'intérêt du capital de construction n'excèdera pas celui de l'exploitation par les moyens ordinaires, augmenté des deux millions et demi d'intérêts qu'exigera l'emploi d'un tunnel.

Je ne veux pas entrer ici dans le détail des dispositions spéciales indiquées par M. Flachat et qu'il a étudiées aussi complètement que possible de façon à leur donner un caractère tout-à-fait pratique ; je me bornerai à en exposer le principe.

35. Pour remorquer un train sur une voie horizontale les nombreuses résistances à vaincre : frottements, résistance de l'air, rigidité des attelages, etc., exigent de la part du moteur un effort qui évalué le plus largement possible atteint environ 8 kilogrammes par tonne remorquée.

D'un autre côté, chaque millimètre par mètre de rampe exige un supplément d'effort de 1 kgr. par tonne, de sorte que sur une rampe de $0^m,005$ par mètre, l'effort nécessaire sera $5 + 8 = 13$ kg., et sur une rampe de 0,050 . . . $50 + 8 = 58$ kg. par tonne.

Si on suppose donc un train de 200 tonnes remorqué sur une rampe de 0,05 par mètre, l'effort à demander à la machine motrice sera de $58 \times 200 = 11600$ kg.

Peut-on demander un semblable effort aux machines locomotives actuelles?

36. La puissance des machines est limitée par deux causes :

1° La production de la quantité de vapeur nécessaire pour produire le travail.

2° L'adhérence.

A une vitesse de 16 kilomètres à l'heure pour exercer une traction de 11 600 kg., il faudra produire environ 10 000 kg. de vapeur, ce qui exigera une surface de chauffe de 350 mètres carrés, chaque mètre carré donnant 28 kg. de vapeur par heure.

Or, moyennement la surface de chauffe des machines actuelles est :

Pour les machines	à voyageurs	77m.q.
Id.	mixtes	89m.q.
Id.	à marchandises . . .	110m.q.
Id.	Engerth	196m.q.

La machine pour la traversée des Alpes devant présenter une surface de chauffe de 350 à 370m.q. aurait donc des dimensions supérieures à celles des machines construites jusqu'à ce jour.

37. Qu'on suppose une roue placée sur un axe autour duquel elle peut librement tourner et qu'à sa circonférence on exerce un certain effort destiné à vaincre une résistance opposée agissant en un autre point de la circonférence : si l'effort moteur est plus grand que la résistance, il entraînera la roue qui tournera sur son axe. Si les 2 actions sont égales elle restera immobile. Si la résistance est supérieure à l'effort moteur et que l'axe de la roue ne soit pas invariablement fixé, la roue tournera et avancera, le point où agit la résistance servant de point d'appui : c'est ce qui se passe lorsqu'on agit à la circonférence des roues d'un véhicule reposant sur le sol. La pression que les roues exercent sur le sol au point de contact donne naissance à une résistance horizontale, le frottement qui dans le cas actuel est désigné sous le nom d'*adhérence*. Cette résistance est une fraction de la pression verticale et l'on doit compter ordinairement qu'elle en est le dixième ($^1/_{10}$).

Si l'effort qui agit à la circonférence de la roue est supérieur à l'adhérence, alors la roue au lieu d'avancer tourne sur elle-même, c'est ce qui a lieu dans ce qu'on nomme le patinage des locomotives, patinage produit par la diminution d'adhérence ou de frottement due aux influences climatériques, lorsque par exemple une légère couche de glace recouvre les rails.

38. Nous devons conclure de là qu'il ne suffit pas de produire un effort moteur considérable pour vaincre la résistance d'un train, mais, mais qu'il faut avoir à sa disposition une adhérence égale ou supérieure à cet effort. C'est ainsi qu'ayant à exercer un effort de 11 600 kg. il faut nécessairement que la pression sur les roues motrices soit au moins égale à 10 fois cet effort pour avoir une adhé-

rence suffisante. Cette pression devrait donc être d'environ 120 tonnes.

Mais le poids des machines jusqu'ici construites n'excède pas 60 tonnes, l'adhérence dont on peut disposer ne serait donc que de 6000 kg. en admettant que toutes les roues sur lesquelles se répartit le poids de la machine fussent utilisées comme roues motrices.

Pour gravir les rampes du chemin de fer des Alpes, il faudrait donc nécessairement utiliser l'adhérence due à une pression d'au moins 120 tonnes.

