http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Titre : De la traversée des Alpes par un chemin de fer. Développements. Étude du passage par le Simplon
Auteur : Flachat, Eugène

Mots-clés : Chemins de fer * Alpes * 19e siècle
Description : 1 vol. (XVI-295 p.) : ill. en noir et blanc ; 24 cm
Adresse : Paris : E. Noblet, 1860
Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 Le 130

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8LE130

La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

PDF créé le 27/9/2012

DE LA

TRAVERSÉE DES ALPES

PAR

UN CHEMIN DE FER

DÉVELOPPEMENTS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NEUILLY. — TYP. GUIRAUDET, PLACE DE LA MAIRIE, 2

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Le 130

N° II

DE LA

TRAVERSÉE DES ALPES

PAR

UN CHEMIN DE FER

DÉVELOPPEMENTS

ÉTUDE DU PASSAGE PAR LE SIMPLON

Par Eugène FLACHAT

PARIS

E. NOBLET, ÉDITEUR

20, RUE JACOB

1860

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EXPOSÉ

Cette seconde publication est le développement de la première. C'est aux points de vue technique et industriel que nous avons cru qu'il était utile d'étendre notre étude.

Nous l'avons continuée aussi dans le but d'en déterminer, par un examen local, et à l'aide du concours qui nous a été donné, les conditions d'application au passage du Simplon.

Nous n'avons pas jugé à propos de reproduire les considérations générales dans lesquelles nous étions entré. Les grands intérêts subsistent, comme avant, dans la question dont il s'agit et les difficultés techniques sont les mêmes ; la situation politique seule a changé : examinons la.

Les chemins de fer s'approchent des passages sur les Alpes suisses par les vallées du Rhin, de la Reuss et du Rhône.

Au midi, la nouvelle Italie s'apprête à les recevoir par les belles vallées qui descendent au lac de Côme et au lac Majeur (1).

(1) Les passages des Alpes suisses, praticables par des chemins de fer à ciel ouvert et à 50 millimètres d'inclinaison, sont :

Le 2e Lukmanier, entre Dissentis et Olivone, de	36,600	mètres.
Le St-Gothard, entre Wasen et Airolo, de	45,200	—
Le Simplon, entre Brigg et Iselle, de	52,000	—
Le Bernardin, entre Andeer et Soazza, de	54,000	—
Le Splugen, entre Andeer et Callivaggio, de	56,000	—
Le 1er Lukmanier, entre Dissentis et Olivone, de	58,400	—

Les pieds de ces passages sont situés au point où le thalweg des vallées d'accès affecte une inclinaison supérieure à 35 m/m. (Voir pages 21 et suivantes.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chacun de ces passages avait, naguère, de grands appuis.

Les sympathies de la France, sans être égales pour chacun, leur étaient acquises ; mais celles de l'Allemagne et de l'Autriche, celles aussi de l'Italie autrichienne et piémontaise, s'étaient divisées.

Le Piémont a fait de grands efforts pour franchir les Alpes qui le séparent de la France. Il s'était abstenu de coopérer activement aux passages suisses.

L'Autriche appuyait le Splugen.

L'Allemagne préférait le Luckmanier.

La France avait, en outre, montré sa confiance et son initiative en s'intéressant, par ses capitaux, dans toutes les entreprises de

Au nord, les chemins de fer aboutissent, aujourd'hui, par Sion, Lucerne et Coire : à 52 kilomètres du pied du col du Simplon, à Brigg ; à 70 kilomètres du pied du col du St-Gothard, à Wasen ; à 45 kilomètres du pied des cols du Splugen et du Bernardin, à Andeer ; à 60 kilomètres du pied des cols des deux Lukmanier, à Dissentis.

Au midi, du pied du Splugen à Callivaggio jusqu'à Bergame, il y a 110 kilomètres ; du pied du Bernardin à Soazza jusqu'à Sesto Calende, il y à 101 kilomètres ; du pied des deux Lukmanier à Olivone jusqu'à Sesto Calende, il y a 120 kilomètres ; du pied du Simplon à Iselle jusqu'à Arona, il y a 78 kilomètres ; du pied du St-Gothard à Airolo jusqu'à Sesto Calende, il y a 120 kilomètres.

Si on fait entrer en ligne les lacs de la Suisse et de l'Italie, et nul de ceux qui les ont parcourus ou qui ont habité sur leurs bords ne s'y refusera, tant leur navigation est susceptible de régularité, de vitesse, de confortable et d'économie, les distances se réduisent au nord, pour le St-Gothard, à 25 kilomètres. Au midi, elles se réduisent, à partir du pied méridional des passages, pour le St-Gothard à 77 kilomètres ; pour le Splugen à 46 kilomètres ; pour le Bernardin, à 47 kilomètres ; pour les deux Lukmanier, à 64 kilomètres ; et pour le Simplon, à 53 kilomètres.

La situation de chacun des passages doit être considérée au double point de vue des distances à parcourir et des sommes à dépenser, dans les deux hypothèses : d'une ligne de fer non interrompue, et de la navigation par les lacs, pour rejoindre le réseau italien.

Ils se présentent, sous ces deux aspects, dans l'ordre suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chemins de fer qui se dirigent sur le Piémont et sur la Lombardie, par les Alpes franco-piémontaises, comme par les Alpes de la Suisse allemande et de la Suisse française.

Les intérêts italiens ont à choisir une direction.

L'Italie est, aujourd'hui, un Etat; d'antiques mœurs municipales semblent y avoir appelé les populations à la vie politique, car les premiers actes de celle-ci révèlent autant de prudence que de mâle décision. La paix et l'activité doivent sortir de la constitution de cette nation nouvelle, tant son droit d'exister se montre à l'Europe politique par son invincible tendance vers l'unité.

L'Italie concourra, sans nul doute, à toutes les tentatives des pays du Nord pour ouvrir les passages pacifiques des Alpes. Ses tendances, cependant, la porteront vers ceux qui la rapprochent de la France. Elle préférera le Simplon et le Saint-Gothard au Lukmanier et au Splugen. C'est là, du moins, le conseil que lui donnent ses intérêts agricoles et ses besoins industriels, d'accord, en cela, avec ses sympathies politiques.

Longueur et dépense d'exécution des chemins de fer restant à établir pour compléter les passages des Alpes et rejoindre les chemins de fer italiens, en utilisant la navigation par les lacs.

PASSAGES	Distances	Dépenses d'établissement
	kilomètres	francs
Simplon.	115. »	38,425,000
Bernardin.	144. »	47,700,000
Splugen.	155. »	48,600,000
Lukmanier 2e.	147.7	52,000,000
Lukmanier 1er.	160.8	52,000,000
Saint-Gothard.	182.6	60,725,000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'Autriche négligera le Splugen, pour s'unir plus intimement par l'Est, à la Vénétie.

L'Allemagne sera impuissante en faveur du Luckmanier.

Que fera la Suisse?

Ce pays, si aimé de la France, vient de commettre l'impardonnable faute de déférer celle-ci au tribunal dont le jugement a laissé, dans tous les cœurs, des souvenirs tellement pénibles, que notre

Longueur et dépenses d'exécution des chemins de fer restant à établir pour compléter les passages des Alpes, par une ligne non interrompue jusqu'aux chemins italiens.

PASSAGES	Distances	Dépenses d'établissement
	kilomètres	francs
Simplon.	179. »	55,475,000
Bernardin.	198. »	65,250,000
Splugen.	209. »	68,980,000
Lukmanier 2e.	216.6	70,140,000
Lukmanier 1er.	238.4	78,860,000
Saint-Gothard.	250. »	85,392,500

La priorité du Simplon dans l'hypothèse où une ligne de chemin de fer sur Milan devrait négliger la navigation des lacs provient de la configuration géographique du versant méridional des Alpes. Le Bernardin, les deux Lukmanier et le Saint-Gothard descendent à l'extrémité du lac Majeur, et le Splugen à l'extrémité du lac de Côme. La distance de Bellinzona à Sesto-Calende et celle de Chiavenne à Côme s'ajouteraient donc aux lignes à établir pour rejoindre les chemins italiens sans transbordement.

Nous ignorons si les études de ces chemins riverains des deux lacs ont été faites, et les conditions de dépense dans lesquelles ils peuvent être établis. Nous les avons fait entrer dans les calculs qui précèdent, et d'après l'aspect général des lieux, au prix uniforme de 325,000 fr. par kilomètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sentiment national en est resté empreint d'une arrière-pensée redoutable pour tous les droits qui s'appuyeraient contre nous sur cette malheureuse origine.

La France, cependant, aime passionnément la Suisse, et ce n'est pas seulement pour ses montagnes, son ciel et ses eaux, c'est aussi parce que ses mœurs lui plaisent.

L'individu obéissant chez nous au lois et aux habitudes d'une tutelle administrative qu'il paye bien cher sans se plaindre ; qu'il appelle comme s'il redoutait la vie d'initiative et de responsabilité ; à laquelle il demande son instruction générale et même son instruction professionnelle ; à laquelle il défère tout pouvoir parce qu'il lui demande toute règle ; qui inscrit même ces règles à côté de son droit civil, cet ancre de salut de la liberté ; qui, non-seulement s'est habitué à ce régime par la présence intime d'une multitude innombrable de fonctionnaires dans toutes les classes de la population, mais qui n'aspire qu'à devenir fonctionnaire lui-même, croyant n'obtenir que par cette voie la facile satisfaction des besoins de la vie ou l'estime et la considération dans la vie privée ; l'individu qui croit et qui semble fier de croire que ce n'est qu'à ce prix qu'un peuple constitue une nation puissante et éclairée est, en Suisse, profondément et agréablement surpris de trouver la vie active, une tranquillité profonde, le respect de tous, surtout de la volonté de chacun, sans influence, sans tutelle de gouvernement, sans fonctionnaires. Il est émerveillé de n'y pas même trouver ce despotisme des mœurs, si triste et si dur, qui, en Angleterre et en Amérique, assombrit pour l'étranger jusqu'à la pensée, et fausse en lui l'idée de l'influence d'institutions libres.

C'est pour cela que nous aimons la Suisse, et, cependant, son contact avec l'Allemagne rend les cantons du nord plus allemands que français. Comment n'en serait-il pas ainsi ? Un Français est, en Suisse, vu comme un soldat ou, tout au moins, comme l'instrument

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dévoué, pour une très-vaine gloire, à un gouvernement quelconque ; l'Allemand est presque Suisse, par les mœurs, les habitudes, la douceur du tempérament, etc.

La Suisse n'aime donc pas la France parce qu'elle la craint. C'est une grave erreur ; c'est un tort, et, dans la question qui nous occupe, c'est un élément d'incertitude sur ce que fera la Suisse pour coopérer aux passages des Alpes par les chemins de fer.

Qui aurait pu croire qu'une nation à laquelle la neutralité a ôté toute consistance politique, mais en la gratifiant d'une paix profonde malgré tous les germes de division qui inquiétent l'Europe, se montrerait un jour si peu soucieuse du droit public qui la protége, ou si peu rassurée par ce droit, qu'elle aussi voulût avoir des frontières naturelles, comme si elle disposait des ressources d'un budget pour les fortifier et de bras pour les défendre ?

C'est donc avec un profond sentiment de regret que nous avons vu s'éteindre ou s'éloigner l'opportunité de s'occuper de la traversée des Alpes suisses par un chemin de fer, opportunité qui était l'un des bienfaits du retour de la paix et de la constitution de l'Italie comme nation.

A ces erreurs, sans doute, il y a un remède, et le plus sûr c'est le temps et le respect du droit.

Si la Suisse ignore où est sa force, c'est aux puissances qui l'entourent à la ramener au sentiment exact de sa situation, rien qu'en se montrant invariablement attachées à la neutralité qui désintéresse la Suisse dans toutes les questions militaires.

Impuissante à faire le mal, elle ne pourra se dérober aux conséquences du bien qui résultera pour elle de ce respect des grands Etats, puisé, d'abord, dans le sentiment de leur dignité et de leur puissance, et puis dans la saine appréciation d'une constitution politique qui fait du gouvernement helvétique le jouet des passions populaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mais, ce remède est à longue échéance, bien des années s'écouleront peut-être, avant que les dispositions de confiance et d'amitié qui ont créé entre la France et la Suisse une fusion d'affaires et d'entreprises si favorable à cette dernière se raniment entre les deux pays.

Que fera la Suisse, en attendant?

A côté de la répugnance qu'éprouverait, peut-être, la Confédération à convier la France, l'Italie et l'Allemagne à un concours quelconque pour lever les difficultés des passages des Alpes par son territoire, il y a un mal plus grand encore, c'est l'extrême pauvreté des Cantons Souverains où ces passages sont situés et leur impuissance à fournir, financièrement, aucune aide à la constitution de puissantes compagnies.

C'est donc du concours de la France et de l'Italie qu'il faut que la Suisse attende les entreprises qui, seules, mettront sa richesse territoriale et industrielle en équilibre avec celle des pays environnants. Si elle reconnaît l'exactitude de ces appréciations, elle ne restera pas longtemps sourde à son intérêt et elle agira pour faire oublier des actes qui ne sont pas d'accord avec les tempéraments politiques que doit garder une nation placée sous l'égide tutélaire de la neutralité.

Tout ceci n'est pas une utopie. Les capitaux engagés dans les chemins suisses ont subi des pertes cruelles: on avait compté sur de moindres dépenses d'établissement et sur des produits plus abondants. Mais il y a une amélioration continue, bien que lente, et cela soutient l'espoir. Il suffira de quelques actes d'une sage protection pour des ruines dont on ne pourrait profiter sans honte, et de quelques années encore, pour relever la confiance; et alors on entrera dans la période des prolongements, on songera à la traversée des Alpes.

Voilà, dans ces derniers mots, abstraction faite de toute autre considération politique, le véritable état des choses. Il démontre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que la Suisse a besoin de la confiance des pays dont elle attend les capitaux qui lui sont nécessaires, et, pour cela, il faut que le Conseil Fédéral inspire, par ses actes, aux populations qu'il représente, des sentiments de bienveillance et d'amitié pour leur riche voisine.

Nous avons donné à l'Appendice de ce second mémoire des développements qui se justifient d'eux-mêmes, puisqu'ils portent sur les questions techniques qui sont la base de notre discussion. L'adhérence ; la combustion dans les foyers des machines locomotives; la construction des machines de grande puissance, dont le type *Engerth* est la dernière expression; l'effet utile qu'elles peuvent produire d'une manière continue; le glissement des wagons sur les rails; les effets des tourmentes, et enfin les faits nouveaux d'expérience sur les percements dans la roche.

Ces développements ont un caractère spécial qui assigne leur place dans l'Appendice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

EXPOSÉ. . . . . V à XII

§ 1. Dans quelles conditions un chemin de fer traversant les Alpes doit-il être exploité ponr répondre aux exigences du trafic? 1

§ 2. Quelle sera l'influence des rampes sur les dépenses d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes? 12

§ 3. Quelle sera l'influence du rayon des courbes sur la dépense d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes? 36

§ 4. Quel est l'effort de traction à demander aux machines dans la traversée des Alpes? 45

§ 5. Comment obtenir d'une machine locomotive la puissance mécanique nécessaire pour remorquer, sur une rampe de 50 à 60 m/m, des trains de 120 à 150 tonnes, composés de véhicules susceptibles de circuler dans des courbes de 25 mètres de rayon? 47

§ 6. Quels obstacles le climat des cols des Alpes apportera-t-il à l'exploitation d'un chemin de fer tracé en rampes de 50 à 60 millimètres? 75

§ 7. Dans quelles limites convient-il d'employer l'adhérence pour gravir les rampes de 50 à 60 millimètres dans la traversée des Alpes? . 119

§ 8. Étude du passage des Alpes par le Simplon. 127

§ 9. Quelles sont les relations actuelles du commerce entre l'Italie et les contrées dont les chemins de fer aboutissent au pied des Alpes? . . 167

§ 10. Dépenses d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes. Tarif et trafic nécessaires pour couvrir les frais d'exploitation et l'intérêt du capital. 182

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 11. Description du matériel roulant. 191
§ 12. Résumé. 206

APPENDICE.

N° 1. Développements sur l'adhérence. 215
N° 2. Développements sur la combustion ; dans les foyers des machines locomotives. 238
N° 3. Discussion sur les machines du système Engerth. 253
N° 4. Expérience établissant le maximum de puissance permanente des machines Engerth et des machines pour fortes rampes. . . . .
N° 5. Expériences sur l'inclinaison à laquelle les wagons, dont les roues sont embarrées, glissent sur les rails. 274
N° 6. Développements sur l'effet des tourmentes sur les trains. . . 278
N° 7. Faits sur l'avancement moyen, par jour, des percements dans la roche. Souterrain du Mont-Cenis. 283
N° 8. Tableau du mouvement et des recettes des Postes sur les routes principales passant par les Alpes suisses. 295

PLANCHES.

Profil du passage par le Splugen. 22
Profil du passage par le Bernardin. 23
Profil du passage par le Lukmanier (1er). 24
Profil du passage par le Lukmanier (2e). 25
Profil du passage par le St-Gothard. 26
Profil du passage par le Simplon. 27
Profils comparés des passages par le Splugen, le Bernardin, les Lukmanier, le St-Gothard et le Simplon. 29
Coupe en élévation de la machine locomotive projetée pour la traversée des Alpes (pl. n° 1). échelle 0,0125 192
Coupe en travers de la machine projetée pour la traversée des Alpes (pl. n° 2) échelle 0,04. 193

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elevation des trucks de la machine locomotive (pl. nº 3) 197
Elévation des trucks des véhicules (pl. nº 4) 202
Plan id (pl nº 5) 203
Dessin des wagons (pl. nº 6) 205
Carte du passage par le Simplon. 300
Profil en long de la route du Simplon, de Brig à Domo-d'Ossola. . . 301
Profils en travers des versants des vallées d'accès au col du Simplon. 302

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ I

Dans quelles conditions un chemin de fer traversant les Alpes doit-il être exploité pour répondre aux exigences du trafic?

On ne peut méconnaître que, par suite des difficultés que la nature oppose à la circulation, le mouvement des voyageurs et des marchandises à travers les Alpes ne soit resté, jusqu'à ce jour, insignifiant, en ce sens que, s'il peut alimenter une ligne de passage, il serait insuffisant pour plusieurs. Il sera cependant ouvert plusieurs passages, dans l'intérêt des lignes qui se dirigent vers l'Italie, si la construction en est facile et économique, et si l'exploitation en est assurée dans de bonnes conditions.

Une pareille entreprise ne semble pas au premier abord devoir être avantageuse; les capitalistes qui s'engagent dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les grandes affaires éprouvent une sage défiance pour les idées nouvelles, même lorsqu'elles sont justifiées par des essais ; ils ne donnent en général leur confiance qu'aux procédés et aux systèmes expérimentés sur une vaste échelle.

Cependant tout le monde est persuadé que, si un chemin de fer traversait les Alpes dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire s'il ne coûtait pas plus cher à construire, s'il pouvait être exploité de même, et que les voyageurs ne fussent ni plus ni moins incommodés, pour aller de Paris à Milan, que lorsqu'ils se rendent de Paris à Bordeaux ; ce chemin serait une excellente spéculation.

On a cédé, sous ce rapport, à une sorte d'évidence instinctive. On s'est dit que la traversée des Alpes par les chemins de fer est intéressante comme celles des Pyrénées, du Rhin, de la frontière belge : comme tous les chemins internationaux servant de lien à des civilisations puissantes qui tendent à se fondre, aux intérêts de populations entières qui veulent se rapprocher et à des besoins qui cherchent de nouvelles ressources, etc. On n'a pas été plus loin ; et, devant la grandeur de l'intérêt, on a décidé que les conditions d'établissement d'un chemin de fer à travers les Alpes, c'est-à-dire ses facultés de transport seraient, en puissance, régularité, sécurité et rapidité, égales à celles des autres chemins. Ce point de vue a été adopté sans discussion, comme si tout autre n'eût pas supporté l'examen. En conséquence, les chemins d'accès aux passages des Alpes ont, sans exception, accepté et réalisé pour eux-mêmes ces conditions. Les chemins suisses ne le cèdent en rien, sous ce rapport, à nos meilleures lignes.

On était dans le vrai : ce sont réellement ces conditions

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'il faut que l'art accomplisse. S'il en était autrement, si la traversée des Alpes offrait à la circulation des trains de tels obstacles que les céréales ne pussent franchir la montagne pour alimenter les populations qui en seraient privées ; que les houilles du centre de la France et ses métaux ne pussent atteindre Milan et le nord de l'Italie pour y féconder l'industrie ; qu'en un mot, la traversée des Alpes ne répondît pas à toutes les exigences d'un grand trafic constant ou momentané, nul ne peut dire le préjudice qui en résulterait pour les grandes nations et les vastes territoires intéressés à la libre et facile circulation à travers les Alpes.

Si le vaste cercle de 7 à 800 kilomètres formé par les Alpes entre Nice et Inspruck doit rester, pendant trente ou quarante ans, fermé aux chemins de fer, ce sera un retard équivalent dans les conditions qui associent les développements de la richesse publique aux échanges internationaux. Ce retard répugne à trois civilisations : celles de l'Italie, de la France et de l'Allemagne, dont deux, au moins, se montrent animées depuis des siècles d'une ardente et mutuelle sympathie.

Tel est, d'un point de vue général, l'ordre d'idées qui s'attache à la solution du passage des Alpes par les chemins de fer, et qui semblerait devoir suffire à nous guider. Nous pourrions, en effet, céder à une conviction qui se montre si unanime dans toutes les entreprises de chemins de fer qui s'arrêtent au pied des Alpes; et, tout en faisant la plus saine appréciation possible des difficultés à vaincre, affirmer que l'art doit répondre à l'intention de tous les intérêts, et que les chemins de fer doivent franchir les Alpes aux mêmes conditions de puissance, de régularité et de sécurité dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'exploitation, que s'il s'agissait de suivre une vallée droite et unie.

Mais si là est le côté vraiment grandiose de la question, là sera aussi le danger d'une illusion qui pourrait, comme celle qui est en voie d'exécution, aboutir à l'impuissance, parce que la mesure du temps, de l'œuvre, de la dépense et du produit, sera restée inconnue et ne sera pas entrée dans les calculs.

C'est à cette mesure qu'il faut toujours revenir parce qu'elle est le seul germe fécond des entreprises de ce genre.

Cette considération acquiert, dans le cas qui nous occupe, une importance particulière. Pour repousser toute apparence d'innovation, l'on veut percer des tunnels de 12 à 17 kilomètres afin de poser la voie, et de construire les machines locomotives comme on le fait depuis vingt ans ; mais on ne remarque pas que la plus grande innovation que l'on puisse tenter, dans l'état actuel de l'art de l'ingénieur, est le percement d'un souterrain de cette longueur : car il faut, pour cela, des moyens tout différents de ceux que l'on connaît aujourd'hui.

Nous avons, dans notre première publication, développé cette question. Déjà, comme on le sait, on demande à la vapeur ou au moteur hydraulique de venir en aide aux mineurs. C'est donc là qu'est l'innovation.

Nous pensons aussi qu'il faut, pour traverser les Alpes, demander la solution à la mécanique, mais ce n'est point en inventant de nouvelles méthodes pour broyer le rocher et percer des trous de mine. Il faut simplement modifier la machine locomotive, de manière à lui donner un peu plus de force.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est en se plaçant à ce point de vue que l'on distingue les progrès qui ont été accomplis dans les chemins de fer.

C'est à la locomotive qu'on a demandé le moyen de traverser le Semmering; on l'a faite plus puissante en Allemagne pour réduire les frais de construction. Les machines construites dans ce but ont été importées immédiatement en France pour réduire des frais d'exploitation que la dépense de la construction portait très-haut ; et ces grosses machines circulent sur nos lignes les plus unies avec autant d'avantages que sur les fortes rampes.

En Angleterre, les chemins ont été, dès l'origine, une question de machines et d'exploitation; transportés en France, ils sont devenus une question d'ouvrages d'art.

En Angleterre et en Amérique on a cherché à créer des entreprises productives; en France, à faire des travaux de plus en plus dignes du budget d'un Etat. Le seul résultat de ce système et de ces tendances est de priver de chemins de fer des populations qui pourraient en avoir, toutes les fois que l'application du type général devient impossible, et de reculer à des époques que nul ne prévoit le triomphe sur les difficultés naturelles que présentent les grandes chaînes de montagnes.

Nous aurons donc à examiner : Si la traversée des Alpes par un chemin de fer est possible à la condition d'effectuer les transports avec une économie telle, que les produits de basse valeur qui circulent sur les chemins de fer ordinaires, comme la houille, les bestiaux, les céréales, l'huile, le vin, les métaux, les bois, puissent pénétrer du Nord au Sud et réciproquement, avec un abaissement notable du prix de vente en Italie, à Milan par exemple ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si Gênes et Trieste peuvent être pour la Suisse et l'Allemagne méridionale des ports d'importation et d'exportation accessibles, à des conditions de transport convenables, comme Marseille l'est pour le centre de la France ;

Si, en un mot, les distances par les chemins de fer traversant les Alpes, entre l'Italie et les nations qui l'entourent au Nord, et la dépense nécessaire pour les franchir, établiront des relations plus faciles et plus économiques que celles qui se sont établies aujourd'hui avec les nations commerçantes par ses ports de mer, Gênes et Trieste.

Ces recherches, il faut bien le dire, ont présenté jusqu'ici des difficultés, parce qu'il n'existait pas de documents statistiques suffisants sur les relations commerciales, et que c'est ordinairement dans les échanges existants que l'on cherche la base des développements qu'une voie de circulation nouvelle et économique peut amener. Ici, cette base d'appréciations nous paraît insuffisante parce que l'obstacle élevé par la nature a empêché, d'une manière absolue, certains échanges, ceux de toutes les matières de basse valeur, par exemple, et puis parce que la dépense de transport a limité les échanges qu'un grand intérêt soutient ou fait naître.

Notre manière d'envisager la question nous paraît en conséquence plus propre à porter la conviction dans les esprits :

S'il ressort avec évidence de notre étude que les produits des bassins houillers de la France sont plus près, par la distance et les prix de transport, de la Lombardie, de Milan par exemple, que ne le sont les houilles apportées par la voie maritime, et qu'en conséquence nos houilles se substi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tueront à Milan, en réalisant un abaissement de prix, aux houilles anglaises, en traversant les Alpes, ne sera-ce pas là un intérêt tout nouveau, au point de vue économique, qui s'attachera à la traversée des Alpes par un chemin de fer?

Car, ce qui sera vrai pour la houille le sera pour le bois, bien plus encore pour les métaux, pour le blé et les céréales, pour l'huile et pour le vin, pour toutes les productions de territoires riches et populeux.

Si les chemins de fer traversant les Alpes ont pour conséquence un abaissement marqué du prix des matières premières de l'industrie, que ne doit-on pas prévoir de cet appel au travail adressé à des populations dont l'essor industriel a été jusqu'à ce jour entravé par l'obstacle presque infranchissable qui les sépare des nations les plus actives?

C'est donc ce résultat dont il faut analyser la possibilité, dont il faut établir l'évidence par les plus rigoureuses investigations, car il doit dominer toute cette étude.

La houille qui se consomme à Milan est celle de New-Castle. En hiver, par suite du prix élevé du fret, elle coûte 61 fr. à 65 fr. la tonne. Dans la belle saison, alors que les frets sont moins chers, la houille pourrait descendre, pour de grands approvisionnements, à 55 fr. la tonne.

Elle se vend, à bord du navire à New-Castle, 10 fr. à 12 fr. la tonne. Elle est transportée de Gênes à Milan sur 219 kilomètres de chemin de fer; il peut ainsi rester, pour le fret de New-Castle à Gênes, l'assurance, les frais de port, les déchets et le bénéfice, de 35 fr. à 45 fr. par tonne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les bas frets ne sont possibles qu'autant que les retours sont assurés : de là leurs variations (1).

Nous avons supposé, dans les calculs qui vont suivre, l'application d'un tarif de 0 fr. 05 c. par tonne et par kilomètre sur les chemins de fer, mais nous l'élevons à 0 fr. 12 c., entre Brigg et Domo d'Ossola, sur 63 kilomètres.

La distance qui sépare St-Etienne de Milan, par les chemins de fer, est de 686 kil., dont 623 à 0 f. 05 c.	31 fr.	15 c.
63 à 0 12 c.	7	56
Prix de transport de St-Etienne à Milan. .	38	71 c.
auxquels il y a lieu d'ajouter 10 fr., pour le prix de la tonne de houille sur le carreau de la mine, et 1 fr. pour un double transbordement. . .	11	»
Total. . . .	49	71 c.

Les houilles de la Loire reviendraient donc, à Milan, à 50 fr. Celle des bassins du centre (Blanzy, Montchanin), transportée par les canaux du Centre et du Rhône au Rhin, jusqu'à Mulhouse, au fret de 0 fr. 0125 par tonne et par kilomètre, et de Mulhouse à Milan, par les chemins de fer, aux tarifs ci-dessus de 5 et 12 c., reviendra également à Milan, à 48 ou 50 fr. la tonne.

Ces prix sont, sans doute, fort élevés, mais ils sont très inférieurs au prix moyen actuel, et ils ôtent au marché ses oscillations habituelles.

L'Angleterre fera pour Gênes ce qu'elle a fait pour Mar-

(1) Le fret de New-Castle aux ports de la Méditerranée est aujourd'hui pour la houille : Alexandrie et Trieste, 27 fr. 36 c.; Alger, Alicante, Constantinople, Marseille et Toulon, 23 fr. 94 c.; Barcelonne, Gênes, Livourne et Naples, 26 fr. 22 c.; Venise, 28 fr. 50 c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seille devant la concurrence des houilles françaises. Elle abaissera ses prix au taux de ses nouveaux concurrents, mais elle ne pourra les éloigner.

Des calculs analogues appliqués aux céréales donnent des résultats plus significatifs encore.

La distance de Milan à Gray sur Saône, centre d'un marché de céréales fort important, est de 588 kilomètres par les chemins concédés ou en exploitation; ces chemins passent par Auxonne, Dôle, Salins, Jougne, Lausanne, Brigg et Domo d'Ossola. Le prix du blé de Gray à Milan s'établira ainsi :

1 tonne de blé à Gray à raison de 20 fr. l'h.	250 fr.	» c.
Transport 525 km. à 0.08 c.	42	»
Transport sur 63 k. de Brigg à Domo à 0.20.	12	06
Total. . . .	304	06

Soit par hectolitre, 24 fr. 368.

Nous choisissons l'exemple des céréales, non qu'on doive s'attendre à un courant commercial dans le sens que nous indiquons, plutôt que dans le sens opposé; mais parce que les céréales représentent un type très-général et très-connu quant aux transports et aux tarifs qui s'y appliquent.

Les vins de France seraient transportés, de Mâcon à Milan, par chemin de fer aux prix suivants :

De Mâcon à Milan, 504 kilom. à 0 fr. 07 c. la tonne.	35 fr.	28 c.
63 kil. de Brigg à Domo d'Ossola, à 0 fr. 20 la tonne.	12	60
Soit pour mille litres.	47	88

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mâcon serait à la même distance de Milan, que Bordeaux l'est de Paris.

La conclusion à tirer de ces prix de transport, c'est que le Nord de l'Italie peut être lié, à travers les Alpes, avec les provinces les plus riches et les plus productives de la France, à des conditions bien supérieures à celles qui existent entre Paris et Marseille, et presque égales à celles qui existent entre Paris, Lyon et Bordeaux; en conséquence, les chemins de fer qui traverseront les Alpes devront être exploités dans des conditions propres à répondre aux exigences d'un trafic de même nature.

Nous ne voulons pas dire que le trafic aura ou pourra avoir la même importance; ce que nous entendons, c'est que les chemins de fer qui traverseront les Alpes devront être susceptibles de n'apporter, par leurs conditions d'établissement aucun retard dans le service ou l'exploitation des chemins qui y aboutiront.

Un fait contemporain expliquera notre pensée. Le chemin de fer d'Andrezieux à Roanne, construit dès l'origine fort économiquement, était desservi, sur la plus grande partie de son parcours, par des machines locomotives; mais les faîtes en étaient franchis au moyen de plans inclinés automoteurs ou desservis par des machines fixes. Les complications du service et l'insuffisance des dispositions des plans inclinés eurent pour effet de réduire à cinquante le nombre de wagons qui pouvaient parcourir, chaque jour, la ligne entière; le trafic tout entier de la houille fut ainsi limité à 200 tonnes, franchissant, par 24 heures, la distance entière de 67 kilom. Pendant longues années, les ingénieurs de cette ligne n'eurent d'autre but que d'augmenter le trafic en modifiant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les conditions de l'exploitation pour rendre les moyens de transport plus puissants ; mais les capitaux dont ils disposaient ne leur avaient permis de faire que des modifications peu importantes. Lorsque la compagnie d'Orléans acheta le tronçon, son premier soin fut de reconstruire en partie le chemin dans les conditions ordinaires de son réseau.

Ces conclusions, traduites en langage technique, sont que l'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes ne pourra se faire utilement, qu'autant qu'elle aura pour limite inférieure extrême de ses trains un poids rémunérateur, c'est-à-dire un poids suffisant pour couvrir la dépense d'exploitation et l'intérêt du capital d'établissement, et, comme limite supérieure, un poids de train assez élevé pour suffire, sans encombrement, sans retard et sans complication de service, au plus grand mouvement à attendre, ordinairement ou extraordinairement, des chemins qui y aboutiront.

En termes plus concis, la puissance des machines locomotives devra, pour se prêter aux exigences du trafic, présenter sur les chemins traversant les Alpes les mêmes ressources de locomotion que sur les lignes ordinaires.

La dépense d'établissement devra être sensiblement la même que celles des lignes aboutissant au pied des cols des passages.

La dépense d'exploitation devra être couverte, quant aux différences qu'elle présentera comparativement aux lignes ordinaires, par un tarif plus élevé, afin que le capital d'établissement trouve dans cette exploitation le même revenu que dans les lignes aboutissant aux Alpes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2.

Quelle sera l'influence des rampes sur la dépense d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes ?

Les chemins de fer suivent, dans leur profil, l'inclinaison générale du sol; à l'aide de levées ou de viaducs, de tranchées ou de souterrains, ils adoucissent les accidents secondaires que présente sa configuration. Qu'ils suivent les vallées ou les plateaux, qu'ils franchissent les lignes de partage des eaux, leur tracé est toujours astreint à une certaine relation entre l'étendue et l'inclinaison; la première allonge la route pour diminuer les rampes, la seconde abrége la distance, mais elle exige de fortes inclinaisons.

Les rampes, considérées au point de vue de l'effort de traction qu'elles exigent, sont une des difficultés les plus sérieuses avec lesquelles l'ingénieur ait à lutter.

La configuration générale du sol, la nature et l'importance du trafic, influent si diversement sur la solution de cette difficulté, qu'il serait imprudent de poser des règles générales et absolues.

Entre un tracé horizontal et rectiligne et un tracé incliné et sinueux, il n'y a de différence absolue que celle de l'effort

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de traction. A des vitesses de 16 à 25 kilomètres, et dans des circonstances climatériques moyennes, l'expression de cet effort sera, pour un chemin horizontal et rectiligne . 1
pour un chemin à rampes de 5m/m, il sera. . . . 2
pour un chemin à rampes de 10 m/m. 3
et ainsi de suite de 5 en 5 millimètres d'inclinaison.

En d'autres termes, l'effort de traction est, très-approximativement, de 5 kilogrammes par tonne sur un chemin de niveau; et, comme il est aussi de 1 kilog. par tonne et par millimètre d'inclinaison, une rampe de 5 m/m suffit à doubler l'effort de traction.

Mais cette augmentation de l'effort de traction n'a pas les conséquences qu'on serait porté à admettre.

Un chemin de 5 m/m d'inclinaison n'exige nullement pour la locomotion une dépense double de celle qui a lieu sur un chemin horizontal. L'ingénieur emploie, pour exploiter le premier, des machines d'une puissance double de celles qui servent à l'exploitation du second; et ces machines ne coûtent, ni le double du prix, ni le double en travail. Le prix de construction des machines ne présente, quant à leur puissance, qu'une faible différence, et l'augmentation de dépense de combustible nécessaire pour gravir les rampes est en partie compensée par l'économie que l'on réalise en les descendant.

Le chemin de Versailles R. D. présente, sur 22,500 mètres de parcours, 18,500 mètres de rampes de 5 m/m.

Le chemin de fer de Saint-Germain est sensiblement de niveau.

Cependant les machines remorquant la même charge donnent lieu, sur les deux lignes, à une consommation de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

combustible sensiblement égale par kilomètre parcouru. Ce qui est dépensé en plus à la remonte sur Versailles est, en grande partie, économisé à la descente sur Paris.

La conduite, l'entretien et tous les frais de locomotion sont égaux, à la seule exception de l'usure plus rapide des rebords des bandages et de la fatigue des essieux coudés résultant des courbes plus nombreuses du chemin de Versailles.

C'est à cause du faible surcroit de dépense que l'augmentation de puissance des machines ajoute à la locomotion, que l'art est incessamment poussé à réaliser des économies sur l'établissement des chemins de fer et à demander aux progrès de la mécanique un travail plus considérable sans être proportionnellement plus coûteux.

On serait fondé à dire que, toutes les fois que les choses ont été entendues autrement, c'est qu'il s'est opéré une halte dans le progrès. Ces haltes n'ont, du reste, jamais duré longtemps, et nous voyons qu'aujourd'hui les plateaux les plus élevés et certains passages de montagne (1) sont accédés et franchis au moyen d'inclinaisons sextuples de celles qu'à l'origine on regardait comme essentielles à l'économie et à la régularité de la circulation.

Les difficultés qu'oppose la configuration du sol ne sont jamais plus fortes que lorsqu'il s'agit de traverser une chaîne de montagnes perpendiculairement à sa direction. On peut s'en approcher en suivant la pente des vallées; et, si cette inclinaison ne dépasse pas celle que l'on s'est donnée comme

(1) Le Semmering, en Europe; les Alléghanis, en Amérique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un maximum, la longueur du tracé est égale ou inférieure à celle du thalweg ou de la ligne de fond de cette vallée.

Mais, du moment que l'inclinaison du thalweg dépasse la limite de rampe fixée, le tracé ne peut s'allonger pour conserver son profil que par des courbes ou des retours sur lui-même.

Ces courbes ou retours, par lesquels le tracé s'élève au-dessus du thalweg sur les versants d'une vallée, ont pour effet de le porter dans des régions où la configuration est plus accidentée, où le terrain montre, par les rudes découpures de sa surface, les ravages qu'une longue suite de siècles lui a fait subir sous l'influence d'une nature âpre et destructive. Le tracé du chemin de fer, dans ces régions, devient alors tellement dispendieux, il exige des ouvrages d'art si nombreux et si importants, qu'il est nécessaire de chercher une autre solution.

De là la nécessité de suivre le thalweg d'aussi près que possible : car le fond des vallées, mêmes torrentielles, présente des formes adoucies par le dépôt des sables, des galets et des fragments de roches, enchassés dans un humus dont la plupart des cours d'eau sont riches.

Si l'inclinaison des thalwegs des vallées torrentielles ne dépassait pas celle qu'il convient de donner à un chemin de fer, il serait, presque partout, facile de placer celui-ci dans le fond des ravins à une hauteur suffisante pour le défendre des eaux d'inondation ; mais les vallées qui pénètrent dans la montagne se redressent avec une inclinaison qui s'accroît à mesure qu'elles s'approchent des cols, au point que cette inclinaison dépasse 15 à 20 centimètres par mètre.

A une distance de 10 à 30 kilomètres des cols, l'inclinai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

son du thalweg de ces vallées n'est pas supérieure à 35 millimètres; et, comme nous l'avons dit dans notre premier écrit, les chemins de fer peuvent, en général, approcher des passages jusqu'à une hauteur de 1,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, sans excéder cette inclinaison et sans affecter des sinuosités dont le rayon de courbure soit exceptionnel. Les machines locomotives de récente construction et le matériel actuel se prêtent, sans aucune difficulté, à ces conditions d'exploitation.

Mais, lorsque l'inclinaison s'accroît, la vallée se rétrécit, et il est inutile de dire que l'inclinaison des versants latéraux devient infiniment plus forte que celle du thalweg. Cette inclinaison dépasse souvent 45 degrés; de telle sorte que, pour revenir sur lui-même, le tracé du chemin de fer, s'il affecte des courbes de 50 mètres de rayon, doit entrer profondément sous le sol et rester en souterrain pendant la plus grande partie de la circonférence d'un cercle de 100 mètres, qu'il doit décrire pour arriver au jour. C'est l'inclinaison de ces versants qui s'oppose ainsi au développement de longueur par lequel le tracé pourrait diminuer l'inclinaison du profil.

L'obstacle de souterrains fréquents et dispendieux dans les courbes de retour du tracé n'est pas le seul : à mesure que le chemin se développe suivant une inclinaison inférieure à celle du thalweg, il s'élève sur le versant latéral et gagne les régions où le sol est le plus accidenté. C'est alors que la ligne d'intersection du tracé avec celle du versant présente de telles sinuosités, que, pour rester dans un rayon de 100 mètres, il faudrait faire d'énormes levées barrant le chemin aux avalanches, ou des viaducs de grande hauteur;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et puis il faudrait percer de souterrains les contreforts saillants qui se projettent abruptement en dehors de la ligne médiane. Force est, pour éviter de pareils obstacles, de recourir aux plus fortes inclinaisons qu'il soit donné aux machines de desservir utilement.

L'examen des lieux fait à cet égard, au premier abord, une impression si vive et si nette, qu'il semble que l'étude soit inutile. Cependant, avant de céder, vous luttez, vous cherchez tous les moyens de triompher de l'inclinaison du sol par le développement des lignes, mais les obstacles se dressent à chaque pas avec une variété et une grandeur sans cesse renaissantes.

Les seules ressources que la nature offre, dans ce cas, pour développer un tracé en gardant au profil une inclinaison moindre que celle du thalweg, sont les sinuosités des versants, soit qu'ils présentent simplement leurs découpures, soit qu'ils s'ouvrent à quelques vallées secondaires.

Un exemple bien significatif de cette disposition se montre aux abords du Simplon, dans la vallée du Ganther, qui s'ouvre sur celle de la Saltine. La route s'y est jetée et la remonte sur 3,500 mètres, puis elle retourne et trouve ainsi l'occasion de s'étendre sur 8,500 mètres avant de revenir au versant de la Saltine. C'est encore le val Bedretto, à droite du versant Sud du col du Saint-Gothard, qui offrira, sans doute, des ressources précieuses pour éviter les lacets du versant de gauche du Tessin.

Une autre ressource, mais bien rare, se rencontre dans quelques accidents du sol, où les vallées se trouvent subitement élargies de manière à permettre de tracer des lacets

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sans recourir aux souterrains, pour les courbes de retour du tracé.

La solution de la question se trouve ainsi réduite à des termes simples : l'inclinaison des profils des chemins traversant les cols des Alpes dépend du thalweg des vallées par lesquelles ils sont abordables, des sinuosités que les versants de ces vallées et d'autres vallées secondaires offriront pour développer le tracé, et des accidents du sol qui permettraient au tracé de revenir sur lui-même sans exiger des travaux trop dispendieux.

Le tracé du passage du Simplon sur le versant Nord présenterait l'application de ces dispositions.

La vallée de la Saltine descend presqu'en droite ligne de ce col, mais son inclinaison est de 125 millimètres. Elle reçoit sur sa droite les eaux du Ganther et s'ouvre largement sur la vallée du Rhône.

Le tracé descendrait du col par une inclinaison de 50 millimètres, en profitant, pour se développer, de toutes les sinuosités du versant de droite ; il se jetterait dans la vallée du Ganther, qu'il suivrait par son versant de gauche, et qu'il descendrait par celui de droite, pour gagner ensuite le versant de la vallée du Rhône, où il pourra se développer, au besoin, par des lacets à grands rayons. Vers son point de départ, comme vers celui d'arrivée, son profil pourrait ne pas dépasser 50 millimètres d'inclinaison ; mais, en certaines parties, on rencontrera, pour le développer, des difficultés telles qu'il deviendra nécessaire de porter l'inclinaison des rampes à 60 millimètres par mètre.

Le tracé que nous venons de décrire est celui de la route actuelle, la configuration du terrain ne laisse pas de choix.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les ingénieurs qui ont construit la route du Simplon ont évidemment cherché à obtenir la régularité de la pente en allongeant le tracé, mais les sinuosités de la surface des versants n'ont pas suffi et ils ont dû, en certains points, recourir à des rampes extrêmes. Le profil indique en effet combien sont courtes les parties où l'inclinaison dépasse 60 $^{m}/_{m}$.

L'adoption de rampes de 50 à 60 $^{m}/_{m}$ pour atteindre les cols des Alpes n'est, du reste, pas arbitraire. Cette inclinaison, considérée au point de vue de l'adhérence, exige un effort de traction qui est la dix-septième partie du poids qui l'engendre, et qui, si la moitié seulement des roues du train recevait la puissance mécanique de traction, serait encore du huitième. Or on pourrait aller jusqu'au sixième, sans sortir des conditions ordinaires; mais si l'adhérence offre des ressources qui permettraient de franchir des rampes plus fortes encore, on trouve moins de certitude dans les moyens pratiques d'obtenir la puissance mécanique.

C'est là le point que l'étude doit éclaircir avant tout : car le travail nécessaire pour franchir des rampes a une relation forcée avec le poids du générateur de vapeur et du mécanisme nécessaire pour créer l'effort de traction et pour le transmettre aux véhicules. Il ne faut adopter les rampes de 50 à 60 $^{m}/_{m}$ que si les agens mécaniques au moyen desquels elles seront franchies permettent de traîner des charges assez lourdes pour que l'exploitation donne des produits suffisants.

C'est l'étude de cette relation qui nous a déterminé à prendre pour base de nos calculs des inclinaisons de 50 à 60 $^{m}/_{m}$ (1).

(1) Voir § 5.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si, pour franchir le versant nord du col du Simplon, la puissance mécanique et l'adhérence suffisaient à gravir l'inclinaison du thalweg, qui est, en moyenne, de 125 m/m, et s'élève bien au delà en certaines parties, la longueur du chemin pourrait ne pas dépasser celle du thalweg, c'est-à-dire 10,500 mètres. L'adoption de rampes de 55 m/m d'inclinaison moyenne porte cette longueur à 23,500 mètres; c'est, on le voit, 13,000 mètres sacrifiés à l'intérêt de réduire l'inclinaison des rampes. L'expression en argent de ce sacrifice est, en comptant la dépense d'établissement à 400,000 fr. par kilomètre, 5,200,000 fr.

Voilà, dans toute sa simplicité, le motif qui doit dominer et qui fait une règle de partir du point de vue exclusivement mécanique, quant à la limite de l'inclinaison à adopter, et d'en chercher ensuite l'application aux diverses passes des Alpes.

Il y a donc un intérêt de premier ordre à augmenter l'inclinaison des rampes, parce que cela abrége la distance, facilite l'établissement du chemin, peut réduire la durée du trajet et l'influence des accidents météorologiques; mais cela augmente dans une progression rapide le poids relatif du moteur et du train, et réduit le poids utile, le poids rémunérateur; cela compromet les conditions de sécurité et de régularité de locomotion, qui dépendent d'un fait : l'adhérence.

Nous avons, dans notre premier écrit sur cette question, largement parlé de l'adhérence, que nous définissions : « le frottement avec altération des surfaces en contact; » nous avons indiqué ses variations, et nous croyons pouvoir dire avec raison qu'il n'y a rien d'arbitraire dans la limite d'inclinaison à adopter. Ajoutons cependant, qu'il n'y a rien d'ab-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

solu, et que si, comme au Simplon, certaines difficultés locales exigent de porter l'inclinaison jusqu'à 65 m/m, la puissance motrice devra suffire à l'accroissement d'effort de traction qui en résultera.

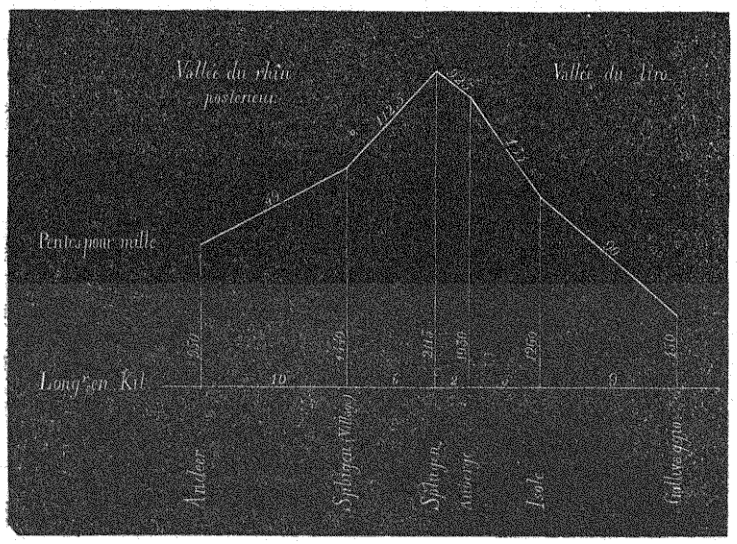
Afin de faire apprécier la relation des thalwegs des différents cols des Alpes avec les rampes de 50 à 60 m/m, nous extrayons du rapport de M. Koller leurs profils en long, mesurés sur ces thalwegs à partir du point où l'inclinaison du fond des vallées dépasse 35 millimètres, c'est-à-dire du point où les difficultés opposées par la configuration du sol exigent l'emploi d'un matériel spécial de locomotion.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PASSAGE DU SPHIGEN.

En remontant le Rhin à partir de Coire (Chur), la première vallée qui s'ouvre sur le midi est celle du Rhin postérieur. Son thalweg permet de la remonter jusqu'à Andeer (950^{m}) par des rampes qui ne dépassent pas 20 $^{m}/_{m}$. Le tracé du passage de la vallée du Rhin postérieur au village du Splugen franchit le col de ce nom et se dirige sur Chiavenna par Isole et Callivaggio (450) en suivant la vallée du Liro et celle de la Mera, qui descend au lac de Come.