Mais le train remorqué pèse 200 tonnes, il se produit donc à la circonférence des roues des wagons une adhérence d'environ 20 000 kg. et pour l'utiliser il suffira de faire de toutes ces roues des roues motrices, c'est-à-dire d'exercer à leur circonférence un effort moteur égal à l'adhérence dont chacune est susceptible, soit $^1/_{10}$ de la pression qu'elle supporte.

39. C'est en effet ce que propose M. Flachat, il ne fait plus de la locomotive qu'un vaste générateur chargé de fournir une très grande quantité de vapeur, chaque wagon devient une petite machine munie de son cylindre, alimenté par le générateur commun, et dont le mouvement est transmis aux roues par bielle et manivelle.

Tout ce matériel est installé sur les chassis américains, employés dans les chemins suisses. Quant aux détails de construction, à la disposition des conduites de vapeur, leur jonction aux points d'attache des wagons, etc., nous ne pouvons que renvoyer le lecteur au livre lui-même que nous analysons.

40. Les dépenses d'exploitation sont ainsi évaluées:

Traction	Fr.	557 500
Mouvement	»	201 000
Entretien de la voie .	»	324 000
Administration . .	»	100 000
		1 182 500

L'intérêt du capital engagé dans la construction étant de 1 200 000 fr., ce serait une dépense annuelle de 2 400 000 francs.

L'exploitation d'un chemin en souterrain n'exigerait que 500,000 francs par an, mais l'intérêt du capital engagé s'élevant à 3 000 000, la dépense annuelle serait de 3 500 000 francs.

41. Nous ne pouvons mieux compléter cette analyse qu'en reproduisant in extenso le résumé donné par M. Flachat à la fin de son second volume:

« 1. A partir des points où le thalweg des vallées d'accès aux cols des passages des Alpes suisses dépasse l'inclinaison de 35^{mm}, qui est la limite extrême à laquelle les chemins de fer peuvent être exploités

dans des conditions suffisantes de régularité et d'économie avec les machines-locomotives les plus puissantes que l'on construise aujourd'hui, l'établissement des chemins de fer ne peut être continué, sans excéder cette inclinaison, qu'au moyen de dépenses considérables et de percements souterrains.

» 2. La durée de ces travaux reporterait l'exploitation des lignes à un grand nombre d'années.

» 3. La dépense d'établissement comparée à celle que coûterait l'emploi d'inclinaisons de 50^{mm} les grèverait, en excédant d'intérêt du capital, d'une annuité de 27,000 fr. par kilomètre de voie.

» 4. La dépense d'exploitation, en supposant une circulation, sur les passages des Alpes, de neuf trains par jour, serait grevée d'un excédant de dépense de 7 fr. par train et par kilomètre, soit de 350 fr. par train faisant le trajet entier du passage.

» 5. La traversée des Alpes par un chemin de fer ne doit pas être faite dans des conditions qui imposent le fractionnement des trains amenés du nord ou du midi par les lignes aboutissant aux pieds des cols.

» 6. Ce n'est pas à de faibles inclinaisons et à des percements souterrains de grande longueur qu'il faut recourir pour obtenir ce résultat, c'est aux forces mécaniques nécessaires pour franchir de fortes inclinaisons.

» 7. La machine-locomotive peut franchir des rampes de 50^{mm} à des conditions de régularité et de rémunération suffisantes pour rendre profitable aux capitaux engagés l'exploitation des passages des Alpes, avec un trafic annuel de 73,000 voyageurs et de 128,000 tonnes de marchandises.

» 8. La machine-locomotive peut pourvoir, sur des rampes de 50^{mm}, à des éventualités d'accroissement de trafic très considérables, tout en se prêtant à la solution la plus économique et la plus immédiate, pour un trafic restreint.

» 9. L'impuissance des machines-locomotives actuelles à desservir des rampes de 50^{mm} dérive de l'insuffisance de la production de vapeur et de leur adhérence.

» 10. L'effort de traction développé par les machines les plus puissantes n'atteint pas, d'une manière permanente, 6,000 kilog.

» 11. L'adhérence employée au sixième du poids moteur ne dépasse pas 6,700 kilog.

C'est, dans les deux cas, la moitié de la puissance nécessaire pour exploiter utilement les passages des Alpes sur des inclinaisons de 50^{mm}.

» 12. Il est facile, en appliquant à la construction des machines

les dispositions des supports sur la voie du matériel américain, d'obtenir une production de vapeur correspondante à un effort de traction de 12,500 kilog.

» 13. Il est possible d'employer cet effort de traction en utilisant, pour l'adhérence, les roues des véhicules des trains.