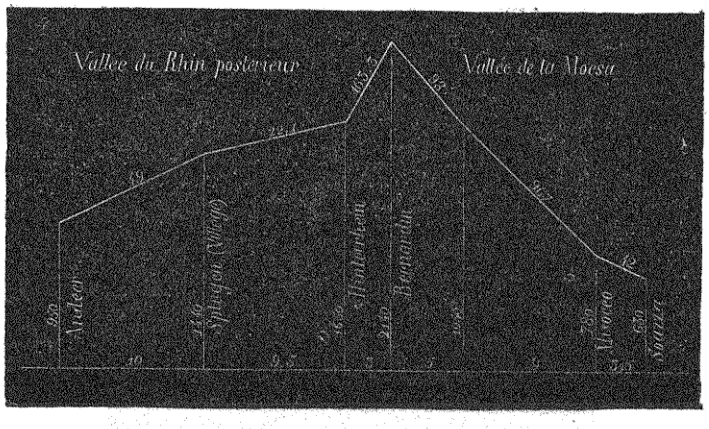
Entre Andeer et Callivaggio, le déloppement du thalweg du passage est de 32 kilomètres ; un tracé en rampes de 50 $^{m}/_{m}$ aurait 56,600 mètres.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PASSAGE DU BERNARDIN.

Le tracé remonte la vallée du Rhin postérieur au-delà du village du Splugen, par lequel passe le tracé précédent, et la quitte en franchissant, à Hinterrhein, le col du Bernardin pour redescendre, par Misocco, Soazza (630), Roveredo et Bellinzona, sur le lac Majeur, en suivant les vallées de la Moesa, du Misocco et du Tessin. Le thalweg de ce passage entre Andeer et Soazza, où il retrouve une inclinaison de 18 $^{m}/^{m}$, est de 40 kilomètres. Un tracé en rampes de 50 $^{m}/^{m}$ aurait 54,000 mètres.



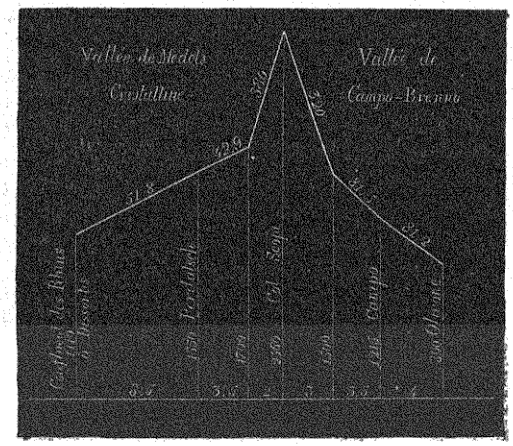
PASSAGE DU LUKMANIER (1)

Ce tracé suit la grande vallée du Rhin par Reichenau,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ilanz, Tavanasa, Surrein et Dissentis (1110). Jusque là, le thalweg n'a pas dépassé 28 m/m en moyenne. Il remonte le Rhin du milieu jusqu'à Perdatsch et gravit le col Scopi par la vallée de Medels Cristalline. Il descend sur le midi par le val Campo et par la vallée de Brenno, par Campo et Olivone (890m), où il retrouve un thalweg de 25 m/m. Il se dirige sur le lac Majeur par Torré, Malvaglia et Biasca, où il retrouve le Tessin qui descend au lac Majeur par Bellinzona.

Le thalveg de ce passage entre Dissentis et Olivone est de 24,500 mètres. Un tracé en rampes de 50 m/m aurait 58,400m.



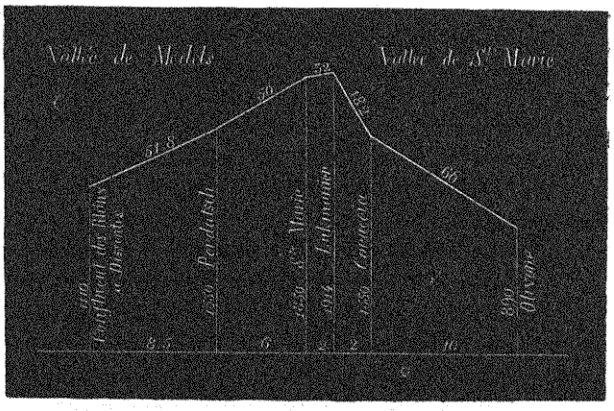
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PASSAGE PAR LE LUKMANIER (2)

Ce passage ne diffère du précédent qu'entre Perdatsch et Olivone. Il remonte vers la source du Rhin par la vallée de Medels, franchit à Sainte-Marie le col du Lukmanier, qu'il redescend par Cazaccia et le val Campo à Olivone.

Son thalweg entre Dissentis et Olivone est de 28,500^{m}.

Un tracé en rampes de 50 $^{m}/^{m}$ aurait 36,560^{m}.



PASSAGE DU SAINT-GOTHARD

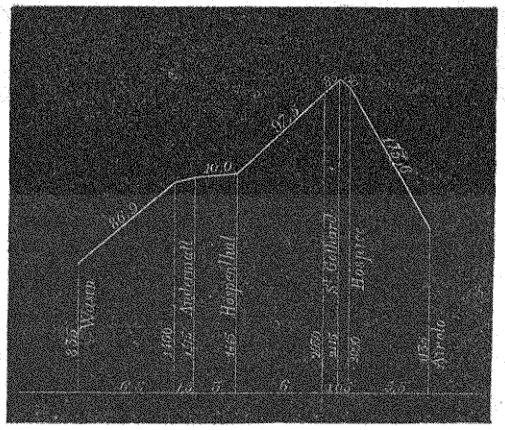
Ce tracé remonte la vallée de la Reuss par Fluelen et Altorf. D'Amsteg à Wasen, l'inclinaison moyenne du thalewg est de 36 $^{m}/^{m}$ 5. De Wasen il remonte par Andermatt et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Hospenthal jusqu'à la source de la Reuss, où il franchit le col et descend au midi, par la vallée du Tessin, sur le lac Majeur. A Airolo, le thalweg trouve des inclinaisons de 11 à 23 m/m jusqu'à Daziogrande. Entre ce point et Faido se retrouvent des inclinaisons de 44 m/m; mais, à partir de Faido jusqu'à Rodio, le thalweg ne dépasse pas 32 m/m.

L'emploi des inclinaisons de 50 m/m ne nous paraît indispensable sur le passage du Saint-Gothard qu'entre Wasen et Airolo; les autres parties du tracé entre Amsteg et Wasen, et entre Daziogrande et Faido, pouvant être ramenées à des rampes de 35 à 37 m/m.

Le développement des thalwegs par lesquels on franchit le col du Saint-Gothard est, entre Wasen et Airolo, de 24,000 mètres. Il serait, en rampes de 50 m/m, de 45,200 mètres.



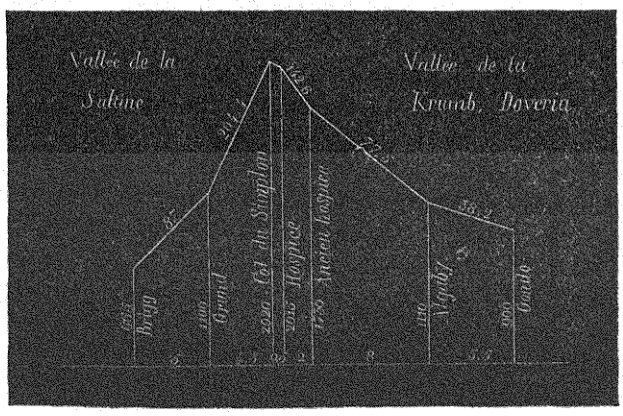
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PASSAGE DU SIMPLON

Son thalweg est celui de la vallée du Rhône jusqu'à Brigg (Brigue, Brieg) (665) ; jusque-là, les inclinaisons sont très-faibles. Le col du Simplon est à 10,500 mètres de ce point ; on y arrive par la vallée de la Sattine. Sur le versant du midi, le val dit Crumbach et la vallée de la Doveria conduisent par les villages du Simplon et d'Algaby à Gondo (900^{m}), où le thalweg affecte des inclinaisons inférieures à 35 $^{m}/_{m}$.

Il entre à Crévole dans la vallée de la Toccia, qui, laissant Domo d'Ossola, va se jeter dans la Torr, affluent du lac Majeur. Le tracé du chemin de fer va rejoindre Arona en suivant les bords du lac.

Le thalweg de ce passage, entre Brigg et Gondo, à 25,500 mètres. Il serait, par des inclinaisons de 50 $^{m}/_{m}$, de 49,500 mètres.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

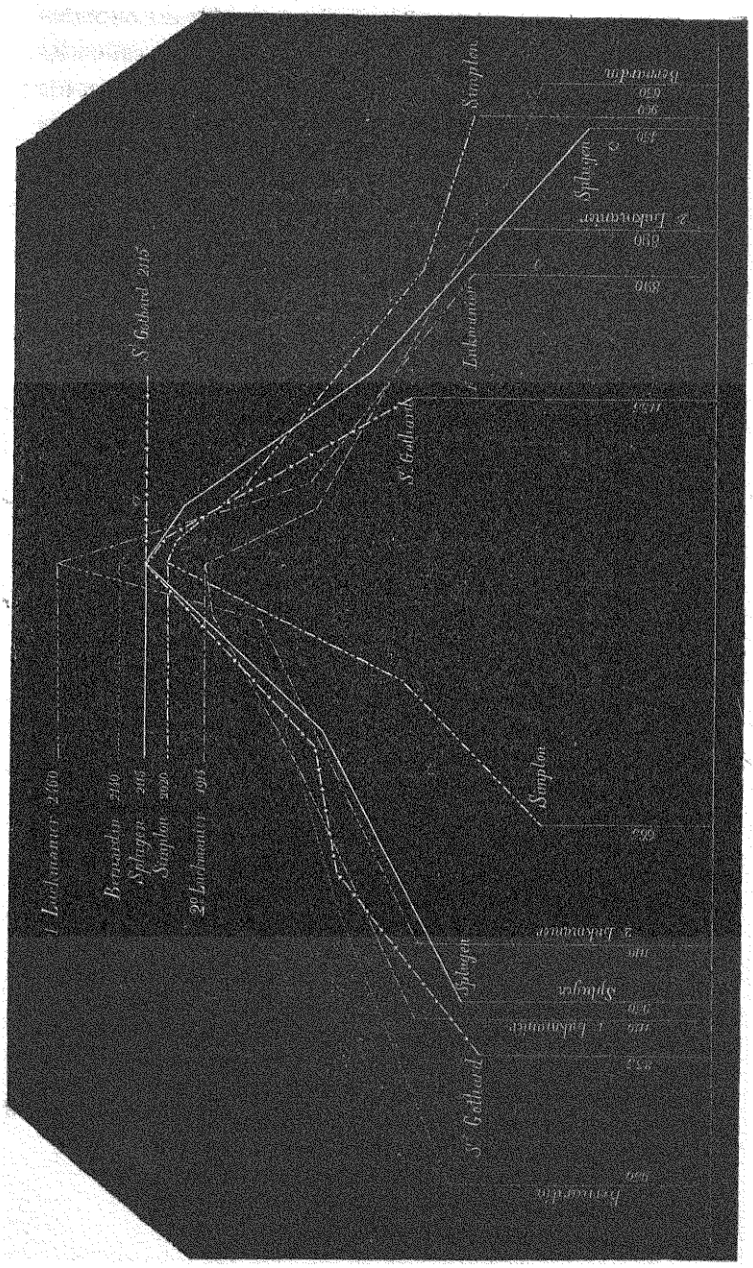
L'ensemble des thalwegs des six passages que nous venons d'indiquer est dans le dessin qui suit. Les cols sont rapportés sur le même axe. L'origine et l'extrémité sont fixées aux points où l'inclinaison ne dépasse pas 35 $^{m}/_{m}$.

En réalité, ces six passages n'en comprennent que quatre : Le Splugen, le Lukmanier, le Saint-Gothard et le Simplon.

Nous avons résumé, dans le tableau suivant, les données des six cols en ce qui concerne la hauteur à gravir sur chaque versant, la longueur du thalweg naturel et celle qui leur serait substituée par un tracé qui affecterait des inclinaisons de 50 $^{m}/_{m}$.

	Hauteur à franchir.		Hauteur totale à franchir sur les deux versants.	Longueur du thalweg naturel.	Longueur d'un tracé par rampes de 50 $^{m}/_{m}$.
	Versant du Nord.	Versant du Midi			
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Splugen. . . .	1165	1665	2830	32.000	56.600
Bernardin. . .	1190	1510	2700	40.000	54.000
1. Lukmanier.	1350	1570	2920	24.500	58.400
2. Lukmanier.	804	1024	1828	28.500	36.560
St-Gothard. . .	1280	980	2260	24.000	45.200
Simplon. . . .	1355	1120	2475	25.500	49.500

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'impression que laisse l'étude de ces profils est conforme à celle que l'on ressent en visitant ces passages. La nature les a disposés suivant des conditions tellement identiques, que le problème est le même pour tous; la solution bonne pour l'un le sera pour tous les autres. Le tracé le plus favorable sera, sans doute, celui dans lequel l'inclinaison du thalweg se rapprochera le plus de celle adoptée pour le profil du chemin de fer; où le tracé pourra éviter le plus de sinuosités et recourir au plus petit nombre de retours sur lui-même pour gagner en longueur la différence entre son inclinaison et celle du thalweg. En portant cette inclinaison à 50 m/m, et à 60 m/m au besoin, l'art se donne d'ailleurs à résoudre un problème exactement semblable à celui qu'a présenté jusqu'à ce jour le profil des lignes ordinaires.

A l'origine, les rampes de 5 m/m suffisaient pour lever les difficultés de la configuration du sol. Il semblait bien audacieux d'aller au-delà, et la rampe de 8 m/m sur le chemin d'Orléans, à Etampes, devait, disait-on, compromettre l'avenir de ce chemin.

Plus tard, on traçait des chemins en suivant des vallées dont le thalweg affectait une inclinaison de 3 à 6 m/m. Force fut donc d'autoriser des inclinaisons supérieures pour ne pas astreindre le tracé à suivre absolument le thalweg; on entra dans les inclinaisons de 10 m/m, puis 15 pour accéder à des plateaux élevés. Et puis sont venues des pentes générales plus fortes : 28 m/m au Semmering, 30 à 36 m/m sur le chemin de Genève à Turin, 40 à 50 m/m au passage des Alleghanys. Dans aucune circonstance on n'a pensé à doubler la distance entre deux points pour substituer à une longue rampe de 10 m/m une rampe de 5 m/m;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien moins encore à sextupler la distance pour substituer à une longue rampe de 30 m/m une rampe de 5 m/m. On a accepté les exigences que la configuration du sol avait faites, et c'est à la puissance mécanique qu'on a demandé la solution, c'est-à-dire les moyens de surmonter la difficulté résultant de l'augmentation de travail qu'exigent ces inclinaisons.

C'était la seule voie ouverte ; toute autre solution eût exigé d'énormes dépenses en travaux, et celle-là avait ce mérite particulier que la dépense qu'elle entraînait était loin de croître dans le rapport de l'augmentation de travail mécanique dû aux inclinaisons.

Il faut donc marcher dans cette direction : nous l'avons dit et nous avons insisté : elle est la seule rationnelle, la seule pratique : en la signalant, nous ne devançons personne, nous suivons les ingénieurs qui ont, la plupart, placé le problème à son véritable point de vue.

Avant d'adopter des inclinaisons de 50 à 60 m/m, il fallait aussi avoir la certitude qu'il serait possible, en les descendant, de modérer la vitesse du train et de l'arrêter aussi facilement que sur les lignes de niveau.

Par une circonstance singulière, malgré le grand nombre de plans inclinés dont les rampes excèdent 50 à 60 m/m, il n'y avait pas d'expériences déterminant l'inclinaison à laquelle un train glisse sur des rails lorsque la rotation des roues est empêchée par la pression des freins ou par l'action de la contre-vapeur. Ce sont ces expériences, dont nous donnons le compte-rendu dans l'appendice, qui ont été confiées par M. S. Mony à M. Forest, ingénieur du chemin de fer de Commentry au Cher, et qui nous inspirent sur cette question une sécurité absolue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les trains descendant les rampes de 50 à 60 m/m auront une docilité égale à celle des trains qui circulent sur les chemins de niveau.

La formule qui donne la résistance d'un train, et sur laquelle les ingénieurs qui se sont occupés sérieusement de traction sont à peu près d'accord, se compose de quatre termes. Ces termes correspondent :

1° Au frottement;

2° Aux chocs occasionés par la voie;

3° A la résistance de l'air;

4° A la pesanteur.

Le premier et le dernier sont indépendants de la vitesse; le deuxième varie proportionnellement à la vitesse; le troisième, proportionnellement au carré de cette vitesse.

Il est évident, par conséquent, que l'on peut calculer exactement quelle est l'inclinaison qui donne une résistance égale, pour une vitesse de 15 à 16 kilomètres, à celle qui résulte d'une vitesse de 45 kilomètres sur des rampes de 5 millimètres.

Ce n'est pas tout : plusieurs personnes se demandent comment l'on pourra arrêter un train descendant une rampe de 6 centimètres; elles s'effrayent en imaginant ce train lancé dans une rampe, acquérant une vitesse de plus en plus grande, arrivant dans les stations sans être attendu; elles prévoient alors des accidents qui seraient certainement très-graves, s'ils étaient à craindre.

De même que la formule qui donne la résistance permet de transformer en millimètres d'inclinaison les kilomètres qui dépassent la vitesse de 15 kilomètres à l'heure, de même, la formule permet d'évaluer la puissance des trains à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

descente; et, si nous prenons deux vitesses de 15 kilomètres à l'heure sur 60 millimètres d'inclinaison, et de 45 kilomètres sur niveau, nous pourrons faire en sorte que, dans les deux cas, la puissance vive, possédée par les deux trains, soit absolument la même; par suite, comme dans les deux cas l'accroissement de la puissance vive se réduit à zéro par le travail du frottement développé par les freins, dans les deux cas les trains s'arrêteront de la même manière et avec la même facilité. L'inclinaison, en elle-même, n'augmentera pas la vitesse acquise parce que, dès que les freins sont serrés, le frottement de roulement se change en frottement de glissement. Ce dernier frottement est beaucoup plus intense; pour que la pesanteur pût accélérer le mouvement, il faudrait que, les freins étant serrés, son intensité fût supérieure à la résistance au mouvement; mais il est certain que des wagons ne descendent pas d'eux-mêmes, quand leurs roues ne tournent pas, une rampe de 6 centimètres. Cela veut dire que l'intensité du frottement dépasse l'action de la pesanteur; cela veut dire aussi que, sur une rampe de 6 centimètres, lorsque les freins seront serrés, la pesanteur n'agira pas comme force accélératrice, et que, par conséquent, le travail qu'il faudra que le frottement développe pour annuler la puissance vive sera exactement le même que si le train était sur niveau, et que, sa vitesse étant plus grande, la puissance vive, c'est-à-dire la moitié de la masse multipliée par le carré de la vitesse, fût la même.

En résumé :

La conséquence de l'adoption de rampes de 50 à 60 m/m pour gravir et traverser les cols des Alpes sera de restreindre la dépense d'établissement de ces lignes dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

limites qui permettent d'attendre d'un trafic ordinaire une suffisante rémunération des capitaux. Ce sera aussi de permettre une exploitation assez économique pour que la traversée des Alpes ne soit pas, au point de vue du prix du transport, une cause d'infériorité financière pour les lignes qu'elle reliera.

Viennent, ensuite, les conséquences de détail.

La puissance mécanique nécessaire pour réaliser l'effort de traction sur de pareilles rampes ne s'obtiendra qu'à l'aide d'un générateur offrant une surface de chauffe considérable. Delà l'étude des dispositions propres à concilier cette augmentation de puissance avec toutes les autres conditions de poids, de stabilité, de mobilité que réalise la machine locomotive.

L'effort de traction à transmettre au train dépassera l'adhérence des roues du générateur ; il faut donc rendre celles du train en tout ou en partie locomotrices.

La machine locomotive, tout en conservant la plupart des dispositions des machines actuelles, aura de plus qu'elles un excédant de production de vapeur à envoyer aux roues locomotrices du train qu'elle remorquera.

Le poids des véhicules s'accroîtra de l'appareil locomoteur, et ce n'est qu'à la faveur de grandes dimensions en contenances, mais aussi par l'accroissement du poids de chaque véhicule, qu'un rapport utile pourra être conservé entre le chargement rémunérateur et le poids total du train.

La dépense d'entretien de la machine et, surtout, des véhicules s'accroîtra incontestablement, mais dans un rapport plus favorable que celui qui existe aujourd'hui entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces dépenses et le travail auquel ces appareils sont soumis.

La consommation du combustible sera augmentée par l'ascension des rampes dans le rapport des quantités de vapeur à produire : encore faudra-t-il tenir compte de l'économie résultant d'une meilleure utilisation de la vapeur et des avantages que donnera pour la produire un appareil établi sur de plus larges dimensions.

La consommation du combustible sera nulle ou presque nulle à la descente des rampes.

L'inclinaison des rampes à 50 ou 60 m/m permettra de les descendre en modérant la vitesse à volonté. L'arrêt des trains y sera aussi facilement exécuté que sur niveau, mais pour cela il faut que les appareils modérateurs et d'arrêt aient un excès de puissance et de solidité qui ne laisse aucune chance de dérangement ; l'expérience est faite à cet égard et nul doute ne peut s'élever, d'après les détails que nous avons donnés, dans notre première publication, sur l'exploitation de chemins à rampes de semblable inclinaison aux États-Unis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ III

Quelle sera l'influence du rayon des courbes sur la dépense d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes ?

Nous avons montré, dans le chapitre précédent, comment les sinuosités du tracé permettent de gagner de la longueur et de substituer à la trop forte inclinaison du thalweg une inclinaison plus faible.

Il n'est pas besoin d'ajouter que, plus le rayon de courbure de ces sinuosités sera faible, plus il sera facile de faire suivre au tracé le sol des versants sur lesquels il s'appuiera. Les versants des vallées sont des plans inclinés présentant, de toutes parts, des saillants, des rentrants, des projections de roches plus ou moins abruptes, des débris entassés avec desordre : partout, enfin, une nature accidentée, dont la surface est taillée par les découpures les plus capricieuses.

C'est sur cette surface qu'il faut tracer une ligne droite ayant, en projection hozizontale, la plus grande régularité possible, avec une inclinaison constante de 50 à 60 m/m. Si cette ligne était droite en projection verticale comme elle doit l'être en projection horizontale, elle toucherait la surface des versants par quelques points seulement, et offrirait une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

succession continue de grandes levées, de viaducs, de tranchées et de souterrains. Ce serait, d'un bout à l'autre, un immense travail d'art.

L'unique moyen de rester dans les limites du possible, c'est d'imiter ce qui a été fait pour le tracé de la route, et de chercher, de suite, le rayon minimum de courbure conciliable avec les conditions d'exploitation d'un chemin de fer ordinaire, en excluant, cependant, la circulation à grande vitesse.

Le matériel roulant américain, imité par la Compagnie du Central Suisse ; le matériel articulé (système Arnoux) ; le matériel ordinaire mais à roues libres, introduit récemment par la Compagnie d'Orléans sur le chemin de Sceaux, peuvent circuler, à faible vitesse, dans les courbes de 25 mètres de rayon sans frottements considérables et sans perdre sensiblement leur stabilité.

Les conditions dans lesquelles ces trois matériels circulent dans des courbes de si faible rayon sont cependant trop différentes pour que nous ne les signalions pas.

Pour qu'un train circule dans une courbe sans accroissement sensible de frottement, il y a trois conditions à remplir :

1° Les conditions statiques du train doivent être telles que l'action de la force centrifuge ne produise pas des différences de pression trop considérables sur les deux rails ;

2° Les essieux doivent se tenir parallèles au rayon des courbes, afin que les roues tournent dans un plan constamment tangentiel à la courbe décrite;

3° Les circonférences de roulement des deux roues d'un même essieu doivent faire chacune un parcours égal à la longueur des deux cercles de rayons différents qu'affectent les deux rails de la voie ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La première condition du facile passage dans les courbes, qui consiste à répartir, autant que possible, des pressions égales sur les deux rails, s'obtient par l'inclinaison transversale de la voie, en donnant aux rails extérieurs une surélévation convenable.

La seconde condition, celle de maintenir les essieux dans la direction du rayon des courbes, s'obtient de deux manières : 1° en rendant les essieux indépendants des chassis et en les amenant sur les rayons des courbes par des bielles qui assurent leur équidistance et les rendent perpendiculaires aux tangentes de ces courbes. Cela est obtenu par le moyen de timons et de flèches d'égale longueur tous deux, transformant les courbes en polygones à côtés égaux et tangentiels, qui décrivent entr'eux des angles que chaque essieu divise en parties égales au moyen de bielles articulées. La ligne médiane sur laquelle l'essieu est maintenu est le rayon vrai, si les courbes auxquelles les timons sont tangents sont d'un rayon égal ; elle est le rayon moyen, au passage des courbes dont les rayons sont différents (1). L'inventeur de cette dispo-

(1) De tous les moyens de franchir des courbes de faible rayon par la convergence des essieux il n'en est pas de plus ingénieux, de plus simple, de plus recommandé par les règles géométriques que celui-là.

Il devait être inventé par un homme ayant acquis une longue expérience dans la construction d'un matériel qui n'a pas, avant lui, assez attiré l'attention des ingénieurs, celui des voitures de messageries, faisant avec des charges considérables le service sur des routes ordinaires ; ces routes étaient alors beaucoup moins bien entretenues qu'aujourd'hui.

Parmi les difficultés que présente l'établissement de ce matériel, il en est une de premier ordre, qui réside dans l'ensemble des combinaisons par lesquelles une voiture à quatre roues, avec avant-train mobile, reçoit et conserve sa direction, c'est-à-dire est exempte des déviations de tous genres que subirait un essieu simplement attaché par le centre à un véhicule. C'est cette difficulté que M. Arnoux a résolue en se donnant pour but de maintenir un train dans les rails, quelles que soient les courbes, par la situation normale des essieux et non par l'influence du rebord des roues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sition l'a appliquée à des essieux ne tournant pas. Elle diminue le frottement au passage des courbes et la tendance au déraillement.

Le second moyen consiste à placer les véhicules sur des chassis, auxquels ils sont reliés au moyen de chevilles ouvrières qui leur permettent de pivoter; ces chassis sont, chacun, montés seulement sur deux essieux parallèles très-rapprochés, ne formant chacun qu'un angle très-faible avec le rayon de la courbe, de manière que le quadrilatère formé par les points de contact des roues sur les rails soit facilement inscrit entre les courbes formées par les rails extérieurs et les rails intérieurs, et que les roues ne forment qu'un angle très-faible avec les éléments de la voie.

Cela exige, pour chaque voiture, deux trucks et quatre essieux; c'est le système américain.

Les frottements qu'il engendre au passage des courbes sont peu importants (2).

La condition qui consiste à faire décrire aux roues des distances égales aux deux cercles de rayons différents qu'affec-

(2) M. Ch. Normand, fils du célèbre constructeur de navires et lui-même ingénieur distingué, m'a raconté qu'étant à New-York, et voulant prendre le train d'une des lignes de l'intérieur, il avait trouvé ce train stationnant dans une des rues principales, devant un guichet où il avait pris son billet, comme à l'entrée d'une salle de spectacle. Le train se composait de trois longues voitures; il était attelé de quatre forts chevaux conduits à grandes guides. On partit à l'heure fixée, et le train circula à la vitesse d'un trot rapide, tournant dans des rues tracées à angle droit, au moyen de courbes, dont le rayon n'est pas de ving-cinq mètres, et dans lesquelles la voie est inclinée transversalement à la faveur du bombement de la chaussée.

On arriva ainsi à un emplacement où stationnait une machine locomotive en vapeur, attendant le train, auquel elle fut immédiatement attelée.

Ce train devait faire plusieurs centaines de milles dans l'intérieur du pays.

Quelle preuve plus pratique de la fécondité et de la variété des solutions techniques par lesquelles la libre industrie sait assimiler ses œuvres aux besoins, aux mœurs et aux ressources d'un pays!

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tent les deux rails de la voie s'obtient en rendant les roues libres sur les essieux sur lesquelles elles sont montées deux à deux, ou en attribuant un essieu à chacune des roues. Dans le premier cas, c'est la boîte servant de coussinet qui tourne autour de la fusée ; comme son diamètre est constamment plus grand que celui de la fusée, la roue prend alors une certaine mobilité par rapport à l'essieu, et le mouvement donne lieu, dans certains cas, à une série de vibrations et même de petits chocs, qui mettent le système dans une mauvaise condition.

Dans le second cas, c'est la fusée qui tourne dans le coussinet de la boîte, qui y pratique une empreinte, dans laquelle elle se loge aussi parfaitement que possible, de manière que le contact a lieu sur une surface beaucoup plus grande que dans le premier cas ; le jeu qui existe est très-faible et, par conséquent, il n'y a pas de vibrations ni de chocs possibles autres que ceux résultant de la dénivellation des rails ; le système se trouve ainsi dans les conditions ordinaires.

Cette condition se trouve encore remplie en donnant aux bandages une conicité assez prononcée pour que, au moyen du jeu qui existe entre les rebords des roues et les rails, les bandages des deux roues d'un même essieu en se déplaçant latéralement sur la voie roulent sur des cercles de contact dont les diamètres soient proportionnels aux rayons des courbes formées par les rails intérieurs et les rails extérieurs. Mais ce moyen n'est applicable que dans le cas où les courbures de la voie ne sont pas trop fortes.

De ces diverses dispositions, nous avons emprunté les suivantes :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le véhicule américain avec chassis à pivot et à essieux très-rapprochés, en attribuant un essieu à chacune des roues pour les rendre indépendantes ; l'inclinaison transversale de la voie.

Nous n'entrerons pas dans le détail de tous les motifs qui nous ont guidé dans nos préférences; il en est cependant que nous pouvons exposer brièvement.

Le système américain est celui qui, à cause de ses huit roues par véhicule et de la distance qu'il permet de mettre entre les deux points d'appui à pivot, favorise le plus la construction d'un générateur de grande puissance.

Par la même raison, il permet de construire les véhicules de façon à recevoir un poids utile considérable, tout en chargeant les chassis du poids supplémentaire d'un mécanisme locomoteur.

Nous ne voulons pas dire que les autres systèmes ne pourraient présenter ces avantages; mais les combinaisons en seraient nouvelles, tandis que l'usage du matériel américain est sanctionné par une longue expérience. Il fonctionne aujourd'hui généralement dans la contrée qui a donné aux chemins de fer le plus d'extension, et leur a demandé les services les plus variés, tout en négligeant, dans la construction et l'établissement des voies, une partie des conditions qui sont considérées en Europe comme une garantie essentielle de sécurité.

Le matériel américain a, en effet, une grande supériorité au point de vue de la stabilité sur la voie. L'égale répartition des pressions verticales entre les quatre points de contact des roues sur les rails n'est maintenue dans le système à chassis rigide que par le jeu des ressorts, tandis que, dans le maté-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riel américain, le truck lui-même, indépendant, pour ainsi dire, du véhicule, suit les inflexions de la voie sans cesser d'être également chargé, à cause de la grande distance qui existe entre les deux supports.

Et quant aux déviations de l'axe de traction qui, avec le matériel à chassis rigide, agitent le train d'une manière si incommode pour les voyageurs et s'accroissent quelquefois jusqu'à donner de l'instabilité aux véhicules, il ne paraît pas que ce phénomène se produise avec le matériel américain ; du moins, les voyageurs qui ont eu l'occasion de parcourir certaines distances à des vitesses de 40 à 50 kilomètres ne se rappellent pas en avoir souffert ; cela s'expliquerait par ce fait que l'axe des forces de traction ne passe pas par les trucks. Dans les voitures du Central suisse, nous n'avons pas ressenti de mouvement de lacet, bien que la vitesse excédât, par moment, 30 kilomètres, et nous avons constaté que les trucks étaient stables.

Il est du reste utile d'ajouter que l'heureuse disposition imaginée récemment par M. Arnoux pour maintenir les essieux dans la direction du rayon des courbes, au moyen des flèches, timons et bielles de convergence, peut s'appliquer aux chassis américains sans exiger la fixité des essieux, puisque les bielles pourraient guider ce chassis lui-même. Si l'expérience confirme nos prévisions à cet égard, non seulement le matériel américain ne laisserait rien à désirer quant aux conditions à remplir pour franchir les courbes, mais on peut encore admettre que, pour les voitures à voyageurs, les chassis mobiles ou trucks seraient à deux roues indépendantes, au lieu de quatre, tout en portant l'appareil locomoteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, l'influence des courbes de faible rayon dans le tracé des chemins de fer destinés à franchir les cols des Alpes sera, en ce qui concerne les dépenses d'établissement, d'éviter des travaux de terrassement et des ouvrages d'art qui en rendraient l'exécution tellement dispendieuse qu'aucun trafic ne pourrait, avant bien des années, peut-être, en couvrir l'intérêt.

En ce qui concerne l'exploitation, l'influence des courbes de faible rayon peut être considérée comme nulle, abstraction faite de la nécessité qu'elles imposent de modérer la vitesse moyenne de marche à 20 kilomètres par heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ IV

Quel est l'effort de traction à demander aux machines dans la traversée des Alpes ?

Il n'y a pas d'incertitude sur la résistance à la traction due à l'inclinaison des rampes. Elle sera, là comme ailleurs, d'un kilogramme par tonne et par millimètre d'inclinaison.

L'incertitude n'existe qu'à l'égard de la résistance à la traction sur niveau. Les trains descendent, sans aucun secours de puissance mécanique, les rampes de 5 m/m, et ils y prennent en temps calme, ou s'ils sont lourdement chargés, une vitesse uniforme de 16 kilomètres à l'heure; cela indique que la résistance à la traction est égale à 5 kilogrammes par tonne.

Il est vrai que, dans les circonstances les plus générales, il en est ainsi; mais les circonstances climatériques des cols des Alpes, l'intensité du vent et des tourmentes, exigent que l'on évalue les résistances à un chiffre plus élevé.

Les relevés météorologiques établissent, pour l'intensité relative des courants d'air sur les cols des Alpes et à Genève, le rapport 22 à 37.

Les jours de tourmente y sont annuellement de 22 en moyenne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons, en conséquence, compté à 8 kilogrammes par tonne la résistance à la traction sur niveau, en prenant pour expression de ces résistances :

1° La part due à la traction même. . . .	4 kil.	21
2° Un supplément de frottement dû au mécanisme, aux courbes, aux résistances de l'air ou du vent, à la rigidité des attelages, etc., etc.	3	79
	8	»

Cette évaluation a été trouvée exagérée.

L'exagération serait bien faible et serait, en pareil cas, conseillée par la prudence.

S'il est vrai qu'une rampe de 5 m/m établit l'équilibre entre la gravité et les résistances d'un train, il est également vrai qu'il suffit d'un vent contraire de 5 à 6 mètres de vitesse par seconde pour arrêter complétement la marche de ce train. Un tel vent n'est nullement considéré comme violent; ses effets ne sont si sensibles sur la marche d'un train que parce que la vitesse du vent et celle du train étant en sens contraire, les résistances qui en résultent s'élèvent au carré des deux vitesses, et parce que la section qu'un train oppose au vent est, suivant son angle de direction et aussi suivant les courbes du chemin, très-supérieure à sa section droite.

L'exploitation de rampes aussi fortes et aussi longues que celles de 50 à 60 m/m sur 20 ou 25 kilomètres ne permet pas l'emploi de machines délicates dans lesquelles la pression de vapeur subirait, par le chargement du foyer et le jeu des pompes d'alimentation, de fréquentes variations. En outre, dans ces régions, où la régularité de la marche est de rigueur, l'excédant de force doit couvrir les accidents

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui suffisent pour retarder l'allure d'un train, tels que l'échauffement d'une boîte à graisse, le grippement d'un tiroir, les pertes de vapeur par quelques joints, etc.

Il faut enfin compter que toutes les mesures nécessaires pour préserver des atteintes du froid les parties lubrifiées des pièces en frottement seront soigneusement prises; mais doit-on s'abandonner sans réserve à une tranquillité absolue à cet égard? Il suffit de jeter les yeux sur les documents qui indiquent la température *minima* en hiver pour s'éclairer à cet égard et pour être persuadé que le froid extrême pourra, malgré toutes les précautions d'un service bien organisé, causer quelquefois des résistances qui, pour ne point interrompre la circulation, ne laisseront pas de consommer de la puissance motrice et du combustible.

Nous croyons donc que dans l'évaluation approximative des résistances à la marche du train, il convient de prendre le chiffre de 8 kilogrammes par tonne, pour représenter, à la vitesse de 16 kilogrammes par heure, toutes les résistances autres que celle due à l'inclinaison.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ V

Comment obtenir d'une machine locomotive la puissance mécanique nécessaire pour remorquer, sur une rampe de 50 à 60 m/m., des trains de 120 à 150 tonnes, composés de véhicules susceptibles de circuler dans des courbes de 25 mètres de rayon?

Nous voulons rechercher quelles sont, pour résoudre cette question, les dispositions de machines auxquelles on est conduit par l'application rigoureuse de règles bien déterminées, et de faits dont la généralité est incontestable; et comment l'observation de ces règles et de ces faits, qui constituent l'art de construire les machines locomotives, fournit les moyens d'accroître leur puissance de traction.

Afin de donner à cette étude l'étendue et la simplicité qu'elle comporte, nous avons réuni les données de construction de vingt modèles de machines locomotives qui, au nombre de plus d'un mille, sont en service sur les chemins de fer français. Ces machines se divisent en trois catégories :

1° Celles qui servent exclusivement au transport des voyageurs;

2° Celles qui font les transports mixtes des marchandises et des voyageurs;

3° Celles qui sont exclusivement employées au transport des marchandises.

Le tableau suivant indique les dimensions qui, absolument, ou par leur rapport entr'elles, constituent les éléments de la puissance des machines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NATURE des MACHINES	INDICATION du chemin sur lequel la machine circule	NOM du constructeur	DATE DE LA CONSTRUCTION	NUMÉRO DE LA MACHINE	SURFACE DE CHAUFFE	VOLUME DE QUATRE CYLINDRÉES	CIRCONFÉRENCE DES ROUES	VOLUME de CYLINDRÉES par kilomètre	VOLUME de CYLINDRÉES par mèt. q. de surface de chauffe et par kilomètre
					m. 2.	m. 3.	m.	m. 3.	m. 3
Voyageurs	Ouest-Versailles	Scharp	1840	1	55.880	0.1573	5.215	30.177	0.540
Id.	Ouest-Havre	Buddicom	1845	2	64.668	0.2118	5.262	40.262	0.622
Id.	Est	Cail	1847	3	74.594	0.2540	5.278	48.132	0.658
Id.	Lyon	Cail	1847	4	82.150	0.2721	5.655	48.132	0.598
Id.	Lyon	Cail	1856	5	90.290	0.3015	5.686	53.041	0.587
Id.	Orléans	Polonceau	1854	6	78.928	0.3015	6.368	47.360	0.600
Id.	Midi	Gouin	1856	7	95.830	0.3103	6.592	47.042	0.490
Crampton	Nord	Cail	1847	8	100.550	0.2764	6.597	41.907	0.416
Mixtes	Midi	Gouin	1855	9	95.869	0.3103	5.466	56.774	0.592
Id.	Ouest	Cavé	1848	10	85.800	0.2500	5.026	49.948	0.582
Id.	Lyon	Gouin	1849	11	85.460	0.2813	5.026	56.185	0.657
Marchandises	Orléans	Stephenson	1845	12	68.798	0.2769	4.555	60.795	0.883
Id.	Lyon	Cail	1850	13	99.943	0.3325	4.712	70.565	0.706
Id.	Ouest	Gouin	1857	13 b	129.404	0.4254	4.712	90.200	0.697
Id.	Orléans	Polonceau	1855	14	122.200	0.3602	4.326	83.267	0.681
Id.	Bourbonnais	Oullins	1858	15	132.914	0.4135	3.958	104.473	0.786
Service des gares	Orléans	Polonceau	1855	16	67,049	0.2316	3.384	67.825	1.011
Engerth	Midi	Hesler	1855	17	151.880	0.4622	4.084	113.429	0.747
Id.	Nord	Creusot	1856	18	196.396	0.5183	3.955	131.165	0.668
Engerth-Mixte	Nord	Nord	1856	19	125.500	0.3103	5.463	59.508	0.474
Machine pour fortes rampes	Nord	Gouin	1858	20	123.680	0.3474	3.345	103.845	0.803
Machine projetée	Alpes				370.000	1.5842	3.140	504.000	1.362

MOYENNES

	m. 2	m. 3	m.	m. 3	m. 3
Du n° 1 à 7, voyageurs.	77.478	0.2584	5.723	50.592	0.585
Du n° 9 à 11, mixtes.	89.043	0.2805	5.172	54.302	0.610
Du n° 12 à 15, marchandises.	110.652	0.3617	4.453	81.860	0.751
N° 18, Engerth.	196.396	0.5183	3.952	131.165	0.668
Machine projetée pour les Alpes.	370.000	1.5842	3.140	504.000	1.362

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SURFACE de GRILLE		CAPACITÉ de la CHAMBRE de combustion		DURÉE OU ÉTENDUE DU CONTACT DES GAZ	VOLUME d'eau dans la CHAUDIÈRE		VOLUME de vapeur dans la CHAUDIÈRE		SECTION des TUBES	
TOTALE	par mètre carré de surface de chauffe	TOTALE	par mètre carré de surface de chauffe	en dehors de la chambre de combustion	avec 0m,10 d'eau au-dessus du foyer	par Mètre carré de surface de chauffe	avec 0m,10 d'eau au-dessus du foyer	par mètre carré de surface de chauffe	par mètre cube de capacité de la chambre de combustion	par mètre carré de surface de grille
m. 2.	m. 2.	m. 3.	m. 3.	m.	m. 3.	m. 3.	m. 3.	m. 3.	m. 2	m. 2
1.046	0.0187	1.2217	0.02186	2.550	1.615	0.029	1.195	0.021	0.1584	0.185
1.084	0.0167	1.2867	0.01989	2.867	1.671	0.026	1.150	0.018	0.1789	0.212
0.845	0.0113	1.1393	0.01527	3.772	1.942	0.026	0.890	0.012	0.1744	0.235
0.945	0.0115	1.2757	0.01552	3.488	2.300	0.029	0.928	0.011	0.1890	0.255
1.205	0.0133	1.7318	0.01917	3.550	2.710	0.030	1.315	0.015	0.1465	0.210
1.100	0.0139	1.4190	0.01797	3.367	2.012	0.025	1.043	0.013	0.1454	0.187
1.349	0.0140	2.0477	0.02136	3.462	2.780	0.029	1.164	0.012	0.1398	0.202
1.425	0.0141	1.8314	0.01871	3.615	3.600	0.035	0.850	0.008	0.1564	0.206
1.349	0.0140	2.0404	0.02128	3.462	2.780	0.029	1.164	0.011	0 1402	0.212
0.920	0.0107	1.1776	0.02069	3.920	2.536	0.029	1.326	0.015	0.1957	0.251
1.253	0.0146	1.8457	0.02206	3.226	2.000	0.025	1.540	0.018	0.1366	0.205
0.883	0.0128	1.1455	0.01665	3.945	1.905	0.027	1.760	0.026	0.1304	0.169
1.093	0.0109	1.6953	0.01696	4.017	2.750	0.027	1.620	0.046	0.1314	0.203
1.438	0.0111	2.3296	0.01800	4.250	3.933	0.030	1.552	0.012	0.1345	0.217
1.210	0.0099	1.8392	0.01505	4.178	3.650	0.029	1.530	0.012	0.1765	0.268
1.363	0.0102	2.0507	0.01542	4.250	3.841	0.021	1.518	0.011	0.1616	0.243
0.846	0.0126	1.0321	0.01539	3.365	2.290	0.034	0.815	0.012	0.2110	0.257
1.797	0.0118	2.8244	0.01859	4.750	4.270	0.028	1.683	0.011	0.1370	0.215
1.944	0.0098	3.3100	0.01685	5.000	4.855	0.024	2.055	0.010	0.1485	0.252
1.340	0.0106	1.9322	0.01539	4.500	3.080	0.024	1.490	0.012	0.1548	0.223
1.760	0.0142	1.9852	0.01615	3.500	2.535	0.020	1.645	0.013	0.1565	0.176
2.970	0.0084	9.560	0.02567	5.000	7.354	0.021	3.180	0.008	0.0825	0.265

MOYENNES

m. 2.	m. 2	m. 3	m. 3	m.	m. 3	m. 3	m. 3	m 3	m. 3	m. 2
1.082	0,0142	1.446	0.0187	3.294	2.147	0.0278	1.098	0.014	0.1618	0.2140
1.174	0,0131	1.701	0.0213	3.536	2.439	0.0237	1.343	0.015	0.1575	0.2229
1.197	0,0110	1.812	0.0164	4.128	3.216	0.0270	1.596	0.014	0.1469	0.2003
1.944	0,0098	3.310	0.0168	5.000	4.855	0.0240	2.055	0.010	0.1485	0.2528
2.970	0,0084	9.560	0.0251	5,000	7.844	0.0212	3.180	0.008	0.0825	0.2658

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les conséquences des chiffres que ce tableau présente sont, les unes absolues, les autres simplement indicatives de faits d'expérience dont la règle est encore incertaine.

Parmi les résultats absolus et incontestables nous placerons les faits suivants :

1° L'art cherche à obtenir la plus grande puissance mécanique de la moindre quantité de combustible, d'eau et de métal;

2° Il y a accroissement continu dans les dimensions des machines;

3° La surface de chauffe s'accroît également;

4° L'espace offert dans les cylindres, à la vapeur, pour l'utilisation de sa puissance de dilatation s'accroît aussi;

5° Il en est de même, mais dans des rapports variables, de la surface de la grille, de la capacité de la chambre de combustion, de l'étendue du contact des gaz produits par la combustion avec les surfaces métalliques du générateur, du volume d'eau dans la chaudière et du volume du réservoir de vapeur.

A côté de ces faits, dont l'exactitude est absolue, si on cherche ceux qui établissent les rapports entre les divers éléments de la puissance mécanique, on en trouve d'incontestables et d'incertains.

1° Le rapport du volume de cylindrées à la surface de chauffe constate une plus grande utilisation relative de la puissance de dilatation de la vapeur dans les machines destinées à remorquer des trains lourds à de faibles vitesses, que dans les machines destinées aux trains légers et rapides. On doit s'applaudir de ce résultat, qui est conforme aux plus saines théories d'emploi de la vapeur (1).

(1) La quantité de travail produite par la vapeur est dans un rapport bien connu avec l'espace qui lui est donné pour se détendre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° La surface de grille ne s'accroît pas en raison directe de la surface de chauffe, et cela s'explique par cette raison que la vitesse d'introduction, dans le foyer, de l'air servant à la combustion dépend, à la fois, de la section des passages que laisse le combustible et de la différence de pression entre le foyer et l'air extérieur; d'où il résulte que, pour une section moindre il faut un tirage plus énergique, qui peut être obtenu par des échappements plus fréquents et émettant une plus grande quantité de vapeur. Cela s'explique encore parce que la substitution de la houille au coke conduit moins à une augmentation de la surface de grille qu'à l'augmentation de la chambre de combustion, à cause du dégagement considérable de gaz que produit la houille dans les premières périodes de la combustion.

Il s'agit ici de la houille sèche et en fragments, qui s'allume plus vite et plus facilement que le coke, tout en laissant des passages d'air aussi faciles à travers sa masse. Il en serait tout autrement du menu, qui exige, au contraire, de très larges surfaces de grille, et ne peut, en conséquence, être brûlé convenablement dans les foyers actuels des machines locomotives qu'à l'état d'agglomérés.

3° Le rapport du volume d'eau dans la chaudière avec la surface de chauffe varie avec les dispostions générales du générateur;

4° Le rapport de la capacité de la chambre de combustion des gaz avec les surfaces de grille et de chauffe et avec la section des tubes n'a pas varié malgré la substitution de la houille au coke, ce qui semble contraire aux règles théoriques de la combustion (1);

(1) On constate, dans des machines construites tout récemment un allon-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5° Le rapport du volume de vapeur dans la chaudière à la surface de chauffe se modifie à mesure de l'accroissement de la puissance des machines, dans le sens de la diminution progressive du réservoir de vapeur, à mesure de l'augmentation des facultés de production de vapeur de la chaudière;

6° La durée ou l'étendue du contact des gaz produits par la combustion tend à s'accroître, mais elle dépend de la disposition générale de la machine, en ce qui concerne la situation des essieux sur lesquels son poids est distribué;

7° Le rapport de la section des tubes à la surface de la grille est resté sensiblement constant.

8° Le poids du générateur, abstraction faite du mécanisme de transmission de force, est sensiblement proportionnel à l'accroissement de la surface de chauffe.

Ces préliminaires posés, nous en déduirons l'application aux dispositions à prendre pour accroître la puissance des machines.

La puissance des machines locomotives dépend de la quantité de vapeur qu'elles peuvent produire et de la manière dont cette vapeur est utilisée. Elle a pour limite l'adhérence sur les rails du poids porté par les roues motrices.

La machine la plus puissante qui ait été faite, jusqu'à ce jour, est la machine Engerth, construite par le Creuzot, pour le chemin de fer du Nord, en 1856 (N° 18, *Guide du mécanicien*, pages 392 et suivantes.)

Cette machine a 196.4 mètres carrés de surface de chauffe. Elle traîne à la vitesse moyenne de 16 kilom. 7 à l'heure, sur une rampe de 5 m/m, ayant 24 kilom. de longueur,

gement considérable du foyer en vue de la consommation exclusive de la houille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

633.4 tonnes, machine comprise, réalisant ainsi, à 9.25 kil. par tonne, un effort de 5,859 kil., en vaporisant 5,454 kilog. d'eau avec 587 kilog. de houille.

L'adhérence disponible de cette machine, comptée au sixième du poids porté par ses huit roues motrices, est de 6,716 kil., c'est-à-dire supérieure d'un septième à l'effort continu dont la machine est susceptible.

Cette machine pèse, avec son tender et son approvisionnement d'eau, 62,800 kilogrammes.

L'étude des dispositions élémentaires de cette machine est un excellent point de départ pour nos démonstrations.

La production de vapeur ne s'obtient, dans une machine locomotive, qu'au moyen de combinaisons propres à favoriser : 1° La combustion, qui produit la chaleur ; 2° la transmission de la chaleur produite par la combustion, à travers les parois métalliques du générateur.

La combustion n'est parfaite qu'autant que le carbone et les gaz produits par le combustible ont été complètement convertis, dans le foyer et les espaces situés entre le foyer et la cheminée, en gaz incombustibles.

Considérons les trois parties dont l'appareil se compose : la grille, la chambre de combustion et les conduits par lesquels les gaz se dirigent en se refroidissant vers la cheminée.

La surface de la grille dépend de la nature du combustible, c'est-à-dire de sa propriété de laisser passer entre ses fragments l'air qui doit servir à la combustion et de l'énergie du tirage.

Les dimensions de la chambre de combustion dépendent des quantités de gaz combustibles que fournissent la houille,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le coke ou le bois, et des quantités d'air que nécessite la combustion de ces gaz.

Enfin, la section des conduits des gaz produits par la combustion dépend du tirage, c'est-à-dire de la vitesse d'écoulement imprimée à ces gaz par la différence de pression entre le foyer et l'air extérieur.

Chacune de ces dispositions a été étudiée, depuis bien des années, à son point de vue spécial et dans ses rapports avec l'ensemble. La limite de la puissance des machines au point de vue de la vaporisation a été déterminée par une relation générale, dont un des termes est la combinaison des divers éléments qui constituent le générateur, et l'autre terme est la disposition des supports de ce générateur sur la voie.

Le second terme, celui de la disposition des supports du générateur sur la voie étant le moins compliqué des deux, nous l'examinerons d'abord.

La réaction, sur la voie, des roues, de leurs essieux et des chassis qu'elles supportent, a pour origine, 1° le poids porté par chaque roue, 2° la distance rigide des points de contact de ces roues sur les rails déterminée, par l'écartement extrême des essieux.

La pression exercée sur la voie par les roues de chaque essieu se compose du poids de ces roues et de leur essieu, et de la charge qui leur est transmise par le chassis. Cette charge dépend du poids total de la machine et de la distance mesurée en projection horizontale de chacun des points de contact des roues sur les rails ou, ce qui revient au même, de la distance de l'axe de chacun des essieux au centre de gravité.

Le poids ne dépasse pas impunément 6 tonnes par roue,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c'est-à-dire que, sous l'influence d'un poids plus considérable, les bandages et les rails sont rapidement altérés. C'est donc là, quant à présent, une limite à la charge que doivent porter les roues.

Quant à la rigidité des points de contact elle n'affecte la voie qu'à raison du rayon des courbes et de la distance ou de l'écartement entre les essieux extrêmes.

Jusqu'à l'invention d'Engerth, l'habitude était, soit de tout rassembler sur un seul chassis : générateur, mécanisme et approvisionnement d'eau et de combustible ; soit de partager l'ensemble de la machine entre deux chassis, le générateur avec son mécanisme, d'une part, et l'approvisionnement d'eau et de combustible, de l'autre.

Engerth assembla les deux chassis, en les articulant pour faire supporter aux roues du tender une partie du générateur, et pour augmenter, au besoin, l'adhérence en communiquant la puissance motrice à un essieu du tender. C'est cette combinaison qui a réussi, en ce qui concerne la réunion des deux chassis ; c'est à elle qu'on doit les machines les plus puissantes qui aient été construites jusqu'à ce jour. Le type qui présente les plus grandes dimensions est celui du Nord (1). L'écartement extrême des essieux, qui portent sur un cadre rigide la plus grande partie du générateur et le mécanisme, est de $3^{m}.95$. La charge de chacun des essieux est de 9.2 tonnes à 11.1 tonnes.

La longueur du générateur est :

Boîte à fumée.	0.80	$7^{m}.32$
Corps cylindrique.	4.88	
Corps carré, contenant le foyer. . . .	1.64	

(1) Voir, dans l'appendice, la critique dont ce type a été l'objet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un générateur d'une pareille longueur ne pouvait être également supporté par les quatre essieux. Eût-il pu l'être, le poids de 12 tonnes par essieu aurait été dépassé. Aussi, l'essieu d'avant du tender a-t-il reçu une partie du poids du générateur. On peut donc considérer que la limite de cette combinaison était une surface de chauffe de 196$^{m^2}$, chargeant quatre essieux du poids de 40 tonnes, et un cinquième essieu d'un poids supplémentaire.

Or, la base rigide de cette machine, c'est-à-dire l'écartement entre les essieux extrêmes, 3^{m}.95, ne lui permet pas de passer dans des courbes de 200 à 250 mètres.

Tel est, pour la machine la plus puissante, l'un des termes de la relation avec la voie.

Il convient, peut-être, d'examiner ici ce qui s'est fait dans cette direction, d'après les anciennes dispositions consistant : 1° dans l'emploi de deux véhicules, machine d'un côté, tender de l'autre,

2° Dans l'emploi d'un seul véhicule comprenant la machine et le tender.

Dans la première de ces deux dispositions, la machine présentant la plus grande surface de chauffe est celle du Bourbonnais. Elle a 133 mètres carrés, elle pèse 32,278 kilog., elle est portée par trois essieux moteurs dont l'écartement extrême est de 3^{m}.37. Son tender détaché élève ce poids à 50,528 kilog. (C'est le n° 15 du *Guide du Constructeur*.)

La machine la plus puissante dans la disposition qui consiste à tout placer sur un seul véhicule est la machine construite pour le chemin de fer du Nord dite « *Machine pour fortes rampes*, » qui a une surface de chauffe de 123.68 mètres carrés. (N° 20 *du Guide du Constructeur*.) Elle est portée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur quatre essieux dont l'écartement extrême est de 3m.33 ; elle pèse, avec son approvisionnement d'eau et de coke, 37,500 kilog. L'effort continu de traction dont cette machine est susceptible est de 4,346 kilog., inférieur de 1,237 kilog., c'est-à-dire de plus du cinquième, à son adhérence disponible comptée au sixième de son poids moyen, soit 5,583 kilog.

Cette machine et la précédente ne pourraient circuler convenablement dans des courbes de moins de 150 mètres de rayon.

Ainsi, dans sa relation avec la voie, le dernier mot de la machine locomotive est un effort maximum de 5,859 kil., avec des courbes d'un rayon minimum de 200 à 250m, et un effort de 4,356 kil., avec des courbes de 150 mètres de rayon.

Examinons maintenant l'autre terme de la puissance des machines, celui qui est donné par la combinaison des divers éléments qui constituent le générateur et le mécanisme.

La machine Engerth et la machine à fortes rampes ont des roues de faibles diamètres et des cylindres de grande dimension; elles fournissent, en conséquence, à la vapeur un grand espace pour son utilisation, et produisent par la fréquence de leurs échappements un tirage actif dans le foyer.

La machine à fortes rampes offre, en outre, une disposition particulière pour la combustion de la houille, c'est la grande surface relative de sa grille.

Malgré les perfectionnements réalisés dans ces deux machines, l'expérience a établi qu'elles ne peuvent transmettre un effort continu égal à leur adhérence disponible. D'où on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peut conclure, sans hésitation, que, ni l'un ni l'autre des deux systèmes connus n'est susceptible de produire une puissance mécanique plus grande, et qu'en conséquence ils sont tous deux insuffisants pour l'exploitation des rampes inclinées à 50 m/m et au-dessus, ayant une grande étendue. Que, de plus, ni l'un ni l'autre de ces deux systèmes ne peut se prêter, à cause de la longueur de sa base, à la circulation dans des courbes de 25 mètres de rayon.

S'il est facile de comprendre, par ce qui précède, pourquoi il y a une limite de production de puissance mécanique imposée à ces deux systèmes de construction par le poids et le volume du générateur et de ses accessoires, il ne l'est pas, au même degré, de déterminer les dispositions par lesquelles il est possible de dépasser cette limite.

C'est là le but de notre étude.

La génération de la vapeur, dans les machines locomotives, est soumise à des conditions que l'expérience enseigne, aidée de l'analyse et de la science. Si nous considérons, d'abord, la combustion, nous trouverons que, depuis que l'on a substitué la houille au coke dans les foyers des machines dont il s'agit, on reconnaît la nécessité d'augmenter les dimensions de la chambre de combustion et de rejeter l'emploi des houilles collantes, susceptibles de fermer les passages d'air à travers la masse incandescente.

Avec le coke, en effet, le gaz à brûler se bornait au carbone et à l'oxyde de carbone ; avec la houille, le gaz hydrogène carboné s'est ajouté aux gaz produits et à brûler. Le volume d'air nécessaire à la combustion s'est élevé dans la proportion de 56 à 84. Les données physiques pour l'établissement du foyer ont changé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On s'est, en outre, convaincu de l'utilité d'un contact prolongé des gaz produits par la combustion avec les surfaces métalliques de la chaudière, et de la nécessité de ne pas descendre au-dessous de certaines limites pour le réservoir de vapeur, afin d'empêcher l'entraînement de l'eau résultant d'une ébullition tumultueuse.

C'est pour cela que les dimensions et le poids du générateur de l'Engerth, qui offre une surface de chauffe de 196 mètres carrés, ne permettaient pas de l'asseoir sur une base assez courte pour tourner, comme la machine pour fortes rampes du Nord, dans des courbes de 100 mètres de rayon, et sur un nombre d'essieux assez grand pour que le poids porté par chacun ne dépassât pas 10 à 11 tonnes.

Si nous avons pris pour point de départ de nos comparaisons les deux machines dont il s'agit, c'est que leur supériorité en puissance sur toutes les autres est incontestable.

La comparaison du travail qu'elles fournissent offre un vif intérêt.

La machine Engerth produit, avec 196.4 mètres carrés de surface de chauffe, un effort continu de 5,859 kilog. Si nous étendons ce rapport à la machine à fortes rampes du Nord, nous trouvons qu'avec 123.50 mètres carrés de surface de chauffe, l'effort de traction dont cette machine est susceptible serait de 3,680 kil. On en obtient cependant 4,346 kilog. en comptant l'effort de traction, comme pour l'Engerth, à 9,25 kilog. par tonne sur rampe de 5 m/m. Mais cette machine présente des dispositions spéciales qui pourraient expliquer cette supériorité relative. La plus caractéristique est dans l'espace qu'elle offre à la vapeur dans les cylindres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour y utiliser sa puissance de dilatation. Ainsi l'Engerth n'offre par kilomètre, dans ses cylindres, que 132 mètres cubes à la vapeur produite par 196 mètres carrés de surface de chauffe, tandis que la machine pour fortes rampes donne 104 mètres cubes pour 123.50 mètres carrés; de sorte que le volume de cylindrées offert par mètre carré de surface de chauffe et par kilomètre est, dans la première, de 672 litres, et dans la seconde, de 770 litres. Le rapport d'utilisation théorique de la détente serait ici de 100 à 115.

Les roues de l'Engerth ayant un diamètre plus grand que celui de la machine pour fortes rampes, il s'ensuit que le nombre des échappements est aussi plus grand dans le rapport de 100 à 118.

La surface de grille est, dans l'Engerth, d'un décimètre carré par mètre carré de surface de chauffe, tandisque dans l'autre machine elle est de 1.42 décimètres carrés. Aussi cette dernière produit-elle 33 kilog. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, au lieu de 28 kilog. que produit l'Engerth.

Il est vrai que ces avantages sont, en partie, compensés par une condition inhérente aux faibles surfaces de chauffe, c'est la sensibilité même provenant de la moindre dimension de leurs parties élémentaires.

Le générateur de l'Engerth contient 4,855 litres d'eau; celui de la machine pour fortes rampes n'en contient que 2,535, presque moitié moins. La dernière est, en conséquence, beaucoup plus affectée par la recharge du foyer et par l'alimentation d'eau. La chambre de combustion de l'une est proportionnellement égale à celle de l'autre par mètre carré de surface de chauffe; mais la durée ou l'étendue du con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tact des gaz produits par la combustion n'est que de 3.50 dans la machine pour fortes rampes, tandis qu'il est de 5 dans l'Engerth; aussi la première ne produit-elle que 7 k. 6 à 8 k. 9 de vapeur par kilog. de coke, tandis que l'Engerth en produit 9 k. 2 à 10 k. 7.

C'est, on le voit, pour plus de clarté que nous circonscrivons, de plus en plus, les faits et les comparaisons dans un cadre restreint. Nous n'examinons et ne comparons plus ici que des machines à marchandises, marchant à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, parce que cette vitesse est celle que nous avons adoptée pour l'ascension des rampes des chemins destinés à franchir les cols des Alpes.

Nous ne voulons pas laisser entrer dans notre discussion une présomption ou une conséquence contestables.

L'expérience d'autres machines placées dans les mêmes conditions d'effort continu, c'est-à-dire de travail sur des rampes de grande longueur, nous démontrerait d'ailleurs la rectitude de nos appréciations.

La machine à marchandises construite par M. Rhoné, pour la ligne de Paris à Rennes, est aussi un des meilleurs types de puissantes machines à marchandises. Elle peut maintenir un effort continu de traction de 3,460 kilog.; elle a 129.4 mètres carrés de surface de chauffe.

Cet effort devrait être, d'après le rapport donné par l'Engerth entre sa puissance de traction et sa surface de chauffe, de 3,866 kilog.

Mais cet affaiblissement du rapport s'explique, non-seulement par ce que les dimensions du générateur sont moindres: que, par suite du plus grand diamètre des roues, le nombre des échappements est plus faible, et qu'enfin les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dimensions relatives de la grille et de la chambre de combustion sont inférieures.

Au contraire, une machine Engerth maintient sur le Semmering un effort continu de 4,966 kilog.; elle a 154 mètres 25 de surface de chauffe, ce qui est l'expression exacte du rapport que présente l'Engerth du Nord entre son travail et sa surface de chauffe.

Nous concluons : L'art de la construction des machines locomotives a aujourd'hui pour limite, quant à leur puissance, un effort de traction de 6,000 kilog. obtenu d'une surface de chauffe de 196 mètres carrés. Cette surface de chauffe exige un générateur, un mécanisme et un approvisionnement d'eau pesant 62,800 kilog. Cet ensemble posé sur un véhicule articulé, comme l'Engerth, ne peut parcourir des courbes de moins de 250 mètres de rayon.

Cette limite se réduit à un effort de traction de 4,250 kil. dans une machine portant sur le même véhicule et sur quatre essieux, son générateur, son mécanisme et son approvisionnement d'eau et de coke, sans dépasser 10 tonnes par essieu.

La base de cette machine ne lui permet pas de circuler dans des courbes de moins de 150 mètres de rayon.

Ces deux machines, employées sur des rampes de 50 et 60 m/m, remorqueraient les poids suivants, en supposant, pour les causes que nous avons expliquées, un effort de traction de 8 kilog. par tonne en sus de l'effort dû à l'inclinaison :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Rampes de 50 millimètres			Rampes de 60 millimètres		
	Poids brut	Poids du train	Poids net	Poids brut	Poids du train	Poids net
	T.	T.	T.	T.	T.	T.
Machine Engerth (Nord)	104	41.2	28.2	88.25	25.45	17.42
Machine pour fortes rampes (Nord).	73	35.5	24.4	62.05	25.00	17.10

D'après ces données, le poids utile du train sera par rapport au poids total, machine comprise.

Pour la machine Engerth :

Sur rampe de 50 m/m. 27.1 0/0

Sur rampe de 60 m/m. 19.8 0/0

Pour la machine pour fortes rampes du Nord :

Sur rampe de 50 m/m. 33.5 0/0

Sur rampe de 60 m/m. 27.4 0/0

Ainsi, la machine locomotive la plus puissante qui ait été construite jusqu'à ce jour, et qui, sur une rampe de 5 m/m, remorque 490 tonnes de poids net, n'en remorquerait que 28 sur une rampe de 50 m/m, et 17 sur une rampe de 60 m/m. De plus, elle n'est pas propre à un tracé dessiné dans la montagne, affectant, à l'aide de courbes d'un faible rayon, les contours des flancs rudement découpés dont il convient d'effleurer la surface si on ne veut se jeter dans les constructions les plus dispendieuses.

En face de ces impossibilités, la première impression qui vient à l'esprit est que le mérite tout spécial du matériel américain, dont les véhicules, de 18 mètres de longueur, tour-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nent avec facilité dans des rues tracées à angle droit, c'est-à-dire dans des courbes de 10 à 15 mètres de rayon, est d'offrir entre les deux trucks sur lesquels pivote le corps du véhicule un espace très-suffisant pour y placer, dans les dispositions les plus favorables, les appareils de foyer, chambre de combustion, corps cylindrique, boîte à fumée, etc., composant un générateur de proportions bien supérieures à celles dont le système Engerth est susceptible, par conséquent de fournir la vapeur nécessaire à un effort de 12 à 18,000 kilog.

La difficulté des dimensions ainsi résolue, restait celle du poids. Le dessin et le calcul pouvaient seuls, nous renseigner à cet égard. Les résultats de cette étude sont qu'un générateur ayant 370 ou 380 mètres carrés de surface de chauffe, établi dans les mêmes rapports que l'Engerth du Nord, en ce qui concerne la surface de grille, la durée du contact des gaz brûlés avec la surface métallique, le volume d'eau et le volume de vapeur dans la chaudière, mais plus avantageusement proportionné quant à la capacité de la chambre de combustion, et muni, comme lui, de son approvisionnement d'eau et de coke (1), ne chargera pas de plus de 46 tonnes les deux trucks à six roues qui le supporteront. De telle sorte qu'en y comprenant le poids de ces trucks l'ensemble pèsera environ 10 à 11 tonnes par chacun des six essieux qui porteront cette machine.

En résumé, une machine construite d'après les dispositions indiquées (planche 1re), et composée d'un générateur et

(1) L'approvisionnement d'eau et de coke est porté avec le générateur, par suite des nécessités de l'agencement qui résulte de la situation de la boîte à feu entre les supports.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de son tender, portée sur deux trucks à six roues, pèsera 62 à 64 tonnes. Ce générateur produira assez de vapeur pour un effort de traction de 12,500 kilog., tandis que l'Engerth ne peut produire au delà de 6,000 kilog.

Le détail des dispositions qui expliquent ce résultat en démontrera, à la fois, la simplicité et l'efficacité.

Le générateur nouveau n'offre, quant à son agencement général, d'autre différence avec celui de l'Engerth qu'une addition d'espace à la chambre de combustion. L'exiguïté de l'espace destiné à la combustion des gaz dans les foyers des machines locomotives est un des grands défauts de ces machines, depuis que l'emploi de la houille s'est généralisé et qu'il est démontré qu'il faut le généraliser encore plus qu'on ne le fait jusqu'ici.

Cette opinion est partagée par tous les ingénieurs; mais la forme générale de la construction ne permettait de modifier les foyers qu'en diminuant la longueur des tubes, c'est-à-dire la durée du contact des gaz produits par la combustion avec les surfaces métalliques servant à la transmission de la chaleur à l'eau contenue dans la chaudière.

La chambre de combustion, qui, dans l'Engerth, est de $3^{m3}.310$, sera, dans la machine nouvelle, de $9^{m3}.560$; le rapport donne, par mètre carré de surface de chauffe en décimètres cubes, 16.85 pour la première et 25 pour la seconde machine : c'est un tiers de plus.

La surface de grille sera de 2.97 mètres carrés; celle de l'Engerth est de $1^{m2}.94$. Nous avons dit que la surface de grille se s'accroit pas dans les machines en raison directe de leur surface de chauffe.

Les moyennes donnent, à cet égard, les résultats suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINES.	MÈTRES CARRÉS de surface de chauffe	Surface de grille par mètre carré de surface de chauffe
	m.	Décimètres carrés.
Machines à voyageurs.	77.47	1.42
Id. mixtes.	89.04	1.31
Id. à marchandises.	105.69	1.10
Id. Engerth (Nord).	196.39	0.98
Id. nouvelle.	370. »	0.84

La décroissance proportionnelle de la surface de grille est beaucoup moindre dans la nouvelle machine que dans les autres ; on peut donc la considérer comme étant, sous ce rapport, dans de meilleures conditions.

Les tubes ont la même longueur que ceux de l'Engerth, parce que, si l'expérience ne contredit pas le mérite de cette disposition, elle n'indique pas qu'une plus grande longueur soit indispensable.

Il paraît, en effet, bien établi que les flammes produites par la combustion des gaz s'éteignent après quelques décimètres de parcours dans les tubes, et que celles qui sortent quelque fois par la cheminée proviennent de ce que ces gaz se rallument dans la boîte à fumée, par suite de leur combustion incomplète dans le foyer et de la présence de fragments de combustible incandescents dans la boîte à fumée; mais l'expérience n'a pas démontré que la température des gaz fût, à la sortie des tubes, trop basse pour être utile à la production de la vapeur.

Si la circulation de l'eau dans les générateurs est, comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tout porte à le croire, une conséquence forcée de la production de la vapeur et de l'inégalité de la température transmise par les parois métalliques exposées, soit au calorique rayonnant, soit au contact des gaz chauds, tout ce qui est recueilli de la température produite par la combustion devient utile. Il suffit pour cela que la transmission de la chaleur s'accomplisse dans des conditions qui aident à cette circulation. Or, aucune disposition n'est plus favorable à la circulation régulière de l'eau que celle du générateur des locomotives, parce que la transmission de la chaleur s'accroît progressivement, depuis l'extrémité des tubes, où elle est la moins active, jusqu'à l'entourage du foyer, où elle a la plus grande activité et où se produit la plus grande quantité de vapeur. N'est-il pas évident que tout prolongement de dimension d'un générateur, qui aurait pour conséquence d'accroître la température de l'eau en enlevant aux gaz produits par la combustion toute la chaleur qu'ils contiennent, serait favorable à la production de vapeur et à l'économie du combustible ?

En considérant d'ailleurs l'énorme vitesse dont les gaz sont animés, la durée du contact dans cinq mètres de longueur est toujours trop faible pour qu'il y ait lieu de la diminuer, puisque l'expérience établit que cette longueur se prête à de grandes variations dans le tirage, et que, tout en assurant le refroidissement des gaz, c'est-à-dire, l'absorption utile de la chaleur qu'ils contiennent, elle n'est pas un obstacle à leur vitesse d'écoulement (1).

(1) Nous n'avons jamais eu qu'une confiance limitée dans les expériences intéressées, dans lesquelles la température du gaz a été mesurée à la sortie des tube de grande longueur. La Société industrielle de Mulhouse vient de faire des expériences qui répandent, sur cette question, une lumière nouvelle. Cette température a été trouvée en moyenne de 254 degrés; les tubes avaient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Reste la section des tubes considérée comme passage des gaz brûlés. L'Engerth à 235 tubes, tandis que la nouvelle machine en a 402; c'est près du double et c'est beaucoup : car, il y a de bonnes raisons pour qu'il en soit des orifices d'écoulement des gaz comme de la surface de chauffe; tout au plus la section des tubes serait-elle dans le rapport de la consommation en combustible; mais, en serait-il de même avec la complète combustion qu'amènera, sans nul doute, l'augmentation de la chambre de combustion (1). Bien que nous nous

40 millimètres de diamètre de 2m 60 de longueur; la houille brûlée étant de 770 kilog. par mètre carré de grille, et le foyer alimenté d'air par un ventilateur, à raison de 17m 327 par kil. de houille, *c.* à *d.* avec excès et refroidissement.

A quelle température se seraient élevés les gaz dans des tubes de 50 millimètres de diamètre, avec une combustion de 2,300 kil. de houille par heure et par mètre de surface de grille et avec l'aspiration due aux échappements de vapeur dans la cheminée? On peut admettre, assurément, qu'elle aurait notablement dépassé la température de la vapeur à 10 atmosphères, qui est de 182 degrés quand même la longueur des tubes eût excédé cinq mètres.

(1) Nous regrettons de ne pas être tout à fait d'accord, dans cette partie de notre travail, avec quelques points de vue présentés par l'ingénieur Wye-Williams, auquel nous devons l'excellent ouvrage sur la combustion du charbon, traduit par M. Bona Christave. M. Williams critique (chapitre 8 et 9) l'emploi des appareils tubulaires à deux points de vue : le premier, parce qu'ils distribuent inégalement entre eux les gaz produits par la combustion; le second, parce qu'ils éteignent rapidement la flamme en la refroidissant. C'est l'oubli des principes qu'ils a si victorieusement établis dans les autres parties de son utile publication.

Un appareil à produire de la vapeur est parfait s'il effectue la combustion complète des matières et des gaz qui alimentent le foyer, et s'il n'envoie les gaz produits par la combustion dans l'atmosphère qu'après leur avoir enlevé la chaleur qu'ils ont acquise par le fait même qui les a produits.

Les tubes sont, sous ce dernier rapport, l'appareil réfrigérant le plus efficace; et, loin de s'en plaindre, il faut s'en féliciter. La critique ne peut porter que sur un seul point, à savoir si les gaz combustibles sont complétement convertis, avant d'entrer dans les tubes, en gaz incombustibles, c'est-à-dire désormais impuissants à produire de la chaleur. Mais c'est au foyer et à la chambre de combustion qu'il faut demander l'accomplissement des réactions chimiques par lesquelles on obtient ce résultat.

Or, non seulement rien ne prouve qu'il faille, pour cela, de grands espaces et de longs parcours de flamme, le contraire semble même mieux établi par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soyons tenus dans les règles habituelles quant à la proportion de la section des tubes à la surface de grille, nous nous demandons s'il y a vraiment un rapport à établir entre ces deux dimensions élémentaires d'un générateur de locomotive.

Le combustible, élevé à une certaine température, dégage des gaz dont une partie est combustible; la combustion n'en produit que d'incombustibles. Si elle n'est pas complète, les gaz sortent du foyer, en partie combustibles, en partie incombustibles. Ce n'est pas l'élévation de la température qui a manqué aux premiers, puisqu'ils se rallument à la base de la cheminée au contact d'un corps incandescent, comme le gaz

l'expérience; car, il ressort de l'observation des faits que, plus la température est élevée dans un foyer, plus les réactions constituantes de la combustion y ont de rapidité et d'intensité. L'espace, ici, ne joue qu'un rôle dépendant de l'élévation de la température du foyer, de la vitesse d'introduction de l'air nécessaire à la combustion et des justes proportions dans les quantités relatives et nécessaires à l'accomplissement des réactions chimiques.

D'après ces principes, l'introduction de l'air à travers le foyer est une première condition; l'introduction de l'air au-dessus du foyer en est une seconde. L'insuffisance de l'air, dans le premier cas, donnant lieu à la production de l'oxyde de carbone, n'a pas les mêmes inconvénients que son insuffisance dans le second; mais ici la difficulté de proportionner l'introduction de l'air aux besoins de la combustion est bien plus grande, à cause du refroidissement qui résulte de son excès. Une vaste chambre de combustion et des introductions d'air très-divisées nous paraissent la meilleure solution du problème.

Le reproche de transporter les gaz inégalement, c'est-à-dire d'avoir un courant plus rapide dans les tubes supérieurs, est également mal entendu s'il a pour conséquence qu'il faille renoncer aux tubes. Il est clair que les gaz suivent la ligne la plus directe entre les deux points où existe la plus grande différence de pression de l'air, c'est-à-dire entre le foyer et l'origine de la cheminée.

Mais cet inconvénient sera d'autant plus sérieux que le parcours sera plus court, c'est-à-dire les tubes moins longs. Avec une chambre de combustion spacieuse et une grande distance à parcourir du foyer à la cheminée, l'appe par les tubes sera plus égal, et, sous ce rapport, l'augmentation de dimension de la chambre de combustion sera une source certaine de supériorité dans la transmission de la chaleur, la longueur des tubes restant la même.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

hydrogène carboné servant à l'éclairage, c'est l'oxygène de l'air qui leur a manqué (1).

Si l'existence de la flamme ne prouvait pas que la combustion s'effectue principalement au-dessus du combustible, le fait que nous signalons l'établirait. Du reste, personne ne conteste que la production de l'hydrogène carboné par la houille ne soit, dans un foyer, le prélude de la combustion, et que celle-ci ne s'accomplisse, dans ce cas, au-dessus du combustible.

On est moins affirmatif quant à la région où s'accomplit la combustion du coke et la production de l'acide carbonique; la présence de l'oxyde de carbone au-dessus du combustible est cependant parfaitement établie, puisqu'il est facile d'en recueillir dans tous les foyers à l'extrémité de la cheminée, en épaississant la couche de combustible sur la grille; elle est encore démontrée par l'existence de la flamme qui s'élève au-dessus du coke. Cette flamme, d'une coloration et d'une ténuité très-différente de celle de la houille, est parfaitement perceptible dans les grands foyers à coke, par des yeux exercés, même quand ce combustible est très-pur.

Une autre preuve se trouverait encore dans les transformations successives en oxide de carbone et acide carbonique dont les gaz sont susceptibles, et qui ont été constatées par Ebelmen dans les hauts fourneaux.

Si, donc, il est démontré, par des preuves surabondantes, que c'est au-dessus du foyer, c'est-à-dire dans la chambre

(1) Nous faisons abstraction de l'eau, des cendres et scories, qui sont des produits accessoires de la combustion dont le rôle n'est pas efficace dans la production de la chaleur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de combustion, que s'accomplissent principalement les actions chimiques et physiques qui doivent avoir pour but la production des gaz incombustibles, le volume de cette chambre devient l'une des conditions les plus nécessaires à déterminer.

L'analyse saisit alors la possibilité de calculer le volume des gaz qui doivent entrer, se modifier et sortir de cet espace, abstraction faite, il est vrai, de leur raréfaction, qui dépend de la température du milieu et qui ne permet pas de le préciser parce que la température exacte n'est pas bien connue ; mais elle démontre la relation naturelle de la capacité de la chambre de combustion, qui est l'atelier où doivent se former les gaz incombustibles, avec la section des tubes par lesquels les gaz s'échappent.

Cette opinion semble, du reste, partagée par les ingénieurs américains, d'après les dimensions relatives qu'ils ont données à la chambre de combustion et à la section des tubes, dans les machines de récente construction, où ils ont eu en vue l'usage exclusif de la houille.

Le volume d'eau dans le générateur nouveau est, par mètre carré de surface de chauffe, dans le même rapport que dans les autres constructions.

Quant au volume du réservoir de vapeur, il est dans le rapport de décroissance de la moyenne indiquée au tableau p. 48 ; c'est suffisant, mais ce n'en est pas mieux, car il y a des inconvénients d'insuffisance d'espace, tandis qu'il n'en est aucun dans un excès à cet égard.

La puissance mécanique produite par la vapeur dans le générateur nouveau sera employée d'une manière beaucoup plus avantageuse que dans l'Engerth, à cause de l'espace

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

offert dans les cylindres à cette vapeur par mètre carré de surface de chauffe. La différence sera du simple au double : à savoir, dans l'Engerth, 668 litres par mètre carré de surface de chauffe, et dans l'autre, de 1,362 litres. C'est que, dans ce dernier cas, les cylindres qui servent à l'emploi de la vapeur sont beaucoup plus nombreux que dans le premier.

Dans le système ordinaire, il y a deux cylindres par machine, tandis que dans le nouveau il y aura quatre cylindres par véhicule. Ils seront beaucoup moins grands, mais le volume qu'ils offriront à la vapeur dépassera le double de ce qu'il est dans l'Engerth.

L'augmentation des dimensions du générateur, qui est facilitée par la distance des points de support, doit donner à ses facultés de production de vapeur des avantages considérables.

Le corps carré qui contient le foyer pouvant être augmenté en largeur, le foyer aurait une forme évasée par le bas, afin que le dégagement de la vapeur sur la paroi du foyer devienne plus facile, et que le renouvellement de l'eau sur la surface soit plus régulier.

On sait combien ces deux conditions sont importantes, à cause de la supériorité que l'eau a sur la vapeur pour conduire la chaleur et l'enlever aux parois du métal. Le contact de la vapeur n'empêche pas d'amener au rouge des surfaces que le contact continu avec l'eau entretient toujours à une température qui préserve le métal de toute altération. Que de foyers de locomotives portent la trace d'une température allant jusqu'aux ramollissement du métal, parce que la vapeur ne se dégage que difficilement dans l'étroit espace situé entre le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

foyer et l'enveloppe, et de la difficulté augmentée par les incrustations, qu'y éprouve la circulation de l'eau (1).

Le passage de l'eau à la partie inférieure du foyer vers l'origine des tubes sera également facilité puisque, non-seulement il n'y aura pas, en cet endroit, l'étranglement habituel, mais que l'espace y sera au gré du constructeur. La circulation de l'eau, qui se dirige toujours vers les points où la température est la plus élevée et où la production de vapeur est la plus abondante, s'accomplira en partant de l'extrémité des tubes ; elle suivra la partie inférieure du corps cylindrique pour remonter le long des parois du foyer, de telle sorte que ce phénomène important, sans lequel la puissance de vaporisation d'une surface métallique est incomplète, atteindra ses effets normaux.

De l'ensemble des dispositions décrites ci-dessus, nous attendons les résultats suivants : A la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, le nouveau générateur convertira en vapeur 28 kilog. au moins d'eau par mètre carré de surface de chauffe, soit en totalité 10,360 kilog.; l'effort de traction qu'il pourra maintenir sera de 12,500 kilog.; et le poids qui pourra être remorqué par cette force mécanique sera, sur une rampe de 50 $^{m/m}$, de (12500/58) 216 tonnes. Le générateur pesant 62 tonnes, il en restera 144 pour le train, qui portera ainsi 100 tonnes de poids net. Le poids qui paie sera au poids total comme 46 à 100. Cela se réduira, sur une rampe de 60 m/m, à 184

(1) Il n'y a rien, dans ces faits, de contraire à la loi qui régit la température de la vapeur en contact avec l'eau. Il suffit que, par une disposition spéciale, la vapeur s'isole momentanément de l'eau pour que la transmission de chaleur se ralentisse en cet endroit, et que le métal s'échauffe et s'altère. Ne voit-on pas souvent la chaudière rougir à partir du point où l'eau manque?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tonnes de poids total, à 122 de poids de train, et à 80 tonnes de poids utile. Ce poids sera encore au poids total comme 44.5 à 100.

Des générateurs de poids plus faible ou plus considérable pourront desservir un trafic plus faible ou plus étendu, suivant les besoins de la circulation : car le matériel porté sur châssis mobiles se prête, sous ce rapport, à de meilleures conditions que le matériel dont les essieux et le mécanisme sont assemblés d'une manière rigide au châssis qui porte le générateur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ VI.

Quels obstacles la climatologie des cols des Alpes apportera-t-elle à l'exploitation d'un chemin de fer tracé en rampes de 50 à 60 millimètres ?

Le concours que nous a valu notre première étude de la traversée des Alpes nous permet d'exposer aujourd'hui, avec plus de détails, les conditions climatériques des cols. Il s'agissait de connaître, pour un certain nombre d'années, la moyenne du nombre des jours de neige ; les épaisseurs *maxima* de la neige tombée dans un jour et accumulée dans le cours de l'hiver; l'influence que la température exerce sur la neige, les difficultés que celle-ci oppose à la circulation par les amas ou *gonfles* qu'elle forme sur certains points, surtout par les avalanches ; le rôle qu'elle joue dans les tourmentes auxquelles elle semble généralement associée ; les dépenses qu'exige aujourd'hui le maintien du trainage, etc., etc.

Ces renseignements ont été plus faciles à recueillir qu'on ne serait porté à le supposer. Depuis que de Saussure a attiré l'attention du monde scientifique sur l'histoire de la na-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ture dans les Alpes, les continuateurs n'ont pas manqué à cette grande initiative; car c'est le propre de la science de trouver des prosélytes dans les esprits persévérants comme dans les imaginations ardentes. Et puis les observations météorologiques revêtent dans cette intéressante contrée un caractère humanitaire, qui recommande d'avance à la reconnaissance publique les hommes qui se dévouent à l'observation patiente de la climatologie.

Le savant qui, après de Saussure, a le plus contribué, par ses observations personnelles, et l'érudition la plus étendue, à l'étude des phénomènes de la météorologie des Alpes, est Agassiz.

Nous avons fait quelques emprunts à ses ouvrages sans sortir du cercle que nous nous sommes tracé et nous bornant à étudier les faits et à décrire les phénomènes au seul point de vue de l'influence qu'ils peuvent avoir sur la circulation des machines et des trains sur les rails, dans les hautes régions.

Nous devons à M. Plantamour, directeur de l'observatoire de Genève, et à M. Deléglise, prieur de l'hospice du Simplon, des remerciements pour l'aide qu'ils nous ont donnée.

Nous indiquerons, d'ailleurs, dans le cours de cet exposé, la source de nos renseignements.

Agassiz fait, de la neige, la description suivante (1) :

« La neige affecte, dans les montagnes, à raison des grandes et subites variations de température, une telle multiplicité de dessins et de formes qu'en un quart d'heure on peut recueillir les cristallisations les plus diverses.

1) Système glaciaire, p. 126 et suivantes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« La neige à gros flocons ne tombe guère que par un temps calme et souvent par une température de plusieurs degrés au-dessus de zéro. Mais il suffit d'un vent froid, pour qu'à l'instant elle change de forme ; elle devient alors fine, poudreuse, plus ou moins grenue ; néanmoins on ne peut tracer une limite tranchée entre les différentes espèces de neige grenue et la neige à gros flocons.

« La plupart de ces formes se retrouvent dans la plaine, mais dans les Alpes les variations sont plus brusques. C'est une conséquence de l'instabilité du vent, qui change d'un moment à l'autre dans ces régions. Ainsi, la neige qui tombe sur le glacier de l'Aar par la tourmente du nord n'est jamais floconneuse ; c'est toujours de la neige grenue (grésil) ; tandis que celle qui tombe par le vent d'ouest est ordinairement à gros flocons, rarement poudreuse.

« La neige qui tombe sous l'influence des vents froids est sèche et ne peut en conséquence s'agglomérer ; tombée à l'état poudreux ou grenu, elle devient le jouet des vents ; plus on s'élève dans la montagne, plus la température diminue et plus on a de chance, de rencontrer de la neige sèche et grenue ; c'est pourquoi cette neige domine dans les hautes régions, tandis que la neige floconneuse domine dans la plaine.

« Le tableau suivant présente le résumé des observations météorologiques relatives à la neige tombée au Grimsel pendant l'hiver de 1845-1846.

« La première colonne indique les mois où il tombe de la neige.

« Dans la seconde est le nombre des chutes par mois ; dans la troisième est l'épaisseur de toutes les chutes du mois ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans la quatrième est l'équivalent de ces mêmes couches en hauteur d'eau (le mètre cube de neige fraîche équivaut à 0,085 m. de hauteur d'eau, soit à 85 kil. d'eau).

« La neige étant, par sa nature, très-légère, ne conserve pas longtemps l'épaisseur qu'elle avait au moment de sa chute, elle se tasse à mesure qu'elle vieillit, et sa dureté augmente à proportion. L'évaporation la réduit aussi ; de sorte que sans éprouver de fonte sensible la couche de neige qui serait très-épaisse, si elle avait conservé sa forme primitive, se trouve réduite à un dépôt relativement très-faible ; la cinquième colonne indique donc la hauteur effective de la neige tassée, et la sixième fait connaître le poids en kilogrammes du mètre cube de cette même neige.

Neige tombée au Grimsel pendant l'hiver de 1845-1846.

MOIS	Nombre des jours de neige	Hauteur de la neige au moment de sa chute	Hauteur de l'eau représentée par les chut.	Hauteur effective de la neige	Poids du mètre cube de la neige tassée.
		Mètres	Mètres	Mètres	Kilogrammes
Octobre	»	0.05	0.004	»,»	»
Novembre	15	1.37	0.116	0.40	290
Décembre	21	5.00	0.425	1.53	353
Janvier	14	3.23	0.374	2.50	326
Février	5	0.67	0.056	2.05	424
Mars	15	3.95	0.335	2.55	472
Avril	15	2.40	0.204	2.30	613
Mai	»	0.88	0.074	»,»	»
	Total. . .	17.55	1.488		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Les chiffres donnés par ce tableau coïncident remarquablement avec le résultat des observations au grand Saint-Bernard, bien que la hauteur du Grimsel soit moindre de 600^{m}. »

Les 17^{m}.55 de neige fraîche tombée depuis le mois d'octobre se trouvaient réduits, à la fin d'avril, à une couche de neige tassée de 2^{m}.30 ayant une densité de 613 kilog. le mètre cube, c'est-à-dire à peu près le poids spécifique de la glace de Névé qui est de 628 kilog. le mètre cube. Nous ne parlerons pas ici du Névé, parce que cette forme que prend la neige après un certain temps de séjour dans les hautes régions sous l'influence de la fonte à sa surface ou de la pluie, n'a pas d'intérêt direct dans la question que nous examinons.

Il y a de grandes variations dans la quantité de neige qui tombe chaque année, ainsi que l'indique le tableau suivant qui comprend douze années, de 1847 à 1858, sur le Saint-Bernard dont le col a son sommet à 2,472^{m}. au-dessus du niveau de la mer.

Nous avons relevé la hauteur de la neige tombée, par mois, sur le St-Bernard, d'après les observations consignées dans la *Bibliothèque publique de Genève.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES DU ST-BERNARD.

Hauteur de la neige tombée par mois, en millimètres.

MOIS	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858
Janvier	1040	1130	2190	1466	1286	1322	2050	1240	1070	1870	480	284
Février	1830	3350	620	1318	1220	1514	1900	270	1236	460	»	579
Mars	755	2690	1017	385	1867	592	2158	95	1015	190	260	705
Avril	325	315	814	1270	2280	797	1940	650	1043	1120	1204	720
Mai	75	90	1605	1242	1980	500	1245	805	693	2001	139	728
Juin	545	70	617	20	40	665	688	190	200	»	160	»
Juillet	320	60	»	»	705	»	35	113	»	10	12	140
Août	80	130	70	257	342	210	130	20	»	15	»	70
Septemb.	218	135	555	146	1290	470	238	»	»	365	»	»
Octobre	»	1000	262	1085	550	1485	1715	1015	1193	348	781	210
Novembre	1020	»	1437	1410	985	510	830	1435	871	345	399	1260
Décembre	1160	»	1157	711	3	510	553	615	365	675	92	1290
Total par année	7368	8970	9344	9310	12548	8575	13482	6448	7686	7399	3527	5986

Les variations dans les quantités totales de neige tombée sont limitées comme on le voit dans le rapport de 1 à 4. Il y a un grand intérêt de les connaître, car devant ce que peut avoir de hardi en apparence la traversée des Alpes à ciel ouvert par un chemin de fer, c'est un devoir de partir, pour en apprécier les difficultés, de l'année la plus mauvaise.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La quantité totale de neige tombée dans l'année ou dans un mois n'est, du reste, qu'un élément assez vague en lui-même ; il est plus important de savoir celle qui tombe, chaque jour, ou plutôt le maximum d'épaisseur de neige tombée par jour. C'est ce qu'indique le tableau suivant :

Maximum de la neige tombée par jour, en millimètres.

MOIS	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858
Janvier	430	540	450	261	338	398	375	210	375	350	250	200
Février	510	425	300	357	285	290	270	»	200	220	»	170
Mars	280	560	407	208	620	160	280	»	250	100	100	270
Avril	325	460	243	342	620	215	325	220	303	150	200	250
Mai	75	60	310	330	350	150	210	140	344	450	64	200
Juin	180	70	»	20	30	200	180	95	140	»	160	»
Juillet	220	60	»	»	260	»	25	100	»	10	7	50
Août	50	100	70	197	160	175	130	15	»	»	»	70
Septembre	100	60	350	90	200	160	90	»	»	150	»	»
Octobre	»	200	100	205	135	230	350	265	340	276	350	100
Novembre	610	»	254	283	320	90	290	350	200	200	190	300
Décembre	360	»	205	265	3	340	230	130	150	104	53	240

Nous avons tiré du même recueil le nombre des jours de neige, ce qui nous a permis d'établir le tableau suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Relevé du nombre de jours de neige au St-Bernard, de 1847 *à* 1859.

MOIS	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859
Janv.	8	9	7	14	8	14	17	13	8	13	3	3	6
Févr.	9	15	3	9	13	11	17	9	16	3	»	6	9
Mars	9	19	5	6	13	8	19	4	14	4	3	5	9
Avril	7	17	13	10	18	13	19	9	8	14	12	7	8
Mai	2	2	13	10	16	11	21	14	9	13	3	10	9
Juin	8	1	1	1	2	12	12	5	3	»	»	»	5
Juillet	2	1	»	»	9	»	2	3	»	1	2	3	»
Août	3	3	1	2	7	4	1	2	»	1	»	1	1
Sept.	5	5	4	3	13	7	7	»	»	5	»	»	2
Octobre	»	12	7	15	10	13	15	8	10	3	5	3	8
Novem.	6	»	12	»	16	9	9	14	10	4	4	10	5
Décem.	8	»	12	6	1	9	12	11	5	5	2	11	7
	67	84	78	76	126	111	151	92	83	66	34	59	69

Le nombre de jours de neige a donc été en treize années de 1,030 qui se sont distribués de la manière suivante, quant à l'épaisseur de la neige tombée dans un jour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Epaisseur de neige en millimètres.	Nombre de jours.
650 à 500	6
500 à 400	7
400 à 300	36
300 à 250	33
250 à 200	63
200 à 150	101
150 à 100	152
100 à 50	227
50 à 0	402
Total des jours. . . .	1,030 jours.

La neige tombe donc, en moyenne, pendant 79 jours par hiver. Sur ce nombre, il en est quatre dixièmes pendant lesquels l'épaisseur de la neige tombée par jour n'excède pas 50 millimètres, et près des neuf dixièmes dans lesquels cette hauteur n'excède pas vingt centimètres.

Ce résultat a une grande importance et est complétement rassurant.

Il convient de rappeler ici la disposition que nous avons proposée pour préserver la circulation contre l'encombrement de la neige; elle consistait dans l'usage des charrues-déversoir, poussées par des machines locomotives, et ayant pour effet d'enlever la neige et de la déverser d'un côté de la voie. L'usage de ces charrues, dont les parties en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contact avec la neige sont constamment maintenues à une haute température par la circulation de la vapeur d'eau dans la double enveloppe métallique qui les constitue, a pleinement réussi, parce qu'en empêchant la neige d'adhérer à la charrue, celle-ci n'impose qu'un travail relativement faible à la machine qui la pousse, quelle que soit l'épaisseur de la neige tombée.

Ce travail est exactement celui du soc de la charrue, qui enlève et retourne la terre en la déversant, avec cette différence que le soc a 3 mètres de largeur au lieu de 25 à 30 centimètres, et que la hauteur moyenne de déversement est de 2^m à 2^m 50, au lieu de 25 à 30 centimètres. En supposant que la hauteur de la neige soit de 40 centimètres, son poids par mètre superficiel sera de 34 kilog., et par mètre courant de 102 k. à élever à 2^m. 50 soit l'équivalent de 3 à 4 chevaux vapeur. Cet effort serait à peine sensible pour la machine.

Il y a loin de ce faible et facile travail aux difficultés que l'absence de tout outillage impose aujourd'hui sur nos réseaux, lorsque les trains sont surpris par la neige.

La neige tombe toute la nuit et le jour ; dans l'intervalle des trains, on ne fait pas circuler des charrues pour dégager la voie. Cet instrument n'est même pas connu, car on ne peut appeler de ce nom le soc triangulaire qu'on a essayé de promener quelquefois devant les machines. Les trains s'engagent donc et marchent jusqu'à ce que la machine s'encombre de neige et que son avant forme ainsi une espèce de tampon, poussant devant lui la neige qui y adhère et s'accumule ; la résistance devient alors insurmontable : le foyer est bientôt refroidi par la neige qui entre dans le cendrier ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui est aspirée par le tirage, et le feu s'éteint. Une seconde, une troisième machine viennent pousser le train par l'arrière, mais on s'aperçoit que ces efforts sont vains, et on se décide à ouvrir la tranchée dans la neige à force de monde. Quelquefois le train est ramené dans la gare la plus voisine, et les machines attelées par trois, par quatre même, sont envoyées pour faire le passage. Dans de certaines circonstances, particulièrement quand le temps est doux et la neige peu disposée à adhérer, cela réussit, surtout quand la marche de ce train n'est pas suspendue. Mais si l'encombrement se produit par l'accumulation de la neige devant la première machine et qu'on se détermine à faire fonctionner cette énorme masse à coups de bélier, comme l'ont fait et le font encore quelques mécaniciens, on ne sait à quelles avaries on s'expose, et d'ailleurs cela réussit rarement.

Le meilleur moyen, le seul dont le succès soit rapide et sûr, sera de ne pas laisser le temps à la neige de s'accumuler. Dans les jours de neige les machines à charrue devront circuler de deux heures en deux heures : plus fréquemment même au besoin. Dans les hautes régions où le vent entasse la neige sur certains points, elles seront, quand le temps l'exigera, en permanence sur la ligne. Les trains chargés de dégager la voie se composeront 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 volante d'ouvriers. Ce wagon servira de refuge aux ouvriers; ils y trouveront un abri confortable et sûr.

La neige déversée par les charrues de chaque côté de la voie sera enlevée par les ouvriers. Il importe de se rendre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compte de ce travail. En admettant que la neige tombée, ou accumulée par le vent dans les huit mois d'hiver, s'élève à 20 mètres de hauteur sur la plate-forme du chemin de fer, ayant 10 mètres de largeur, le travail d'enlèvement de cette masse, pendant les 240 jours d'hiver, n'est pas égal à la moitié du travail journalier d'un ouvrier par kilomètre.

La part de travail exécutée par les ouvriers pour l'enlèvement des neiges sera, néanmoins, beaucoup plus considérable que ces calculs ne le feraient supposer, parce que cette opération est essentiellement variable. Les jours de neige n'ont pas excédé 79 par année depuis treize ans. C'est dans ce court espace de temps qu'il faut que la neige soit enlevée : Or dans ce cas l'éventualité que nous avons prévue obligerait à l'enlèvement, dans les jours de neige, d'un poids de 22,500 kilog. par kilomètre ; c'est une expression encore si faible de travail mécanique que, si on n'envisageait pas les circonstances spéciales à un pareil travail, à peine faudrait-il lui faire une part dans l'entretien du chemin. Mais bien que, sur une grande partie de la longueur de la ligne, la neige déversée en dehors des rails par les charrues puisse être simplement repoussée par un jet de pelle sur les flancs inférieurs du versant, il en est néanmoins la moitié qui, dans ces conditions, devra subir deux opérations ; c'est celle qui sera appuyée au versant. La tranchées, les galeries elles-mêmes, quelque faible que soit leur étendue, ajouteront nécessairement à ce travail, parce qu'il faudra transporter la neige qui en proviendra.

En portant le nombre des cantonniers constamment occupés, pendant l'hiver, à l'entretien de la voie, à trois ou à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quatre par kilomètre, et en doublant ce nombre à cause de la faible durée qu'il faut donner aux relais d'ouvriers dans un climat si froid, nous aurons fait une large part aux difficultés que la neige peut apporter à la circulation des trains.