» 14. Les dispositions des supports du matériel américain, appliquées à la construction des machines-locomotives, permettront de mieux proportionner les différentes parties du générateur et de produire la vapeur avec plus d'économie.

» 15. L'adhérence au sixième peut être, dans la montagne, une condition de retard ou d'impuissance, mais, en employant les dispositions du matériel américain et en transmettant à toutes les roues des véhicules la puissance motrice, l'adhérence peut être employée aux $^{58}/_{1000}$, soit au 17e du poids moteur, sur les rampes de 50^{mm}; et sur les rampes de 60^{mm}, aux $^{68}/_{1000}$, soit à peu près au 15e du poids du train.

Du sixième au dix-septième, il y a toute garantie d'une adhérence suffisante et, en conséquence, tout se résume dans la construction du générateur et dans les moyens d'en transmettre la vapeur aux véhicules du train.

» 16. De tous les systèmes celui qui, théoriquement, présente les plus complètes garanties de puissance et de régularité, soit pour l'ascension, soit pour la descente des rampes, est celui qui donne à chaque véhicule des moyens d'action qui lui sont propres, soit pour activer, soit pour ralentir la marche.

» 17. Si, dans la pratique, cela s'écarte de ce qui est reçu et semble amener des complications, l'objection se borne à une simple difficulté d'agencement que l'art résoudra, sans aucun doute, avec simplicité, tant les lois théoriques s'imposent avec rigueur et continuité dans la marche du progrès.

» 18. En ce qui concerne les machines, le problème, réduit à la simple augmentation de la surface de chauffe pour proportionner la puissance à la résistance, est si près d'une solution qu'on ne peut que s'attendre à voir surgir un grand nombre de dispositions par lesquelles ce résultat sera atteint.

Quant à la distribution de la puissance mécanique aux véhicules, la diversité des moyens, la merveilleuse facilité de l'esprit à simplifier les procédés de transmission de force, en assurent également le succès.

» 19. Au point de vue du trafic, la convenance ou plutôt la nécessité de proportionner la puissance mécanique de traction aux besoins des transports sera un stimulant suffisant pour amener l'emploi de générateurs capables de desservir des trains assez pesants, pour qu'en aucun cas les voyageurs aient à attendre, au pied des Alpes,

parce que le train de la traversée du col ne pourrait prendre tous ceux qu'aurait amenés le train de la plaine.

» 20. Le climat des Alpes n'oppose pas, par le froid, des obstacles plus sérieux que le climat de la Russie, où le froid n'a jamais compromis la régularité de l'exploitation des chemins de fer.

» 21. La neige tombant régulièrement n'offrira pas plus d'inconvénients que dans les chemins exploités dans des contrées où elle couvre la terre pendant sept mois.

» 22. La neige entassée par les tourmentes nécessitera une organisation spéciale d'ouvriers pour l'enlever immédiatement. Les quantités ainsi entassées seront toujours insignifiantes, relativement à la puissance des moyens de les faire disparaître avec la promptitude nécessaire pour que le service ne soit pas entravé.

» 23. Les avalanches doivent toutes être détournées de la voie. Cela est facile, parce que leur situation et leur régime sont aussi connus dans la montagne que le sont les lits et le régime des sources et des torrents.

» 24. Les tourmentes sont plus fréquentes, mais leur violence n'est pas plus grande dans la montagne que dans la plaine. Elles ne feront pas courir aux trains des risques plus grands, et la pesanteur spécifique du matériel accroîtra les garanties à cet égard.

» 25. Les passages suisses puisent dans la neutralité politique de ce pays un mérite spécial : celui d'établir, au point de vue pacifique, des liens commerciaux complétement à l'abri de toute commotion entre les Etats qui touchent à ses frontières.

» 26. Une conflagration générale du centre et du midi de l'Europe n'empêcherait pas la continuation des échanges entre les nations hostiles entre elles, à travers la Suisse.

» 27. Entre ces passages, ceux du Simplon et du Saint-Gothard sont les plus utiles aux relations entre la France et l'Italie.

» 28. A ce titre ils devraient, plus que les autres, améliorer les lignes suisses par le trafic qu'ils leur apporteraient.

» 29. Le Simplon est, de tous les passages, celui qui se présente le plus favorablement dans le système des percements souterrains.

» 30. C'est aussi ce passage dont les accès, par voie ferrée, sont, du côté du nord, les plus avancés.

» 31. L'annexion de la Savoie à la France assure au passage du Simplon les sympathies de ce pays, mais il n'y a pas lieu de supposer que la France se décide à concourir, pour ce passage, à une solution du genre de celle qui est appliquée au Mont-Cenis.