Il y a lieu de faire ressortir la très-grande différence entre ce qui se fait aujourd'hui dans la montagne et ce qu'on doit attendre des nouveaux éléments de travail que le chemin de fer apportera. Aujourd'hui c'est sur $1^{m}.50$ à $3^{m}.00$ de largeur que s'ouvre le passage pour les traineaux. Ce passage a quelquefois plusieurs mètres de profondeur; on conçoit combien, par des vents très-variables, un passage aussi exigu doit être facilement encombré : combien ensuite le travail doit être lent et pénible dans de telles conditions. En tenant, au contraire, la plate-forme entière du chemin de fer complétement découverte de neige, on évitera tous les accidents qui résultent des dispositions actuelles que leurs formes exposent à être modifiées en quelques minutes par l'effet combiné du vent et de la neige. C'est peut-être là l'explication de la plupart des interruptions du passage.

Les observations météorologiques qui précèdent ont un caractère de généralité qui en permet l'appplication à tous les passages des Alpes sans exception; mais il est aussi des circonstances spéciales à chacun qui ont un vif intérêt. Nous extrayons de celles qui ont été recueillies par M. Jaquemin, sur le Simplon, d'après nos indications, les données suivantes.

« *Nature de la neige.* — Pendant les mois de décembre, janvier et février, la neige tombe en paillettes, poussière fine et pénétrante.

« Celle qui tombe pendant les mois de novembre, mars et avril est humide et en gros flocons. Suivant la température,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

elle peut tomber en poussière sur la hauteur et plus bas en gros flocons humides.

« *Jours de neige.* — En octobre, vers la fin du mois, pendant. . . . . 3 jours

« En novembre, les jours les plus neigeux sont les premiers jours, vers les 12, 13 et 14 et sur la fin du mois. On peut généralement admettre qu'il neige. . . . . 10 id.

« En décembre, il neige ordinairement vers le 6, le 20 et sur la fin du mois, soit pendant. . . . . 11 id.

« En janvier, il neige ordinairement vers le 6, le 17 et sur la fin du mois, soit pendant. . . 9 id.

« En février, la neige tombe généralement 6 à 7 id.

« En mars, l'hiver est ordinairement calme, et s'il neige la circulation est rarement interrompue.

« En avril, la température est très-variable ; la pluie et la neige se succèdent souvent, sans cependant interrompre le passage du Simplon : sauf vers la fin du mois, époque à la quelle un retour de neige est assez fréquent, retour qui a presque toujours pour conséquence l'interruption du passage du Simplon, pendant 2 ou 3 jours.

« En mai, la neige tombe encore, au commencement, pendant 1 à 2 jours.

« *Durée de la neige.* — Depuis le commencement de novembre jusque vers fin de février :

« 1° Sur la partie comprise entre l'entrée de la forêt dite Riederwald (au-dessus de Brigue) et le pont du Gauther.

« 2° Entre Iselle et le village du Simplon.

« Sur la fin de mars, elle se retire jusqu'à la galerie de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Caploch (sur le versant du Valais), et jusque près de l'ancien hospice (sur le versant de l'Italie.)

« Pendant les 10 premiers jours de mai, la chaussée se débarrasse de neige entre le Caploch et l'ancien hospice.

« A partir de ce moment toutes les voitures traversent le Simplon sur roues, et les traineaux (ou glisses) disparaissent totalement.

« *Hauteur de neige* (tombée sans interruption). — Versant du Valais.

« Entre la forêt de Riederwald et le pont du Gauther la neige atteint une épaisseur de un pied (de roi) ($0^m.33$.)

« Entre le pont du Gauther et la galerie de Caploch, elle atteint 2 à 3 pieds d'épaisseur. ($0^m.66$ à 1^m.)

« Entre le Caploch et le nouvel Hospice du Simplon, elle atteint 4 pieds ($1^m.38$).

« Versant d'Italie.

« Entre Iselle et le village du Simplon il tombe jusqu'à 1 pied de neige ($0^m.33$),

« Entre le village du Simplon et l'ancien hospice, il tombe ordinairement de 2 à 3 pieds ($0^m.66$ à 1^m) de neige.

« Entre l'ancien et le nouvel hospice il tombe 4 pieds ($1^m.30$) de neige.»

Ces indications donnent des résultats bien supérieurs à ceux que fournissent les observations météorologiques sur la hauteur de neige tombée sans accumulation. Mais cela tient à ce que la hauteur est ici rapportée à la neige tombée sans interruption *pendant plusieurs jours*, tandis que les observations météorologiques sont faites *par jour*.

« *Ouverture de la route après une tombée de neige.* — Lorsque la route est interrompue, après une tombée de neige,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on se sert, pour la rétablir, d'un nombre d'ouvriers et de chevaux plus ou moins grand, suivant la quantité de neige tombée, et la distance sur laquelle elle doit être retroussée.

« Les ouvriers sont disposés en 2 ou 3 brigades. Ils ouvrent la route sur une largeur d'environ 6 à 7 pieds (2m à 2m.30). Les ouvriers de la première brigade font la trace de la route, en enlevant une légère couche de neige ; les ouvriers de la 2e brigade, enlèvent une couche plus forte ; des chevaux *à vide* suivent ces deux premières brigades ; une 3e brigade d'ouvriers suit ces chevaux qui n'ont d'autre but que de piétiner la neige ; les ouvriers de cette 3me brigade nivellent la route et font disparaître les enfoncements résultant du piétinement des chevaux ; ils préparent ainsi la route à d'autres chevaux, qui suivent, attelés à des traineaux plus ou moins chargés ; la route est ainsi ouverte sur une largeur de 6 à 7 pieds. (2m à 2m.30).

« On emploie à ces corvées 40, 60, 80 et 100 hommes, et 2, 6, 10 et 20 chevaux.

« La route ainsi rétablie est entretenue par les cantonniers, auxquels on donne pour aides des ouvriers appelés *schneeweger*, enleveurs ou retrousseurs de neige.

« On distribue ordinairement 2, 3, 6 hommes par refuge.

« Pendant l'hiver on continue, au Simplon, à suivre la route dans toute sa longueur, tandis que sur le Saint-Gothard la route d'hiver descend en quelques endroits dans le thalweg de la vallée.

« *Frais d'entretien pendant l'hiver.* — Les travaux d'entretien de la route coûtent ordinairement de 8 à 11 mille francs pour l'enlèvement des neiges pendant chaque hiver.

« Pendant les hivers de 1856, 1857 et 1858, on n'a pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même dépensé pour l'entretien six mille francs par hiver.

« Il est vrai que le gouvernement du Valais ne peut faire que la dépense strictement nécessaire pour maintenir le passage. »

Les observations météorologiques sur les passages des Alpes démontrent que les phénomènes atmosphériques s'y produisent dans des conditions déterminées, en des points connus, et que les obstacles que la vue des lieux tendrait à faire croire insurmontables sont simplement des difficultés que l'on peut attaquer de front, par des moyens aussi précis qu'elles le sont elles-mêmes. L'aspect seul des mouvements que le sol a subis impressionne si vivement, qu'il semble que les autres forces de la nature doivent être là à l'unisson avec celle qui a fait surgir ces montagnes, qui les a déchirées en les transformant en pics, escarpements et vallées profondes, et qui semble avoir eu pour but d'en rendre l'accès et le séjour impossibles à l'homme. Celui-ci s'est cependant joué de ces difficultés et il a tracé à travers des obstacles, plus grands en apparence qu'en réalité, le sentier d'abord, puis le chemin de mulets, et puis d'excellentes routes. De même, en ce qui concerne le climat, l'étude ramène l'esprit à un sentiment plus vrai, en donnant aux phénomènes leur mesure réelle ; elle en simplifie si heureusement les lois que nous oserons exprimer, sans crainte d'être contredit par les météorologistes, l'opinion qu'au point de vue des applications de l'industrie il y aura infiniment moins d'idées et de science accumulées dans l'exploitation des passages des Alpes, à ciel ouvert, par un chemin de fer, qu'il n'y en a dans le passage régulier d'un bateau à vapeur entre Douvres et Calais. Si la découverte des chemins de fer avait l'âge de celle des bateaux à vapeur, les trains

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

franchiraient aujourd'hui les Alpes avec la même régularité qu'ils traversent les plaines du continent.

Ces réflexions nous ont été inspirées surtout par les études relatives aux avalanches. Cet ordre de phénomènes nous avait paru constituer le principal obstacle à la traversée, à ciel ouvert, des passes des Alpes par un chemin de fer, mais l'observation locale et l'étude ont beaucoup modifié nos premières impressions.

Les avalanches ont, comme les cours d'eau, leur hydrographie, et leur chute affecte une certaine continuité. La neige commence à glisser sur certains plans inclinés des montagnes pour ainsi dire du jour où elle commence à tomber sur la terre. Son adhérence au sol et à elle-même variant dans les limites les plus étendues, et sa densité étant également variable, son talus naturel ne peut jamais être le même; il en résulte que les variations de température font glisser la neige tout autant qu'elles la retiennent sur les pentes qu'elle recouvre.

Si la température s'élève, et que le brouillard apporte de l'humidité, ou bien si le soleil se montre par un temps calme, l'eau, devenue libre par la fonte de la surface de la neige, pénètre dans les parties inférieures et transforme la neige en *névé*. Elle augmente ainsi sa pesanteur spécifique et l'inclinaison du talus naturel change immédiatement; mais ce n'est pas une cause certaine pour que le glissement ait lieu, parce que le vent, le froid de la nuit, viennent durcir la surface de la neige humide et lui ôtent sa mobilité. Au contraire, quand le froid est vif et que la neige tombe grenue, son adhérence à elle-même est si faible qu'elle ne résiste pas au moindre vent, et qu'elle glisse sur des pentes ou en tout

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autre circonstance elle adhérera toujours pour ne disparaître que sous l'influence du retour de l'été.

En général, la neige reste adhérente aux flancs des montagnes. Elle s'y accumule sous des angles d'une inclinaison considérable et s'y maintient à des épaisseurs très-grandes. Exceptionnellement, la neige glisse comme l'eau coule, mais plus difficilement : il faut, pour cela, des angles d'inclinaison très-rapprochés de la verticale ; l'opinion des observateurs est que le glissement ne prend son origine que sur des plans dont l'inclinaison dépasse 50 à 55 degrés. Ces plans inclinés sont connus ; ils se révèlent d'ailleurs incessamment par le glissement continu des avalanches, lorsque la température fait varier la densité de la neige et par suite l'angle d'inclinaison sur lequel elle peut rester en repos. Il résulte de là qu'il est très-facile de reconnaître les points où les avalanches se produisent, de prévoir leur intensité d'après l'état de la température, et de réduire ainsi à des circonstances exceptionnelles les limites de l'imprévu.

Le régime des avalanches régulières, et celui des avalanches qui ne se produisent qu'à de grands intervalles ou à partir de l'époque où commence la fonte des neiges, est, dans chacune des passes des Alpes, bien connu des habitants de la montagne. Rien n'est plus propre à donner une idée approximative de l'ordre de faits dont il s'agit qu'un extrait des rapports qui contiennent leurs observations et qui nous sont adressés.

« *Observations sur les avalanches. Route du Simplon entre les* 3ᵉ *et* 5ᵉ *refuges.* — Ces observations indiquent le jour où les avalanches ont été observées : le lieu où elles se sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

produites : l'épaisseur de la neige qu'elles ont répandue sur la route : leur surface en largeur, et les variations que leurs dimensions ont subies.

DATE de l'observation	LOCALITÉ	Epaisseur de la neige sur la route	Larg. de la surf. couverte sur la route par l'avalanche	VARIATIONS
		Mètres	Mètres	
22 décemb. 1859	Platbrunnen	2.55	16.00	Le 2 mars 1860, sa hauteur est de 2m.70, et sa largeur 20m.
Id.	Strahlgraben	1.10	10.00	A 1m.40 de haut. le 2 mars 1860.
28 Id.	Mittenbachgraben	2.00	20.00	A 3m.40 et 30m.00 le 2 mars 1860.
	Meggeri	2.00	20.00	A 2m.70 et 28m.00 le 2 mars 1860.
	Shalberg	3.00	16.00	A 6m.00 et 58m.00 le 2 mars 1860.
1er janv. 1860	Stoukygraben	1.40	7.00	
Id.	Pont de Gauther	1.20	12.00	
Id.	Kounigraben	3.00	34.00	A 3m.20 et 43m00 le 2 mars 1860.
2 mars	Wute Kumnée	1.50	8.00	
Id.	Strabloch	1.55	7.00	
28 février	Plat brunnen	2.40	11.00	De toutes les ravines de petites avalanches ou de petits éboulem. de neige de 2m. à 2m.20 de hauteur.
2 mars	Murh graben	2.40		
Id.	Mill en Bach			

« Les points qui sont signalés dans l'hydrographie des avalanches sur la route du Simplon comme étant ceux où elles se produisent régulièrement sont :

« Au dévaloir, au fond de la rampe de Gondo.

« — en amont de Gondo, dit Fahrenvasser.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« A Casernette. Cette avalanche suit le couloir en face du petit refuge, placé à l'entrée (amont) de la galerie de Gondo.

« En amont de Casernette, aux deux couloirs; l'une des avalanches passant par l'un de ces couloirs, est nommée l'avalanche criarde, à cause du grand bruit qu'elle fait en tombant au troisième dévaloir, en amont de Casernette, soit un peu à l'aval du pont Alto.

« Au pont Alto (premier pont en aval de celui d'Algabi).

« Au revers du glacier des eaux froides.

« A l'ancienne galerie et au dévaloir de la belle cascade de Schalbeth.

« En aval du refuge nº 5.

« En aval de Caploch, dans les deux couloirs en aval;

« Au grand ravin de Gauther.

« Les avalanches dont le glissement est moins fréquent descendent :

« A la galerie d'Algabi;

« Aux 4 dévaloirs entre le contour d'Algabi et le village du Simplon;

« Vers Camasca;

« Vers la pierre milliaire, en aval du refuge nº 7;

« En amont de Bérisal;

« A Krombach. »

Les avalanches interrompent quelquefois le passage. Mais les interruptions sont, quelquefois aussi, causées par les tourmentes; il faut donc, avant d'entrer dans plus de détails sur les interruptions de la circulation, tenir compte de ces phénomènes atmosphériques, dont nous avons omis de parler dans notre premier écrit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les tourmentes sont aussi redoutables, pour tout ce qui est susceptible de céder à leur violence, qu'elles sont inoffensives pour les ouvrages que l'homme à faits dans l'intention de s'en préserver. On voit sur certains points des passages des Alpes, les arbres mutilés par une cause qu'on ne saisit pas immédiatement. On s'enquiert près des guides, qui répondent uniformément que ces mutilations doivent être attribuées aux passants, charretiers, conducteurs, paysans, etc. Mais cette explication est si insuffisante que vous insistez, et vous ne tardez pas à apprendre que ces fortes branches arrachées, ces troncs brisés, cet aspect de désolation de la végétation, c'est aux tourmentes qu'il faut les attribuer; la tourmente est le fléau le plus redouté du pays, parce qu'il surprend, qu'il impressionne vivement, qu'il terrifie quelquefois : parce qu'enfin la lutte n'est pas possible; il faut atteindre le refuge; mais, le refuge atteint, le fléau devient impuissant.

On trouve, dans tous les traités scientifiques, que dans les ouragans qui ont laissé la trace d'une violence extrême, la pression exercée sur un mètre carré de surface n'a pas dépassé 280 kilog.; mais la difficulté de l'observation ne permet qu'une confiance limitée dans ces résultats. L'exemple récent et unique d'une partie de deux trains jetée, au même moment, sous l'influence du même ouragan, en dehors des rails, peut fournir des éléments d'appréciation. La surface latérale des wagons qui ont été renversés est connue, leur poids l'est également. Nous avons, en conséquence, étudié avec attention ces deux accidents, et nous exposons, plus loin, les conséquences auxquelles nous avons été conduits dans l'appréciation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des dangers auxquels une tourmente peut exposer un train.

Mais, à part cette appréciation plus ou moins hypothétique, est-on fondé à supposer que l'intensité du vent soit aussi forte dans les montagnes qu'elle l'a été, le 28 février, dans la plaine de Narbonne? N'y a-t-il pas, dans les brusques sinuosités des gorges, et dans le nombre des obstacles qu'oppose incessamment la configuration du terrain à la marche du vent, une cause d'atténuation de sa vitesse? On doit le supposer. La plaine de Narbonne est le seul passage ouvert aux vents d'ouest entre les Pyrénées et les Cévennes; des marques ineffaçables de l'intensité du fléau s'y montrent à chaque pas ; sur les points les plus exposés le sol est dénudé de terre meuble jusqu'à la roche, et celle-ci n'est pas même couverte de mousse. Il y a pas de végétation forestière dans cette passe; au contraire, il n'est pas de régions dans les Alpes, jusqu'à la hauteur où la température s'y oppose, où la végétation forestière ne montre des arbres très-âgés. Si dans la plaine de Narbonne la neige se joignait à la tourmente, la circulation, déjà bien difficile par les fortes brises, deviendrait impossible dans les passes que suit le vent; elle y serait plus fréquemment interrompue que dans les Alpes.

Malheureusement la comparaison de l'intensité relative des tourmentes dans la plaine et dans la montagne ne peut-être que spéculative; elle ne peut conduire absolument à la conclusion que le fléau est moins à redouter dans les hautes régions que dans la plaine. Restons donc dans le domaine des faits.

La violence du vent dans la tourmente ne nous a paru nulle part mieux décrite que dans la narration suivante de M. de Saussure :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« J'avais fait construire sur le col du Géant, à 3,600 m. au-dessus du niveau de la mer, une cabane en blocs de pierre; elle avait 2 mètres de côté, soit 4 mètres superficiels. Sa hauteur était à peine celle d'un homme debout ; les blocs dont elle était construite étaient si mal joints que la neige y avait pénétré et l'avait à moitié remplie : elle était, pour le moment, inhabitable. Les guides, qui prévoyaient un changement de temps, s'appliquèrent surtout à assujétir nos tentes, opération difficile sur cette arête, plus étroite que nos tentes mêmes, inégale et composée de grandes masses incohérentes. Nous y passâmes la nuit; la journée du lendemain fut en partie consacrée à la consolidation et aux arrangements intérieurs de la cabane.

« Nous nous trouvâmes bien heureux d'avoir pris ces précautions; car dès la nuit suivante, celle du 4 au 5 juillet, nous fûmes assaillis par le plus terrible orage dont j'aie jamais été témoin. Il s'éleva à une heure après minuit un vent du sud-ouest d'une telle violence que je croyais à chaque instant qu'il allait emporter la cabane de pierre dans laquelle mon fils et moi nous étions couchés. Ce vent avait ceci de singulier, c'est qu'il était périodiquement interrompu par des intervalles du calme le plus parfait. Dans ces intervalles nous l'entendions souffler au-dessous de nous dans le fond de l'*allée blanche*, tandis que la tranquillité la plus absolue régnait autour de notre cabane. Mais ces calmes étaient suivis de rafales d'une violence inexprimable ; c'étaient des coups redoublés qui ressemblaient à des décharges d'artillerie : nous sentions la montagne même s'ébranler sous nos matelas; le vent se faisait jour par les joints des pierres de la cabane; il souleva même une fois mes draps et mes couver-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tures, et me glaça de la tête aux pieds; il se calma un peu à l'aube du jour, mais il se releva bientôt et revint, accompagné de neige, qui entrait de toutes parts dans notre cabane. Nous nous refugiâmes alors dans l'une des tentes, où l'on était mieux à l'abri. Nous trouvâmes les guides obligés de soutenir continuellement les mâts, de peur que la violence du vent ne les renversât, et ne les balayât avec la tente.

« Vers les sept heures du matin, il se joignit à l'orage de la grêle et des tonnerres, qui se succédaient sans interruption; l'un d'eux tomba si près de nous, que nous entendîmes distinctement une étincelle qui en faisait partie, glisser en pétillant sur la toile mouillée de la tente, précisément derrière la place qu'occupait mon fils. L'air était tellement rempli d'électricité, que dès que je laissais sortir hors de la tente la pointe du conducteur de mon électromètre, les boules divergeaient autant que les fils pouvaient le permettre; et presqu'à chaque explosion du tonnerre, l'électricité positive devenait négative ou réciproquement.

« Pour qu'on se fasse une idée du vent, je dirai que deux fois nos guides, voulant aller chercher des vivres qui étaient dans l'autre tente, choisirent pour cela un des intervalles où le temps paraissait se calmer; qu'à moitié chemin, quoiqu'il n'y eût que 16 à 17 pas de distance d'une tente à l'autre, ils furent assaillis par un coup de vent tel, que pour ne pas être emportés dans le précipice, ils furent obligés de se cramponner à un rocher qui se trouvait heureusement à moitié chemin, et qu'ils restèrent là deux ou trois minutes, avec leurs habits que le vent retroussait par-dessus leurs têtes, et le corps criblé des coups de la grêle, avant que d'oser se remettre en marche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Vers le midi le temps s'éclaircit, et nous fûmes très-satisfaits de voir *qu'avec nos abris tout chétifs qu'ils étaient, nous pouvions résister aux éléments conjurés;* et, bien persuadés *qu'il était impossible d'essuyer un plus mauvais temps, nous nous trouvâmes rassurés contre la crainte des orages qu'on nous avait peints comme très-dangereux sur ces hauteurs.* Nous continuâmes donc avec ardeur les dispositions nécessaires pour nos observations. »

Plus loin M. de Saussure ajoute en traitant des nuages et des orages, les lignes suivantes :

« J'eus occasion de répéter, pendant notre séjour sur le col du Géant, l'observation que nous avons faite, mon fils et moi, pendant le terrible orage que nous essuyâmes dans la nuit du 4 au 5 juillet; c'est que sur ces hautes montagnes les bouffées de vent les plus violentes alternent avec des intervalles du calme le plus parfait. Or ce n'est pas seulement par des sensations souvent trompeuses que nous jugions de ce calme; nous le voyions par les toiles et les cordages de nos tentes; dans le moment où le vent les tendait avec la plus grande force, tout à coup on les voyait dans l'air tout à plat, sans la plus légère tension et sans le moindre mouvement, et l'instant d'après le vent se ranimait comme si c'eût été par un coup de tonnerre.

« On éprouve bien dans les plaines des inégalités considérables et des alternatives dans la force du vent, et surtout dans celle des vents orageux; mais dans un moment où leur intensité diminue, elle conserve toujours la moitié ou au moins le tiers de sa force, comme je l'ai souvent observé à l'aide de mon nouvel anémomètre : au lieu que sur les hautes montagnes elle est absolument nulle dans les intervalles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Voici, je crois, la raison de cette différence. Si l'on observe une girouette bien suspendue, on verra, surtout pendant l'orage, qu'elle ne conserve pas la même direction; et qu'au contraire, d'un moment à l'autre, sa direction change de 30 à 40 degrés, ce qui prouve des variations considérables dans la direction du vent. Il suit de là que, si l'on occupe un poste dominé par les hauteurs, comme par la cîme du Géant, où par quelques cîmes plus élevées, il doit nécessairement arriver que le vent, en changeant de direction, souffle par intervalles dans celle de quelqu'une des cimes qui tiennent ce poste à l'abri; alors le calme y règne; mais ensuite, lorsque cette direction change, on est exposé à toute la violence du vent direct, et même il *s'y joint souvent des vents réfléchis, qui produisent des tourbillons ou des coups d'une extrême violence.* Dans les plaines, au contraire, les changements de direction de vent et les intervalles de ses ondulations produisent bien quelques relâches, mais jamais de calme parfait. De même, et par les mêmes causes, on éprouve dans les villes, sur des édifices élevés, à Genève, par exemple, au pied des tours de l'église St-Pierre, des alternatives de coups de vent, de calme et de tourbillons, que l'on ne ressent jamais en rase campagne. »

Cette description, dont la sincérité n'est pas douteuse, laisse dans l'esprit une impression favorable ; la grandeur de la description ne répond pas à la faiblesse des effets.

De simples tentes ont résisté sur la montagne, tandis que, sur le plateau de Sébastopol, elles ont été balayées par un ouragan dont la violence n'a pas été exceptionnelle comme celui que décrit M. de Saussure.

Quant aux vents réfléchis, c'est leur direction et non leur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

violence qui offre des dangers. Ce serait une erreur de supposer que des vitesses inégales de courants parallèles peuvent s'accumuler. M. de Saussure n'a pas voulu dire cela. Dans le cas, au contraire, du mélange des vents réfléchis avec le vent direct, la vitesse, loin d'être augmentée, sera réduite d'une quantité équivalente à la différence de vitesse initiale du vent réfléchi et du vent direct, à moins qu'ils n'obéissent, tous deux, à un autre appel provenant de l'abaissement de la pression atmosphérique dans leur nouvelle direction.

Or, de ce que les vents réfléchis ne peuvent avoir qu'une vitesse moindre que celle des vents directs par cela même qu'ils sont réfléchis, il résulte qu'ils ne sont à craindre que comme direction. Ce sont, en effet, les tourbillonnements produits par les vents réfléchis qui exercent sur certains points exposés aux remous des effets destructeurs; ils briseront des branches sans renverser des arbres; ils auront une violence circonscrite, locale et subite, mais ils n'exerceront pas des pressions aussi fortes que ceux de la plaine. Si donc ils dominent dans la montagne, c'est une condition de sécurité plutôt que d'accroissement de danger.

Il y a une analogie frappante entre les tourmentes de neige dans les Alpes et ce que les marins appellent en mer un grain. Soit que les grandes et subites variations de température accroissent les effets de raréfaction de l'air ou plutôt la différence de pression atmosphérique qui donne naissance aux vents, toujours est-il que, dans les Alpes, la saison des tourmentes est aussi celle de la tombée des neiges. Les tourmentes causées par un orage n'ont qu'une durée très-limitée, tandis que les tourmentes de neige peuvent durer un, deux ou trois jours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Dans le Simplon, les passages habituels des tourmentes sont :

« Le long du village de Simplon ;
« Aux abords du refuge n° 7 ;
« Id. de l'ancien hospice ;
« Id. du nouvel hospice ;
« Id. du passage dit du Glacier des eaux froides.
« A Schalbeth ;
« Aux abords du refuge n° 5 ;
« A Caploch ;
« A Lygen ;
« Au contour de Bérisal.

« L'effet des tourmentes de neige est d'entasser la neige sur certains points et d'encombrer la route en quelques instants. Elles arrêtent quelquefois la circulation et font plus de victimes que les avalanches, parce qu'elles surprennent le voyageur sur sa route.

« Les interceptions du passage pendant l'hiver, causées par la neige, les avalanches et les tourmentes au col du Simplon, ont été, de 1845 à 1859, de 107 jours, soit en moyenne de 7 à 8 jours par hiver, ainsi qu'il résulte du relevé suivant des interruptions du passage, pendant quinze années, au col du Simplon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Relevé des interruptions du passage, pendant quinze années, au col du Simplon.

ANNEES	MOIS	Jours d'interruption	Nombre de jours de l'interruption par année	ANNEES	MOIS	Jours d'interruption	Nombre de jours de l'interruption par année
1845	Janvier	10		1852	Février	4	
	Février	4			Décembre	3	7
	Mars	3					
	Décembre	3	20	1853	Mai		1
				1854	Novembre	5	
					Décembre	6	11
1846	Pas d'interruption		4	1855	Janvier	5	
1847	Février		7		Février	6	11
1848	Mars						
1849	Janvier	7		1856	Mars	1	
	Mars	3			Avril	3	4
	Avril	4	14				
				1857	Mars		1
				1858	Mai	2	
1850	Janvier	2			Décembre	1	3
	Février	3	5				
				1859	Février	2	
1851	Février	6			Mars	1	
	Mars	3			Avril	2	
	Décembre	3	12		Décembre	2	7
Total des jours d'interrupt. pendant ces 15 dernières années,			107				

Les données suivantes ont été recueillies par M. Koller; elles s'appliquent au passage du Saint-Gothard; elles donnent, pour les années 1847 à 1859, les jours de neige, les jours de grandes tourmentes, la date du commencement et de la fin de l'hiver, celle de l'ouverture de la route pour les voitures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Années	Jours de neige	Jours de grandes tourmentes	Commencement de l'hiver	Fin de l'hiver	Ouverture de la route pour voiture
1847	57	21	13 octobre	4 mai	25 mai
1848	59	17	13 »	17 »	
1849	52	15	15 »	14 »	27 mai
1850	62	26	11 »	24 »	
1851	57	19	21 »	16 »	13 juin
1852	39	15	29 septembre	13 »	
1853	62	27	12 novembre	1er Juin	
1854	63	42	12 octobre	31 mai	
1855	54	27	15 »	16 »	21 juin
1856	55	18	6 »	26 »	3 »
1857	41	14	13 novembre	24 avril	32 mai
1858	45	26	25 »	25 mai	24 avril
1859	56	21	13 octobre	15 »	22 mai 28 mai

« Ces indications proviennent de la direction du Saint-Gothard. Les observations ne sont pas faites avec la même précision qu'au Saint-Bernard. La hauteur de la neige est seulement indiquée pour quelques cas extraordinaires, d'après lesquels il paraîtrait qu'il en tombe parfois davantage que sur le Saint-Bernard. On dit par exemple, que le 22 mars 1851 la hauteur de la neige tombée dans la nuit a été de 6 pieds 2/3. Le 12 avril 1857 la hauteur fut de 6 pieds. Le 25 décembre 1859, la hauteur fut de 4 pieds. Il n'est pas très-rare que les hauteurs de neige tombées dans tout l'hiver atteignent celle des poteaux télégraphiques. Cette hauteur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est de 6 mètres. Les lacs du col ne dégèlent ordinairement qu'au mois d'août ou à la fin de juillet. La disparition de la neige a lieu une ou deux semaines auparavant.

« Les dépenses d'enlèvement de la neige sont très-variables, parce qu'il faut quelquefois ouvrir la route à plusieurs reprises, la neige recommençant à tomber, dans certaines années, aux mois de mai et de juin. D'après les renseignements fournis par M. le conseiller fédéral du département des péages, ces dépenses seraient, pour les neuf dernières années, en moyenne, de 31,900 francs ; au maximum de fr. 50,000 ; au minimum de 23,000 fr., par an, pour la section de Wasen jusqu'à Airolo.

« L'ouverture de la route du St-Gothard a toujours lieu en même temps que sur les autres passages. »

Nous terminerons l'exposé des faits climatériques qui intéressent la traversée des Alpes par un chemin de fer, en résumant les données que nous avons recueillies sur la température dans les parties élevées de la montagne, à différentes époques de l'année et de la journée; ainsi que sur la clarté du ciel et les jours de calme parfait dans la montagne, depuis 1847 jusqu'à à 1859.

La température minimum absolue à midi, moyenne à midi, et maximum, à l'hospice de St-Gothard, est indiquée dans le tableau suivant. Ce tableau indique également la température pendant l'année 1855, et par mois, sur le St-Bernard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES	TEMPÉRATURE			1855 SAINT-BERNARD	TEMPÉRATURE		
	Minimum absolu à midi	Moyenne à midi	Maximum		Moyenne	Minimum absolu	Maximum absolu
	Degrés centigrades	Degrés centigrades	Degrés centigrades		Degrés centigrades	Degrés centigrades	Degrés centigrades
1847	— 12,5	— 5	+ 25	janv.	— 10°51	— 13°57	
1848	— 13	— 6	+ 21	fév.	— 7.85	— 11.14	
1849	— 17	— 5 1/2	+ 22	mars	— 8.32	— 11.45	
1850	— 15	— 4 1/2	+ 20	avril	— 4.06	— 7.24	
1851	— 14	— 5	+ 20	mai	— 2.00	— 5.29	
1852	— 11 1/2	— 4 1/2	»	juin	+ 2.80	+ 0.07	
1853	— 15 1/2	— 6 1/2	»	juill.	+ 5.51	+ 2.27	
1354	— 15	— 7	»	août	+ 7.07	+ 3 34	
1855	— 14	— 5	+ 25 1/2	sept.	+ 3.87	+ 0.74	
1856	— 12 1/2	— 5	+ 28	oct.	+ 0.69	— 1.96	+ 2°99
1857	— 8 1/2	— 3	»	nov.	— 6.02	— 9.03	— 2.82
1858	— 16 1/6	— 6	»	déc.	— 11.34	— 15.07	— 2°99
1859	— 18	— 6	»				
		Les moyennes nous paraissent trop fortes.					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Etat de la température, au St-Bernard, en 1858.

SAISONS	Température moyenne	Minimum moyen	Maximum moyen
	Degrés centigrades	Degrés centigrades	Degrés centigrades
Hiver	— 8.50	— 12.38	— 4.47
Printemps	— 9.41	— 8.03	+ 1.93
Eté	+ 4.24	+ 0.71	+ 9.46
Automne	— 0.91	—	+ 2.43
Année	— 1.97	—	+ 2.38

L'état suivant indique les différences de température entre les deux stations de Genève et du Grand St-Bernard. La différence de hauteur des deux stations est de 2.070^{m} 34.

(Le signe + doit précéder tous les chiffres suivants.)

Décembre 1857	Janvier 1858	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Moyenne
5.10	8.57	10.59	11.47	12,26	12.46	12.66	12.80	12.01	11.36	10.78	9.95	10.38

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Etat indiquant la clarté du ciel sur le Saint-Bernard.

Les chiffres expriment, par fractions décimales, le nombre de fois que sur cent observations faites chaque jour à la même heure, le ciel a été trouvé pur dans plus de la moitié de l'espace visible à l'observateur.

ANNÉES	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
1849	0.54	0.26	0.46	0.75	0.74	0.53	0.44	0.46	0.71	0.57	0.47	0.57
1850	0.55	0.42	0.57	0.33	0.78	0.72	0.63	0.54	0.68	0.55	0.62	0.54
1851	0.43	0.51	0.66	0.75	0.78	0.47	0.67	0.56	0.68	0.57	0.76	0.13
1852	0.51	0.54	0.32	0.58	0.73	0.75	0.57	0.67	0.66	0.61	0.63	0.43
1853	0.62	0.69	0.68	0.81	0.85	0.67	0.70	0.47	0.59	0.62	0.55	0.46
1854	0.43	0.48	0.30	0.56	0.83	0.73	0.64	0.51	0.27	0.64	0.64	0.67
1855	0.37	0.73	0.73	0.61	0.78	0.65	0.64	0.53	0.73	0.72	0.67	0.42
1856	0.77	0.47	0.50	0.80	0.78	0.63	0.62	0.56	0.71	0.48	0.53	0.50
1857	0.49	0.40	0.58	0.74	0.76	0.68	0.57	0.65	0.63	0.73	0.38	0.20
1858	0.32	0.56	0.54	0.69	0.68	0.19	0.68	0.60	0.57	0.62	0.48	0.46
1859	0.23	0.52	0.53	0.68	0.76	0.73	0.41	0.55	0.51	0.61	0.48	0.56
Moyennes	0.478	0.507	0.533	0.663	0.769	0.613	0.597	0.554	0.620	0.610	0.564	0.449

Il est constaté, par ces observations, que pendant l'année entière, le ciel a été trouvé pur dans plus de la moitié de l'espace visible à l'observateur 59 fois sur 100 observations; c'est plus de la moitié du nombre des observations faites.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Etat indiquant le calme parfait de l'atmosphère sur le Saint-Bernard.

Les fractions décimales indiquent le nombre de fois que, sur cent observations, l'atmosphère a été trouvé calme.

ANNÉES	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
1849	0.00	0.73	0.42	0.16	0.50	0.32	0.27	0.20	0.33	0.38	0.38	0.29
1850	0.30	0.37	0.27	0.27	0.20	0.33	0.17	0.20	0.40	0.00	0.51	0.65
1851	0.48	0.29	0.19	0.32	0.14	0.35	0.34	0.25	0.09	0.22	0.10	0.36
1852	0.11	0.04	0.20	0.10	0.38	0.11	0.34	0.15	0.24	0.55	0.30	0.29
1853	0.11	0.03	0.10	0.06	0.00	0.13	0.46	0.08	0.09	0.15	0.12	0.07
1854	0.02	0.01	0.06	0.03	0.09	0.01	0.06	0.05	0.16	0.24	0.07	0.12
1855	0.01	0.08	0.07	0.04	0.04	0.27	0.14	0.13	0.09	0.05	0.00	0.07
1856	0.13	0.18	0.10	0.10	0.08	0.22	0.21	0.14	0.06	0.37	0.12	0.17
1857	0.06	0.10	0.13	0.21	0.12	0.14	0.10	0.08	0.03	0.06	0.13	0.18
1858	.05	0.04	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.04	0.11	0.18	0.07	0.05
1859	0.05	0.01	0.00	0.03	0.09	0.04	0.16	0.09	0.05	0.13	0.10	0.04
Moyennes	0.12	0.17	0.14	0.12	0.15	0.17	0.20	0.12	0.15	0.21	0.17	0.20

Etat indiquant la clarté du ciel sur le St-Bernard, pendant l'année 1858.

	Décembre 1857	Janvier 1858	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Jours clairs	22	20	7	9	3	5	8	3	5	4	9	11	49	17	16	24	106
Jours nuageux	5	5	8	11	11	8	17	11	14	14	6	12	19	30	40	32	121
Jours couverts	6	6	13	11	16	18	7	17	12	13	16	7	22	47	36	35	138
Clarté moyenne	0.20	0.32	0.56	0.54	0.69	0.68	0.49	0.68	0.60	0.57	0.62	0.48	0.35	0.64	0·59	0.56	0.54

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il nous reste à conclure sur la nature des obstacles que les faits météorologiques observés peuvent apporter à l'exploitation, à ciel ouvert, d'un chemin de fer dans les passages des Alpes.

S'il n'existait pas entre Saint-Pétersbourg et Moscou un chemin de fer exploité avec régularité, à une latitude où l'hiver a la même durée que dans les Alpes; où la neige couvre incessamment la terre pendant sept mois; où elle tombe, suivant la température, à l'état de poussière fine, de grésil ou de flocons, comme dans les Alpes, bien des craintes seraient permises.

On supposerait que la neige en poussière fine peut modifier, annuler peut-être, l'adhérence : pénétrer avec l'air dans les foyers et les éteindre : encombrer incessamment et subitement la voie. Aucun de ces inconvénients ne se produit cependant (1).

Le seul qui motive des dépenses d'argent et une organisation prête à tout moment, c'est l'encombrement que la neige peut produire. Néanmoins, la dépense d'enlèvement de la neige en Russie est, dit-on, bien inférieure à celle que l'on pourrait induire de la comparaison avec celle qui incombe

(1) Rien ne prouve mieux la régularité habituelle du service en hiver que les lignes suivantes.

On écrit de Saint-Pétersbourg, le 15 mars :

« Le mois de février a été d'une rigueur extraordinaire dans toute la Russie. Dans le Jaroslaw, qui est à peu près sous la même latitude que Riga, on a eu jusqu'à 25 degrés de froid, et dans les derniers jours, il y a eu de telles tempêtes de neige que le service du chemin de fer d'ici à Moscou a été interrompu sur plusieurs points et que les voyageurs ont dû rester dans les villages attenant aux stations où l'administration leur a fourni des vivres. »

(Gazette d'Augsbourg.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux compagnies de chemins de fer dans nos climats, et dans les hivers où il ne tombe sur la terre qu'une faible quantité moyenne de neige.

La traversée des Alpes constituera, en ce qui concerne les régions où la neige est permanente pendant l'hiver, un trajet de 40 à 60 kilomètres, tandis que le chemin de Saint-Pétersbourg à Moscou a une longueur de 650 kilomètres. L'organisation des moyens de correspondance télégraphique, que les fils soient en plein air ou enterrés, sera infiniment plus facile et moins dispendieuse dans les passages des Alpes que sur les chemins du nord de l'Europe, à cause de la faible distance sur laquelle cette organisation s'étendra.

Les ouvriers seront distribués par équipes permanentes. Leurs maisons d'habitation et de refuge seront espacées, de deux kilomètres. La voie sera, pendant la tombée de la neige, incessamment parcourue par les machines qui pousseront leur charrue devant elles. Elles seront accompagnées par une équipe volante d'ouvriers. Si le vent ou la tourmente entassait la neige sur un point et que l'aide d'autres ouvriers dût être réclamée, à l'instant même toutes les équipes d'un versant pourront être averties. Il suffira pour cela d'appliquer l'ingénieux système que M. Régnault avait établi sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles, à l'époque où la construction et la puissance des machines laissaient à désirer encore, et où les causes de retard ou d'arrêt dans la marche des trains étaient aussi nombreuses qu'elles sont rares aujourd'hui. Le fil télégraphique passait, à chaque poteau kilométrique, par un disque, sur lequel le numéro du poteau était indiqué par des contacts métalliques espacés. Il suffisait donc de tourner le disque pour faire connaître au dépôt

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des machines, et sur toutes les stations de la ligne où étaient des récepteurs, quel était le point kilométrique où le train était arrêté.

Le rassemblement des ouvriers sur la ligne présentera donc des facilités exceptionnelles par le rapprochement des maisons de refuge et par le parcours incessant des machines nettoyant la voie.

Quant au froid, l'exploitation des chemins russes répond suffisamment à tous les pressentiments.

Mais si, en ce qui concerne la neige et le froid, il est déjà des dispositions appliquées avec succès et depuis plusieurs années, sur une grande échelle, en Angleterre, en Russie, en Ecosse et au Canada : pour les avalanches, il n'y a d'analogue dans aucun chemin de fer ; et, quant aux tourmentes, un exemple récent signale un fait sans précédent dans l'histoire de l'exploitation des chemins de fer.

Les avalanches ne sont pas, nous l'avons dit, aussi redoutables que nous l'avions présumé, parce qu'elles sont soumises à des lois précises. Leur hydrographie est connue. On peut recevoir sur les rails celles qui sont régulières, de faible importance et toujours inoffensives. Il faudra détourner les autres au-dessus de la voie, comme cela se pratique déjà ; mais il faudra le faire sur une plus grande échelle.

La place et la direction des avalanches sont si connues que l'on ne peut douter de l'efficacité des moyens que l'art emploiera pour en préserver la voie ; il ne reste pas dans notre esprit le moindre doute à cet égard. Plus nous avons poursuivi notre étude dans les détails et plus ce résultat s'est montré clair pour nous.

Quant aux effets des tourmentes, il convient de les ap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précier d'après l'exemple exceptionnel de plus grande puissance qu'il ait encore été donné d'observer.

A la même heure, deux trains, l'un de marchandises, composé de 14 wagons, l'autre de voyageurs, composé de 6 voitures et wagons, en marche tous deux à une faible vitesse, ont eu, chacun, cinq véhicules renversés par le vent. Ces véhicules étaient vides ou très-peu chargés. Les machines et les wagons chargés sont restés sur les rails.

La vitesse et la pression du vent dans les grands ouragans sont peu susceptibles d'être mesurées très-exactement. Les expériences ne manquent cependant pas. Elles permettent d'estimer à 278 kilog. par mètre carré la pression du vent qui déracine les arbres et renverse les édifices.

Fresnel estimait, dans un mémoire sur la construction des phares, à 275 kilogrammes par mètre carré le maximum de l'intensité du vent. C'est l'autorité la plus considérable sur cette question.

Nous avons prié M. Mathieu, ingénieur au chemin de fer du Midi, d'établir, d'après les dimensions et le poids à vide et en charge des wagons du Midi, l'effort statique ou le moment de renversement de ces wagons ramené à la pression que le vent doit exercer par mètre carré pour ébranler le wagon et tendre à le faire tourner autour de l'un des rails.

Il en a dressé le tableau suivant, dont les résultats ne s'appliquent qu'au cas où le déraillement ne précéderait pas le renversement ; circonstance que nous ignorons encore dans l'accident du 27 février et sur laquelle nous nous réservons de revenir dans l'Appendice. (Voir le § 6 de l'Appendice).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pression que le vent devrait exercer par mètre carré pour renverser les voitures et wagons du Midi.

DÉSIGNATION DES VÉHICULES	Poids du véhicule	Chargement	Bras de levier autour du rail	Moment de rotation	Surface d'action du vent	Bras de levier	Pression du vent par mètre carré
	kil.	kil.	m.		m.	m.	kil.
Wagon à marchandises (avec guérite)	5.500	«	0.750	4.125	16.25	2.130	119.200
Id.	«	6.000	«	8.625	«	«	259.200
Id.	«	10.000	«	15.500	«	«	447.900
Voiture de 3e classe (avec guérite)	7.000	«	0.750	5.250	16.500	1.980	160.500
Id. 20 voyageurs (id.)	«	1.400	«	6.300	«	«	192.600
Id. 50 voyageurs (id.)	«	3.500	«	7.875	«	«	240.800

Ces résultats sont rassurants en ce qu'ils expliquent l'extrême rareté d'accidents semblables. Un ouragan d'une violence exceptionnelle dans une contrée tourmentée habituellement par ce fléau ; le vent soufflant dans une direction perpendiculaire à l'une des faces du train ; la rupture des attelages ; la réunion d'un certain nombre de wagons vides à la suite les uns des autres ; toutes circonstances qui peuvent se reproduire fortuitement sans doute, mais qui régulièrement se produiront autrement ; ce ne sont pas là les caractères que doivent avoir des accidents pour motiver d'autres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précautions que celles dont l'utilité se présente sous l'influence du moment du danger. L'art n'a point à chercher de solution ou à fixer de règles là où le remède le plus simple est, en face du danger, de lester les wagons. Cette précaution sera, dans tous les cas, inutile pour le matériel destiné à traverser les Alpes, parce que sa pesanteur spécifique dépassera nécessairement celle du matériel ordinaire et que son centre de gravité sera plus bas à cause de la position des appareils locomoteurs.

De l'ensemble des faits et des observations météorologiques qui sont exposés ici, peut-être concluera-t-on qu'à très-peu de jours près les conditions d'exploitation seront les mêmes dans la montagne que dans la plaine, en ce qui concerne les effets de la neige sur l'adhérence; ceux du froid sur les frottements des organes des machines, ceux du vent sur la marche des trains; qu'en conséquence, à part les dispositions spéciales pour obtenir des générateurs la puissance motrice nécessaire, il convient de rester dans les conditions d'emploi du matériel actuel consistant à demander, si faire se peut, tout l'effort de traction à la machine sans intéresser les véhicules à cet effort.

Tel n'est pas notre sentiment.

L'étude attentive de la météorologie des Alpes dissipe bien des craintes et des incertitudes. Les esprits les plus nets, et les moins sujets aux écarts de l'imagination ne laissent pas de subir à un certain degré l'influence des descriptions des voyageurs et des poètes, et beaucoup ne voient au Simplon que

> Des rocs escarpés,
> Que l'hiver a blanchis, que la foudre a frappés.
> LAMARTINE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous sommes accoutumés depuis notre enfance à considérer ces lieux, peu étudiés, comme le siége habituel des plus affreuses et des plus redoutables révolutions de l'atmosphère et du sol. Mais en regardant en face tous ces phénomènes, en consultant les hommes qui, vivant au milieu d'eux, les connaissent, les mesurent, et entretiennent avec eux, s'il est permis de parler ainsi, un commerce habituel, on ne tarde pas à trouver les moyens de les combattre et de les détourner.

Nous aussi nous avons senti le charme irrésistible de ces grands désordres, mais nous n'avons pas tardé à nous représenter une locomotive parcourant cette route française au milieu de l'hiver, sans plus de danger que la diligence qui transporte en été les voyageurs émerveillés.

Toutefois en envisageant les ressources que l'art met à notre disposition, nous avons gardé la conviction qu'il faudra recourir à des ressources spéciales, parce que ces ressources ne se trouveraient pas dans les machines, les wagons et les mesures communément en usage, comme on a l'air de le croire. L'étude permet de se rendre compte des difficultés naturelles; l'art donne les moyens de les combattre et de les assujétir, mais il serait puéril de passer de l'extrême crainte au dédain présomptueux, et de nier la difficulté après en avoir été épouvanté.

Nous ne pourrions nous contenter d'une exploitation qui n'aurait pas, pour lutter contre les forces de la nature dans la montagne, des avantages supérieurs à ceux dont l'utilité ne se présente que très-rarement dans l'exploitation des lignes des bas pays. Nous croyons que, dans les régions élevées et sur les rampes de 50 à 60 m/m, l'utilité d'être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en pleine possession du train se présentera plus souvent.

C'est cette supériorité d'avantages, qui s'attache aux dispositions que nous proposons, que nous expliquerons dans le chapitre suivant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ VII

Dans quelles limites convient-il d'employer l'adhérence pour gravir les rampes de 50 à 60 millimètres, dans la traversée des Alpes ?

Cette question est, entre toutes celles qui ont surgi dans l'étude des moyens qu'offre l'art pour faire gravir à des trains portant 80 à 100 tonnes de poids net des rampes de 50 à 60 m/m, la plus ardue, peut-être, en ce sens que c'est celle qui se dérobe le plus à l'analyse et à l'observation.

Il est généralement admis que, pour les machines à deux ou trois essieux couplés, l'effort de traction est calculé au sixième environ du poids porté par les roues motrices. Il est également vrai que cet effort est, de beaucoup, inférieur à celui que ces machines peuvent exercer momentanément.

Il est aussi vrai, mais moins connu, que l'insuffisance de la surface de chauffe ne permet pas de maintenir cet effort d'une manière permanente : qu'en d'autres termes, l'effort permanent des machines, celui qu'elles peuvent maintenir pendant le temps qu'exige le renouvellement complet, dans le foyer, du combustible et celui de l'eau du générateur, est inférieur à l'adhérence calculée au sixième du poids de la machine.

Ce dernier fait donne un caractère d'évidence incontestable à la proposition suivante : qu'aucun ingénieur n'hésiterait,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aujourd'hui, à donner à l'effort de traction d'une machine locomotive à trois essieux moteurs une puissance permanente égale au sixième du poids dont les roues motrices chargent les rails.

Cette expression de l'adhérence pratique, qui n'est autre chose, il faut bien le dire, qu'une moyenne consacrée par l'observation entre des termes extrêmes supérieur et inférieur très-différents doit être la limite extrême dans tous les agencements mécaniques ayant pour but d'employer l'adhérence.

L'adhérence au sixième représente 166 kil. sur mille du poids porté sur les rails; de sorte que, si l'adhérence au sixième était absolue et que l'effort de traction sur niveau ne fût que de 4 k. 25 par tonne, une machine monterait une rampe de 162 millimètres, pourvu qu'elle produisît assez de vapeur pour utiliser cette adhérence.