» 32. Les dispositions du col du Simplon sont également favorables pour un tracé à ciel ouvert d'un chemin de fer à fortes inclinaisons.

» 33. C'est à Brigue, du côté nord, et à Iselle, du côté du midi, que l'inclinaison du thalweg des vallées d'accès dépasse 35^{mm} et qu'il y a lieu d'adopter des inclinaisons de 50^{mm} pour le profil du chemin de fer. La configuration des versants permet d'adopter un rayon minimum de 100 mètres pour les courbes.

» 34. La distance entre Brigue et Iselle est de 52 kilomètres; la dépense d'établissement du chemin de fer de 20 millions.

» 35. Un profil de 35^{mm}, avec souterrain de 7800 mètres, coûterait 49 millions.

» 36. Considéré comme opération financière, le passage des Alpes à ciel ouvert, par un chemin de fer, se justifie par l'importance des relations commerciales qu'il fera naître, mais il ne trouve dans le courant actuel de la circulation que des produits insuffisants, à cause de l'élévation du prix des transports.

» 37. Ces relations commerciales s'élèvent aujourd'hui à plusieurs centaines de millions en valeur, mais le tonnage est faible, les articles d'échange étant d'un très haut prix.

» 38. Les données statistiques ne peuvent donner que des impressions; les chiffres directs et précis manquent.

» 39. L'impression qui résulte de la connaissance du trafic entre la France et l'Italie, quelque incomplets que soient les documents, est que le parcours annuel de 73,000 voyageurs, nécessaire pour couvrir l'intérêt du capital et la dépense d'exploitation, serait assuré, ainsi que celui de 128,000 tonnes de marchandises, au premier chemin ouvert dans cette direction; et que le produit net qui en résulterait, en outre, annuellement, pour les lignes suisses, pourrait approcher de 1,500,000 fr.

» 40. Les frais d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes, ayant quatre trains et demi par jour dans chaque direction,

coûteraient	fr.	1,182,500
l'intérêt du capital de 20 millions coûterait . .	»	1,200,000
la dépense totale serait de	fr.	2,382,500

41. Considérée par train et par kilomètre, cette dépense reviendrait:

en frais d'exploitation, à	fr.	6 95
en intérêt du capital, à	»	7 —
ensemble .	fr.	13 95

» 42. Le tarif établi d'après la comparaison des frais d'exploitation avec les lignes françaises serait de 21 centimes pour les voyageurs, et de 24 centimes pour les marchandises.

Des trains portant, en moyenne, 43 voyageurs par train et 39

tonnes de marchandises traversant le col, couvriraient la dépense d'exploitation et l'intérêt du capital.

» 44. Le poids *utile* ainsi transporté serait inférieur de plus de moitié à celui que pourrait remorquer l'effort de traction que la machine serait susceptible de maintenir.

» 45. Des inclinaisons de 35^{mm}, des courbes de 250 à 300 mètres, avec souterrain, ajouteraient à cette dépense 1,380,000 fr. par an, en intérêts du capital d'établissement. »

SUR LA TEMPÉRATURE DE QUELQUES SOURCES

Par Mr Ch. DUFOUR,
professeur à Morges.

Pendant quelques années, j'ai observé aussi souvent que je le pouvais la température des principales sources qui jaillissent dans les environs de Villeneuve (latitude nord 46° 24').

Toutes ces observations ont été faites avec deux excellents thermomètres Fastré à divisions arbitraires. Chaque division correspondait à près de $^1/_6$ de degré centigrade, et le zéro de ces instruments a été souvent vérifié. Chacun des chiffres que j'ai indiqués est lui-même la moyenne de plusieurs observations, faites à peu de minutes d'intervalle. De cette manière, il est probable que toutes ces températures sont exactes à 1 ou 2 centièmes de degré près.

Voici maintenant les résultats obtenus en degrés centigrades.

Source du ruisseau de Grand-Champ entre Villeneuve et Chillon, à une altitude de 107 *mètres au-dessus du lac, soit* 482 *mètres au-dessus de la mer.*

1853	19	Août	8°,1
	15	Octobre.	8°,0
	1	Novembre, 4 h. après midi .	8,1
	31	Décembre	8,2 (peu d'eau)
1854	5	Février	8,2
	12	Mars	8,4
	2	Mai, 8 h. du soir	8,1
	10	Juin, 6 h. »	7,8
	2	Juillet	7,85
	19	» 6 $^1/_2$ h. du soir . .	8,15
	30	» 2 h. après midi . .	8,30