L'inclinaison réduit l'adhérence. En effet, l'adhérence ou *le frottement avec altération des surfaces en contact*, comme nous l'avons définie précédemment, dépend de la pression normale.

Quand le rail est horizontal, l'adhérence est une fraction du poids; quand le rail est incliné, l'adhérence est une fraction de la composante normale du poids (1).

L'adhérence est, sur différentes rampes, dans les rapports suivants avec le poids remorqué, en supposant toujours l'effort de traction sur niveau à 4 k. 25 par tonne :

(1) Si on adopte des rampes de 6 centimètres et si une machine pèse 60 tonnes, sur un rail horizontal la pression normale sera de 60,000 kilog.; le rail ayant une inclinaison de six centimètres par mètre, l'angle de cette inclinaison est de 3° 26. La pression normale est 60,000 cos. 3° 26; c'est-à-dire, 59,891 k.

Si l'adhérence était comptée au 10e, elle serait, dans le premier cas, 6,000 k.: dans le deuxième cas, 5,989 kilog.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Etat indiquant l'inclinaison des rampes, l'effort de traction qu'elles nécessitent et le rapport de cet effort avec le poids remorqué.

Inclinaison des rampes	Efforts de traction correspondant par tonne	L'effort étant 1, le poids remorqué sera :
Millimètres	Kilogrammes	
5	9.25	108
10	14.25	70
20	24.25	41
30	34.25	29
40	44.25	22.6
50	54.25	18.4
60	64.25	15.6

Ainsi l'effort de traction est, sur rampes de 5 m/m, la 108e partie du poids remorqué, il devient la quinzième partie sur rampes de 60 m/m.

Si, dans la traversée des Alpes, nous partons, pour certaines causes spéciales que nous avons indiquées, d'un effort de traction de 8 kil. au lieu de 4 k. 25, l'effort de traction représentera, sur les rampes de 50 millimètres, les 58/1000 du poids, et sur les rampes de 60 m/m, les 68/1000.

Dans le premier cas, un effort de traction de 1,000 kil. remorquera un poids de 18,400 kil. ; dans le second, le poids remorqué par 1,000 kilog. d'effort de traction sera de 15,600 kil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La conséquence de ces chiffres est que, si l'on veut employer sur une rampe de 60 m/m l'adhérence au quinzième, et que toutes les roues d'un train portent un poids égal sur la voie, il faudra que toutes les roues soient motrices ; c'est-à-dire que la puissance mécanique leur soit transmise, soit par des bielles, soit directement par la vapeur. Si la moitié seulement du nombre des roues également chargées sont rendues motrices, l'adhérence sera employée au neuvième du poids remorqué, sur les rampes de 50 m/m., et au septième de ce poids sur les rampes de 60 m/m.

Supposons, maintenant que, pour traverser les Alpes, l'on se décide à ne pas faire plus de part aux influences météorologiques qu'on n'en fait sur les chemins du nord de la Russie et qu'on emploie des machines dont l'effort de traction correspondra au sixième du poids du moteur, le générateur que nous avons décrit dans le chapitre précédent, étant susceptible de produire un effort de traction de 12,500 kil. et pesant 62 tonnes, pourra utiliser par lui-même 10,333 kilog de cet effort; il demandera les 1,667 kil. qui restent au premier véhicule qui suivra la machine ; ce véhicule sera un wagon de bagages et ces deux appareils remorqueront un train qui pourra peser 216 tonnes de poids brut, machine, véhicules et chargement compris, ce qui correspondra à 100 tonnes de poids payant. Le résultat économique sera obtenu.

Il semble, au premier coup d'œil, que ce soit une disposition analogue qu'emploie, depuis longues années, M. Verpilleux sur le chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon en utilisant le poids du tender à l'adhérence pour remonter les rampes de 14 millimètres. Le tender est muni de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindres qui reçoivent la vapeur du générateur de la machine et transmettent sa puissance aux roues qui deviennent, ainsi, motrices comme celles de la machine.

Mais, en réalité, le principe diffère essentiellement.

Les machines de M. Verpilleux ne pourraient maintenir à leur vitesse normale qu'un effort très-inférieur à leur adhérence, de sorte que celle du tender n'offre qu'un concours momentané, tandis que, dans l'autre système, l'adhérence de la machine ne peut suffire à transmettre la puissance motrice que celle-ci a produite régulièrement.

Pour employer toute l'adhérence dont un véhicule est susceptible, il faut que la force motrice soit transmise à toutes les roues qui le supportent ; lorsque les roues sont fixes sur les essieux et liées les unes aux autres par des bielles d'accouplement, celles-ci agissent sur des manivelles montées à angle droit : les roues reçoivent ainsi l'impulsion parce que les bielles subissent des effets alternatifs de pression et de traction qui déterminent successivement le mouvement rotatif : car si, lorsque une manivelle est au point mort, sa bielle ne tend plus à faire tourner la roue, l'autre manivelle étant à 90°, soit à mi-course, sa bielle agit, au contraire, avec un effort maximum, pour imprimer à la roue le mouvement rotatif.

Mais si les deux roues ne sont pas fixées sur le même essieu, ou si les roues montées sur le même essieu sont indépendantes, une seule bielle suffira-t-elle à déterminer le mouvement rotatif? Cela est possible (1) parce que, la première

(1) Nous serions autorisés à conclure que nos craintes n'ont pas de fondement, parce que M. Arnoux, loin de faire entrer cette disposition dans l'énumération des causes qui ont conduit à modifier ses machines en fixant les roues sur les essieux, exprime, au contraire, le regret qu'elle ait été supprimée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

impulsion étant donnée par celle des roues motrices dont la manivelle aura dépassé le point mort, le mouvement rotatif sera imprimé; mais, supposons l'application du frein sur une roue couplée ainsi conduite par une seule manivelle, et alors l'effort auquel la bielle est soumise au passage du point mort prend une intensité à laquelle elle pourra ne pas résister.

Il faudra donc, si l'on veut conserver aux roues du train toute l'adhérence dont elles sont susceptibles, en venir à la fixité des roues sur les essieux comme on l'a fait pour les machines de récente construction du chemin de fer de Sceaux et se résigner, en conséquence, à vaincre, dans les courbes, la part de frottement afférente au glissement des roues sur les rails.

Nous reconnaissons volontiers que cela n'offre pas de conséquences graves : on est habitué à ne pas se préoccuper des frottements de la nature de ceux que provoquent les courbes dans de pareilles circonstances; on s'en préoccupera moins encore si, par l'application des bielles convergentes aux trucks eux-mêmes, on place les essieux de ceux-ci dans une direction normale aux courbes.

C'est moins pour éviter ces frottements que pour se garantir contre l'insuffisance d'adhérence résultant des influences climatériques que nous ne voulons demander à l'adhérence que la part exactement nécessaire pour imprimer le mouvement à chaque véhicule. Or, l'impossibilité d'accoupler des roues indépendantes conduirait à renoncer en partie aux ressources qu'offre, sur les courbes de 50 à 60 m/m, l'adhérence au dix-huitième et au quinzième du poids remorqué, ou à renoncer partiellement à l'indépendance des roues si l'expérience devait la condamner.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après ces dispositions, le générateur pesant 62 tonnes exigeant sur les rampes de 50 m/m. un effort de traction de 3,596 kil. et de 4,216 sur celles de 60 m/m, il suffira que, de ses douze roues, huit soient fixées deux à deux sur le même essieu et rendues motrices, dont quatre directement et quatre par l'accouplement. L'effort de 450 à 525 kilog. qu'elles auront chacune à transmettre ne constituera que le neuvième ou le onzième du poids dont elles seront chargées. Il y aura là encore une garantie d'adhérence. Quant aux véhicules, des huit roues qui doivent les supporter si quatre seulement sont rendues motrices, l'effort de traction qu'ils nécessiteront avec plein chargement variant entre 2,100 et 2,500 kil., chaque roue motrice ne contribuera à l'adhérence que pour le huitième du poids dont elle sera chargée. La puissance leur sera donnée directement, c'est-à-dire sans accouplement, et toutes les roues des véhicules resteront indépendantes.

Si au contraire on ne recule pas devant l'emploi du système américain dans sa forme absolue, c'est-à-dire en laissant les roues fixes sur les essieux, et si on les accouple l'adhérence demandée aux douze roues du générateur sera du quinzième au dix-huitième du poids porté par les rails. Il en sera de même pour les véhicules.

Il n'est pas inutile de faire remarquer qu'en transmettant la force motrice à toutes les roues du véhicule l'usage de cette force est, à la fois, d'imprimer la vitesse dans la montée, et de la diminuer dans la descente.

Ce sont ces avantages qui nous ont conduit à considérer la distribution de la puissance motrice à chaque véhicule, comme la disposition la plus efficace d'une exploi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tation exempte de toutes chances d'irrégularité. Deux conditions essentielles étaient à remplir : *l'excès d'adhérence comme garantie de la marche ascendante des rampes, et la libre disposition des forces retardatrices nécessaires pour rester en pleine possession du train à la descente des rampes.*

La première de ces conditions est assurée par l'application de la vapeur à toutes les roues des véhicules et de la machine : la seconde sera obtenue dans la descente des rampes, parce qu'en renversant le mouvement de la distribution on aura, à tous les instants, le moyen de régulariser la vitesse du train, et aussi parce qu'à l'aide de l'application de la vapeur à la manœuvre des freins on pourra, à volonté, faire cesser le mouvement en joignant leur puissance à celle du renversement de la distribution de vapeur. Ces conditions sont assez précieuses pour que nous les ayons considérées comme assurant la supériorité du système que nous proposons, et nous persistons à croire qu'il faut demander à l'art de la construction du matériel des chemins de fer des dispositions mécaniques propres à les réaliser. Nous avons la confiance qu'on y parviendra par la combinaison d'agencements pratiques; nous décrirons, dans le chapitre 12, ceux auxquels l'étude nous a conduit.

Nous avons donné, dans l'appendice, quelques développements aux questions d'adhérence; nous y renvoyons le lecteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ VIII.

Etude du passage des Alpes par le Simplon.

Nous avons, dans une publication récente, attiré l'attention sur l'utilité d'une solution nouvelle et prompte des difficultés qui, si elles ne sont pas insurmontables, reportent au moins à une époque très-éloignée le moment où les Alpes seront franchies par un chemin de fer.

Les discussions entre amis et confrères, qui ont suivi cette publication, ont affermi notre conviction sur l'efficacité des moyens que nous avons proposés, et nous ont inspiré la détermination d'en poursuivre la réalisation dans la mesure des forces que peut donner une conviction bien arrêtée.

C'est sous cette impression que nous avons accueilli la proposition que M. A. Barrault nous a faite d'étudier l'application au passage du Simplon des dispositions que nous avait inspirées l'étude du passage du Saint-Gothard, et que nous avons sommairement décrites dans le premier mémoire que nous avons lu à la Société des Ingénieurs Civils.

M. A. Barrault nous apportait, avec son concours, celui de M. Gustave Delahante et celui de M. Hunnebelle. Ce dernier, entrepreneur général des travaux de la ligne d'Italie, mettait en outre, pendant la morte saison des travaux, son personnel à notre disposition.

Le but de ces messieurs était qu'une étude approfondie du passage du Simplon, d'un tracé de chemin de fer d'après

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'application de nos idées et des détails de l'établissement du matériel propre à l'exploitation, donnât au projet toute la consistance dont il pouvait être susceptible, soit comme préparation aux essais, soit comme application définitive.

Nous sommes pleinement entré dans ces vues, et nous y répondons par la publication des développements actuels à notre premier mémoire,

Nous avons également reçu de M. le comte Charles de Bourmont, administrateur de la compagnie de la ligne d'Italie, l'offre du concours de l'Ingénieur de cette compagnie, et nous avons des remercîments à lui adresser, bien que ses intentions n'aient pas été réalisées.

La géographie politique, en ce qui concerne le passage des Alpes suisses, a cette année notablement changé.

Entre la France et la Lombardie elle impliquait la traversée de territoires étrangers, par Genève, sur 247 kilom.

Cette distance va être réduite à 172 kilomètres.

De la frontière de France, par Bâle, à Iselle, frontière d'Italie, la distance par chemin de fer sera de 397 hilom.

Par Jougne, elle sera de de 244 kilomètres.

Par Saint-Gingolphe, elle sera de 172 kilomètres.

L'intérêt qui s'attache à ces chiffres est facile à saisir. Les passages suisses ne peuvent être considérés qu'au point de vue d'une politique pacifique. La neutralité qui protége le territoire suisse ne laisse pas de place à des considérations d'un autre ordre.

Ces intérêts sont, d'ailleurs, assez précieux par eux-mêmes, assez féconds pour les entreprises industrielles, pour qu'il soit inutile d'en envisager d'autres. Nous restons donc sur leur terrain.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous laissons également de côté les passages par les vallées du Rhin qui n'intéressent pas la France.

Nous ne comparerons que les passages par les vallées de la Reuss et du Rhône, par le Saint-Gothard et le Simplon, parce que tous deux intéressent notre réseau de chemins de fer; tous deux ont accès au cœur de l'Italie; tous deux sont un complément obligé pour les lignes suisses dont ils accroîtront sensiblement le revenu.

Expliquons d'abord qu'au point de vue de la politique de la paix, la neutralité suisse présente un avantage incontestable pour la France, c'est celui d'interposer entre elle et l'Italie un pays dont le tarif de douane est de tous le plus réduit, et avec lequel la guerre n'est pas possible; de telle sorte que, pour l'Italie, les produits Français deviennent Suisses; pour la France, les produits Italiens deviennent également Suisses. Les droits de douane étant considérés comme droits de consommation, le transit ne les subit pas et la guerre ne changerait rien à ce régime. La Suisse a, sous ce rapport, compris la neutralité de la manière la plus favorable aux nations qui l'entourent. Qu'elle ait été conduite à ce système économique par son intérêt, cela est possible, mais ce n'en est que meilleur pour nous, puisque c'est une garantie de plus du maintien de relations qui prendront un développement d'autant plus assuré qu'elles seront plus à l'abri de toute commotion politique.

Il y a moins d'un an, le Simplon était déshérité. La Sardaigne considérait ce passage, pendant la paix, comme indifférent, si non comme nuisible à ses intérêts. Il détournait de son territoire le mouvement commercial en le dirigeant sur Milan. En cas de guerre, il ne lui eût pas apporté les secours

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'il devait attendre de la France son alliée naturelle. Le gouvernement sarde n'avait, en conséquence, donné aucun aide aux chemins d'accès de Genève à Saint-Gingolph et d'Iselle à Arona, chemins tracés, tous deux, sur des territoires peu producteurs. De l'extrémité du lac à Brigg, les ressources locales paraissaient insuffisantes, surtout pour deux lignes établies parallèlement sur une fraction importante du parcours. La Suisse, de son côté, moins intéressée à ce passage qu'à celui du Saint-Gothard, ne lui donnait, ni sur les ressources fédérales, ni sur celles des cantons traversés, aucun encouragement efficace.

La situation était difficile, on peut dire, même, mauvaise.

Une seule ressource restait; c'est que, dans l'esprit de tous ceux qui ont examiné le passage du Simplon et qui l'ont comparé avec les autres, soit que les faits généraux les eussent guidés, soit que la connaissance des conditions à remplir les eût éclairés, toujours est-il qu'une conviction profonde et unanime existait en faveur du passage du Simplon, au point de vue de ses conditions naturelles.

Que l'exploitation du passage dût être faite, sur la route actuelle, par un service de relais fortement organisé, ou que le col dût être accédé par un chemin de fer à rampes de 35 m/m. et franchi par un souterrain, les deux solutions étaient plus faciles et moins dispendieuses dans l'opinion des partisans du Simplon que des solutions semblables appliquées aux passages du Mont-Cenis et du Saint-Gothard.

Cette appréciation était juste; nul doute n'est admissible sur ce point : une lueur d'espoir était donc permise, car, dans la comparaison des passages des Alpes suisses par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chemin de fer, la part des facilités apportées par la nature pèse sans contre-poids.

Cependant, sous la triple influence du défaut de ressources financières, de l'insuffisance certaine des produits et de l'indifférence absolue des gouvernements, la ruine des capitaux engagés était à peu près certaine lorsque l'état politique a changé. Examinons cette situation nouvelle.

Aujourd'hui les sympathies du gouvernement français sont acquises au prolongement du chemin de fer de Lyon à Genève, sur Saint-Gingolph, à travers le Chablais. Celles de l'Italie sont acquises au prolongement du chemin de fer d'Arona à Iselle. Les deux nations ont un égal intérêt à résoudre, d'une manière favorable, les difficultés du passage du Simplon.

Comment ces dispositions se réaliseront-elles?

De graves embarras appellent le concours de ces gouvernements. L'exploitation de deux lignes au nord et au sud du lac, poursuivant leur parallélisme sur une très-grande longueur dans la vallée du Rhône, vouées d'avance à une rivalité pernicieuse; plus loin, jusqu'à Brigg, la vallée se rétrécissant encore et sa population s'affaiblissant au point que la route elle-même est à peine utilisée; de Domo d'Ossola à Arona un peu plus de vie, d'activité, d'espace en culture, il est vrai, mais bien moins encore qu'il n'en faudrait pour encourager l'emploi des capitaux à la construction d'un chemin de fer; enfin la dépense de la traversée du Simplon elle-même, et l'absence à peu près certaine de tout concours financier de la Confédération Suisse pour la solution qui en résoudra les difficultés.

Il est vrai que, sur deux points essentiels, la situation se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montre meilleure. Il ne reste plus, pour accéder au pied du col du Simplon, qu'à exécuter le chemin de fer de Sion à Brigg. C'est une distance de 52 kilomètres et une dépense d'environ douze millions.

D'Arona à Domo d'Ossola, les 56 kilomètres de chemin à exécuter ne demanderont qu'une somme égale; et là, il y a espoir de recueillir dans la localité même une partie des capitaux nécessaires. Une compagnie puissante, celle de l'Ouest-Suisse, a un intérêt commun avec sa rivale des bords du lac à l'achèvement de la ligne du Simplon. La Confédération Suisse a un grand intérêt à voir cette compagnie coopérer à l'établissement complet d'une grande ligne de transit, la plus directe de toutes, de Paris à Milan par Dijon, Dôle, Pontarlier, Jougne, Lausanne, Brigg et Arona. Cette ligne constitue, entre Jougne et Iselle, un parcours de 244 kilomètres sur le territoire suisse. Cette ligne est aussi, entre toutes, la plus avancée et la moins dispendieuse.

Ce rapprochement entre les difficultés et les avantages laisse la balance penchée du côté de ceux-ci, et, le changement de la situation politique aidant, il semble que l'opportunité se produit en faveur du passage du Simplon.

Nous présentons le résumé de nos études sur la solution technique la plus convenable pour franchir ce passage par un chemin de fer.

En remontant le cours du Rhône jusqu'à Martigny on a devant soi la chaîne épaisse et élevée qui, du Mont-Blanc au Mont-Rosa, sépare la vallée du Valais de celle d'Aoste.

La distance entre les deux vallées est de 45 kilomètres en ligne droite. Les accès d'un col, celui du Saint-Bernard, continuent la direction du Rhône.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

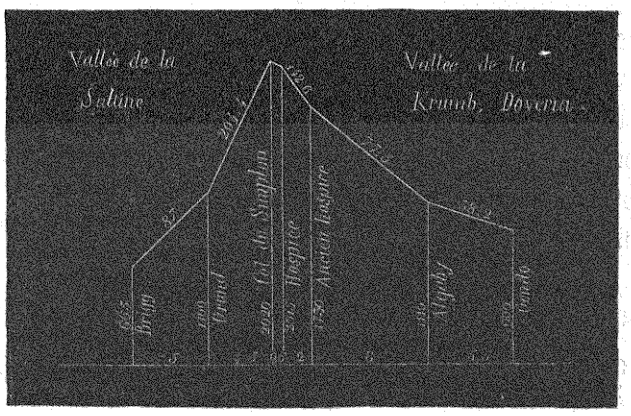
A Martigny le fleuve se détourne et prend une direction parallèle aux faîtes jusque vers le Mont-Rosa.

Cette ligne des faîtes est distante de la vallée du Rhône de 30 à 40 kilomètres environ ; mais à partir du groupe du Mont-Rosa, la ligne des faîtes s'abaisse rapidement et se rapproche de la vallée dans la direction du Simplon, de l'Albrun et du Saint-Gothard, de sorte qu'au Simplon elle n'est plus qu'à 10.5 kilom. de la vallée du Rhône.

La traversée du col, en ce point, entre la vallée du Rhône et celle de la Toccia, n'a plus qu'une longueur, à vol d'oiseau, de 30 kilomètres.

La nature a ainsi préparé, par de larges conditions, l'abaissement des cols et la brièveté des passages dans les régions du Simplon, de l'Albrun et du Saint-Gothard.

Nous remettons sous les yeux du lecteur le profil du thalweg du col du Simplon entre Brigg et Gondo. C'est à Brigg, du côté nord, et à Iselle, près Gondo, sur le versant du midi, que les inclinaisons deviennent inférieures à 35 m/m. et permettent l'établissement d'un chemin de fer dans les conditions ordinaires de rampes et de courbes.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous reproduisons également les profils comparatifs des thalwegs des passages du Bernardin et du Splugen, des deux Lukmanier, du Saint-Gothard et du Simplon, afin de justifier les conclusions suivantes :

Le passage du Simplon part sur le versant du nord du point le plus bas ; son versant est le plus abrupte, et par conséquent il est, de ce côté, le plus court de tous. Sur le versant italien il descend à 235 m. plus bas que le passage du Saint-Gothard, mais c'est ce dernier qui est de beaucoup le plus abrupte et le plus court.

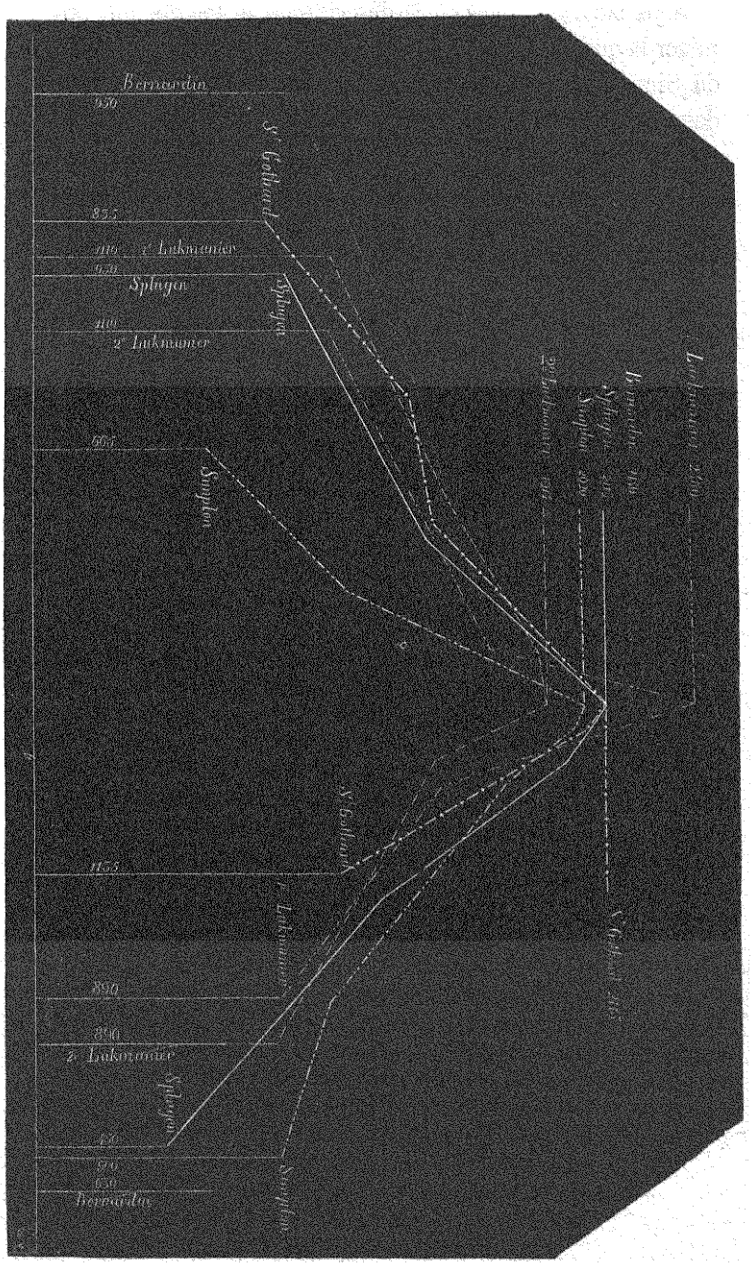
C'est cette disposition exceptionnelle du col du Simplon qui lui donne, sur ceux du Mont-Cenis et du Saint-Gothard, un avantage marqué sur la longueur du percement nécessaire, dans le cas où un chemin de fer serait tracé dans cette direction suivant un profil analogue à celui qui est en voie d'exécution pour franchir le Mont-Cenis.

C'est aussi cette disposition qui a toujours fait considérer le passage du Simplon, en lui-même, comme le plus facile à franchir par une route ordinaire ; mais cet avantage est compensé par des accès plus longs du côté du nord, et c'est pour cela que le Simplon n'a pu disputer au Saint-Gothard le transit du Rhin.

La direction des grandes lignes de chemins de fer qui amènent à la Suisse le trafic de la France et de l'Angleterre a notablement changé cet état de choses, et les avantages naturels semblent devoir reprendre leurs droits.

Sous ce rapport, les profils comparatifs des vallées d'accès des cols des Alpes suisses présentent un vif intérêt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous suivrons, dans notre description, le but qui doit dominer la question, celui de résoudre les difficultés du passage du Simplon à l'aide des moindres inclinaisons de profil et des courbes du plus grand rayon.

Versant du nord.

Le thalweg suit en ligne droite la vallée du torrent de la Saltine, depuis le sommet du col (2,019 m.) jusqu'à Brigg (665 m.) sur le Rhône. La distance, à vol d'oiseau, entre le sommet du col et Brigg est de 10 kilomètres : la hauteur rachetée est 1,344 m. La figure du thalweg se rapproche beaucoup de celle d'une chaînette, c'est-à-dire d'un fil abandonné à l'action de la pesanteur, dont l'une des extrémités serait attachée au sommet du col, et l'autre à Brigg.

Lorsque, du sommet du col, on dirige ses regards du côté du nord on voit Brigg à ses pieds. L'angle formé par le talus est, à l'origine de la vallée, tellement abrupte et la vallée du Rhône se montre si bas et si près, verdoyante, calme et attractive, qu'il semble qu'en un moment de tranquillité de l'atmosphère et à l'aide d'un de ces parachutes à plan incliné variable, auxquels les aérologues prétendent se confier dans la direction des aérostats, on descendrait avec une sécurité complète, et, en un instant, de la hauteur du col dans la vallée du Rhône. Cette impression donne une idée assez vraie de la situation d'esprit dans laquelle met le spectacle grandiose qui se présente à la vue. On retrouve ce même aspect, mais moins accentué, sur la crête du versant du midi, au col du Saint-Gothard, en regardant la vallée du Tessin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La profondeur de la vallée de la Saltine et son extrême inclinaison à l'approche du col favoriseraient infiniment, de ce côté, un tracé qui en franchirait le faîte par un souterrain. Mais le col lui-même est épais, et l'inclinaison du versant du midi est plus douce, de telle sorte que cette solution, bien que plus facile là qu'ailleurs, est encore impraticable au point de vue économique. En effet, pour un abaissement de 250 m. sur les deux versants, le souterrain aurait une longueur de 2,940 m. Pour un abaissement de 500 m., le souterrain aurait une longueur de 7,800 mètres.

Dans la disposition du profil qui aurait pour effet d'abaisser le faîte de 250 mètres par un souterrain, on trouve la cote 1,759 m. du côté nord à 600 m. du refuge n° 6 ; et elle se trouve, du côté du midi, près de l'ancien hospice, à 2,340 m. en ligne droite de ce refuge. Le souterrain aurait ainsi 2,940 mètres de longueur, tandis que la distance à ciel ouvert serait, par une inclinaison de 35 m/m., de 14,300 mètres, et, par une inclinaison de 50 m/m., de 10 kilomètres seulement.

En comptant le mètre courant de souterrain à 2,500 fr., et le mètre courant de travaux d'art et de terrassements à ciel ouvert à 120 fr., ce qui est une évaluation exagérée en cette partie peu accidentée du terrain, on aurait :

Pour le premier cas : chemin en souterrain de 2,940 mètres	7,350,000 fr.
2e cas : chemin à ciel ouvert, de 14,300 m. en rampes et pentes de 35 millimètres 120 fr. le mètre . . . . . à	1,720,000 fr.
3e cas : chemin à ciel ouvert de 10 kilom.	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en rampes et pentes de 50 millimètres
à 120 fr. le mètre . . . . . 1,200,000 fr.

Dans la disposition du profil qui aurait pour but d'abaisser le passage du faîte de 500 m., au moyen d'un souterrain, on trouve la cote 1,509 à 2,250 m. du refuge n° 6, et on retrouve la même cote entre Eggen et le village du Simplon à 5,550 m., en ligne droite de ce refuge. La longueur du souterrain serait donc de 7,800 m. (1), et la comparaison des dépenses du passage du faîte pourrait s'établir de la manière suivante, dans les trois cas d'un passage souterrain ou d'un passage à ciel ouvert par rampes de 35 et de 50 millimètres :

Premier cas : souterrain de 7,800 mètres
à 2,500. fr. . . . . 19,500,000 fr.
7 puits à 300,000 fr. 2,100,000

21,600,000 fr.

2e cas : parcours à ciel ouvert de 28,600 m., rampes et pentes de 35 m/m.

La dépense d'établissement d'un chemin à rampes de 35 m/m. exigeant plusieurs retours sur lui-même serait, approximativement, en travaux d'art, terrassements et galeries couvertes, de 220 francs par mètre courant; soit 28,600 mètres. à 220 fr. . . . . 6,292,000 fr.

3e cas : parcours à ciel ouvert de 20 kilom., rampes et pentes de 50 m/m.

La dépense d'exécution des terrassements, travaux d'art et

(1) La distance entre ces cotes est, par la route, de 10,000 mètres, dans le premier cas, et de 19,500 mètres dans le second. (Voir le profil.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

galeries couvertes sous les passages des avalanches serait, sur cette partie du col, de 150 fr. par mètre courant, soit : pour 20,000 mètres . . . . . 3,000,000 fr.

Nous croyons nos appréciations de dépenses exactes ; nous les discuterons d'ailleurs avec soin dans l'étude du devis présumable des travaux, et, comme nous en donnons les éléments, chacun pourra les modifier et établir la comparaison, suivant ses propres estimations.

D'après les nôtres, à partir de la cote de 1,509 m. au-dessus du niveau de la mer, le tracé à 50 millimètres d'inclinaison donne une économie de 18,600,000 fr. sur le passage en souterrain ; par le tracé à 35 m/m. cette économie se réduit à 15,300,000 fr.

Si les déductions que nous avons tirées des faits météorologiques dans la région supérieure des cols sont admises, et si on reconnaît avec nous que les difficultés du climat ne sont pas un obstacle à la traversée des cols à ciel ouvert par les machines locomotives, le choix entre les trois solutions présentées ci-dessus ne sera pas douteux, ainsi que le prouvera plus loin l'ensemble des données économiques de la question.

Si du Rhône, à Brigg, on trace jusqu'au sixième refuge une ligne suivant la direction et la pente du torrent de la Saltine, les inclinaisons qu'elle présentera varieront entre 95 et 333 millimètres pour mètre ; les pentes les plus fortes se trouvant, comme nous l'avons dit, les plus rapprochées des sources du torrent. C'est, en conséquence, dans ces régions que l'inclinaison à donner au profil du chemin de fer présentera les plus grandes différences avec le thalweg.

Les versants présentent le même caractère, leur inclinaison

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est infiniment plus forte dans les régions supérieures que dans les parties basses de la vallée.

Sur le versant qui borde la vallée du Rhône, l'inclinaison est de 130 millimètres pour mètre. Celui-là permet à la route des retours sur elle-même; elle en permettra au tracé du chemin de fer sans que les courbes aient moins de 150 mètres de rayon.

(Profils en travers 13, 14, 15 et 16.)

Le tracé partant de Gliss traversera donc la Saltine, en se tenant à portée suffisante de Brigg, pour que ce centre de population soit bien desservi et puisse procurer, à son tour, les conditions de confortable qui, en Suisse, accueillent partout le voyageur. Après Brigg, comme la première condition à remplir est de gagner de la hauteur pour éviter la nécessité de retours en lacets qui, sur les versants abruptes des régions supérieures, seraient, si non impossibles, du moins extrêmement dispendieux, le tracé se développera sur le versant du Rhône par une rampe continue jusqu'à ce qu'il arrive à la pointe du contre-fort qui s'approche du point de jonction du Ganther et de la Saltine; il se retournera alors sur le versant opposé au précédent. Mais l'inclinaison de ce versant est de 335 millimètres par mètre; là aucun retour du tracé sur lui-même n'est possible; il faut s'en tenir au développement que peut affecter le tracé en effleurant la surface du sol et en suivant tous ses caprices. Ces exigences ne sont cependant pas telles qu'il faille nécessairement dépasser un rayon de courbure de 100 à 120 mètres. La nature géologique et la configuration du sol n'ont point ici le caractère heurté et accidenté de certaines autres parties de la montagne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le tracé traversera le Ganther aussi haut que possible pour éviter les retours sur le versant opposé au précédent. Non que celui-ci soit plus abrupte, loin de là. Le tracé de la route, qui, à Bérisal, affecte un lacet à deux retours, le prouve assez. Mais il n'y aura point de motif pour que le tracé du chemin de fer imite cette disposition s'il a pu gagner, avant la traversée du Ganther, assez de hauteur pour suivre directement le versant de gauche de ce torrent. Ce versant a une inclinaison de 250 millimètres (voir les profils transversaux 6, 7 et 8) ; il présente certaines parties favorables au développement économique d'une rampe continue, et les ressources qu'il offre à cet égard sont d'autant plus précieuses qu'elles cessent absolument depuis l'extrémité de ce versant, en regardant la Saltine, jusqu'au sommet du col.

De la pointe du contre-fort appelé cap Rothwald au quatrième refuge, le versant de la Saltine présente, en effet, une inclinaison de 660 millimètres pour mètre. Le tracé ne peut que suivre, pour se développer, les contours de la configuration du versant, se prêtant à ses rentrants, à ses saillants, comme le fait la route. Ce versant, bien qu'il ressemble plutôt à la paroi d'une faille qu'à une ondulation du soulèvement ou à une gorge d'érosion, n'est pas tellement abrupte, que l'établissement de la plate-forme du chemin y présente plus de difficulté que n'en a présenté celui de la route elle-même. Le rayon des courbes semble pouvoir y être fixé à cent mètres comme minimum sans qu'il en résulte une augmentation notable des dépenses.

Le soin avec lequel il importe de tirer de la configuration des versants tout le parti possible pour le développement du tracé se fera comprendre par le calcul suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour qu'à l'inclinaison de 50 millimètres un versant quelconque se prête à un retour du tracé sur lui-même à ciel ouvert par une courbe de 100 mètres de rayon, il faut que ce versant présente, sur une largeur de 200 mètres, une inclinaison de 75 millimètres pour mètre ; or, l'inclinaison des versants dépasse habituellement dans ces régions 300 millimètres ; de telle sorte qu'un retour du tracé à cent mètres de rayon exigerait près de 500 mètres de partie souterraine, soit plus d'un million de francs pour les deux origines du retour et de la reprise de la direction.

On comprendra, dès lors, comment le tracé d'un chemin de fer trouve des facilités exceptionnelles dans la configuration du versant du Rhône, sur lequel le tracé peut, à partir de Brigg, se développer à l'aise, et aussi dans l'heureuse disposition de la vallée du Ganther, où il peut entrer et chercher des développements presque aussi faciles que ceux que la route y a trouvés ; on comprend enfin comment, grâce à ces conditions, il peut éviter les retours ou lacets qui rendraient l'établissement du chemin de fer si dispendieux.

Cherchons maintenant à déterminer quel est le minimum d'inclinaison auquel on pourra tenir le profil, en tirant parti des avantages qu'offre la configuration des abords du col.

La rampe de 50 millimètres nous a paru, au premier abord, présenter les avantages suivants : elle permet au tracé de se tenir généralement à une faible distance de la route : elle tient le profil le moins possible dans les régions supérieures ; à égalité proportionnelle de moyens de traction, elle abrége la durée du trajet ; elle se prête, mieux qu'une inclinaison plus faible, au passage par les points obligés du tracé. Enfin, elle est suffisamment rémunératrice, en ce sens qu'elle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

permet aux machines de remorquer un poids net suffisant pour couvrir largement la dépense d'exploitation et d'établissement avec un trafic restreint, mais soumis à un tarif double de celui des autres chemins de fer.

Les conséquences, au point de vue mécanique, d'une inclinaison de 50 millimètres ont été discutées ; il reste à la considérer au point de vue de l'établissement du chemin de fer, par rapport à la configuration du sol.

La hauteur à racheter entre le sommet du col (2,009 m.) et Brigg (636 m.) est de 1,373 m. ; une rampe de 50 mètres exigera un développement de 27,500 mètres ; la route n'en a que 21,800.

Nous partons du sommet, et comme nous avons reconnu que la route est tracée dans l'intention d'une pente régulière et que sa direction atteste la parfaite entente des moyens de profiter de la configuration du sol, nous nous attachons à cette direction.

A partir du point culminant (2,009^{m}98), nous suivons le versant droit de la Saltine. Le tracé ne peut que se tenir en pente régulière, appuyé sur le versant et forcé d'en effleurer la surface : car son profil transversal varie depuis 435 jusqu'à 820 millimètres par mètre. Il ne pourrait, en conséquence, faire aucun retour sur lui-même qu'en souterrain.

D'ailleurs, un vif intérêt nous porte à descendre afin de rester, le moins possible, dans ces froides régions. Nous nous arrêtons à l'extrémité de ce versant à un kilomètre au-dessous du quatrième refuge. Nous avons parcouru 6,015 m., descendu 300^{m}75; nous sommes à la cote 1,709^{m}13. En ce point nous nous trouvons à l'entrée de la vallée du Ganther.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La route n'a pas descendu si vite que nous, elle est au-dessus de nous à la cote 1,730 mètres.

Nous entrons dans la vallée du Ganther; le point où nous nous sommes arrêtés est à 680 mètres au-dessus de celui où les deux torrents confondent leurs eaux. Le versant où nous sommes est beaucoup moins abrupte que le précédent, et les ingénieurs en ont profité pour faire faire à la route des contours et un lacet afin de gagner en longueur et de réduire la pente. Mais pour la route on pouvait adopter des rayons de 5 mètres : de là des facilités qui disparaissent lorsque le rayon de courbure ne peut pas descendre au-dessous de cent mètres, parce que les retours exigeraient des développements considérables.

L'inclinaison transversale du versant qui est, à l'entrée de la vallée, de 375 millimètres par mètre, est au pont du Ganther de 455 millimètres; au reste, l'une et l'autre inclinaison du versant sont impraticables à un retour du tracé sur lui-même. Nous en suivons donc les flancs en en affectant tous les contours. Le tracé parcourt sur ce versant 3,850 mètres; il descend de 192^{m}50, passe à Berisal et traverse le Ganther à la cote 1,516 m. Le pont actuel étant à la cote 1,409 m., celui du chemin de fer traverserait le cours d'eau à 800 mètres en amont.

Nous sommes sur le versant du Ganther opposé à celui que nous venons de quitter, mais nous lui trouvons une configuration plus abrupte. Son inclinaison transversale est, en bien des endroits, de 500 millimètres par mètre; il n'y a rien de mieux à faire que de le suivre jusqu'au deuxième refuge, celui du Schalberg. Nous parcourons ainsi 4,100 mètres en descendant de 205 mètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Du sommet au Schalberg, nous avons parcouru 13,965 m., nous sommes à la cote 1,311^{m}73.

Nous avons descendu 698 mètres, il en reste 677 à descendre et 13,540 à parcourir.

La route est, en cet endroit, à 60 mètres plus haut que le tracé du chemin de fer, à la cote 1,361 ; elle a, en effet, sur ce versant, des inclinaisons réduites, en certains points, à 40 et même à 27 millimètres par mètre.

Le contre-fort qui s'avance sur la Saltine entre le Ganther et la vallée du Rhône est plus abrupte encore que ceux dont le tracé a suivi les versants ; le chemin se tiendra donc, comme la route, sur ses flancs, et se développera ainsi sur une longueur de 1,450 mètres, en descendant 72^{m}50.

En ce point, le tracé et la route sont à la cote 1,239^{m}23, on a Brigg devant soi à distance, à vol d'oiseau, de 2,500 m., et à 605 mètres au-dessous.

Pour garder une inclinaison continue de 50 m/m., il faut s'appuyer au versant, comme on l'a fait pour la route, jusqu'à ce qu'on arrive par un développement de 2,850 mètres à la cote 1,096 m. A partir de ce point le profil en travers du terrain permet au tracé d'affecter sur de grands rayons de courbure les contours nécessaires à son développement. La cote du pont Napoléon, sur la Saltine, est de 755^{m}15. Le tracé aura donc, à partir de la cote 1,096 m., une longueur de 6,820 mètres ; aucune difficulté ne s'oppose à ce tracé.

Si le tracé est prolongé sur Brigg, il exigera un supplément de longueur de 2,431 m. correspondant à la différence de hauteur de 121^{m}73 qui existe entre cette ville et le pont Napoléon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, un tracé ayant une inclinaison régulière de 50 m/m. peut être exécuté au Simplon en suivant d'une manière générale le tracé de la route, d'après les dispositions indiquées dans le tableau suivant :

LIEUX PARCOURUS PAR LE TRACÉ	Longueur parcourue	Cotes d'altitude		Hauteur rachetée	Cotes de hauteur de la route aux mêmes points	
		A l'origine	A l'extrém.		A l'origine	A l'extrém.
	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres
Du sommet par le versant de la Saltine.	6,015	2,009.98	1,709.23	300.75	2,009	1,730
1er Versant du Ganther. .	3,850	1,709.23	1,516.73	192.50	1,730	1,409
2e Id. id. . . .	4,100	1,516.73	1,311.73	205.»»	1,409	1,311
Contre-fort sur la Saltine.	1,450	1,311.73	1,239.23	72.50	1,311	1,235
Versant du Rhône	2,850	1,239.23	1,096.73	142.50	1,235	1,006
Versant et vallée du Rhône	6,820	1,096.73	755.73	341.»»	1,006	755
	25,085			1,254.25		
Prolongement sur Brigg. .	2,431	755.58	634.»»	121.73	755	634
	27,516			1,375.98		

Il n'y aurait, d'après ces données, qu'une assez faible différence entre les conditions d'établissement de la plate-forme du chemin de fer et celle de la route. Nous ferons ressortir plus loin les conséquences de ce rapprochement entre les deux constructions.

Ce que nous voulons examiner d'abord, c'est la différence

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui existera entre un tracé à inclinaison de 35 m/m. et celui que nous venons de décrire.

La rampe de 35 m/m. donnera au chemin de fer un développement de 39,656 m. Les conditions de tracé sur les versants étant les mêmes avec une inclinaison moindre, les cotes de hauteur seront les suivantes aux points que nous avons indiqués dans le tableau précédent :

INDICATIONS DES POINTS DU TRACÉ	Longueur parcourue	Cotes d'altitude		Haut. rachetée	Cotes de haut. de la route.	
		A l'origine	à l'extrém.		A l'origine	à l'extr.
	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres
Du sommet par le versant de la Saltine.	6,015	2,009.98	1,799.46	210.52	2,009.98	1,730
1er versant du Ganther. . .	3,850	1,799.46	1,664.69	124.75	1,730. »	1,409
2e versant du Ganther. . .	4,100	1,664.69	1,521.19	143.50	1,409. »	1,311
Contrefort de la Saltine. .	1,450	1,521.19	1,470.44	50.75	1,311. »	1,235
Versant du Rhône.	2,850	1,470.44	1,370.69	99.75	1,235. »	1,006
Versant et vallée du Rhône.	21,391	1,370. »	634 »	748.71	1,006. »	634
	39,656			1,375.98		

Les différences entre ce tracé et le précédent sont indiquées par le rapprochement suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

REPÈRES	Cotes de hauteur aux repères principaux par le tracé à rampes :		Différence en faveur du tracé à rampes
	de 35 millimèt.	de 50 millimèt.	de 50 m/m.
Sur le versant de la Saltine.	1,799 mètres	1,709 mètres	90 mètres
Sur le pont du Ganther. . .	1,664	1,506	158
Sur le Schalberg.	1,521	1,311	210
Contrefort de la Saltine. . .	1,470	1,238	232
Versant du Rhône.	1,370	1,097	274

Arrivé sur le versant qui borde la vallée du Rhône, à la cote 1,370, le tracé de 35 m/m., auquel il reste encore 21,391 mètres à parcourir, se trouve dans la nécessité d'aller chercher des développpements le long de ce versant pour conserver une inclinaison régulière.

Ce tracé est donc exposé aux objections suivantes :

Il se tient dans des régions dont l'élévation, au-dessus du tracé de 50 m/m. et de la route, varie de 90 à 274 mètres. Il y trouvera de grandes difficultés à se développer, à cause du raccourcissement résultant de l'évasement des vallées. On ne peut décrire, dans les parties hautes des cônes, des lignes égales à celles tracées sur leur base. Il trouvera, dans ces régions, des accidents de terrain redoutables; la surface en est, à mesure que l'on s'élève, plus profondément déchirée par les influences qui ont amené le soulèvement et par l'action des hivers. Il coûtera donc beaucoup plus cher; et, peut-être, faute d'espace pour s'étendre, devra-t-il pren-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dre, sur le versant du Rhône, un développement supérieur à celui que nous avons indiqué.

Dans son exploitation, il sera plus exposé aux influences climatériques, parce qu'il sera dans des régions plus élevées et parce qu'il y restera plus longtemps. Il serait à Schalberg à 1,520 m. au-dessus du niveau de la mer, et il lui reste à parcourir 13,965 mètres pour atteindre le sommet du col. Le tracé à rampes de 50 m/m. est à 210 mètres plus bas en ce point. C'est un avantage équivalent à un parcours en moins de 4,200 mètres, au point de vue des influences atmosphériques.

Enfin, l'objection qui surgit de la nécessité de chercher, sur le versant qui borde la vallée du Rhône, un développement de 21 kilomètres est capitale, en ce sens qu'il n'est possible de s'étendre ainsi qu'en remontant ce versant sur sept à huit kilomètres, puisque la vallée ne comporte guère qu'un abaissement du tracé de 350 à 400 mètres, au lieu de 755 qu'il faut trouver.

C'est donc l'impossibilité de trouver place, sur les versants des vallées des torrents, pour des retours de tracé, qui rend à peu près impossible, sans de grandes dépenses, l'inclinaison de 35 m/m. C'est en un mot, la condition qu'impose la nature, dans cette contrée, pour monter jusqu'au col. Ce qui est, au contraire, favorable, autant qu'on puisse le désirer, à l'inclinaison de 50 m/m., c'est que ce tracé soit possible dans des conditions presque absolument identiques à celles de la route.

C'est là un accident de la nature qui fera repousser l'inclinaison de 35 m/m., en face des ressources dont on peut disposer et en tant que l'exploitation par les rampes de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

50 m/m assurera un service et une rémunération satisfaisants.

Si, du versant du nord, nous passons à celui du sud, nous le trouvons divisé en trois régions fort distinctes et permettant chacune une solution qui lui est propre.

Dans la première, depuis le sommet du col (2,009^{m}98) jusqu'à Algaby (1,232), le sol est peu accidenté. Le tracé de la route est facile, elle suit tous les développements propres à faciliter la régularité de la pente. Pour racheter 777 mètres de hauteur, elle a parcouru 13 kilomètres, soit 59 m/m. d'inclinaison moyenne. Il est facile de reconnaître la possibilité de développer le tracé du chemin de fer en cette partie, de manière à réduire l'inclinaison à 50 m/m. La région dans laquelle la route est dessinée est ouverte; elle n'a plus le caractère heurté et violent des autres parties. Les contours ne sont pas abruptes et escarpés; il n'y a enfin là aucune difficulté pour le tracé d'un chemin à courbes de cent mètres de rayon.

Il faut donc compter sur un développement de tracé de 15,540 mètres entre le sommet du col (2,009^{m}98) et Algaby (1,232 m).

Dans la seconde partie du versant du midi, entre Algaby (1,232 m.) et Gondo (842 m.), la route a un développement de 6 kilomètres et rachète une hauteur de 390 mètres. C'est une inclinaison moyenne de 65 millimètres.

Là est le point réellement difficile du tracé, car il y a nécessité de suivre presque continuellement le thalweg. Ce n'est pas sans raison que la gorge de la Doveria, entre Algaby et Gondo, passe pour un des sites les plus pittoresques de la Suisse. Cette gorge est, sur près de six kilomètres,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une espèce de faille dont les parois abruptes s'approchent souvent de la verticale et dominent le fond de la vallée par des hauteurs qui atteignent 5 à 600 mètres. Rien de plus solennel ni de plus grandiose ne peut impressionner l'esprit. Le phénomène qui a ouvert cette faille semble d'hier, tant la nature des roches est résistante. On pourrait croire que, dès le lendemain du cataclysme, la nature s'est endormie, défiant les hivers, et que les siècles ont passé par là inaperçus.

Cependant la difficulté ne serait pas de trouver dans le thalweg de la gorge la place du chemin de fer à côté de celles de la route et du torrent. Non-seulement il y place partout, mais la place est facile à faire. Les débris de roche, les galets et le gravier portés par le torrent, ont rempli le fond de la faille et lui ont donné une surface presque régulière. Il a y plus, entre Algaby et Gondo, la première partie, d'Algaby au neuvième refuge, a des inclinaisons de 26 à 42 millimètres, ainsi que le montre le profil de la route. Ce n'est que du neuvième refuge à Gondo que l'on trouve les rampes de 76 et 81 millimètres.

La seule solution économique consiste à adopter certaines parties du profil en rampes de 60 m/m., ou bien à soutenir le tracé à partir du neuvième refuge fort au-dessus du thalweg jusqu'à Iselle, à 4 kilomètres au delà de Gondo.

Dans ce cas, les distances et les inclinaisons comparatives de la route et du tracé, et les points de repère de celui-ci, seraient, dans cette partie, distribués comme l'indique le tableau qui suit :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

REPÈRES.	TRACÉ DE LA ROUTE.				TRACÉ DU CHEMIN DE FER.			
	Cote des repères	Hauteur rachetée	Longueur de la route	Inclinaisons moyennes	Cote des repères	Hauteur rachetée	Longueur du chemin	Inclinaisons moyennes
	Mètres	Mètres	Mètres	Millim.	Mètres	Mètres	Mètres	Millim.
Algaby. .	1232.58				1232.58			
9e refuge.	1113.40	119.18	2,900	41	1087.58	145 »	2,900	50
Gondo . .	842.29	271.11	3,400	80	900.38	817 »	3,400	55
Iselle . . .	663.»»	179.29	3,800	47	663.»»	237.58	4,740	50

Les différences entre ces deux tracés sont : qu'au neuvième refuge, le chemin de fer sera à 26 mètres plus haut sur le versant, que la route actuelle; qu'à Gondo il sera à 158m29 plus haut et que, de Gondo à Iselle, il devra développer une longueur de 4,740 m., tandis que le thalweg et la route n'en ont que 3,800. Cet excédant de longueur de 940 mètres devra être obtenu au moyen d'un retour qui, si nos souvenirs sont fidèles, est plus facile entre Gondo et Iselle que dans la partie supérieure de Gondo au neuvième refuge.

Nous invoquons ici, pour la première fois, nos souvenirs, parce que c'est pour cette partie que nos observations locales n'ont pu être contrôlées, en ce qui concerne les profils transversaux, par les études de la Compagnie. J'ai dit, ailleurs, que les intentions qui m'avaient été exprimées, à cet égard, par M. le comte Charles de Bourmont, n'avaient pas été réa-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lisées par l'Ingénieur de la Compagnie. Il y a donc, dans cette étude, une donnée incertaine sur le point dont il s'agit. J'ai l'espoir que c'est la seule ; elle n'est pas d'ailleurs, d'après les indications du profil en long, d'une gravité telle qu'elle affaiblisse les résultats de nos prévisions.

Dans la troisième partie du versant du midi, d'Iselle (663) au pont de Crevola, la configuration du sol est plus favorable. La longueur parcourue par la route est de 13,487 mètres, rachetant une hauteur de 327m55 par une inclinaison moyenne de 24 à 25 millimètres. Les variations du thalweg ne sont pas telles, en cette partie, qu'elles obligent à dépasser une inclinaison de 35 m/m., nous n'avons donc pas à nous en occuper.

Sur le versant du midi, le tracé du chemin de fer se distribuerait donc de la manière suivante :

DÉSIGNATION DES REPÈRES	Cote des repères	Hauteur rachetée	Longueur du chemin de fer	Inclinaisons en millimètres
	mètres	mètres	mètres	
Point culminant. . . .	2,009.98			
Algaby.	1,232.58	777.40	15.540. »	50
9e Refuge.	1,087.58	145. »	2.900. »	50
Gondo.	900.58	187. »	3.400. »	55
Iselle.	663. »	237.58	4.740. »	50
Sommes ou moyennes		1,346.98	26,580.»	50.6

Il n'est pas besoin de montrer combien la configuration du sol sur ce versant s'oppose à l'adoption de rampes de 35 m/m.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la première partie, entre le sommet et Algaby, il serait possible, en faisant décrire au tracé de nombreux retours sur lui-même, de lui donner un développement de 22,200 mètres au lieu de 15,540 mètres.

Malgré l'inconvénient de rester plus longtemps dans les hautes régions, où les phénomènes atmosphériques auront une influence plus marquée sur l'exploitation que dans les régions inférieures, il faudrait s'y résoudre si l'inclinaison de 35 m/m. pouvait être adoptée sur toute l'étendue du tracé. Mais d'Algaby à Gondo il faut, à peu près invariablement, suivre les parois de la gorge au fond de laquelle roule la Doveria, et il en faut suivre le thalweg d'aussi près que le permet le niveau des eaux torrentielles. Il faut traverser plusieurs fois le torrent, et cela ne se peut qu'à de faibles hauteurs, à moins de construire de gigantesques travaux d'art.

La vue de cette nature bouleversée, imposant rigoureusement au torrent, à la route et au tracé du chemin de fer, la loi de se conformer à ses conditions, nous avait, d'abord, profondément découragé. Ce ne fut qu'après un examen plus attentif des difficultés locales et par la connaissance exacte des inclinaisons de la route, données par le profil en long, que nous avons repris confiance.

Nous n'avons pas besoin d'insister pour faire comprendre que, là où un tracé à inclinaison de 50 m/m. est difficile, un tracé à rampes de 35 m/m. puisse être regardé comme impossible.

Nous abandonnerons donc, désormais, pour le passage du Simplon, entre Brigg et Iselle, les inclinaisons de 35 m/m.; nous n'en parlerons plus.

D'après ce qui précède, l'ensemble des deux tracés pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sentera les longueurs suivantes, entre le pont Napoléon sur la Saltine et la douane à Iselle :

	Longueur	Hauteur rachetée
	Mètres	Mètres
Sur le versant du Nord. . .	25,085	1,254. 25
Sur le versant du Midi. . .	26,580	1,346. 98
Longueur totale.	51,665	2,601. 23

Après avoir déterminé ainsi le tracé et le profil en long, il nous reste à entrer dans les détails de l'établissement même du chemin de fer, c'est-à-dire de la plate-forme de la voie, de ses courbes, de la nature des travaux qu'elle exigera en terrassements, perrés, murs de soutènement, ponts, aquéducs, galeries ou chemins pour les avalanches, refuges, etc.

La description des travaux de la route donnera des idées nettes sur ces divers points. La largeur de la plate-forme de celle-ci varie entre 6 et 10 mètres. Elle est, généralement, de 8 mètres. Elle est formée par un macadam encaissé entre deux murets supportant une tablette d'assez fortes dimensions. Dans les parties de niveau, elle est bordée de deux fossés de dimensions ordinaires; lorsqu'elle est adossée au versant, un fossé l'en sépare.

A des distances variables, de 3 à 5 mètres, suivant le rayon des courbes et les escarpements, des pierres plates sont placées de champ entre la tablette et la chaussée, du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

côté opposé au versant, pour servir de boute-roues. Ces pierres sont enchâssées dans le sol à 0^m40 environ de profondeur. Leurs côtés sont taillés de manière à présenter un angle. Elles ont environ 70 centimètres de hauteur hors terre et 80 à 90 centimètres de largeur. Leur forme et leur position leur permettent de résister aux avalanches. Lorsque la route est en remblai, ces bornes sont placées des deux côtés. La nature schisteuse de certaines roches paraît avoir motivé l'emploi de cette forme de garde-corps.

Lorsque la route est adossée au versant, les dispositions de sa construction varient suivant la nature du terrain et son inclinaison. Lorsque la roche est compacte, elle est coupée presque verticalement au moyen de trous de mine. Lorsque le versant est composé d'éboulis de roches et de terre, le talus du déblai est revêtu d'un mur en pierres sèches ; il est bien rare que ce mur soit hourdé en mortier. La partie de la route qui est en remblai est soutenue par un mur en pierres sèches construit avec les roches éboulées; le remblai en lui-même semble, partout, avoir été, à l'origine, fait avec ces roches, car il n'y a que de très-faibles apparences de poussée. La grande abondance des pierres, leur nature schisteuse qui en rend l'emploi très-économique, ont donné à tous les travaux faits avec ces matériaux un aspect de solidité et d'économie remarquable. La solution du mur de soutènement et de revêtement en pierres sèches s'applique à toutes les dispositions de la route : pour former les aquéducs, pour la défendre des eaux du torrent, pour élever son niveau au-dessus de la vallée quand celle-ci est exposée aux inondations. Cet emploi de la pierre participe davantage du terrassement que de la maçonnerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode d'exploitation de la pierre varie, sans doute, suivant sa dureté ou, plutôt, sa structure. En général, la pierre est ou fendillée ou schisteuse ; on ne rencontre qu'exceptionnellement de grandes masses compactes qui ne puissent être exploitées qu'à la poudre. Il ne faut donc admettre aucune similitude entre le travail de la pierre qui doit être extraite de la carrière, transportée, taillée, etc., et le travail qui consiste à prendre les pierres dont le sol est composé ou jonché et à les employer, dans leur forme naturelle, en remblais ou en murs de revêtement et de soutènement.

Les ouvrages d'art consistent en ponts, percées et galeries artificielles ; ils sont, en général, très-peu importants. Nous ne pourrions trop dire à quel degré la facilité et l'économie de la construction de la route nous a séduits ; c'est un des arguments les plus puissants en faveur de notre système.

Non-seulement les ponts sont de faibles dimensions, mais ils sont peu nombreux. Les passages d'eau sont faciles à mesurer dans des contrées où l'hiver et l'été assèchent le torrent. Les variations de température qui provoquent ou ralentissent la fonte des neiges sont la principale, pour ne pas dire l'unique, cause des variations du régime des torrents; et la vitesse due à la pente du sol laisse, sur la roche même, des traces de passage auxquels on ne peut se tromper pour déterminer le débouché à donner aux ouvrages.

Les percées ont été ouvertes à la poudre ; elles n'ont qu'une faible importance. Mais il y a lieu de supposer que, pour le tracé du chemin de fer, il y aura lieu de recourir plus fréquemment à cette solution. Nous avons fait remarquer que l'une des conditions, la plus essentielle, peut-être, de toutes celles qui peuvent assurer l'économie de la construction du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chemin, était d'en tenir le tracé en contact continu avec le versant du coteau, en en suivant toutes les inflexions. Aux hauteurs où est placée la route, on remarque avec surprise que les courbes qu'elle affecte, bien que son axe suive, servilement pour ainsi dire, la ligne d'intersection du talus avec l'horizon, ont un rayon qui descend bien rarement au-dessous de 50 mètres ; et comme il est probable qu'aucun sacrifice n'a été fait à l'intérêt d'obtenir un plus grand rayon, il l'est également qu'en s'attachant à cet intérêt on restera dans la limite de 100 mètres. Du reste, une étude très-attentive du tracé sera indispensable à ce point de vue. Autant il est nécessaire de faire des sacrifices pour éviter une disposition exceptionnelle qui impose à une exploitation entière des conditions spéciales pouvant réduire l'efficacité du matériel ou augmenter les dépenses, autant il est indispensable de ne pas étendre les sacrifices dans un tracé où l'obstacle à vaincre doit se rencontrer fréquemment. Il faut, au contraire, se décider alors avec résolution à chercher, dans les dispositions spéciales du matériel, à lui rendre son efficacité. Nous croyons qu'il sera possible de rester, au Simplon, dans des courbes de 100 mètres de rayon minimum ; nous n'hésiterions pas à en recommander de 25 mètres si la configuration des versants et la nécessité absolue de faire faire au tracé des retours sur lui-même, dans la montagne, l'exigeaient.

Mais il ne faut pas oublier que l'économie qui en résulterait pour l'établissement serait, en partie, compensée par les complications dans certaines parties de la construction du matériel. Le système que nous proposons n'échappe pas plus que les autres aux règles que la théorie enseigne : de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chercher les moindres inclinaisons et les lignes les plus droites, parce que cela conduit à la plus grande simplicité du matériel. Si donc, au lieu de courbes de 25 mètres, on peut, sans sortir des limites de dépenses que l'on a admises d'après le revenu, en faire de 100 mètres, cela sera l'un des plus grands avantages que présentera sur les autres le passage du Simplon. Cette digression de l'influence des rayons des courbes sur la construction du matériel était essentielle.

Nous revenons aux percements.

Les percées de courte longueur ont, aujourd'hui, peu d'importance comme travail d'art; elles en avaient une considérable à l'époque où la route du Simplon a été construite. Quant aux galeries nécessaires pour protéger le chemin contre les avalanches, la meilleure de toutes les dispositions est toujours celle qui est basée sur l'emploi des matériaux que l'on trouve sur place. Ce sont des travaux simples et faciles.

La route que nous venons de décrire a coûté 82,000 fr. par kilomètre. Les détails de la part distincte à attribuer dans cette dépense, aux terrassements, aux murs de soutènement, aux ponts, percées, galeries, refuges, etc., manquent complétement. Force nous a été de faire l'étude d'un certain nombre de profils, afin d'en conclure la dépense moyenne du mètre courant du chemin de fer. Voici comment nous avons procédé :

Nous avons supposé à la plate-forme du chemin de fer une largeur de 10 mètres s'accroissant dans les courbes pour augmenter l'entre-voie.

Nous avons établi des profils en travers présumables, soit partie en remblai et en déblai dans les terrains éboulex

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et dans la roche, soit entièrement en remblai avec un mur de soutènement, ou en déblai avec excavation de la roche ou mur de revêtement. Nous avons appliqué ces profils aux différentes parties de la ligne et le résultat de ce travail a donné un prix de 75 francs par mètre courant.

Nous avons supposé le nombre des ponts égal à celui de la route; nous avons fait une part de 3,500 mètres aux abris et galeries pour les avalanches, et de 600 mètres aux percements dans la roche.

Le chemin serait à double voie, avec gares de transbordement à Brigg et à Iselle ;

Six refuges, consistant dans une longueur de voie couverte et fermée, avec maison adossée pour recevoir et héberger, au besoin, les voyageurs, seraient répartis sur la ligne.

Le tracé que nous venons de décrire permet de fixer les idées sur la possibilité de franchir le col du Simplon à ciel ouvert par des rampes de 50 m/m. et des courbes de 100 mètres de rayon; mais il n'est pas, dans ces limites d'inclinaison, la seule solution à attendre d'études plus approfondies.

M. Jaquemin, ingénieur, que nous avons chargé d'explorer le Simplon, au cœur de l'hiver, a fait un avant-projet de tracé à rampes de 50 m/m., qui diffère de celui que nous venons de décrire, en deux points. Le premier consiste à partir de Gliss en laissant Brigg sur la gauche, afin de profiter de l'avantage qu'offre le terrain entre Gliss et la Saltine, pour gagner en hauteur, et pour traverser la Saltine par un pont de 10 mètres seulement comme le pont Napoléon. Nous avons indiqué la possibilité de cette disposition qui n'a d'autre inconvénient pour Brigg que de porter la station à égale

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

distance de Brigg et de Gliss. Elle est toute en faveur du projet.

Le second point par lequel le tracé de M. Jaquemin différerait du précédent mérite, à coup sûr, une sérieuse attention.

Préoccupé de la nécessité de couvrir le chemin de fer sur une longueur de cinq kilomètres environ, depuis le contour de Tavernette, entre les refuges 4 et 5, jusqu'à l'ancien hôpital, où il serait le plus exposé aux tourmentes de neige, il a examiné la possibilité de franchir cette partie du col par un souterrain qui entrerait sous le sol par les fonds de Tavernette, à la cote 1,709 m., et sortirait entre l'ancien et le nouvel hospice, à la cote 1,769 m. environ. La longueur de ce souterrain serait de 2,000 mètres; son inclinaison de 30 millimètres. M. Jaquemin en évalue la dépense entre 1,600 et 1,800 francs le mètre courant. Il suppose que, suivant la dureté de la roche, il serait fait un nombre de puits suffisant pour multiplier les points d'attaque, de sorte que le tunnel pût être exécuté en deux années. La hauteur rachetée étant ainsi, sur le versant nord, de 300 m. et sur celui du midi de 240 m., les 540 m. ainsi rachetés correspondraient à un parcours de 10,500 mètres; et la longueur du souterrain étant de 2 kilomètres, le trajet serait réduit de 8,500 mètres.

Les données économiques de la comparaison des deux tracés se présentent assez favorablement pour cette disposition, bien que nous n'acceptions pas l'estimation de M. Jacquemin, de 1,800 fr. par mètre courant de tunnel, dans les régions et les formations dont il s'agit, et que nous croyons devoir porter cette dépense, puits compris, à 2,500 fr. le mètre courant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le tunnel de deux kilom. coûterait donc		5,000,000 fr.
Le tracé à ciel ouvert coûterait, pour façon de la plate-forme :		
5,000 mètres à 120 fr. =	600,000 fr.	
5,500 id. à 150 fr. =	825,000	
5,000 id. de chemin couvert à 150 fr. . . .	725,000	
		2,150,000
Différence sur le capital en faveur du tracé à ciel ouvert.		2,850,000
L'annuité de ce capital à 6 0/0 serait de		170,000 fr.
Il y aurait à en déduire les économies suivantes dans l'exploitation :		
La réduction de parcours de 8,500 m. procurerait sur les *frais de traction* comptés à 9,500 fr. par kil. . . .	80,750 fr.	
Dépenses partielles du mouvement, comptées à 2,500 fr. par kilomètre.	21,250	
Dépenses d'entretien de la voie et de surveillance, comptées à 6,120 fr. par kilomètre.	52,000	
Total des économies.		154,000 fr.
Supplément annuel de dépense que coûterait un tunnel de 2 kilomètres. . . .		17,000 fr.

Il n'est pas besoin de dire que, malgré la réduction de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parcours, le passage en tunnel ne pourrait pas se traduire en une économie pour le public, parce que, le produit net du chemin devant rester proportionnel à la dépense, le tarif devrait, dans le cas d'un tracé avec souterrain, être relevé sur toute la ligne, en proportion de la dépense d'établissement, à moins que l'on ne préférât augmenter le tarif de parcours dans le souterrain dans la proportion de 2 à 10.5.

Le tracé proposé par M. Jaquemin n'en a pas moins un mérite réel : c'est celui de calmer les frayeurs de ceux auxq els le passage du sommet du col, dans la partie la plus exposée aux tourmentes, semble une objection capitale au tracé d'un chemin de fer à ciel ouvert.

L'objection n'est pas fondée; nous en avons l'entière conviction, mais si nous n'avions pas réussi à faire partager notre confiance, il nous resterait cette solution.

Elle offre un autre avantage que nous ne pouvons passer sous silence; c'est celui d'abaisser le tracé du côté nord, sur les versants de la Saltine et du Ganther. A la cote 1,709 où le tracé entrerait en souterrain, le tracé à ciel ouvert est à la cote 1,900 soit 200 mètres plus haut. L'avantage de cet abaissement est incontestable, soit au point de vue des influences climatériques, soit à celui des facilités d'établissement de la plate-forme du chemin. La nature est plus en repos dans les basses parties des gorges de montagnes, et le sol y est infiniment moins accidenté que dans les hautes parties des versants.

Le motif pour lequel nous n'avons pas accepté, comme point de départ dans l'application de nos idées, le tracé de l'ingénieur auquel nous avions confié les études locales, c'est que nous ne croyons pas à la gravité des obstacles que les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tourmentes de neige peuvent opposer au passage des trains, mais nous avons tenu à en faire ressortir le mérite.

Des études plus approfondies décideront la question. Là, plus que partout ailleurs, l'observation patiente et bien dirigée d'hommes expérimentés dans les opérations du tracé des chemins de fer aura pour effet certain de diminuer dans de fortes proportions les dépenses d'établissement. La construction de la route offre, sous ce rapport, un modèle d'intelligence des lieux, d'entente des ressources locales et d'économie sans sacrifice à la solidité de l'ouvrage, qui doit être étudié et imité.

Le nom des ingénieurs qui ont surmonté les difficultés des tracés par des œuvres monumentales dignes d'admiration vivra comme celui des grands artistes qui ont illustré leur époque, mais on associera un souvenir de reconnaissance à la mémoire de ceux qui auront atteint le but par des solutions simples et modestes. A ce titre, les ingénieurs qui ont ouvert la route du Simplon méritent l'estime publique.

Après avoir décrit le tracé et les conditions d'établissement d'un chemin de fer à ciel ouvert, il nous reste à présenter l'évaluation des dépenses de construction.

Un devis approximatif, basé sur les indications générales qui s'appliquent au tracé à ciel ouvert, nous a donné les chiffres suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEVIS d'un chemin de fer en rampes et en pentes de 50 m/m., traversant le Simplon entre Brigg et Iselle.

	Nombres	Prix	Sommes
§ 1. *Formation de la plate-forme de la voie.*			
		fr.	fr.
Terrassements, murs de soutènement et de revêtements. . . . . (mètre courant).	51,665	75	3,874,875
Tablette de crête de la plate-forme. (d°.)	51,665	4	206,660
Ponts et aquéducs	27		670,000
Percements. . . . . (mètre courant).	600	800	480,000
Galeries pour abri contre les avalanches. (d°)	3,500	225	787,500
Détournement de la route actuelle en plusieurs points.			400,000
Indemnités pour expropriation de terrains, maisons.			500,000
§ 2. *Voie et accessoires.*			6,919,035
Double voie, changements de voie, plaques, télégraphe, alimentation des machines, clôtures. . (mètre courant)	51,665	100	5,166,500
§. 3. *Stations, refuges, maisons d'ouvriers et de gardes.*			
Stations de transbordement à Brigg et à Iselle. . .	2	250,000	500,000
Refuges, stations intermédiaires.	6	80,000	480,000
Maisons d'ouvriers, de gardes.	40	5,000	200,000
§ 4. *Matériel roulant.*			1,180,000
Ce matériel est calculé d'après une circulation journalière de 10 trains : les machines parcourant 15,000 kilom. par an, et les véhicules 12,000 kilomètres.			
Machines 12,500 k. effort de traction.	15	110,000	1,650,000
Véhicules, voitures et wagons.	120	20,000	2,400,000
Machines à charrues pour enlever la neige. . . .	8	90,000	720,000
			4,770,000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Résumé.

§ 1.	*Formation de la plate-forme*	6,919,035 Fr.
§ 2.	*Voie et accessoires.*	5,166,500
§ 3.	*Stations, refuges, maisons de garde*	1,180,000
§ 4.	*Matériel roulant.*	4,770,000
	Fr.	18,035,535
	Intérêts des fonds pendant l'exécution, frais d'administration, etc., 11 0/0.	1,964,465
	Total	20,000,000

Nous examinerons, dans un chapitre spécial, les dépenses d'exploitation et les produits présumables du chemin de fer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ IX.

Quelles sont les relations actuelles du commerce entre l'Italie et les contrées dont les chemins de fer aboutissent au pied des Alpes?

Considérations générales. — Ainsi que nous l'avons dit en commençant, les seuls documents statistiques sur les relations commerciales de l'Italie avec les nations qui l'entourent sont les états d'importation et d'exportation, publiés par notre Administration des Douanes, relatifs à la Suisse et aux États sardes et autrichiens. Ces documents ne séparent pas la voie de terre de la voie maritime, les mouvements de port à port, ou la circulation sur la route ; mais ils donnent, sur les articles du trafic, leurs quantités et leur valeur, des indications précieuses.

La Confédération helvétique publie un tableau général de l'importation, de l'exportation et du transit des marchandises, relevé dans les bureaux de douane des cantons bordés par les frontières ; et l'Administration des Postes, qui en Suisse fait exclusivement le service des Messageries, publie le résumé du parcours des voyageurs et les produits qu'elle en tire. En dehors de cela, aucun moyen ne reste de connaître la circulation par les autres méthodes de locomotion.

L'importance du mouvement, ainsi en dehors de la statistique de l'Administration des Postes, n'est pas contestable ; on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sait, en outre, la réserve qu'apporte la Douane suisse dans l'exercice de sa surveillance. Mais, quelle que soit l'insuffisance des sources de renseignements, il est clair que le peu d'importance de la circulation, à travers les passages des Alpes, des voyageurs et des marchandises témoigne de la gravité des obstacles que présentent ces passages.

En ce qui concerne le mouvement des voyageurs, nous extrairons des états publiés par l'Administration des Postes le résumé suivant de la circulation des voyageurs transportés, en 1859, par les Messageries, à travers les quatre passages suivants : *le Splugen*, entre Coire et Chiavenne, distance 91.2 kilomètres; *le Bernardin*, entre Splugen et Mogadino, distance 92.4 kilomètres; *le Saint-Gothard*, entre Camerlata et Fluelen, distance 186 kilomètres; *le Simplon*, entre Lausanne et Domo d'Ossola, distance 216 kilomètres :

PASSAGES	Distances	Voyageurs	Produits	Nombre de voyageurs par kilomètre	Produits par kilomètre
	mètres	nombre	francs		francs
Splugen.	91,200	8,952	91,500	98	1,000
Bernardin.	92,400	9,099	58,259	97	630
Saint-Gothard. . . .	186,000	26,149	274,305	141	1,472
Simplon.	216,000	32,772	166,867	151	770
Totaux et moyennes	587,600	76,952	590,931	131	1,000

Ces indications ne s'appliquent qu'à la circulation générale entre les points extrêmes des quatre routes. Le nombre des voyageurs qui traversent les Alpes n'en peut être conclu,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puisque, ainsi que nous l'avons fait remarquer, ces chiffres ne comprennent pas les voyageurs traversant les passages, à pied, à cheval ou en voiture autre que les voitures publiques ; mais ce mouvement, fût-il double, ne donnerait encore que des produits insignifiants pour quatre chemins franchissant les Alpes (1).

Les études sur le trafic nécessaire pour couvrir les frais d'exploitation et assurer une rénumération suffisante au capital d'établissement d'un chemin de fer franchissant les Alpes nous ont conduit à supposer une circulation *annuelle* de 73,500 voyageurs payant 10 fr. 90 c. pour la traversée du Simplon, entre Brigg et Iselle. Ce calcul attribue, il est vrai, à un seul passage, la presque totalité de la circulation qui existe aujourd'hui sur les quatre ensemble ; mais il faut faire entrer en ligne de compte une partie des voyageurs qui n'empruntent pas les voitures publiques. Nous entrerons, plus loin, dans quelques détails sur la circulation des voyageurs par les cols mêmes.

Les états de l'Administration des Douanes font connaître le mouvement des bestiaux et marchandises par les bureaux des cantons frontières. Nous en séparons, dans l'état suivant, ce qui se rapporte à la circulation par les passages des Alpes, à savoir : aux cantons de Saint-Gall et des Grisons, du Tessin, du Valais et de Genève. Il est regrettable que le mélange qui existe dans l'état statistique des deux cantons du Valais et de Genève ne permette pas d'appliquer ces chiffres au passage du Simplon.

(1) Nous renvoyons à l'Appendice un état du mouvement des voyageurs et des recettes des Postes sur les routes principales des Alpes, par le Splugen le Bernardin, le St-Gothard et le Simplon pendant ces onze dernières années.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

OBJETS		UNITÉS	CANTONS DE SAINT-GALL et GRISONS	TESSIN	VALAIS et GENÈVE
Animaux.	importation	Têtes	26,352	4,942	76,564
	exportation		14,607	19,594	8,436
	transit		41,568	12,873	7,384
OBJETS TAXÉS PAR COLLIER					
Pierres, bois, tuiles, briques, ardoises, écorces, fourrages, chaux, houille, charbon de bois, fruits, volaille, poisson	importation	Tonnes	28,905	2,927	7,5240
	exportation		2,035	6,434	4,222
Marchandises taxées par quintal de 50 kilos.	importation		52,728	23,525	36,362
	exportation		6,332	5,174	4,676
Produits du sol du pays de Gex..	importation		»	»	26,356
Mouvement.	des bestiaux	Têtes	82,527	37,409	92,384
	des marchan.	Tonnes	90,000	38,060	146,856

Les cantons de Saint-Gall et des Grisons s'ouvrent sur l'Italie par les passages du Splugen et du Lukmanier; celui du Tessin par le Saint-Gothard; ceux du Valais et de Genève par le Simplon et la frontière de Genève.

La part de ce mouvement qui appartiendrait aux chemins de fer est ici d'autant plus difficile à déterminer que, dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces chiffres, se trouve comprise une classe de transports que les chemins de fer n'ont pas encore réussi à recueillir : ce sont les expéditions à faible distance. Il est probable que la catégorie des matériaux de construction, combustibles, fourrages, etc., est presque exclusivement composée d'expéditions locales que les producteurs eux-mêmes transportent sur les voitures de leurs exploitations.

Il n'y a donc rien à conclure de précis de ces documents.

Faut-il tirer des conséquences plus précises de ce fait que le mouvement des transports par les bureaux frontières, qui, d'après le document des Douanes, aurait été, en 1858, de 335,000 tonnes, était, il y a vingt ans, infiniment moindre? Tout le monde sait que le travail est, en Suisse, en grand progrès; que l'industrie s'y naturalise avec une rapidité remarquable; que les professions laborieuses y conduisent à l'aisance et y sont fort considérées; mais ces progrès dans la production ne sont que relatifs. Il en faut de plus sérieux; il faut de grands courants commerciaux pour suffire à un chemin de fer, et les passages à travers les Alpes n'ont évidemment pas donné lieu, jusqu'à ce jour, à un grand courant commercial.

Dans la première période, la voie de mer a dû l'emporter sur la route de terre pour apporter à l'Italie ses approvisionnements.

Dans la seconde, celle où nous sommes, où les chemins de fer contribuent, avec les routes de terre, aux transports entre la France et l'Italie, il y a eu accroissement apparent du mouvement commercial. Le chemin de Victor-Emmanuel a dû donner la prépondérance au passage par le Mont-Cenis. Le Central-Suisse a favorisé le passage par le Saint-Gothard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le Simplon, a, par ces causes, vu diminuer ses transports.

Mais, malgré le rôle que jouent les chemins de fer dans l'approche des passages des Alpes, on ne peut attendre d'eux qu'ils puissent lutter encore avec la voie maritime. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer les prix de transport. De Bâle à Milan, par le Saint-Gothard, le prix de transport, par le roulage ordinaire, est de 117 fr. 50 c.; et, par le roulage accéléré, 180 fr. Ces prix correspondent à 23 et à 36 c. par kilomètre et par tonne; ce qui est d'autant plus élevé qu'une partie du trajet a lieu par les lacs, et que, sur la distance d'environ 500 kilomètres qui sépare Bâle de Milan, les chemins de fer sont en exploitation sur 93 kilomètres.

Les prix de transport, de Bâle à Gènes (650 kilomètres environ), sont de 130 fr. par le roulage ordinaire, et de 185 fr. par l'accéléré; il y a 270 kilomètres de chemins de fer. Supposant un tarif de 0 fr. 15 c. pour ceux-ci, ce serait encore 23 et 38 c. par kilomètre et par tonne sur le trajet par la route et les lacs.

De Fluelen à Mogadino, la distance est de 125 kilomètres environ. Un traité spécial fixe le prix de transport à 63 fr. 50 c. la tonne, en roulage ordinaire, et, en roulage accéléré, à 90 fr. C'est uniquement la route de terre qui est à parcourir pour franchir le col du Saint-Gothard. Ce prix revient à 51 et à 72 c. par kilomètre et par tonne.

L'obstacle que les passages des Alpes offrent à la circulation des marchandises ne peut être mieux expliqué que par ces chiffres. La mer a dû s'emparer de tous les transports importants, et c'est par l'importance même de ces transports que l'on pourra mieux juger des forces productives de l'Italie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous prendrons pour exemple l'importation de la houille anglaise dans les ports du littoral italien, en 1858 :

LIEUX DE PROVENANCE	PORTS		TOTAUX
	Gênes	Divers	
	Tonnes	Tonnes	Tonnes
New-Castle.	70,905	61,493	132,398
Hull.	5,402	2,783	8,185
Liverpool	9,328	1,409	10,737
Galles.	34,209	12,877	47,086
Écosse.	8,114	1,909	10,023
	127,958	80,471	208,429

Si on considère que la houille anglaise n'est plus, depuis que celle de France lui fait concurrence sur le littoral méditerranéen, considérée que comme lest, on peut juger de l'importance des transports qui s'effectuent par la voie maritime, et de la part qu'y pourront puiser les chemins de fer lorsque les prix de 23 à 38 c., qui sont payés, aujourd'hui, par la voie de terre, descendront à 10 et 15 c. par tonne et par kilomètre.

Les données statistiques fournies par l'Administration des Douanes et des Contributions indirectes françaises présentent les relations de la France avec l'Italie sous un point de vue plein d'intérêt. Il résulte, en effet, de ces documents que, sous le titre d'importation et d'exportation suisses, se trouve

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une part importante d'importation et d'exportation italiennes. Ce n'est pas, en effet, de la Suisse que la France reçoit pour 114 millions de soies, bourre de soie, soies écrues et chapeaux de paille. Ce n'est pas à la Suisse exclusivement qu'elle livre pour 67 millions de matières premières et de produits fabriqués, tissus et machines.

Nous avons donc fait un choix des articles dont il nous a paru évident que la provenance ou la destination était l'Italie.

Nous en plaçons l'extrait en regard des importations et exportations entre la France et la Suisse.

La deuxième et la troisième colonne de cet état indiquent la part des relations commerciales qui nous paraissent devoir être attribuées en tout ou partie à l'Italie. La quatrième indique l'ensemble des relations de la France avec la Suisse.

		SUISSE.		
Importation en France		1,410,300 k^os	114,100,000 fr.	188,270,436 fr.
Exportation de France		50,630,400	67,150,000	209,167,882
		SARDAIGNE.		
Importation	—	13,498,000 k^os	41,590,000	119,494,437
Exportation	—	34,151,000	47,750,000	122,806,481
		ÉTATS AUTRICHIENS.		
Importation	—	3,500,000 k^os	5,000,000	13,665,125
Exportation	—	20,000,000	12,000,000	22,610,521
		TOSCANE.		
Importation	—	»	»	21,473,179
Exportation	—	»	»	33,831,490
		ÉTATS ROMAINS.		
Importation	—	»	»	9,380,242
Exportation	—	»	»	11,680,426

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TRANSIT PAR LA SUISSE, POUR DIVERS PAYS (*).

Importation en France	30,000,000 k^os	50,000,000 fr.	152,270,282 fr.
Exportation de France	1,200,000	45,000,000	90,544,746

TRANSIT PAR LA SUISSE, POUR LA SARDAIGNE (*).

Importation	—	3,000,000 k^os	6,000,000	8,890,309
Exportation	—	300,000	3,000,000	10,553,368

Soit un mouvement de 106,000 tonnes dans un sens contre un mouvement de 51,500 dans l'autre.

Les détails de ces relations commerciales se trouvent dans les relevés qui suivent. Nous n'y avons indiqué que les articles auxquels nous supposons une provenance ou une destination, en tout ou en grande partie, italienne :

IMPORTATIONS SUISSES.

Soies	746,000 k^os	96,900,000 fr.
Bourre de soie	506,000	7,800,000
Soies écrues	122,000	8,000,000
Chapeaux de paille	36,300	1,400,000
	1,410,300	114,100,000 fr.

EXPORTATIONS SUISSES.

Cotonnades	1,000,000 k^os	7,000,000 fr.
Lainage	500,000 "	18,000,000
A reporter	1,500,000	25,000,000

(*) Nous n'avons indiqué dans ce mouvement de transit qu'une partie des chiffres fournis par le relevé des Douanes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report.	1,500,000 k^{os}	25,000,000 fr.
Coton ou laine.	5,000,000	10,000,000
Fer, fonte, acier.	18,000,000	7,000,000
Outils.	5,000,000	8,000,000
Sucres raffinés.	3,000,000	3,000,000
Fils.	400,000	2,000,000
Café.	2,000,000	2,300,000
Tissus de lin.	100,000	800,000
Vins.	7,000,000 (litres)	1,500,000
Machines.	1,500,000 k^{os}	1,300,000
Garance.	1,000,000	1,000,000
Papeterie.	250,000	800,000
Indigo.	30,000	600,000
Graines.	400,000	600,000
Couleurs.	100,000	600,000
Extraits de bois.	200,000	500,000
Spiritueux.	600,000 (litres)	500,000
Bijouterie.	400 k^{os}	400,000
Sucre.	350,000	350,000
Divers.	200,000	1,000,000
	50,630,400 k^{os}	67,250,000 fr.

IMPORTATIONS SARDES.

Soies.	500,000 k^{os}	30,000,000 fr.
Huiles.	4,000,000	3,000,000
Bourre de soie.	200,000	2,000,000
Riz.	5,000,000	2,000,000
Citrons, oranges.	2,000,000	1,000,000
Peaux brutes.	250,000	600,000
Tissus, passementeries.	3,000	300,000
Chapeaux de paille.	5,000	250,000
Vins.	650,000 (litres)	250,000
Soies en cocons.	30,000 k^{os}	100,000
Marbres.	800,000	50,000
Pâtes.	60,000	40,000
	13,498,000	39,590,000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EXPORTATIONS SARDES.

Tissus coton	350,000 k^os	7,000,000 fr.
Sucre raffiné	5,000,000	5,000,000
Tissus soie	45,000	5,000,000
Tissus laine	200,000	4,000,000
Soies grèges	75,000	3,500,000
Vins	12,000,000	2,500,000
Outils	3,000,000	2,500,000
Mercerie	200,000	2,000,000
Sucre	1,500,000	1,500,000
Cristaux et poterie	2,000,000	1,200,000
Métaux	5,000,000	1,200,000
Café	800,000	1,000,000
Vêtements et lingerie	500,000	1,000,000
Poils	26,000	900,000
Tissus chanvre	55,000	900,000
Cartonnage	250,000	800,000
Spiritueux	2,200,000 litres,	750,000
Divers	3,500,000 k^os	7,000,000,
	34,151,000 k^os	47,750,000

IMPORTATIONS AUTRICHIENNES.

Divers	1,500,000 k.	5,000,000

EXPORTATIONS AUTRICHIENNES (1).

Divers	20,000,000 k.	1,200,000

TRANSIT SUISSE.

Exportations	1,200,000 k.	45,000,000
Importations	30,000,000	50,000,000

TRANSIT SARDE.

Exportations	300,000 k.	3,000,000
Importations	3,000,000	6,000,000

(1) Sous le titre « *Importations Autrichiennes* » il s'agit de la Lombardie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les articles dont l'échange constitue le trafic le plus important entre la France et l'Italie offrent ce singulier caractère que, malgré la supériorité de la voie maritime quant à l'économie des transports, c'est la voie de terre, celle des cols des Alpes, que suit ce trafic. Cela tient à la haute valeur des produits. La soie entre dans ces échanges pour une valeur de 148,200,000 fr., dont le poids ne dépasse pas 2,049,000 kilog. Les tissus de tous genres y entrent pour une valeur de 56,900,000 fr., pesant 7,746,000 kilogrammes.

En général, les articles pour lesquels la dépense de transport n'est qu'une minime fraction du prix de vente ont pris la voie de terre.

A une époque récente encore, les Messageries avaient le monopole du transport des soies. La route du Saint-Gothard et les entreprises de bateaux à vapeur sur le haut Rhin étaient patronnées par le haut commerce de Bâle, pour assurer à la Suisse ce précieux transit.

Depuis ce moment, les chemins de fer de la France et de l'Allemagne se sont dirigés vers la Suisse. Les rails de l'Union suisse ont apporté, par Coire, au Bernardin, en 1858, un trafic double de celui de 1857. Ces chemins ont fait, à chacun des passages, une part qui se modifiera chaque jour, à mesure qu'ils approcheront plus près du pied des cols.

Les informations locales, qui peuvent, seules, donner des indications approximatives du passage des voyageurs traversant les cols, en portent le nombre :

Entre 30 et 36,000, au Saint-Gothard,
à 25,000, au Simplon,
à 10 ou 11,000, au Splugen,
et à 9 ou 10,000, au Bernardin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans ce nombre, la moitié paierait le tarif de 10 fr. 95 c., le reste paierait à peine 5 francs. Il faudrait, en conséquence, qu'au Simplon, le mouvement fût quadruplé ; ce n'est pas là une hypothèse inadmissible.

En ce qui concerne le mouvement des marchandises à travers les cols, les données sont, comme on l'a vu, très-vagues. Le transit, en lui-même, ne dépasse pas 18 à 20,000 tonnes sur les deux passages du Saint-Gothard et du Simplon, et le premier de ces passages est le seul où il existe des services réguliers de transports ordinaires et accélérés. Les transports locaux s'élèvent, sans doute, à un chiffre infiniment plus fort. La Suisse et l'Italie sont tributaires l'une de l'autre pour la majeure partie des articles nécessaires à l'existence des populations distribuées sur les deux versants des Alpes ; mais le rôle du chemin de fer, dans ceci, est fort incertain, et cependant, comme le transport de 128,000 tonnes serait nécessaire pour couvrir les frais d'exploitation et l'annuité du capital d'établissement du chemin traversant les Alpes, il faudrait que le mouvement actuel fût presque quadruplé. Pour cela, il faudra enlever à la voie maritime une grande partie des échanges qu'elle effectue. C'est une dérivation à opérer ; mais ce qui ressort, sans conteste, des chiffres qui viennent d'être produits, c'est que les relations de la France, de l'Italie, de l'Allemagne et de la Suisse sont déjà basées sur l'échange de valeurs considérables ; qu'à ce titre, et dans l'espoir justifié que ces relations ne peuvent que s'accroître sensiblement sous l'influence de moyens de transports faciles, rapides, réguliers et économiques, il faut faire, pour les Alpes, ce que l'on a fait pour le Rhin. Au point de vue des échanges, l'Italie est plus précieuse, en ce moment, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la France, que l'Allemagne. Il y a plus d'intérêt pour elle à faciliter ses relations avec le pays qui lui donne une forte part des matières nécessaires à la fabrique de Lyon. Elle ne le peut, avec une supériorité réelle sur les grandes nations qui ont le même intérêt qu'elle à fonder des relations commerciales avec l'Italie, qu'en faisant prochainement franchir les Alpes par des chemins de fer. Le trafic ne manquera pas à celui qui, le premier, ouvrira cette voie.

Il nous reste à apprécier l'amélioration que les lignes de fer suisses ont à attendre, dans leurs produits, de l'établissement d'un chemin de fer transalpin destiné au transit du nord et de l'ouest sur l'Italie.

Si les hypothèses que nous avons présentées d'un mouvement de 73,000 voyageurs et de 128,000 tonnes de marchandises franchissant le col paraissent justifiées, nous en attribuerons les quatre cinquièmes aux contrées situées en dehors de la Suisse, et un cinquième aux provenances ou destinations de la Suisse elle-même.

Nous supposerons un produit net de 4 c. 2 par voyageur transporté à un kilomètre et de 5 c. 2 par tonne de marchandises.

Le produit net des lignes suisses se trouvera en conséquence augmenté, par kilomètre, de :

58,000	voyageurs à 4c.2.	2,436 fr.
15,000	id. à 2 1.	315
102,500	tonnes de marchandises à 5 c. 2. .	5,330
25,500	id. id. 2 6. .	663
	Total du produit net par kilomètre. . .	8,744

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce produit net kilométrique sera entièrement acquis à la ligne de Saint-Maurice à Brigg.

Il sera divisé entre les provenances et les destinations de Genève, Jougne et Bâle. La part pour laquelle chacune de ces trois directions entrera dans ce produit net ne peut être précisée, mais ce n'en est pas moins une ressource d'autant plus précieuse que les mécomptes sur les dépenses d'établissement et sur les produits de l'exploitation n'ont pas manqué aux chemins suisses.

Le parcours moyen dans ces trois directions étant de 166 kilomètres, le produit net annuel que leur laisserait le passage des Alpes par un chemin de fer serait de 1,455,000 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ X.

Dépenses d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes.

Tarif et trafic nécessaires pour couvrir les frais d'exploitation et l'intérêt du capital employé à l'établissement du chemin de fer.

Nous prenons pour point de départ que le chemin de fer traversant le Simplon, entre Brigg et Iselle, aurait une longueur de 52,000 mètres, et que son exécution coûterait vingt millions de francs ; que son inclinaison serait de 50 m/m. ; que le transbordement des voyageurs et des marchandises se ferait à Brigg et à Iselle, à moins qu'un matériel identique à celui du Central suisse ne fût partiellement employé pour les voyageurs (ce qui pourrait avoir pour conséquence d'éviter le transbordement des voyageurs de première et de deuxième classe) ; que la vitesse moyenne serait de 16 kilomètres.

Nous supposons également que quatre trains partant de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque extrémité, dans les 24 heures, sont indispensables à un service régulier susceptible de se greffer, sans gêne et sans retards pour les voyageurs, sur le service des lignes aboutissant au pied du col. Qu'il convient d'y ajouter un train facultatif par jour dans une seule direction et qu'il résulterait du mouvement journalier de ces neuf trains une circulation annuelle de 171,000 kilomètres.

D'après ces bases, les dépenses d'exploitation, se classeront dans notre étude de la manière suivante :

Intérêt du capital,
Dépenses de traction,
Dépenses du mouvement,
Entretien et surveillance de la ligne,
Frais d'administration.

1° **Intérêt du capital.** — L'intérêt d'un capital de vingt millions, calculé à 6 0/0, étant de 1,200,000 fr., la circulation des trains sera grevée de 7 fr. par kilomètre. Rapportée à la longueur de 52 kilomètres du chemin, cette dépense sera de 23,077 fr.

2° **Dépenses de traction.** — Ces dépenses comprennent le personnel en service, l'entretien du matériel, les consommations de combustible et des matières servant à la locomotion ; enfin, les frais accessoires qui entrent généralement dans ce chapitre de dépenses.

Personnel des trains. — Quatre trains faisant chacun deux trajets, c'est-à-dire, l'aller et le retour, suffiront au parcours journalier. Le personnel de ces trains en mécaniciens, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comptant 3 véhicules et 9 personnes par train, coûtera, par jour, 158 fr. et, par kilomètre de train. . . . 0 fr. 35

Consommation du combustible et matières. — Le combustible, compté à 2,200 kilog. par trajet, coûtera, au prix de 33 fr. la tonne, par kilomètre. 1 46

L'huile, le suif et l'eau. 0 10

Entretien du matériel. — Entretien des machines par kilomètre. . . . 0 fr. 30
Entretien des véhicules, trucks 0 f. 25 × 3, soit. . . . . 0 75 } 1 05

Frais accessoires de traction. — Personnel des dépôts, machines de réserve, frais de tout genre. 0 30

Total des frais de traction. . . 3 26

Soit, par année 557,500 fr., et par kilom. de voie 10,720 fr.

3° **Dépenses du mouvement.** — Ces frais comprennent l'ensemble des dépenses qui entrent dans les comptes des Compagnies sous les titres de services du mouvement, du trafic et de la perception; à savoir : les dépenses des gares en personnel, éclairage, chauffage, frais de bureaux; les dépenses de manutention des marchandises, et de transbordement; les dépenses du personnel des trains, autre que celui de la traction, et les dépenses des gares de refuge.

Nous avons déduit de ces dépenses celles de manutention des marchandises et de transbordement qui seront couvertes par un tarif spécial. En recherchant, par analogie avec des établissements semblables, les frais ci-dessus, nous avons trouvé une dépense annuelle de 201,000 fr., soit 1 fr. 17 c. par kilomètre parcouru par un train; nous les supposerons de 1 fr. 20 c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le kilomètre de voie sera grevé de 3,865 fr. par ce chapitre de dépenses.

4° **Entretien de la voie et des bâtiments. Surveillance.** — Ces frais d'entretien sont estimés comme suit :

Entretien de la voie à. . . .	3,000 fr.	par kilomètre
Id. des gares et refuges. .	500	
	3,500	
et pour 52 kilomètres.		182,000 fr.
Surveillance à 1,000 fr. par kilomètre. .		52,000
Enlèvement des neiges, déglaçage, etc. .		90,000
Ensemble.		324,000
Soit, par kilomètre de voie.	6,230 fr. » c.	
Et par kilomètre de train. .	1. 90	

5° **Frais d'administration.** — Ces frais, ceux de la direction, les assurances, contributions, et les frais imprévus de tous genres, ne peuvent être estimés que comme somme à valoir sur l'ensemble des dépenses d'exploitation ; nous les portons à 100,000 fr. par an, qui, répartis sur la circulation des trains, donnent 0 fr. 59 c. par train parcourant un kilomètre et font, par kilomètre de voie, 1,923 francs.

L'ensemble des dépenses d'exploitation, estimé par kilomètre parcouru par un train, se résume comme suit :

Intérêt du capital.	7 fr. « c.
Dépenses de traction.	3 26
Dépenses de mouvement.	1 20
Entretien de la voie et surveillance. . . .	1 90
Frais d'administration et imprévus. . . .	0 59
Total. . . .	13 95

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La dépense annuelle, non compris l'intérêt du capital, sera de 2,400,000 fr. composés comme suit :

	Par kilomètre de parcours de train.	Par kilomètre de voie.	PAR ANNÉE.
	F. C.	F. C.	F. C.
Dépenses de traction.	3.26	10,720 »	557,500 »
Id. du mouvement.	1.20	3,865 »	201,000 »
Entretien de la voie et surveillance.	1.90	6,230 »	324,000 »
Frais d'administration.	0.59	1,923 »	100,000 »
	6.95	22,738 »	1,182,500 »
Ajoutant l'intérêt du capital.	7. »	23,077 »	1,200,000 »
Le trafic devra produire une recette de.	13.95	45,815 »	2,382,500 »

Avant de déterminer le trafic nécessaire pour couvrir ces dépenses, il convient d'étudier le tarif auquel ce trafic peut être soumis.

Les bases de comparaison qui se présentent dans cette étude sont : 1° La quantité de travail que nécessitera le transport; 2° l'importance du trafic ; 3° la dépense d'exploitation et l'intérêt du capital d'établissement; 4° le coût actuel du transport.

Nous avons étudié la quantité de travail nécessaire pour faire traverser les Alpes aux voyageurs et aux marchandises et son prix de revient, mais nous n'avons pas tardé à reconnaître que cette première donnée, qui se présente comme la plus simple et la plus rationnelle, est, en réalité, la plus inexacte, parce que, ainsi que nous l'avons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

déjà fait remarquer, l'avantage saillant de la solution du problème par les rampes de forte inclinaison exploitées par les machines locomotives, c'est que l'accroissement de la dépense d'exploitation n'est nullement, dans ce système, en raison de l'augmentation de travail; tandis que la solution par les grands travaux d'art et les souterrains produit des conséquences tout à fait opposées. Ainsi, la traversée du Simplon par des rampes de 50 m/m. coûtera 20 millions d'établissement, tandis qu'elle coûterait 43 millions par des rampes de 35 m/m. et avec un souterrain de 7,800 mètres.

Dans le premier cas, l'intérêt du prix d'établissement grève l'exploitation de 1,200,000 fr., soit 23,000 fr. par kilomètre, et, dans le second, de 2,580,000 fr. qui correspondent à 49,615 fr. par kilomètre pour la même distance.

L'augmentation de 26,615 francs par kilomètre de voie rapportée à la circulation des trains, correspondrait à une dépense supplémentaire de 8 fr. 07 par kilomètre parcouru, tandis que la différence du prix de traction sur une rampe de 35 m/m. dans les conditions ordinaires, ou sur une rampe de 50 m/m., dans les conditions décrites, ne s'élèverait certainement pas à plus de 1 fr. 20 par kilomètre.

Ce simple exposé répand une vive lumière sur la question. Il résume le mérite comparatif des deux solutions. Il ne résout cependant pas la question du tarif à appliquer aux voyageurs et marchandises traversant les Alpes. C'est sur la comparaison des dépenses d'exploitation qu'il faut s'appuyer pour fixer ce tarif que nous comparerons ensuite avec le prix actuel du transport.

Cette dépense est établie, sur les chemins français, par l'extrait suivant des comptes de 1859:

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉPENSES	NORD	LYON	ORLÉANS	OUEST	EST	MIDI
	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Administration.	0.108	0.167	0.12	0.188	0.070	0.312
Traction	0.998	1.089	0.95	1.042	0.940	1.181
Mouvement. . .	0.753	0.987	0.77	1.011	0.696	0.959
Entretien de la voie	0.361	0.457	0.40	0.399	0.437	0.594

La moyenne est de 2 fr. 38 par train parcourant un kilomètre.

Le produit du tarif des voyageurs est de 7 c. 2 par kilomètre, et celui des marchandises, de 8 c. 25 par tonne, pour la même distance.

Nous poserons en conséquence les rapports suivants :

	FRAIS de TRACTION	PRODUIT des VOYAGEURS	PRODUIT des MARCHANDISES
	FR. C.	Fr. c.	FR. C.
Lignes françaises	2.38	0.072	0.082
Passage du Simplon	6.95	0.21	0.24

Nous concluons à l'application d'un tarif de 21 c. pour les voyageurs et de 24 c. pour les marchandises.

Il reste à déterminer quelle est, d'après ce tarif, l'importance du trafic nécessaire pour couvrir la dépense d'exploitation et l'intérêt du capital d'établissement, montant ensemble à 2,400,000 fr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En supposant que le produit du transport des voyageurs et celui du transport des marchandises se partagent dans la proportion d'un tiers, soit 800,000 fr. pour le premier, et deux tiers, soit 1,600,000 fr. pour le second, il faudra 73,260 voyageurs au tarif de 21 c., soit à 10 fr. 92 c. pour le trajet du passage entier, et 128,000 tonnes de marchandises au tarif de 24 c. ou 12 fr. 48 c.

Ce trafic, réparti sur les 3,285 trains de l'année, chargera ces trains en moyenne de 23 voyageurs et de 39 tonnes de marchandises. Le produit kilométrique sera, en moyenne, par train :

23 Voyageurs à 21 c.		4 fr. 83
39 Tonnes marchandises à 24 c.		9 36
Soit.		14 fr. 19

Le poids de ce train sera :

Machine.	62	tonnes
1 Voiture voyageurs.	32	
2 Wagons marchandises.	36	
Chargement.	39	
Total. . .	169	tonnes

Nous avons vu, page 73, que le poids qui pourra être remorqué par le générateur de 62 tonnes étant de 216 tonnes, la moyenne ci-dessus est bien inférieure aux facultés de transport que permet l'inclinaison de 50 m/m.

La comparaison entre le tarif de 0 fr. 21 cent. par kilomètre et le prix actuel du transport des voyageurs est difficile, parce qu'il s'agit ici d'une moyenne. Les chiffres extrêmes de la comparaison seront donnés par la dépense du piéton franchissant le col en deux jours de marche, dont le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

temps et les frais de voyage (nourriture) ne peuvent pas être évalués à plus de cinq francs pour ces deux journées : l'autre chiffre extrême sera donné par le prix que paie le voyageur du coupé de la diligence.

Il suffit, en pareil cas, que la différence entre le prix du chemin de fer et celui de la route actuelle soit analogue à celle qui existe dans les circonstances habituelles, et cela nous dispense d'entrer dans les détails plus ou moins applicables d'une comparaison qui se refuse à l'analyse.

Il n'en est pas de même du transport de marchandises : nous avons vu que, sur le Saint-Gothard, une entreprise de transports réguliers parfaitement organisée entre Fluelen et Mogadino transportait au prix 0 fr. 51 cent. par kilomètre et par tonne en roulage ordinaire, et à celui de 0 fr. 72 cent., en roulage accéléré. Le tarif de 0 fr. 24 cent. est donc ici suffisamment justifié.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ XI.

Description du matériel roulant.

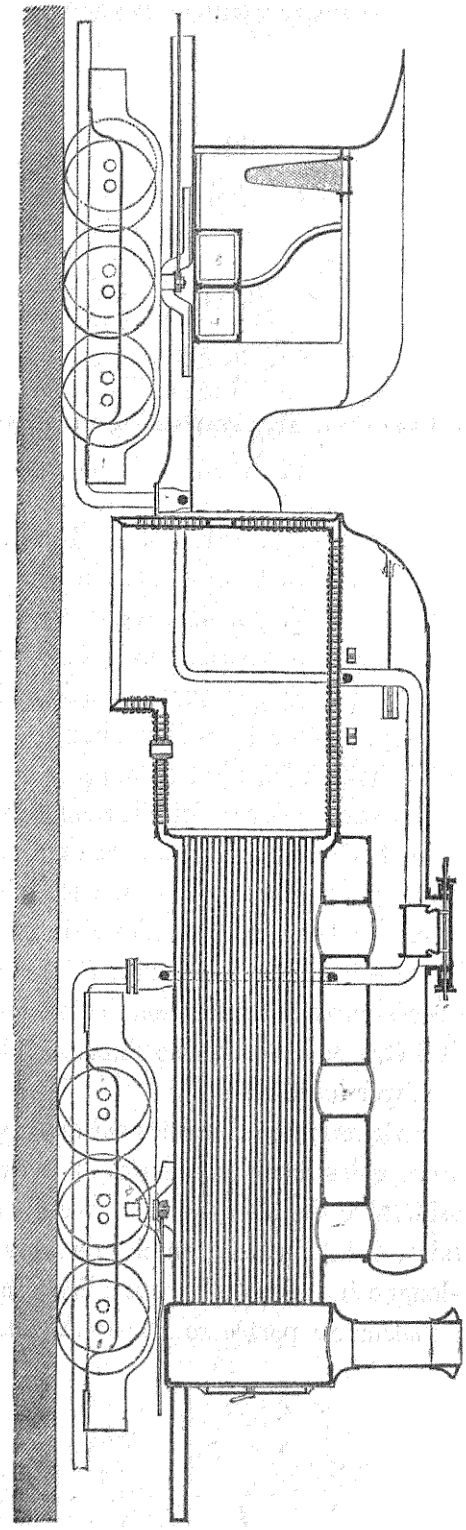
Machine locomotive — (Voir Dessins nos 1 et 2, pages 192 et 193). — Cette machine se compose du générateur et de son tender qui sont portés par deux trucks à six roues.

Générateur. — La boîte à feu comprend le foyer et la chambre de combustion qui pénètre dans la partie cylindrique de la chaudière. Dans les générateurs ordinaires des locomotives, cette annexe à la boîte à feu n'est obtenue qu'aux dépens de la partie tubulaire ou du foyer; ici elle peut être adoptée, si ses avantages sont reconnus, sans nuire aux autres parties de l'appareil, parce que la distance des supports laisse le choix des dispositions de la chaudière. L'expérience prononcera sur le mérite de cette disposition qui a été fort recherchée.

L'espace nécessaire à la combustion des gaz produits dans le foyer doit-il être en rapport avec l'intensité de la température dans le foyer lui-même?

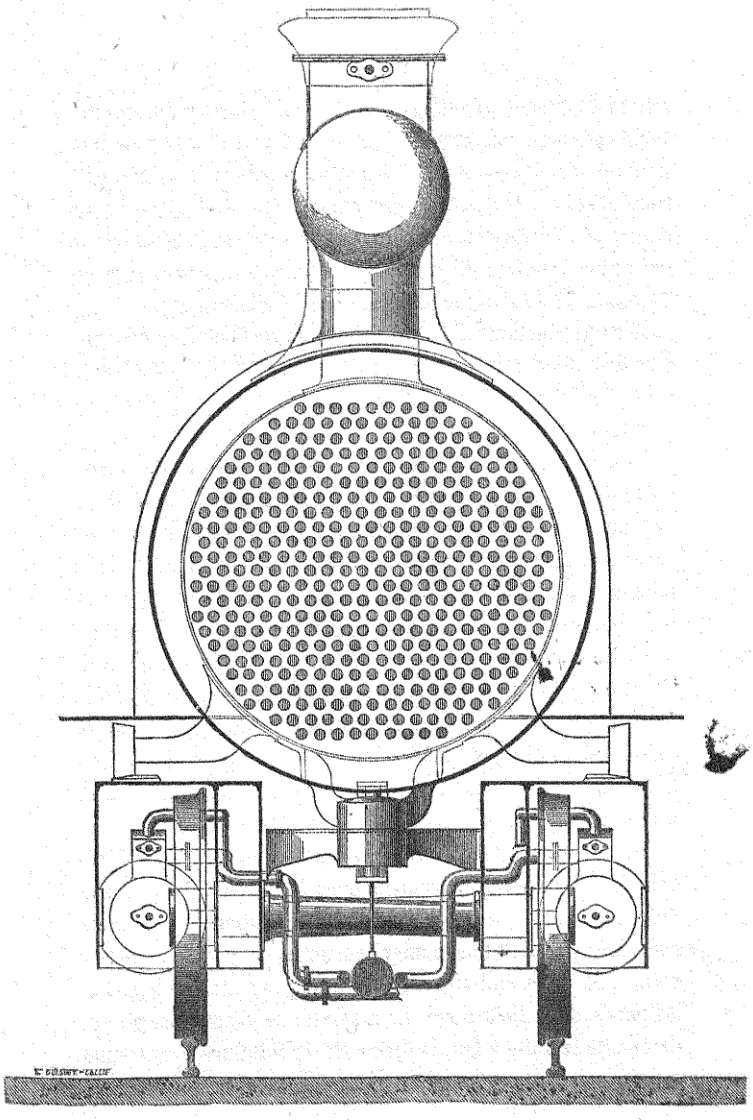
Il y a dans certains foyers alimentés par des tuyères à vent, tels que l'*ouvrage* des hauts fourneaux, une activité de combustion considérable limitée dans un très-faible espace. Il y a, au contraire, de nombreux exemples de fours à reverbère où une très-longue émission de flamme a lieu à la sortie d'un foyer où la chaleur est portée au blanc éclatant. Ce sont là

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



N° 1.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



N° 2. 13

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des phénomènes physiques dont les lois ne sont pas exactement connues ; toujours est-il que les foyers des locomotives dont les chambres de combustion sont vastes l'emportent, à coup sûr, sur ceux où elles sont exiguës ; et, dans l'état actuel de nos connaissances, c'est un mérite pour un générateur de pouvoir offrir cette disposition sans nuire aux autres moyens de recueillir la chaleur produite par la combustion.

Les introductions d'air au-dessus du combustible peuvent être disposées, soit d'après la méthode de Clark, soit d'après celle de Wye William, et avec la plus grande facilité, au pourtour entier du foyer.

Le corps cylindrique est complétement rempli de tubes. Cette disposition nuit, sans doute, à la facile émission de la vapeur, mais cet inconvénient, corrigé d'ailleurs, par de larges tubulures, est racheté par un avantage important : la longueur du générateur étant de 8 mètres, sa marche, sur une rampe de 50 m/m., donnerait lieu à une dénivellation d'eau de 0 m. 40 entre les deux extrémités. Si cette dénivellation eût dû s'opérer dans le corps cylindrique ou dans la partie supérieure du foyer, la quantité d'eau supplémentaire qu'elle eût motivée eût été très-considérable et les dimensions de la partie cylindrique et du dessus du foyer eussent dépassé toute proportion.

En donnant aux tubulures une hauteur de 0^m40, la dénivellation s'opère exclusivement dans le faible volume d'eau qu'elles contiennent. Cette ingénieuse disposition m'a été conseillée par M. Charbonnier, ainsi que celle qui consiste à assurer la facile émission de la vapeur produite par le ciel et les parois de la boîte à feu. Le réservoir de vapeur prend, au-dessus de la boîte à feu, la forme de la tubulure ayant toute

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la longueur de cette boîte. La partie demi-cylindrique de la boîte à feu se continue, sous cette tubulure, en double enveloppe comme les parois ; mais, entre chaque intervalle des entretoises, une ouverture de 6 à 8 centimètres de diamètre laisse plein passage à la vapeur. Le résultat de ces disposition est de donner une grande légèreté relative au générateur proportionnellement à sa puissance. Elles permettent aussi de donner, au réservoir de vapeur, telles dimensions que l'expérience indiquera.

La prise de vapeur distribue celle-ci en avant et en arrière, à chacun des deux trucks. Les conduits descendent de chaque côté de la machine et se réunissent par paire, l'une sous le corps cylindrique, l'autre sous la plate-forme du mécanicien. Après la bifurcation, le conduit de vapeur se dirige vers le centre du truck. Nous décrivons, plus loin, les autres parties de la conduite de vapeur.

Les dispositions que nous venons d'indiquer, et nous ne nous attachons qu'à celles qui offrent de l'intérêt, sont, comme agencement des parties métalliques, dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire, dans celles qui assurent la complète solidité et la résistance du métal. Aucun artifice n'est nécessaire à cet égard.

L'introduction du foyer dans la chaudière se fera par la face d'avant, au moyen du prolongement des parois latérales pour former le joint avec la plaque de devant qui sera, soit emboutie, soit bordée d'un fer d'angle.

C'est à la partie prolongée des parois latérales de la boîte à feu que sera attaché le tender. La rivure devra offrir une grande solidité en ce point, mais l'espace est disponible et aucune difficulté ne se présente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'alimentation aura lieu par les appareils connus. (Petit cheval et appareil Giffard).

La plate-forme du mécanicien sera disposée pour qu'il soit complétement à l'abri pendant l'hiver.

Les supports à pivot, placés sous le générateur et le tender, sont un des points délicats du système de construction. Ils devront résister à un poids de 18 à 20 tonnes, mais là n'est pas la difficulté. Ce qui est nouveau, c'est d'obtenir, sur ce point, un pivotement facile, c'est-à-dire un frottement sans altération possible, sans grippement des surfaces en contact. Il faut aussi que la base qui assure la stabilité soit aussi grande que le permet la dimension transversale des trucks. Il y a de nombreux exemples, dans la construction des grues de 30 à 40 tonnes, de l'accomplissement et de l'efficacité des dispositions propres à obtenir les effets que nous indiquons; mais ces appareils ne sont pas exposés aux chocs qui résulteront toujours de l'état de la voie, quelque solide et bien posée qu'elle puisse être. Les moyens consisteront à employer l'acier pour les colliers du pivot, pour les galets, pour leur essieu, et pour leur table de roulement; à disposer les surfaces en contact de façon que la pression qu'elles auront à supporter soit inférieure, par centimètre carré, à celle que supportent les fusées des essieux; enfin, à donner, aux ressorts des trucks, une flexibilité propre à atténuer les chocs résultant de l'état de la voie.

Trucks. Les trucks des machines (voir le dessin p. 197) seront à six roues couplées et fixes sur les essieux, comme dans le matériel ordinaire, lorsque, comme sur le Simplon, le rayon des courbes ne descendra pas au-dessous de cent mètres. Quatre roues seulement seront fixes sur les essieux et cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

N° 8.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plées, sur les tracés où le rayon des courbes descendra jusqu'à 25 mètres.

La charpente métallique de ces trucks est disposée de façon à contenir, dans le chassis, tous les appareils mécaniques comme dans une boîte fermée. Le mécanisme est celui d'une locomotive très-légère sans tuyauterie, pompe, en un mot, sans aucun des accessoires dépendant du générateur.

Le frein sera celui qui sert aux puissants appareils employés, sur les ports, au chargement des navires, pour modérer la descente des fardeaux les plus lourds suspendus aux chaînes des grues. Un demi-cercle en fer s'appuie sur la demi-circonférence de la roue et y exerce une pression qui permet de suspendre instantanément le mouvement rotatif; mais la très-grande puissance d'arrêt de ce frein n'ôte rien à sa sensibilité et il permet de ralentir aussi bien que de suspendre le mouvement. Il peut être manœuvré à la main par l'appareil à vis ordinaire, et par la vapeur, au moyen d'un cylindre. Nous avons appliqué ces dispositions dans les machines locomotives construites spécialement pour le chemin de fer d'Auteuil. Elles y ont fonctionné, pendant plusieurs années, de la manière la plus satisfaisante. On y a renoncé parce que les rampes de ce chemin n'exigeaient pas cet excès de puissance d'arrêt et parce que la puissance même de l'appareil laissait au mécanicien la faculté de faire subir au train des mouvements subits, gênants pour les voyageurs. Ces inconvénients ne se fussent pas produits si les freins avaient agi à la fois sur tous les véhicules; mais, nous le répétons, cela était inutile.

Les dispositions des conduits de vapeur sont indiquées dans la pl. n° 2. A gauche est la conduite prenant la va-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peur dans la conduite principale et la portant dans la boîte à tiroir. A droite est indiquée la conduite de sortie de vapeur dont les extrémités se rendent elles-mêmes, soit au tuyau d'échappement de la machine, soit à l'extérieur.

Comme un truck contient deux mécanismes de machine, les deux conduites d'admission et d'échappement de vapeur se dirigent sur chacun des trucks vers les cylindres à vapeur. Elles n'ont qu'une partie mobile, celle qui s'attache, d'un côté, à la conduite principale et, de l'autre, à la tubulure sortant du chassis intérieur du truck. Cette partie mobile est construite en caoutchouc vulcanisé et enveloppée de tissu métallique. Les mouvements en sont faibles et les conditions de construction faciles.

La conduite principale, destinée à porter la vapeur aux cylindres des trucks de la machine et des voitures du train, sera rigide sous tous les véhicules et flexible seulement en ses points d'attache.

Nous avons décrit sa construction dans notre premier mémoire, l'étude n'a pas modifié nos premiers procédés qui avaient été, il est vrai, mûrement examinés: cette disposition nous ayant alors paru le point le plus difficile dans l'application.

Ce n'est donc pas là que se sont présentées les difficultés, mais nous en avons trouvé de sérieuses dans les moyens de transmettre le mouvement de manœuvre de l'introduction de vapeur, de la détente et du frein, à chacun des trucks.

Les différences qui se produisent dans les courbes entre la position des axes des véhicules et ceux des trucks imposent des complications réelles à la transmission des manœu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vres opérées par les mécaniciens placés sur les plates-formes extrêmes de la machine et des véhicules.

Dans les courbes de 100 mètres de rayon, la différence de position des axes étant très-peu sensible, la difficulté disparaît; mais, pour des rayons de 25 mètres, elle existe.

Nous avons choisi, entre bien des solutions, la plus simple et la plus rapide pour les manœuvres de la vapeur et du frein; nous allons la décrire.

La manœuvre pour l'introduction ou la suppression de la vapeur dans la boîte à tiroir est commandée par une vis qui place le coulisseau au point convenable pour la durée de l'admission. La vis remplace, ici, les crans du segment ordinaire servant à régler l'introduction. L'écrou de cette vis est attaché au chassis du truck. Jusque-là rien de difficile: mais la transmission du mouvement rotatif à cette vis doit se prêter à toutes les variations de position des axes des trucks et des véhicules. A cet effet, une tige est attachée (dessin n° 3, voir page 197) à la vis par une *articulation universelle*, c'est-à-dire se prêtant à tous les angles différents. Cette tige se dirige sous la plate-forme en passant à travers un pignon d'angle dans lequel elle est mobile, car la distance varie entre ces deux points suivant la déviation des deux axes. Le pignon d'angle est manœuvré par une roue horizontale attachée à une tige fixée, elle-même, sur la plate-forme du mécanicien et terminée par une manivelle.

Ainsi la barre ordinaire de manœuvre de la coulisse ou du coulisseau, le levier qui la termine et le segment d'arrêt, sont remplacés par deux tiges, une vis et deux roues d'angle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La complication est, ici, dans le nombre des pièces, nullement dans l'incertitude des effets.

La manœuvre du frein s'opérerait d'une manière analogue, à la fois pour le serrage à la main ou pour l'introduction de la vapeur dans le cylindre. L'une des manœuvres ne complique ni ne contrarie l'autre ; le dessin suffit pour s'en rendre compte.

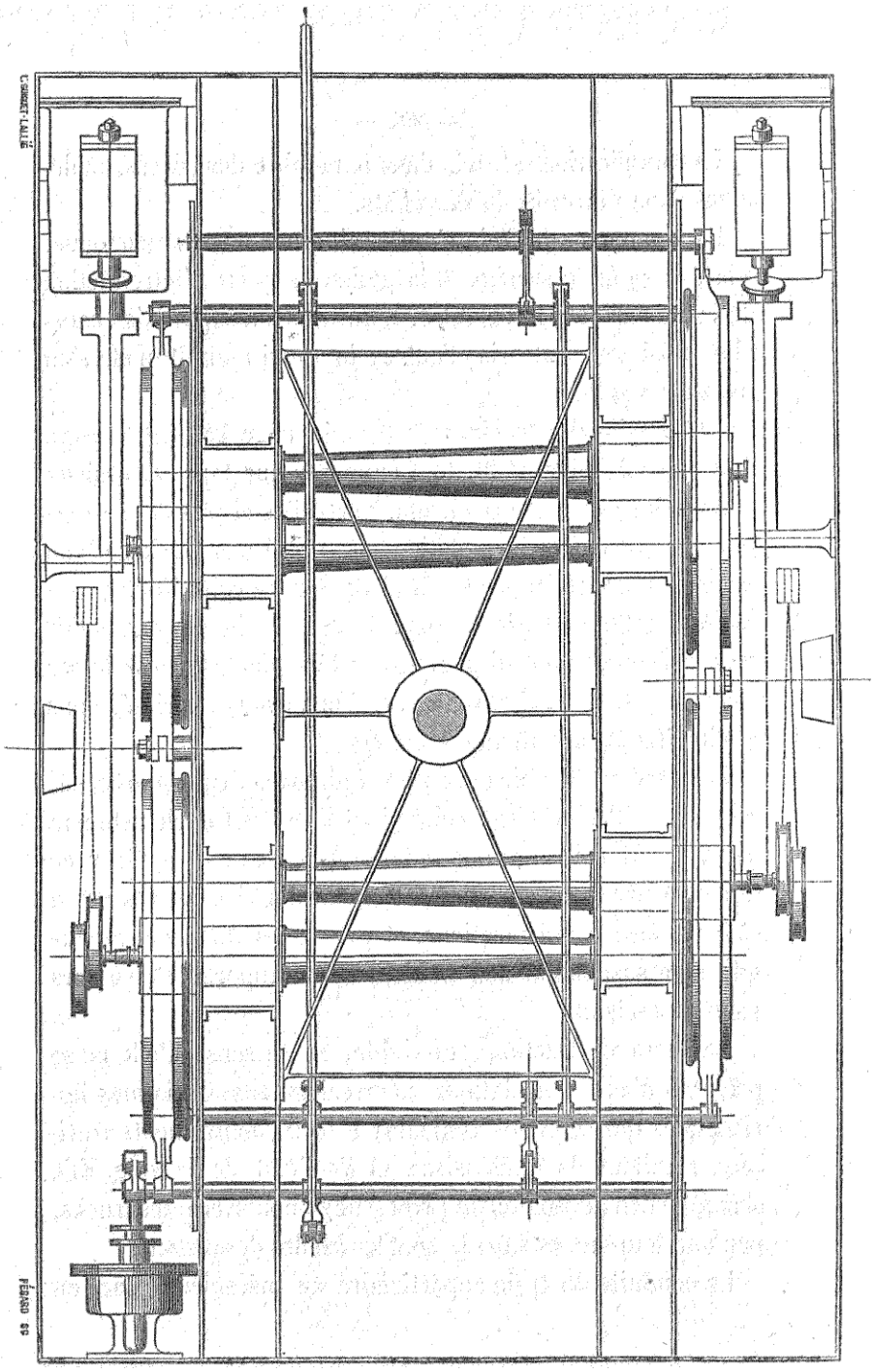
Les dessins des trucks (nos 3, voir page 197, no 4, page 202 et no 5, page 203), font supposer que tous les essieux porteraient une seule roue, afin que celles-ci pussent accomplir le mouvement de rotation, d'un côté des trucks, d'une manière indépendante de celles de l'autre côté. Nous avons indiqué cette disposition, pour le cas où elle se concilierait avec l'accouplement des roues indépendantes. Dans le cas contraire, il faudrait y renoncer. Nous avons exprimé, dans le chapitre 3, nos doutes à cet égard.

Le dessin no 6, (voir page 205) indique la disposition générale du véhicule; c'est celui dont il est fait exclusivement usage en Amérique et que le Central-Suisse a adopté. Il en différera par la construction des trucks dont les dessins nos 4 et 5 donnent les dispositions, et par la conduite de vapeur qui sera suspendue aux boulons des supports et passera sous les essieux.

La barre de traction sera rigide, en ce sens qu'elle ne se prêtera qu'aux articulations nécessaires aux déviations horizontales des axes des véhicules et aux mouvements verticaux résultant de l'inclinaison et de l'état de la voie. Elle sera attachée au boulon du pivot (cheville ouvrière) des trucks, par une fourche, comme le sont les bielles des pistons.

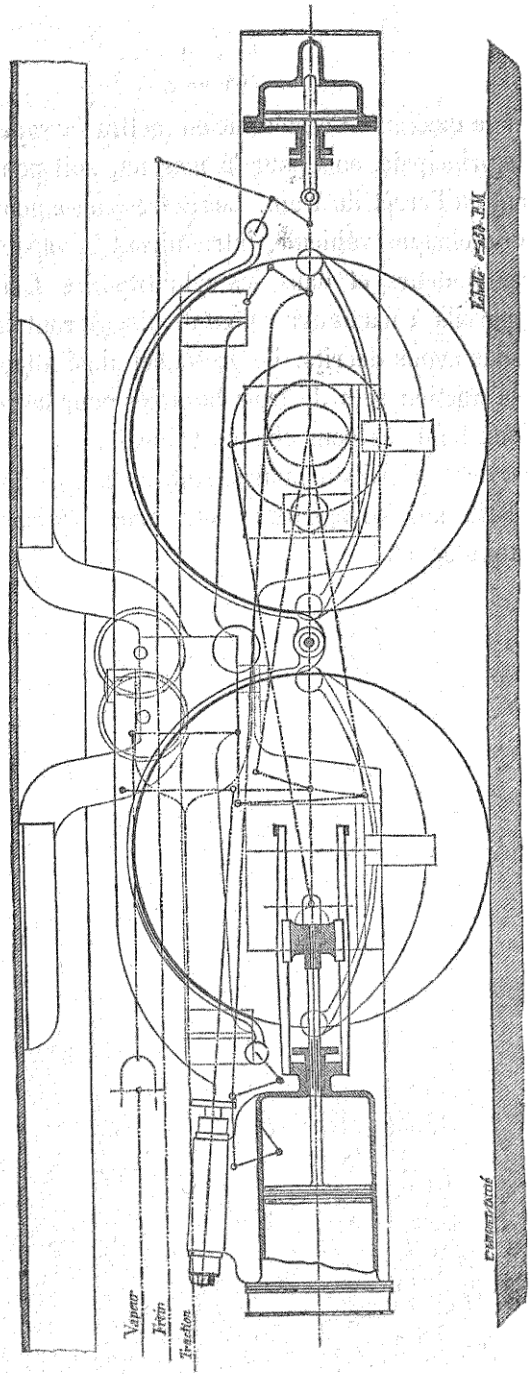
La conduite du train appartiendra au mécanicien placé en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



N° 4.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



N° 5.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tête, sur la machine. Ce mécanicien mettra la vapeur dans la conduite principale, soit pour la marche, soit pour le ralentissement ou l'arrêt du train. Les autres mécaniciens, placés en tête de chaque véhicule, introduiront la vapeur dans les cylindres moteurs et dans les cylindres des freins par les deux appareils à manœuvrer dont ils disposeront dans ce but et que nous avons décrits. Le personnel ainsi attaché au service de la traction sera de trois hommes pour le générateur, et de deux hommes pour chaque véhicule.

Le service spécial du mouvement, en ce qui concerne les soins relatifs aux voyageurs et aux marchandises, sera fait par d'autres agents.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coupe longitudinale AB faisant voir la Charpente d'un Wagon.

Vue extérieure en bout.

Coupe horizontale CD.

Echelle 0.04 P.M.

N° 6.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ XII.

Résumé.

1. A partir des points où le thalweg des vallées d'accès aux cols des passages des Alpes suisses dépasse l'inclinaison de 35 m/m., 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 m/m. les grêverait, 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

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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 m/m. 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 m/m., 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 m/m. 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 m/m.

12. Il est facile, en appliquant à la construction des machines les dispositions des supports sur la voie du matériel

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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 58/1,000e, soit au 17e du poids moteur, sur les rampes de 50 m/m.; et sur les rampes de 60 m/m., aux 68/1,000e, 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

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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 pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sente le plus favorablement dans le système des percements souterrains.

30. C'est aussi ce passage dont les accès, par voie ferrée, sont, du côté 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 Brigg, du côté nord, et à Iselle, du côté du midi, que l'inclinaison du thalweg des vallées d'accès dépasse 35 m/m. et qu'il y a lieu d'adopter des inclinaisons de 50 m/m. pour le profil du chemin de fer. La configuration des versants permet d'adopter un rayon minimum de cent mètres pour les courbes.

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

35. Un profil de 35 m/m., avec souterrain de 7,800 mètres, coûterait 49 millions.

36. Considérée 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.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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 francs.

40. Les frais d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes, ayant quatre trains et demi par jour dans chaque direction, coûteraient . . . . . 1,182,500 fr.
L'intérêt du capital de 20 millions coûterait 1,200,000
La dépense totale serait de . . . . . 2,382,500 fr.

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

En frais d'exploitation, à 6 fr. 95
En intérêt du capital, à 7 »
Ensemble 13 fr. 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

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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 m/m., 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.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ 1.

Développements sur l'adhérence

Première objection.

« *M. Flachat n'a pas assez compté sur le parti à tirer de l'adhérence des machines. Cette erreur l'a jeté dans les difficultés d'un matériel pesant, encombrant et compliqué. La traversée des Alpes peut s'effectuer au moyen de chemins de fer à ciel ouvert, avec des rampes de* 50 *millimètres par mètre et qui peuvent être exploités régulièrement, en toute saison, sans matériel spécial.* »

Deuxième objection.

» *Dans une région située à une hauteur au-dessus du niveau de la mer telle que l'hiver y dure près de sept mois, il n'est pas possible de compter sur l'exploitation régulière d'un chemin de fer à rampes de* 50 *à* 60 *millimètres, puisque dans nos climats, il est certains états de l'atmosphère où une machine trouve à peine l'adhérence nécessaire pour avancer seule sur niveau.* »

La première de ces objections m'a été faite, dans un journal spécial, par un publiciste fort distingué.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La seconde a été produite dans une conversation par un ingénieur dont l'expérience est incontestable.

Ces deux objections sont, à mes yeux, également sincères, mais elles s'appuient toutes deux sur des faits incomplétement observés.

Il est avéré en effet qu'en Amérique des rampes de 50 et même 65 millimètres sont régulièrement exploitées par des machines remorquant des trains.

On se souvient, en outre, qu'à l'époque où la ligne de Versailles, dont la rampe a 5 millimètres d'inclinaison par mètre, était exploitée par des machines locomotives à un seul essieu moteur, ces machines, par certains jours d'hiver, remorquant les trains les plus légers, n'ont pu arriver à Versailles qu'à l'aide de secours.

Ajoutons que, chaque hiver, ces faits se sont renouvelés jusqu'au jour où les machines à quatre roues motrices ont été substituées à celles à deux roues motrices : que personne ne peut les nier moins que moi, puisque j'ai eu, pendant plusieurs années, ma responsabilité d'ingénieur engagée dans la régularité du service de cette ligne, et qu'en nombreuses occasions j'ai pu juger par moi-même, en conduisant les machines, des obstacles que l'état atmosphérique apportait à leur marche.

Où donc est la vérité?

Nous la reconnaîtrons en laissant aux faits leur véritable signification; ils établiront suffisamment que les données extrêmes de la question, d'où mes deux critiques sont partis et ont tiré des conséquences si opposées, n'entachent ni d'exagération, ni d'insuffisance, les dispositions que j'ai proposées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Objection relative au défaut d'adhérence.

L'adhérence des roues sur les rails est un frottement qui oppose une telle résistance au glissement, que certains expérimentateurs prétendent que, sur des rails secs, l'effort tangentiel qu'il faut faire pour qu'une roue tourne sans avancer, c'est-à-dire pour la faire glisser, va jusqu'à la moitié du poids dont elle est chargée.

Je m'empresse de dire que je n'ai assisté encore à aucune expérience qui ait produit ce résultat, mais je suis disposé à admettre que, dans les circonstances *les plus favorables*, l'adhérence peut aller jusqu'au tiers de la pression sur les rails, et ne descend pas au-dessous du quart de cette pression

C'est ce qui explique l'énorme puissance de démarrage dont sont douées les machines, quand l'adhérence est favorisée par l'état atmosphérique et que de grandes dimensions des cylindres, des roues d'un faible diamètre et une forte pression de vapeur permettent de solliciter momentanément toute celle dont la machine est susceptible.

Ce frottement de la génératrice d'un cylindre sur une surface plane est, dans la locomotive, un frottement de grippement; il ne se produit avec cette intensité de résistance que lorsqu'il y a et parce qu'il y a altération des surfaces en contact.

Mais si un corps lubrifacteur quelconque s'interpose et modifie cette altération, le frottement diminue immédiate-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment et d'une manière très-variable. Si la pluie est forte et le rail propre, la diminution n'est pas très-sensible ; si le rail est simplement humide et malpropre, c'est-à-dire couvert de poussière ou de parcelles terreuses, le frottement diminue au point de n'être plus qu'une très-faible partie de la pression de la roue sur le rail ; si c'est de la glace qui est sur le rail, et si elle est durcie par le froid, le frottement semble disparaître entièrement, la roue glisse sur le rail comme le fer d'un patin sur la glace, de là le nom de *patinage* donné au phénomène qui se produit d'une roue de locomotive qui tourne sans avancer.

Or, toutes les fois que le froid a fait descendre la température du rail à quelques degrés au-dessous de zéro, c'est-à-dire de la congélation de l'eau, et qu'il tombe une pluie fine ; ou bien quand le brouillard vient couvrir la terre ; ou quand la rosée elle-même se produit, l'eau qui tombe sur les rails, ou celle qu'y amène la condensation des vapeurs répandues dans l'atmosphère, s'y congèle et y prend une extrême dureté.

Dans ce dernier cas, une machine légère à un seul essieu moteur, seule ou placée devant un train, deviendra impuissante ; ses roues glisseront sans avancer, elles patineront.

Si on projette sur les rails un peu de sable fin, le phénomène se modifie instantanément ; l'adhérence se manifeste de nouveau ; les roues cessent de glisser sur les rails. Le sable n'est cependant pas toujours nécessaire comme on va le voir.

Lorsqu'une machine a passé sur un rail ainsi couvert de givre, il est facile d'apercevoir les petites aiguilles de glace déplacées du sommet convexe, et cela explique suffisamment les phénomènes suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand par un temps de givre une machine pousse devant elle un wagon très-lourdement chargé, elle ne patine plus.

Quand deux machines sont attelées à la suite l'une de l'autre, la seconde ne patine pas ou presque pas.

Quand la machine est à l'arrière du train elle ne patine pas.

Une machine à quatre roues couplées patine moins qu'une machine à un seul moteur; une machine à six roues couplées patine très-rarement, ou du moins elle ne patine que lorsque le mécanicien lui demande un travail supérieur à celui qu'elle pourrait produire d'une manière continue.

Ce sont ces faits qui expliquent que le phénomène de modification de l'adhérence, qui réduisait, il y a quelques années, à l'impuissance d'avancer les machines légères et à un essieu moteur de la ligne de Versailles, ne se produit plus aujourd'hui que très-rarement et dans des conditions qui n'influent pas sur la régularité de la marche des trains.

Dans les dispositions ayant pour but d'appliquer la force motrice à toutes les roues d'un train, l'adhérence est certaine, quel que soit l'état des rails, par le simple motif que la cause qui aura pour effet le patinage des premières roues n'existera pas au même degré pour les secondes; elle existera encore moins pour les troisièmes; elle aura complétement cessé pour les suivantes.

Ce qui fait qu'une machine dont le patinage a suspendu la marche la reprend très-difficilement, quand elle n'est pas aidée, c'est qu'elle a à produire un effort bien plus considérable pour faire passer le train de l'état de repos à l'état de mouvement, que l'effort nécessaire pour maintenir la vitesse. Ici rien de semblable : le train conservant sa marche n'aura pas cet obstacle à vaincre. S'il s'arrête cependant par un cas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fortuit, la force motrice répartie à chacun des éléments du train s'appliquera efficacement partout où les rails seront propres, c'est-à-dire là où des roues auront passé.

Il n'est nullement nécessaire pour prouver l'exactitude de cette appréciation d'en faire l'essai sur une rampe d'une inclinaison supérieure à celle des rampes que les trains franchissent aujourd'hui. Il suffit en effet de savoir que, pour franchir ces rampes, les machines exercent un effort de traction égal ou supérieur à celui qui serait nécessaire pour faire remonter une rampe cinq ou six fois plus forte par un train dont le poids serait réduit dans le rapport de l'augmentation de l'effort de traction. Or, une machine pesant 50 tonnes avec son tender, qui remorque un train de 250 tonnes sur une rampe de 10 millimètres, fait un effort égal à celui qu'exigerait un train de vingt tonnes pour gravir une rampe de 60 millimètres ; c'est-à-dire que l'effort de traction sera dans les deux cas de 4,500 kil., qui dans le premier se divisent par 300 tonnes, et dans le second par 70 tonnes, puisque l'effort correspondant à la traction d'une tonne sur la rampe de 10 millimètres est approximativement de 15 kilog., tandis qu'il est de 65 kilogrammes sur la rampe de 60 millimètres.

Il y a plus, et c'est ici que je veux rendre l'évidence palpable. Quand on fait franchir une rampe de 10 millimètres par un train de 250 tonnes, ou de 300 tonnes, machine comprise, l'effort tangentiel appliqué à chacune des six roues de la machine est de 750 kilogrammes au moins ; or un train de même importance ayant à franchir les Alpes par des rampes de 60 millimètres sera porté sur 72 roues ; il nécessitera un effort de traction de 19,500 kilogrammes ; et, comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chacune de ses roues sera motrice, l'effort tangentiel sera par roue, de 280 kilog. au lieu de 750 kilog.

Ainsi au lieu de demander 7.5 à l'adhérence on lui demandera moins de 3.

Les conditions de régularité deviennent ainsi, en ce qui concerne l'adhérence, trois fois plus favorables qu'avec le matériel ordinaire, en comparant des rampes de 10 millimètres à des rampes de 60 millimètres.

Nous avons donc raison de dire que ce qui se fait aujourd'hui prouve surabondamment la possibilité de franchir ces rampes avec autant de régularité qu'on franchit celles de 10 millimètres.

Poursuivons : Lorsque l'adhérence se modifie par la congélation de l'eau sur les rails, une machine à six roues couplées conserve une forte partie de son adhérence, tandis qu'une machine à un seul essieu moteur la perd presque en entier. Dans ce cas, si la machine peut se faire précéder de wagons lourdement chargés, elle retrouve son adhérence; et c'est pour cela que, dans de semblables conditions, la machine placée à l'arrière du train réussit toujours à le mettre en mouvement. Cette situation de la machine à l'arrière d'un train a des inconvénients, mais elle est inutile avec un train dont toutes les roues seront motrices, parce que l'adhérence aura déjà été rendue aux rails par le passage des premières roues.

Mais supposons même encore ici l'insuffisance de l'adhérence, et la supériorité des nouvelles dispositions n'en deviendra que plus saillante. Lorsqu'en effet l'adhérence disparaît par l'état de l'atmosphère, on répand du sable sur les rails et ce moyen réussit; il faut cependant que le sable soit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

très-également répandu : car le moindre intervalle découvert ramène le patinage : de plus le train éprouve un accroissement de résistance par la présence du sable sur les rails. Le moyen en lui-même est donc toujours désagréable et quelquefois insuffisant; mais, toutes les roues d'un train étant motrices, la condition change absolument : le sable qui n'a servi qu'une fois à l'adhérence sous la machine, sert encore à l'augmenter sous les autres roues; il aide ici le train tout entier au lieu d'apporter un obstacle à sa marche; si le train a 150 mètres de longueur, ses facultés d'adhérence sont augmentées par rapport à celle de la machine dans le rapport de l'étendue comparative des deux bases motrices, c'est-à-dire comme 5 à 150.

Il en est de même de tous les moyens par lesquels on rend artificiellement l'adhérence aux rails, tels qu'injections de vapeur, d'eau chaude, etc. : ces moyens agiront dans un rapport infiniment plus avantageux sous un train dont toutes les roues sont motrices que sous une machine seulement.

Je m'arrête à ces dernières considérations : j'espère n'avoir pas laissé la moindre incertitude sur la supériorité, au point de vue de l'utilisation de l'adhérence, du système qui transforme toutes les roues d'un train en roues motrices, sur celui qui fait dépendre, sous ce rapport, le train tout entier du travail moteur appliqué aux seules roues de la machine.

J'avais publié les lignes qui précèdent dans un journal spécial, lorsque j'ai reçu communication du résultat des expériences sur la traction, faites sur les plans inclinés de Liége avec les *machines pour fortes rampes* du chemin de fer du Nord (n° 20 du *Guide du Constructeur*). J'extrais les observations suivantes du rapport de M. Engelmann,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ingénieur de la Compagnie, qui dirigeait ces expériences.

Après avoir indiqué que, dans les circonstances ordinaires, les machines pouvaient s'arrêter et reprendre leur marche, avec les trains, presque sans patinage, sur les plans inclinés, il poursuit :

« Le train de voyageurs de 6 heures, chargé, exception-
« nellement, de 97 tonnes 225, a été remorqué par la ma-
« chine n° 756. A peine démarré du pied du plan incliné, le
« train fut surpris par un ouragan extraordinaire accompa-
« gné par une pluie battante. Les réglements exigeaient que
« la machine fût en tête du train. Elle ne parvenait à avancer
« qu'avec les plus grandes difficultés. Le sable que l'on était
« forcé de répandre rendait le train très-dur ; au moindre pa-
« tinage, le train s'arrêtait court. Il était difficile, en vérité,
« de rencontrer des circonstances plus défavorables ; il a fallu
« 11 minutes là où 5 à 6 suffisent habituellement.

« Cette expérience a démontré combien il était irrationnel
« de placer les machines en tête des trains quand on est
« appelé à faire usage des sablières, et combien deux ma-
« chines accouplées sont préférables pour empêcher les effets
« du patinage. En poussant le train, les rails sont toujours,
« plus ou moins essuyés par les roues des wagons, le sable
« n'agit plus que sur les roues des machines. En employant
« deux machines accouplées, il est très-rare que toutes deux
« patinent à la fois, l'une d'elles continue à agir pendant
« que l'on s'occupe à arrêter le patinage de l'autre, et le
« train n'est plus exposé aux secousses et arrêts brusques
« résultant du moindre patinage de la seule machine em-
« ployée au remorquage.

« Il fut, en conséquence, entendu que les trains de voya-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« geurs seraient, seuls, remorqués machine en tête, et que « les trains de marchandises seraient poussés par les deux « machines accouplées.

« Dans la journée du 5, le temps se mit à la pluie, vers le « soir. Cette circonstance me permit de constater qu'avec « deux machines accouplées, le patinage n'est pas à craindre. « Je commençai par utiliser la sablière de la première ma- « chine et avec succès. Comme essai, je fis, à un voyage « suivant, jeter à la main dans les entonnoirs de la première « machine, et je constatai que l'effet en était beaucoup plus « prompt que celui de la sablière. En jetant du sable, dès « que l'on s'apercevait d'un commencement de patinage, on « a pu le faire cesser immédiatement, sans être dans la né- « cessité de fermer le régulateur. »

Ces observations ont confirmé les faits que mes souvenirs avaient fidèlement conservés et reproduits, mais dont le petit nombre d'ingénieurs occupés dans les exploitations de chemins de fer peuvent acquérir l'expérience. Elles résolvent, très-nettement, l'objection qui m'a été faite.

Je n'ai encore fait cependant que la moitié de la tâche, et il me reste à établir maintenant que ce n'est pas de gaîté de cœur et pour faire du nouveau que j'ai renoncé à l'idée de faire gravir des rampes de 50 millimètres par les machines locomotives seules.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Objection basée sur l'inutilité d'étendre l'emploi de l'adhérence au-delà de ce qu'en comporte le poids de la machine.

J'ai acquis, par bien des années d'étude et d'expérience, la conviction que le progrès scientifique n'a pas pour véhicule les caprices de l'esprit ou de l'imagination, mais les exigences réelles et presque invariables des besoins. C'est ce sentiment qui m'a conduit, lentement je l'ai dit, mais avec une conviction de plus en plus profonde à une combinaison que je considère aujourd'hui comme une des nécessités de l'art.

Constatons d'abord les données de l'expérience : de celle qui se produit sous nos yeux, c'est-à-dire sur le continent.

Que demande-t-on aujourd'hui à une machine locomotive?

1° Une puissance équivalente à l'effort de traction qu'exige un train pour marcher à une vitesse à laquelle la résistance de l'air est à peu près nulle. Cet effort, qui comprend les frottements de glissement des essieux sur leurs coussinets, le frottement de roulement des roues sur les rails, et une somme de résistances aussi diverses qu'inconnues provenant de l'état de la voie, de celui du matériel, etc., est, par tonne, approximativement, de 4 kilog. à 4 kil., 20;

2° Une puissance équivalente au supplément d'effort qu'exige l'ascension des rampes, à savoir : un kilogramme par tonne et par millimètre d'inclinaison;

3° Puis viennent : un supplément pour le frottement du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mécanisme de la machine, un second pour la résistance de l'air, un troisième pour la résistance qui résulte des courbes. On en évalue l'ensemble, si la vitesse de 28 à 30 kil. au maximum n'est pas dépassée, à environ 2 kilog. 80 par tonne.

Prenant un chemin à rampes continues de 5 millimètres, pour base de comparaison, mais limitant la vitesse à 20 kilomètres, écartant l'élément relatif aux courbes et à la résistance de l'air, l'effort de traction sera approximativement, par tonne de poids du train, machine comprise, pour les frottements, de. . . . . 4 kil. 25

Et pour l'inclinaison de 5 millimètres, de. . 5

Soit l'effort de traction, par tonne, nécessaire pour maintenir le train en marche. . . . . 9 kil. 25

Mais ce n'est pas tout : la régularité du service sur un chemin à rampe continue de 5 millimètres serait incompatible avec des dispositions dans lesquelles, la machine ayant la puissance de production de vapeur nécessaire pour utiliser toute son adhérence, on donnerait aux trains un poids, en tonnes, exprimé par l'adhérence disponible divisée par 9 kil. 25.

Il y a, en effet, d'autres causes d'augmentation de l'effort de traction.

En première ligne est l'effort nécessaire pour faire passer le train de l'état de repos à l'état de mouvement avec la rapidité convenable, ce qu'on appelle *le démarrage;* opération qui, dans des conditions convenables de prise de vitesse, dépasse l'effort nécessaire pour maintenir la marche, et s'élève dans des gares de niveau au maximum d'adhérence de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la machine, c'est-à-dire, dans les temps les plus favorables, jusqu'à 16 ou 18 kil. par tonne.

Puis vient en marche l'effort d'accélération, c'est-à-dire l'effort que fait la machine pour faire acquérir au train une vitesse correspondante à sa puissance de vaporisation. Ainsi, quand la pression baisse la vitesse diminue et l'effort de traction descend; puis la pression s'élève et avec elle l'effort de traction; jamais le dynamomètre n'indique une régularité absolue du travail mécanique ; le travail de la machine subit au contraire des modifications continuelles.

Viennent enfin les causes fortuites qui peuvent affecter la régularité de la marche des trains, telles que le grand vent, l'échauffement des boîtes à graisse, une mauvaise pose de voie, des attelages trop serrés pour les courbes, etc.

Nous ne parlons ici que des trains de marchandises, les seuls qui, sous le rapport de la vitesse, puissent être comparés à ceux qui traverseraient les Alpes.

Les ingénieurs du continent considèrent l'adhérence disponible comme égale au sixième du poids qui comprime les rails sous les roues motrices. Cette habitude s'explique : quand les rails sont secs, cette adhérence peut être du quart et au-delà. S'ils sont humides elle descendra jusqu'au huitième, quelquefois au douzième ; la congélation de l'eau sur les rails la réduira encore. Mais cette dernière donnée est exceptionnelle ; ce qui ne l'est pas, ce sont les variations dans la production de vapeur par suite de la mauvaise conduite du feu, ou de l'alimentation, ou de la mauvaise qualité du combustible. En face de toutes ces variations de l'adhérence et de la puissance mécanique, l'emploi de la force motrice au sixième du poids porté par les roues motrices assure

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une régularité suffisante ; on l'a adoptée comme limite supérieure d'un effort continu : l'effort de traction peut la dépasser momentanément, mais, comme travail continu, il ne l'atteint pas.

Les ingénieurs qui veulent réduire au prix de revient le plus faible possible le transport des marchandises par trains complets ont à leur disposition, pour l'adhérence à emprunter aux machines, un poids par roue de 5 à 6 tonnes ; mais l'expérience indique que ce poids ne peut être dépassé qu'au détriment sérieux et rapide des rails et des bandages. Les machines à six roues motrices pèsent en conséquence 33 tonnes, et celles à 8 roues motrices peuvent peser 40 tonnes; dans le premier cas, l'adhérence disponible sera comptée à 5,500 kil., dans le second elle sera de 6,666 kilogrammes, mais il n'existe pas d'exemple de machine qui, dans les circonstances que nous indiquons, puisse maintenir un effort de traction aussi élevé.

Le poids des trains fixé par des réglements d'exploitation qu'a consacrés l'expérience est bien loin de représenter la limite de la puissance momentanée de la machine.

Ainsi, prenant la récente machine du Nord à 8 roues couplées, comme base de comparaison, son adhérence peut, en toute sûreté, être admise, sur des rails secs, au cinquième de son poids, soit à 8,800 kilogr., et l'on peut compter peut-être que la puissance de vaporisation permettra d'utiliser toute cette adhérence pendant quelques minutes. Or, comme l'effort de traction par tonne est compté par les ingénieurs de cette compagnie, sur les rampes de 5 millimètres, à 9 k. 25., la puissance de la machine sera suffisante pour remorquer, pendant un temps assez court, un train de 950 tonnes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tandis que dans la pratique le poids des trains remorqués par ces machines est limité à 470 tonnes, machine comprise.

C'est ce qui explique l'erreur, malheureusement très-générale, dans laquelle on tombe, quand on juge de la puissance d'une machine par le train qu'elle peut remorquer dans une expérience.

Les exigences de la régularité veulent un excédant considérable de puissance.

Les machines américaines ne sont pas construites d'après un système qui produise pour elles une adhérence supérieure aux autres, mais elles sont employées sur les rampes au maximum de leur puissance motrice et de l'adhérence disponible : de là une irrégularité dans leur marche qui ne se concilierait ni avec la fréquence des trains sur nos lignes, ni avec la sécurité qui est la première condition de cette manière de voyager.

Le train américain est considéré comme un navire voguant à travers l'Océan. Il marche vite quand les circonstances sont favorables ; il marche lentement quand le travail s'accroît par les variations du profil ; il franchit de très-fortes rampes en réduisant considérablement sa vitesse, sans que la machine soit douée d'aucune supériorité quant à la production de vapeur et aux moyens de transmettre sa puissance motrice des cylindres aux roues.

Quel est, en effet, le travail utile des machines américaines?

« La ligne de Baltimore à l'Ohio, dit M. Douglas Galton (page 53, *Traversée des Alpes*) s'élève jusqu'au sommet d'une montagne à l'aide de rampes dont le maximum est de 50

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

millimètres. La charge que l'on peut traîner sur un pareil chemin est nécessairement très-faible. »

M. Ellet dit à son tour : « Sur le *Mountain top track*, le versant de l'ouest a 3,241 mètres de longueur. L'inclinaison moyenne est de 42 millimètres. Les courbes sont tracées sur des rampes de 45 millimètres. Le versant de l'est a 4,215 mètres. La rampe moyenne est de 49 millimètres, la rampe maxima y est de 56 millimètres. Elle n'a que 800 mètres de longueur. »

Il y a loin de ce profil à celui qu'exigerait la traversée des Alpes, dont chaque versant n'aurait pas moins de 20 à 25 kilomètres, avec une rampe moyenne de 50 millim. sur les cols les plus faciles à gravir.

Poursuivons les citations.

« Les machines sont à six roues couplées, elles pèsent 25 tonnes. Elles remorquent dans chaque sens un wagon de bagages et deux voitures à voyageurs. Pour le service des marchandises, le train se compose de trois wagons entièrement chargés, soit 40 à 45 tonnes. Quelquefois, mais très-rarement, le poids remorqué a dépassé 50 tonnes. »

Or, un poids brut, en véhicules, de 45 tonnes correspond à 30 tonnes de poids rémunérateur, en comptant le poids net égal aux deux tiers du poids total. Il suit de là que l'adhérence d'une machine pesant 25 tonnes correspond à un effet utile de 30 tonnes de poids rémunérateur sur des rampes dont la moyenne est de 47 millimètres. L'effort de traction sur la rampe de 800 mètres qui a 57 millimètres d'inclinaison sera de 62 kilog. par tonne, et, pour le train de 68 tonnes, de 4,216 kilog. C'est l'emploi de l'adhérence au ixième du poids porté par les roues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce parti que les Américains tirent de leurs machines ne diffère pas de ce que les ingénieurs du continent font eux-mêmes en pareille circonstance. La machine l'*Antée*, gravissant la rampe de Saint-Germain, de 35 millimètres d'inclinaison et de 1,500 mètres de longueur, avec une charge, machine comprise, de 123 tonnes, faisait un effort de 5,223 kilogrammes ; elle pesait 27 tonnes. C'était donc l'utilisation de l'adhérence au cinquième du poids porté par les roues motrices. Mais ce travail n'était demandé que dans des circonstances climatériques favorables et pour un travail dont la durée n'excédait pas huit minutes.

Cherchons ce qu'on a fait de plus nouveau dans cette voie, et revenons aux essais récents de la *machine pour fortes rampes* du chemin de fer du Nord sur les plans inclinés de Liége.

Ces essais sont un bien remarquable sujet d'études, en ce qu'ils constatent, comme *résultats d'expériences*, des faits pratiques propres à passer immédiatement comme règles dans l'exploitation des fortes rampes.

Il est bon de dire que, dans ces essais, les machines ont réalisé des effets plus considérables que ceux qui avaient été annoncés, mais nous ne voyons là qu'une preuve de plus de la prudence habituelle des ingénieurs de la Compagnie du Nord. Ce qui importe c'est que, malgré une installation de changements de voies faite pour un autre système de traction d'où résultaient des parcours et une perte de temps considérables, la machine locomotive a prouvé, une fois de plus, son entière efficacité et sa grande supériorité sur les machines fixes, à tous les points de vue, pour l'exploitation des fortes rampes. Sous le rapport des dépenses d'établissement fixe et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mobile, sous celui de la dépense de traction et quant à l'élasticité avec laquelle ces machines se prêtent aux variations de service, la différence a été si grande et tellement en faveur des machines locomotives, qu'il n'y a plus de comparaison possible. Jusqu'à de nouveaux progrès de l'art, la question est résolue en leur faveur.

La longueur de chacun des plans inclinés de Liége est de 1,980 mètres.

L'inclinaison moyenne est, sur le premier plan, de 28 m/m.; elle est de 27 m/m. 5 sur le second.

Les trains de marchandises et de voyageurs ont été remorqués par une ou deux machines, pendant plusieurs jours. Les machines locomotives étaient substituées aux machines fixes que tous les ingénieurs connaissent et qui sont un très-remarquable spécimen dans ce genre.

36 essais de trains de marchandises remorqués par deux machines ont donné les résultats suivants :

Le poids moyen des trains a été :	
1° Chargement.	68,272 kilos.
2° Véhicules portant le chargement. .	62,915
3° Véhicules dits « wagons-freins » qui sont habituellement employés sur les plans inclinés de Liége comme supplément au moyens de ralentissement ou d'arrêt.	51,609
Poids du train remorqué. . . .	182,796
Poids des deux machines locomotives.	75,000
Poids total du train, machines comprises.	257,796 kilos.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le poids maximum remorqué, dans un essai, a été :

1° Chargement.	104,910 kilos.
2° Véhicules portant le chargement. .	84,510
5° Wagons-freins.	35,870
Poids du train remorqué. . . .	225,290
Poids des deux machines locomotives.	75,000
Poids total maximum du train, machines comprises.	300,290 kilos.

La durée moyenne des trajets a été de 7 à 8 minutes, et pour le train le plus lourd de 10 minutes. La vitesse moyenne de 4^m10 à 4^m25 par seconde et de 3 m. pour le train le plus lourd.

L'effort de traction par tonne étant, y compris l'inclinaison, de 32 k. 25, en comptant 4 k. 25 sur plan horizontal, cela donne, pour le train moyen, un effort, par machine de 4,150 kilos correspondant à l'adhérence au neuvième du poids porté par les roues motrices. Pour le train maximum, l'effort de traction est de 4,840 kilos par machine, correspondant à l'adhérence du septième au huitième du poids porté par les roues motrices.

Nous avons vu, page 59, que cette même machine est susceptible d'un effort continu de 4,346 kilog.

Ainsi la différence qui existe entre l'effort continu que cette machine a pu maintenir, pendant deux heures, et celui qu'elle a pu maintenir, pendant dix minutes, est de 11 à 12 0/0. Il y a lieu de croire que, dans les deux expériences dont nous rappelons les résultats, la machine a produit son maximum de puissance. Dans la première, celle qui a eu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lieu sur la rampe continue de Creil et que nous annexons en détail (n° 4 de l'Appendice), le mécanicien a, pendant deux heures de marche, obtenu de sa machine tout ce qu'il était possible d'en tirer, et quant à l'essai sur les plans inclinés, où un effort de traction de 4,840 kilos s'est produit, il y a lieu de le considérer comme un maximum, parce que dans les 44 expériences faites sur ces plans inclinés, aucune n'a approché de ce résultat et que la durée du trajet a été de dix minutes au lieu de sept à huit qu'ont duré les autres essais.

Une différence de 10 à 12 0/0 entre un essai de dix minutes et un travail de deux heures s'explique par les causes suivantes. Le combustible contenu dans le foyer n'a été, dans l'essai le plus court, que faiblement diminué. Il y avait là un grand approvisionnement de chaleur. Dans l'essai fait sur les rampes de Creil, le combustible a été, plusieurs fois, renouvelé dans le foyer.

La quantité d'eau contenue dans la chaudière a également très-peu diminué dans l'essai de dix minutes, elle contenait ainsi un grand approvisionnement de chaleur. Pendant dix minutes de travail, l'alimentation a pu être suspendue, elle ne peut l'être pendant deux heures.

Ainsi, dans le premier cas, la machine a employé son approvisionnement de chaleur; dans le second, il lui a fallu reproduire tout cet approvisionnement.

Quant aux conditions de la combustion, il y a lieu de croire qu'elles ont été moins favorables sur les plans inclinés de Liége que sur les rampes de Creil; car le kilogramme de combustible n'y a produit que 6 kil. 495 de vapeur, tandis qu'il en avait produit de 7 kil. 6 à 8 kil. sur la rampe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

continue. Nous n'expliquons ce résultat que par la brièveté du travail.

Il résulte clairement du service des *machines pour fortes rampes* sur les plans inclinés de Liége que si, d'un côté, elles ont confirmé tout ce que nous en avions dit de favorable, elles n'ont rien produit qui puisse modifier nos conclusions sur l'insuffisance, au point de vue rémunérateur, comme à celui des services qu'elles seraient appelées à rendre dans l'exploitation de rampes continues de 50 m/m. Leur insuffisance, à cet égard, est devenue plus manifeste encore par la nécessité où on s'est trouvé d'atteler au train des *wagons-freins* pour modérer la vitesse à la descente. L'ingénieur fait bien observer « qu'il deviendrait inutile, avec des machines *spécialement* construites pour les plans inclinés, d'employer des *wagons-freins spéciaux* et que ces derniers représentent 28. 23 0/0 de la charge remorquée. » Mais cette observation même indique suffisamment que, pour être maître de la vitesse à la descente, il faut ajouter, soit aux machines, soit au matériel, des dispositions spéciales. Or, en présentant (page 63) les résultats de l'effet utile à attendre de ces machines, sur les rampes de 50 à 60 m/m., nous n'avions fait aucune part, dans le calcul du poids inutile, pour ces appareils. Cette part, ne fût-elle que de 5 0/0 du poids des véhicules, réduirait sensiblement le poids rémunérateur déjà si faible, auquel l'emploi de ces machines conduirait.

Peut-on tirer des machines locomotives un meilleur parti dans la traversée des Alpes?

Cette question se présente sous un double aspect, celui de l'adhérence et celui de la puissance de production de vapeur correspondant aux poids des machines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant à l'adhérence, il serait imprudent d'en supposer l'emploi dans des conditions plus favorables sur la montagne qu'en plaine. Nous croyons au contraire qu'il faudrait compter sur un effort de traction de 8 kilog. par tonne au lieu de 4 k. 25 en sus de l'effort dû à l'inclinaison. Mais cette condition même ne donnerait pas des garanties suffisantes de régularité. L'adhérence peut descendre plus bas sous une machine seule, et aussitôt l'impuissance de maintenir la marche devient évidente.

Il faut, au contraire, se poser comme une règle impérieuse pour franchir les cols des Alpes par un froid rigoureux, par des tourmentes de neige, par le vent de l'orage, d'avoir, en tout temps, un grand excès d'adhérence. Il faut que, dans l'heure nécessaire pour franchir ces cols sur des rampes ayant une aussi forte inclinaison et malgré tous les obstacles climatériques, il y ait un tel excès de force motrice, que le doute ou l'incertitude sur la marche ne soient pas possibles un seul instant.

A ce point de vue, se confier à six roues, quand on en a quarante disponibles, c'est relativement une idée fausse, outre que cela est une imprudence.

Une rampe de 50 millimètres sera franchie avec régularité et en toute sécurité, si l'emploi de l'adhérence ne dépasse pas le douzième du poids porté par les roues; or, cela n'est possible qu'au moyen des dispositions que nous conseillons.

Telle est la solution de la première difficulté, celle de l'adhérence.

Quant à celle de la puissance mécanique, nous avons dit, dans le chapitre 5, les moyens de l'obtenir; ils n'offrent rien, il est vrai, de nouveau ni de difficile. Le générateur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a les formes suivies généralement; ses dispositions comme véhicule sont également connues; la seule différence qu'il présente avec les conditions ordinaires est dans les détails de la transmission de vapeur aux cylindres moteurs. Mais l'objection ainsi limitée à ce que peut avoir de plus ou moins ingénieux un agencement de détail ne peut rien contre le système général, qui se résume dans la facile production d'une grande quantité de vapeur et, en conséquence, d'une puissance mécanique pouvant s'élever facilement à plus du double de celle que l'on peut tirer des dispositions actuelles.

De l'insuffisance bien démontrée des moyens mécaniques actuels est ressortie la nécessité d'étendre, de développer les combinaisons, les agencements qui forment la base des dispositions actuelles : et alors on arrive fatalement à la conclusion que, pour remorquer sur des rampes de 50 millimètres un nombre de voyageurs et un poids de marchandises susceptibles d'assurer une rémunération suffisante et pour desservir les besoins du trafic, il faut accroître la puissance motrice en séparant les éléments ; la génération de la vapeur d'un côté, les appareils de transmission de puissance mécanique de l'autre. C'est à cette condition qu'on peut obtenir d'abord lapuissance et puis l'adhérence nécessaires. Ce n'est pas aux machines locomotives actuelles qu'il faut demander cela. Nous croyons avoir amené cette question à un degré d'évidence qui nous aura désormais acquis l'adhésion des ingénieurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ 2.

Développement sur la combustion dans le foyer des machines locomotives.

Nous n'avons connu le mémoire de M. D. K. Clark dont il a été donné lecture dans la réunion du 1er mai (1), qu'après l'impression du chapitre 5 de la publication actuelle, dans lequel nous avons traité le même sujet que lui.

Ce mémoire jette une vive lumière sur les conditions générales de la combustion quant aux moyens de brûler la houille dans les foyers des locomotives, mais il a, en outre, à nos yeux, un intérêt bien autrement puissant : c'est celui de résoudre les difficultés qui s'attachent aujourd'hui à l'accroissement des dimensions des foyers de ces machines.

Le foyer des machines locomotives est un appareil dont les qualités ont grandement surpris tous les ingénieurs.

Sous l'influence d'un tirage énergique, la combustion y a pris une intensité tout à fait inattendue, tandis que, comme

(1) Séances de la Société des Ingénieurs civils, à Londres, des 1er et 8 mai 1860.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyen d'enlever la chaleur aux gaz produits par cette combustion, la disposition tubulaire a été la plus efficace.

La relation entre le nombre des échappements et le tirage, la relation entre le tirage et l'intensité de la combustion ont donné à la machine locomotive une élasticité remarquable dans la faculté de production de vapeur à mesure du besoin.

Mais il y avait une limite, et elle a bientôt été atteinte. On s'est aperçu que, pour la houille particulièrement, les rapports entre les dimensions diverses du foyer, sa surface de grille, sa profondeur, le volume de la chambre de combustion, etc., étaient à étudier à nouveau, en ce sens que des déperditions de plus en plus considérables de gaz combustibles produits par la combustion même avaient lieu à mesure de l'accroissement général des dimensions des foyers. On a remarqué particulièrement que l'intensité de la combustion ne s'accroissait pas dans les grands foyers à houille comme dans les foyers de dimensions ordinaires à coke, et que cela était dû au défaut d'affluence de l'air.

C'est de ce point de vue que le mémoire de M. D. Clark offre le plus vif intérêt. Il éclaire la voie qu'il faut suivre pour la combustion dans les grands foyers destinés à des productions de quantités très-variables de vapeur, en résumant les dispositions qui ont été tentées pour y faire affluer l'air dans un rapport constant avec les besoins du travail demandé aux machines. Il a, pour la question qui nous occupe, une opportunité précieuse, en ce qu'il ne laisse aucun doute sur la possibilité d'obtenir des générateurs de très-grandes dimensions, des résultats égaux, si non supérieurs, en intensité de combustion à ceux que donnent les foyers de dimensions ordinaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« L'objet de ce mémoire est de discuter et de comparer les divers modes de brûler la houille dans les foyers de machines locomotives.

« La combustion de la houille exige l'introduction dans le foyer d'une quantité d'air suffisante pour en élever la température à son maximum, au moyen du mélange le plus intime de cet air avec les parties solides et gazeuses du combustible.

« Après avoir déduit l'insuffisance des dispositions des foyers actuels des locomotives pour brûler la houille, l'auteur décrit les méthodes essayées, dans ces deux dernières années, pour introduire l'air au-dessus du charbon et le mélanger avec les gaz combustibles qu'il émet.

« Il distingue, d'abord, les méthodes par lesquelles un courant d'air est introduit par des ouvertures tubulaires ou autres pratiquées dans les parois de la boîte à feu et disposées d'une manière uniforme sur la surface du combustible.

« Il décrit, ensuite, les dispositions par lesquelles un volume d'air introduit par la porte ou autrement est dirigé sur la surface du combustible au moyen d'un rabat.

« Il signale, en troisième lieu, la construction de boîtes à feu de grandes dimensions avec de fortes surfaces de grille et de longs parcours des gaz produits par la combustion.

« La troisième classe qui est la première, dans l'ordre chronologique, est représentée par les systèmes de MM. Mac-Connel, Béattie et Cudworth. Dans le système des deux premiers, la chambre de combustion est prolongée dans la partie cylindrique de la chaudière ; dans le foyer sont des chicanes et des arches en briques pour aider au mélange des gaz, qui seul peut élever la température. Le troisième a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

préféré les boîtes à feu très-allongées avec une grille inclinée vers la plaque tubulaire.

La solution du problème exigeant un mélange intime de l'air avec les gaz combustibles, il fallait qu'un courant d'air régulier partît du front et de l'arrière de la boîte à feu avec différentes combinaisons propres à le distribuer sur la surface du combustible, tels que rabats, voûtes, chicanes, etc. Mais l'expérience a prouvé qu'à de grandes vitesses de marche, si ces appareils se sont montrés efficaces pour brûler la fumée, ils n'ont pas empêché la déperdition des gaz combustibles, ils ont contrarié l'élévation de la température dans le foyer et, par conséquent, la production de vapeur.

Les diverses dispositions des rabats ont, surtout, donné lieu à de graves objections, parce que ces appareils provoquent l'encombrement des tubes par les menus fragments de houille, et la destruction rapide de la boîte à fumée, à moins que leur action ne soit contrariée par une voûte intérieure opposée au rabat.

L'auteur a trouvé, par expérience, que pour consumer la fumée, lorsque la machine est en marche, il suffit que l'air arrive à la surface du combustible ou près de cette surface, par des tubes distribués dans la largeur de la boîte à feu en avant et en arrière, sans qu'il soit nécessaire d'employer des voûtes ou des rabats. L'appel d'air est très-énergique à travers les tubes de l'avant, lorsque la machine marche en avant ; l'air ainsi appelé arrive au milieu de la boîte à feu où il rencontre les courants contraires. Le mélange d'air et de fumée devient alors intime, et les particules de combustible ne peuvent pas être entraînées dans les tubes de la chau-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dière. Mais, dans tous les systèmes appliqués aux locomotives ordinaires, et basés sur le tirage dû à l'échappement dans la cheminée, auquel se substitue le jet de vapeur, quand la machine cesse de travailler, on ne peut ni obtenir une combustion intense, ni éviter la perte résultant d'une production abondante de gaz combustibles non brûlés, dès que l'échappement ne fonctionne pas ou que l'on charge le foyer. Ces systèmes n'ont pu complétement réussir à donner aux foyers des locomotives l'élasticité qui leur est nécessaire.

Pour proportionner le tirage aux besoins du foyer, l'auteur a employé des jets de vapeur qui passent dans les conduits d'air. Il parvient ainsi à produire et à augmenter, à volonté, le courant d'air. Les becs de vapeur entourés des tubes à air ressemblent à autant de cheminées avec l'échappement ordinaire. Ils donnent les mêmes moyens de créer et de maintenir le tirage. Cette méthode permet de distribuer les courants d'air avec une précision et une vitesse telles que toute la surface du combustible en est balayée et que l'air ne peut pas manquer de se mélanger avec les gaz.

En pratique, il n'a été qu'exceptionnellement nécessaire de faire fonctionner les jets de vapeur pendant la marche de la machine; il suffit, alors, que les ouvertures pour l'accès de l'air soient assez nombreuses. Le tirage seul fait arriver la quantité d'air nécessaire dans la boîte à feu. C'est lorsque l'on ferme l'introduction de la vapeur dans les cylindres, en arrivant à une station, par exemple, qu'il est nécessaire de faire agir tous les petits échappements de vapeur. Alors la température s'élève rapidement; il se distille une grande quantité de gaz combustibles qui sortiraient par la cheminée sous forme de fumée, s'ils ne rencontraient, au-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dessus du combustible, l'air nécessaire à leur combustion. On peut modérer les jets de vapeur, les supprimer ou bien même les continuer, lorsque la vapeur est introduite, de nouveau, dans les cylindres, suivant le degré d'activité à donner au foyer, parce que l'accès de l'air dans le foyer doit ainsi se régler à l'aide de registres ou de tiroirs adaptés aux orifices. Mais en limitant le nombre des orifices et, par conséquent, l'accès de l'air, de manière à empêcher l'introduction de tout excès, on peut se dispenser de faire emploi de registres sans que pour cela l'économie de combustible diminue sensiblement.

Dans la comparaison des divers procédés employés pour brûler la houille sans fumée, on a rencontré les difficultés qui résultent de toutes les variations de temps, de combustible, de machines et de travail. Cependant on a recueilli les résultats fournis par plusieurs machines brûlant de la houille d'après divers procédés, et par ces mêmes machines brûlant du coke.

Les trois systèmes expérimentés, ceux de MM. Mac-Connell, Beattie et Cudworth, avec le même poids brut de train et de machine, c'est-à-dire 110 à 116 tonnes, et pour la même vitesse, ont donné les chiffres suivants :

Noms des Inventeurs	Poids brut des trains	Houille brulée		Provenance de la houille
		Par kilom.	Par tonne	
	Tonnes	Kilog.	Kilog.	
Mac-Connell. . . .	114	10. »	0.087	Hawkesburg
Beattie (eau froide).	102	6.773	0.096	Griff et Starely
Cudworth.	115	7.336	0.063	Houille à coke

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi les procédés greffés sur les boîtes à feu ordinaires des machines à voyageurs, on a expérimenté parallèlement ceux de M. Douglas, avec un rabat, chemin de Birkenhead; de M. Garrow, avec une voûte en briques et circulation d'air, chemin nord-est de l'Ecosse; de M. Connor, voûte en briques et rabat, chemin de fer calédonien; de M. Frodsham, rabat et introduction de vapeur dans le foyer, système adopté par M. Sinclair, sur le chemin de fer des comtés de l'Est; de M. D. K. Clark, procédé décrit dans le rapport, employé par M. Cowan sur le chemin de fer du nord de l'Ecosse.

Les résultats, avec des trains de 8 ou 10 voitures, ont été les suivants :

Noms des Inventeurs	Poids brut des trains	Houille brulée		Provenance des houilles
		Par kilom.	Par tonne	
	Tonnes	Kilog.	Kilog.	
Douglas.	98	8.014	0.089	Galles
Garrow.	86	7.252	0.084	Comté de Fife
Connor.	88	6.264	0.071	Comté de Lanark
Frodsham.	93	6.576	0,0707	Stavely
Clark.	110	5.939	0.054	Comté de Fife

Ce tableau démontre qu'avec le système de M. Clark on a brûlé moins de charbon, tout en remorquant une plus lourde charge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a fait aussi des expériences pour les trains de marchandises. Les résultats comparatifs sont les suivants :

Noms des Inventeurs	Poids brut des trains	Houille brûlée	
		Par kilomètre	Par tonne
	Tonnes	Kilog.	Kilog.
Douglas.	445	17.014	0.038
Connor.	255	10.525	0.041
Frodsham.	223	11.709	0.051
Clark.	305	11.173	0.036

Le profil du chemin de fer du nord de l'Ecosse, sur lequel on a expérimenté le système de M. Clark, offre de longues inclinaisons; plusieurs sont de 0,010 à 0,0075.

Les courbes sont nombreuses sur cette ligne; néanmoins, les machines ont remorqué 35 wagons à pleine charge, c'est-à-dire un poids brut de 460 tonnes, à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure.

L'auteur conclut en établissant que son procédé, pour brûler la houille sans produire la fumée, se distingue par la simplicité de l'appareil, sa durée, son efficacité et la facilité de conduire le feu.

Il ne suppose aucune construction dans l'intérieur de la boîte à fumée, et, conséquemment, il n'y a lieu de redouter aucune usure résultant de l'action d'une température extrême. Bien que ce procédé s'applique sur tout le pourtour de la boîte à feu, cependant il ne gêne en rien la manœuvre du foyer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fonctionnement est facile en raison de la hauteur des orifices au-dessus du combustible.

Tout le travail pour empêcher la fumée de se produire, consiste à faire agir les jets de vapeur au moyen d'un robinet que le mécanicien a sous la main.

Dans le cours de la discussion sur le mémoire de M. D. K. Clark, on a fait observer que le système préconisé par l'auteur pour brûler de la houille paraissait ne pas différer de celui qu'a adopté M. Jenkins.

Ce système, employé par la compagnie du Yorkshire et Lancashire Railway, ne diffère de celui dont il est aujourd'hui question qu'en ce que, pour ce dernier, on emploie des jets de vapeur pour accélérer la vitesse de l'air. M. Jenkins se borne à faire quelques entretoises creuses au lieu de les faire pleines; l'air passe par ces conduits, il se mêle aux produits de la combustion et ne permet pas à la fumée de se produire. Des tiroirs extérieurs permettent de fermer ou d'ouvrir à volonté les orifices : de cette façon on peut, à volonté, dans la même machine, brûler de la houille ou du coke. Ce système peut être adapté, moyennant une faible dépense, à d'anciennes machines, et l'on dit qu'il est très-simple et très-efficace.

On fait remarquer que l'emploi du tube de vapeur, dans les parois latérales et dans la partie antérieure de la boîte feu, pour empêcher la production de la fumée, a déjà été l'objet d'expériences faites, il y a 19 ans, par le pionnier de la condensation sur les surfaces froides, M. Samuel Hall. Ce système essayé alors par la compagnie du Midland Railway st maintenant appliqué par celle du Great-Western Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'on pense que, sans brûler tous les éléments combustibles de la fumée, on arrivait alors à s'en débarrasser tout aussi bien qu'aujourd'hui. L'inconvénient était que les tubes se brûlaient; mais, comme on avait la houille à bien meilleur marché que le coke, on ne s'arrêtait pas devant l'objection d'une certaine complication et d'un faible surcroît de dépenses d'entretien. Dès que le système de M. Samuel Hall fût connu on objecta que, lorsque la machine était en stationnement dans une gare, il y avait dégagement abondant de fumée noire. On remédiait à cela à l'aide d'un faible échappement de vapeur dans la cheminée. Il en résultait un tirage lorsque la machine était en repos, mais le bruit que faisait la vapeur a fait rejeter ce système.

En ce qui concerne la question générale de la combustion sans fumée, on fait remarquer que les rabats et les voûtes en briques ne sont pas nécessaires, et qu'il suffit d'introduire la quantité convenable d'air atmosphérique et de l'amener au-dessus du combustible dans un état moyen de diffusion.

En 1856, M. Robert Longridge a proposé l'emploi d'entre toises creuses avec petits jets de vapeur, pour les chaudières marines dans lesquelles on ne peut faire passer, par les tubes, avec le tirage ordinaire, une quantité d'air suffisante ; mais on pense que, dans une locomotive, tout le volume d'air nécessaire pour la combustion des hydrogènes carbonés peut être amené, par des entre toises creuses, sans le secours d'aucun jet de vapeur.

Pour la capacité calorifique relative de la houille et du coke, on a dit, quelquefois, que l'on pouvait obtenir la même chaleur d'une tonne de coke que du poids de houille qui a servi à sa fabrication. Cette opinion a été contestée; on a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait des expériences attentives sur la houille de Garesfield et l'on a trouvé que les puissances calorifiques de la houille et du coke sont entre elles, pour le même poids, comme 100 est à 89. Mais comme cent tonnes de houille ne donnent que 66 tonnes de coke, le vrai rapport n'est pas 100 : 89, mais 100 : 89 × 0.66, c'est-à-dire, 100 : 58.

D'autre part, on a trouvé que 20 kilog. de houille de Midland donnent 11.5 kilog. de coke, avec d'autres produits, et que 6 kilogrammes de coke évaporent la même quantité d'eau que 7 kilog. de houille. Par suite, on fait une perte lorsque pour produire de la vapeur on transforme de la houille en coke; mais, en ne considérant que le poids, le coke est plus avantageux que la houille dans la proportion de 7 à 6.

On pense qu'il est physiquement impossible de consumer la fumée, lorsqu'on la laisse se produire, sans éprouver une perte. Dans les expériences sur la combustion de la fumée, un appareil *Self-acting* a été appliqué à la chaudière d'une machine d'épuisement; les résultats qu'on a obtenus sont les suivants :

1° Quand la machine est bien en feu, l'air n'arrivant pas au-dessus du combustible, la consommation du combustible est représentée par 100 ; il y a, dans ce cas, une émission abondante de fumée ;

2° Lorsqu'on introduit assez d'air pour brûler la fumée, sans jamais cesser cette introduction pendant les intervalles des charges du foyer, la consommation du combustible devient 120 ;

3° Mais lorsqu'on fait fonctionner l'appareil *Self-acting* et que l'air n'entre plus, dès que la fumée a disparu, la consommation du combustible se réduit à 110.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On objecte encore que, pour établir une comparaison convenable entre la consommation de combustible et la charge traînée, M. Clark aurait dû, dans son mémoire, faire connaître :

1° Quels ont été, dans les deux cas ; la plus grande hauteur rachetée, la longueur du trajet, la principale inclinaison et sa longueur ;

2° Quelle a été la vitesse moyenne pour toute la distance parcourue.

3° Quel poids de vapeur a produit le kilogramme de combustible.

Sur le North Estern Railway d'Ecosse, les trains de voyageurs font environ 56 kilomètres à l'heure, pendant que sur le Great Northern Railway en Ecosse, la vitesse ne dépasse pas 40 kilomètres à l'heure. De même pour les trains de marchandises, la vitesse, sur le dernier chemin, est de 20.8 kil. à l'heure, et sur le chemin calédonien de 32 kilom.

Un membre dit que lorsqu'on a essayé, aux Etats-Unis, d'introduire partout l'usage de l'anthracite, pour les longs trajets, on a constaté que, bien qu'il ne se produisît pas de fumée, on éprouvait des difficultés à maintenir la pression et que la boîte à feu et les barreaux de la grille se brûlaient vite. Malgré cela, dans certains cas, l'anthracite est d'un emploi plus économique que le bois. On brûle de l'anthracite sur le chemin de Reading ; on en consomme 34 kilog. par kilomètre; les machines pèsent 28 tonnes, elles remorquent des trains de 750 tonnes à la vitesse de 16 à 19 kilomètres, par heure, sur niveau. On obtient de 5.5 kil. à 6 kilog. de vapeur par kilog. de combustible.

Le même membre donne quelques détails sur les systèmes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de Phlegel, de Dunplel et de Boasdman ; ces systèmes permettent l'emploi des houilles bitumineuses aussi bien que celui de l'anthracite et s'appliquent à des machines à voyageurs et à marchandises indistinctement. Chacun d'eux donne une capacité considérable à la chambre de combustion et ne laisse arriver l'air que par filets et au-dessus du combustible. Tous, cependant, sont compliqués et nécessitent un grand poids de matières ; aucun d'eux ne peut s'adapter aux machines actuellement en service. Pour ces dernières années, dit-il, on a essayé de modifier les machines en service pour brûler de la houille grasse. La dificulté consiste à brûler une quantité suffisante de combustible dans un temps donné, à introduire toute la quantité d'air nécessaire à cette combustion, et elle résulte de la nature collante du combustible. Cependant en Amérique les machines ne sont pas plus lourdes qu'en Angleterre et n'ont pas plus de surface de chauffe ; elles brûlent plus de charbon et produisent plus de 25 0/0 de vapeur de plus dans un temps donné.

En décembre 1856, M. G-G. Griggs, de la compagnie du chemin de fer de Boston et Providence, a placé une voûte en brique au-dessus des tubes dans les boîtes à feu de quelques machines de cette compagnie. Avec quelques trous percés pour faire arriver l'air au-dessus du feu, on a trouvé que cette voûte augmentait le rendement de la boîte à feu lorsqu'on y brûlait de la houille.

Sur la compagnie de Yowa-Central, les grilles des machines brûlant de la houille ont été couvertes, à une certaine époque, de briques réfractaires, de manière à ne laisser que 0m. c. 18 de libres ; sur cette surface il n'y en avait que 0.09 au plus pour l'accès de l'air.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Plus récemment, des portes de foyer perforées, des distributeurs d'air, ces derniers placés dans l'intérieur de la boîte à feu, ont été employés sur une grande échelle.

Un membre conteste que l'expérience et la théorie démontrent qu'un kilog. de houille possède une puissance calorifique plus grande qu'un kilog. de coke.

On remarque, en ce qui concerne l'augmentation du combustible lorsqu'on consume la fumée, que la combustion complète de 1 kilog. de houille à Hartley exige 5.44 mètres cubes d'air à 15° à 760 millim. de pression.

Les résultats d'expériences démontrent que, jusqu'à un certain point, l'admission de l'air n'augmente pas la température de la boîte à fumée, mais la diminue; cela prouve qu'il n'est pas nécessaire d'introduire une quantité d'air notablement supérieure à celle qu'exige la combinaison chimique, et que l'effet produit par l'entrée de l'air avec excès consiste à augmenter la température de la cheminée et à diminuer celle du foyer.

En réponse à toutes les observations qui viennent d'être faites, M. Clark dit que l'on a fait des expériences sur son système et sur celui de M. Jenkins, sur une des lignes de chemin de fer aboutissant à Londres; qu'on a opéré sur une machine à voyageurs, faisant le même travail, et qu'avec son système on a fait une économie de combustible de 12 0/0 sur ce qu'on dépensait avec le système Jenkins; que lorsqu'on brûlait la fumée dans les locomotives on économisait 18 0/0; que les renseignements demandés pour faire une comparaison exacte se trouvent dans le mémoire; qu'il n'est pas nécessaire de donner simplement des altitudes si l'on n'ajoute pas des détails sur la distribution des rampes et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur longueur ; que la vitesse des trains de marchandises, sur la ligne du Caledonian Railway, déduite des tableaux de la marche des trains, est de 19 kilomètres à l'heure et non pas de 32 kilomètres ; que, sur le Great-Northern Railway en Écosse, cette vitesse est de 22 kilomètres et non de 20 kilomètres ; de plus, que la distance moyenne des stations entre elles est, sur le Caledonian Railway de 10 kilomètres 7, et sur le Great North of Scotland Railway, de 6.4 kilomètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ 3.

Discussion sur les machines du système Engerth.

Machines Engerth. — Les machines Engerth (1) ont été adoptées sur le chemin de fer du Nord, parce que leur système de construction permet d'obtenir une grande surface de chauffe dans d'excellentes conditions, c'est-à-dire en donnant des dimensions relatives plus rationnelles et plus fortes à la surface de la grille, à la capacité de la chambre de combustion et à la longueur des tubes; et puis parce que l'on espérait que l'articulation des deux châssis, celui de la machine et celui du tender, permettrait de faire contribuer l'adhérence du châssis du tender à l'effort de traction, comme dans un châssis unique, en conservant à la machine sa stabilité pendant la marche, avec une flexibilité suffisante pour franchir des courbes de faible rayon.

L'expérience a établi l'exactitude des appréciations de l'in-

(1) M. Engerth, ingénieur du matériel des chemins de fer autrichiens, a été conduit aux dispositions de sa machine par les conditions à remplir dans l'exploitation du Semmering.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

génieur Engerth, quant aux avantages à attendre des grandes surfaces de chauffe ; elle n'a pas confirmé tout ce qu'il attendait de l'articulation des châssis, quant au parti à tirer de l'augmentation du poids servant à l'adhérence, mais elle a démontré le mérite des châssis articulés, en ce qui concerne la stabilité de la machine et sa flexibilité au passage des courbes.

L'articulation des châssis qui a pour effet de faire porter aux roues du tender une partie, faible d'ailleurs, du poids de la machine, a le grand avantage d'empêcher les effets de galop qui ne manqueraient pas de se produire avec une machine très-longue, portée sur une base relativement très-courte, ayant la boîte à feu et la boîte à fumée en porte-à-faux.

Il reste donc établi, comme un des progrès les plus intéressants dans l'accroissement de la puissance des machines locomotives, que la disposition de la machine Engerth est la seule qui se prête jusqu'à présent aux grandes surfaces de chauffe et que l'articulation des châssis, loin de lui ôter la stabilité, lui permet, au contraire, de grandes vitesses de marche.

Reste la question d'augmentation d'adhérence.

Les expériences dont nous avons reproduit les résultats, (n° 4 de l'appendice) démontrent, sans conteste, que l'effort de traction que peut *maintenir* la machine Engerth est inférieur au sixième du poids porté par les roues motrices. Il semble, en conséquence, qu'il soit inutile de transmettre aux roues du tender une partie de l'effort de traction pour les transformer en roues motrices. Il n'en est cependant pas ainsi. Toutes les fois que nous avons cherché à définir les limites et les effets

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'utilisation de l'adhérence, nous avons également fait observer qu'il y avait une grande différence entre l'effort de traction au démarrage et l'effort de traction en marche, et que, par conséquent, le poids servant à l'adhérence pouvait utilement varier dans son emploi. Sous ce rapport, il est regrettable qu'un moyen de transmission momentanée plus pratique que celui imaginé par l'ingénieur Engerth n'ait pas été trouvé. L'utilité n'en est pas contestable. Dans tous les cas où l'effort de traction dépasse l'adhérence disponible sous la machine, il importe que celle du tender puisse concourir. Les moyens de transmission se produiront ; celui de M. Loyd et celui de M. Larpent méritent d'être essayés et, parmi les ingénieurs, personne ne doute que le problème ne soit résolu le jour où la nécessité s'en présentera.

Il semble donc que les résultats de l'expérience tendent à démontrer l'utilité de persévérer dans la voie indiquée par Engerth, là où des transports devront être effectués, sur de longs parcours, en quantités considérables et régulières et ne pourront payer qu'un tarif faible.

Ce n'est pas que nous entendions qu'on peut espérer obtenir du système Engerth une surface de chauffe bien supérieure à 200 mètres. La limite du poids de 10 tonnes par essieu, nécessaire à la conservation de la voie, est atteinte dans cette machine ; il n'y a plus de poids supplémentaire à porter de ce côté. Quant à celui qui pourra être reporté sur les essieux du tender, il ne pourra être que faible pour plusieurs raisons : d'abord parce que la limite de 10 tonnes est atteinte sur ces essieux ; qu'en portant le nombre des essieux à sept, dont trois pour le tender, cela ne pourra se faire qu'en chargeant l'articulation, puisque toute augmentation de la chaudière sera

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

portée par le châssis supérieur, celui de la machine, qui s'appuie sur celui du tender. L'augmentation de poids porté sur l'articulation peut présenter des inconvénients. Ce poids, nous l'avons dit, est faible quand la machine est en repos et sur les balances, mais comme l'articulation est à l'extrémité du bras de levier de la machine, elle supporte, pendant la marche, tous les accroissements de poids qui résultent des oscillations de l'axe longitudinal, et il est indubitable qu'en certains moments la pression sur l'articulation ne soit très-forte.

On peut donc admettre que la limite de la surface de chauffe a été atteinte, et que les améliorations que la machine Engerth a réalisées sont fort étendues, particulièrement en ce qui concerne les dispositions du foyer. L'avenir semble appartenir à cette machine, pour un trafic spécial, tel que nous l'avons défini plus haut.

Cependant cette machine a été critiquée par un ingénieur qui professe à l'école des Mines de Paris ; et comme cette école tient le premier rang, au point de vue scientifique ; que les hommes qu'elle forme auront, certainement, une large influence sur les progrès de la mécanique appliquée aux chemins de fer, cette opinion est grave et doit être discutée.

Il reproche au système :

« De ne gagner qu'un peu d'adhérence en sacrifiant l'uniformité du poids sur les essieux. Ce bénéfice de l'adhérence est complétement insignifiant; on peut l'accroître tout en réduisant le maximum de charge par essieu, en abandonnant ce type, c'est-à-dire en détachant la machine du tender.»

Il établit « que l'accouplement n'a d'autre effet que de reporter sur les longerons du tender 1,100 à 1,400 kilog. soit de 1/37e à 1/28e du poids de la machine proprement dite.

« Il faut donc laisser à l'adhérence toute sa valeur en rendant à la machine

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

son indépendance et reporter sur ses huit roues cette insignifiante fraction de 1/37e ou 1/28e de leur charge.

« L'insignifiance du poids porté par les longerons du tender, la mauvaise répartition de la charge sur les six essieux font de la machine Engerth une de ces erreurs dans lesquelles tombent, parfois, les *praticiens* les plus exercés.

« La machine Engerth n'est pas seulement coûteuse et gênante par les installations spéciales qu'elle exige, par la nécessité de renvoyer l'appareil aux ateliers pour une simple réparation à faire au tender, par l'écrasement fréquent des bandages très-chargés du 3e essieu, par les avaries continuelles de son immense foyer, etc, elle est loin, de plus, de posséder la flexibilité complète qu'on lui attribue. En cas de déraillement, (accident auquel elle est plus particulièrement sujette, tant à cause de sa roideur que par suite des ruptures des rails qu'elle détermine plus souvent que toute autre machine) elle encombre les voies pendant très-longtemps à cause de la difficulté de séparer les deux parties de l'appareil, les pièces de jonction étant généralement gauches et soumises à des efforts énormes.

« La machine Engerth à huit roues couplées ne soutient donc pas l'examen; on ne peut même pas justifier sa disposition par la nécessité de soutenir l'arrière de la chaudière dans les soubresauts de la machine. Cette considération, fondée pour des machines à marche rapide, est, tout à fait, hors de cause pour des machines à allure aussi lente que celles des locomotives à marchandises. Il ne peut donc plus être question de construire de semblables machines.

« Ce n'est pas, d'ailleurs, le principe qui est critiqué, mais *son application* et *la modification malencontreuse qu'on lui a fait subir*; la disposition Engerth peut convenir pour une vitesse de 50 kilomètres, parce qu'alors la considération de la stabilité, de la régularité d'allure, peut être justement invoquée. Quand il faut, d'une part, une grande puissance et de la flexibilité; de l'autre, de la vitesse, cas dans lequel une adhérence partielle suffit, la solidarité est justifiée, parce qu'elle fait disparaître le porte à faux de la boîte à feu et l'instabilité qui en résulte. Les machines Engerth à voyageurs et à quatre roues couplées de 1 m 80 sont, par exemple, à l'abri de toute critique. Il en est de même des machines analogues (sauf le moindre diamètre des roues en rapport avec la lenteur relative de la marche) adoptées sur plusieurs chemins suisses.

« Quant aux machines à marchandises, les avantages que quelques ingénieurs attribuent à l'unité du moteur sont, au moins, très-contestables, quand on atteint une pareille limite de puissance. L'économie n'existe ni dans l'achat ni dans l'entretien, tant s'en faut, ni dans la consommation; reste le personnel. Mais en admettant que ces colossales machines fassent ressortir, en définitive, une certaine économie sur les frais de traction quand les con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ditions du trafic permettent de les faire marcher, presque toujours, à charge complète, il est constant que l'action de huit roues solidaires dont les diamètres ne sont jamais très-rigoureusement égaux et procédant alors par des glissements continuels sous des charges très-considérables, est, pour la voie, une cause incessante de dégradation.»

Avant de discuter la valeur technique de ces objections, nous commencerons par écarter celles qui reposent sur des appréciations là où des faits seraient indispensables.

Il est, sans doute, incontestable qu'une machine très-puissante coûte plus d'acquisition et d'entretien qu'une machine plus faible et qu'elle consomme davantage, mais ce n'est pas de cette relation qu'il faut partir ; la seule susceptible d'exactitude est la relation de ce prix d'achat, des frais d'entretien et de la consommation avec le travail effectué. Quant à la consommation, l'erreur de la critique est manifeste. L'avantage de la grande surface de chauffe est, sous ce rapport, absolu ; le kilogramme de combustible vaporise une quantité d'eau plus forte dans ces machines que dans les autres. Quant au prix d'achat et aux frais d'entretien, le compte a dû en être fait et il eût été utile de le produire. A défaut d'un compte, il était rationnel de partir de la différence des deux efforts de traction dont les machines comparées sont susceptibles, et de démontrer que le prix d'acquisition et les frais d'entretien dépassent, dans les machines Engerth, la relation qui existe entre ces deux efforts.

Jusque-là les appréciations sur les prix d'achat et sur les frais d'entretien nous paraîtront déduites de renseignements aussi erronnés que ceux qui ont été fournis sur la consommation.

Nous laisserons de côté, pour les mêmes motifs, l'impor-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tante observation relative à la destruction de la voie. Nous sommes loin de partager l'opinion que *ce sont les bandages médiocres qui sont, aujourd'hui, la seule sauvegarde des rails*. L'opinion des *praticiens*, puisque cette expression paraît satisfaire M. le professeur, serait plus exactement exprimée dans des termes absolument contraires à ceux-ci. Lorsque les bandages sont médiocres, ils s'altèrent rapidement et c'est alors que se produisent et s'aggravent les inconvénients résultant des différences dans le diamètre des roues couplées. Il y a plus : l'altération des bandages médiocres se produit par la perte de l'angle d'inclinaison et par la formation rapide des *gorges* ou des *plats*, et ce sont là les vraies causes de rapide destruction des rails. Des bandages de bonne qualité conservent aux roues leur diamètre ; ils gardent longtemps l'inclinaison de fabrication et ne se creusent que très-lentement. Ils portent donc bien plus longtemps, d'une manière normale, sur les rails et ne produisent que l'usure de roulement qui est la plus faible et la plus lente des altérations auxquelles les rails soient exposés.

A part ces observations sur les bandages, nous nous demanderions comment *une* machine à huit roues couplées peut produire, par suite des différences de diamètres des roues, une altération plus sérieuse de la voie que *deux* machines à six roues couplées ? Les différences de diamètre ne se produisent pas autrement que par la marche ; elles sont donc identiques. Le poids porté par les roues est sensiblement le même, ce n'est donc que par la circulation des machines comparées au tonnage remorqué qu'il faut calculer l'usure des rails.

Le cercle des objections se resserre de plus en plus. La

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

supériorité des machines Engerth de 200 mètres de surface de chauffe semble évidente : quant au prix d'achat, leur poids à vide étant plus faible que celui des autres machines, relativement à l'effort de traction dont elles sont susceptibles, et le prix de l'unité des matières employées dans la construction étant le même, l'avantage leur reste entièrement. L'augmentation de frais d'entretien à laquelle elles donnent lieu est de beaucoup inférieure à l'augmentation du poids remorqué et elles produisent la vapeur avec une économie incontestable. Enfin, leurs roues usent la voie de la même manière que celles des autres machines à roues couplées; et, en conséquence, elles gardent, sous ce rapport, leur avantage, proportionnellement à leur supériorité en puissance.

Il ne reste plus d'objection sérieuse que celle-ci :

« Que dans les machines à marchandises, il est inutile de tenir compte de la stabilité et de la régularité d'allure ; qu'il est inutile de faire disparaître le porte à faux de la boîte à feu et l'instabilité qui en résulte ; qu'il est également inutile de soutenir l'arrière de la chaudière dans les soubresauts de la machine, parce que la vitesse de marche est faible et, qu'en conséquence, il faut d'autant plus ramener ces machines aux conditions *logiques*, celles de l'indépendance, que cette transformation est possible à peu de frais, et qu'elle augmentera l'adhérence en diminuant le maximum de la charge par paire de roues. »

En voici les moyens :

« Si on tient à construire encore des machines de 200 mètres carrés de surface de chauffe, il faut tout simplement appliquer toute la charge sur les quatre essieux, en s'attachant, ce qu'il est facile d'obtenir, à une répartition plus uniforme, de manière à rester au-dessous de la limite atteinte dans la machine actuelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« L'égalité rigoureuse serait facilement obtenue en renonçant à l'élargissement de la boîte à feu et en reportant tous les essieux vers l'arrière, sans rien changer, d'ailleurs, à leurs distances relatives.

« A défaut du déplacement des essieux, il existe un moyen bien plus simple de reporter vers l'avant le centre de gravité; c'est l'emploi d'un lest (3,500 kilos placés sur la plate-forme d'avant).

« L'application d'un poids mort à une locomotive est certainement une mauvaise chose en soi-même; c'est toujours un replâtrage, mais si ce poids n'est qu'une faible fraction du poids total de l'appareil et s'il améliore beaucoup la répartition, le mal est presque nul et les avantages évidents.

« Cet expédient a été, en définitive, la seule solution de la question si longtemps agitée de la transformation des machines-tender du chemin du Midi. »

La réponse à ces vues pourrait être empruntée aux écrits et aux enseignements du professeur de l'Ecole des Mines. La stabilité, la régularité d'allure, ne dépendent pas exclusivement de la vitesse. Celle-ci peut, suivant l'état de la voie, accroître l'amplitude des oscillations, mais non pas les provoquer seule. L'instabilité est fonction de certaines conditions de construction et de mouvements qui détruisent ou plutôt qui modifient continuellement et instantanément l'équilibre statique des machines sur la voie. Parmi ces conditions se trouvent le rapport de la longueur de la machine à celle de sa base, le poids des parties en porte à faux, la position des cylindres à l'extérieur, leurs grandes dimensions, les bielles motrices longues et pesantes, etc. A de très-faibles vitesses des machines pourront être extrêmement instables. Nous en avons fait l'expérience personnelle dans la machine l'*Antée*, dont les dispositions, bien qu'elle ne soit qu'un diminutif de celle dont il s'agit, sont exactement les mêmes que celles des machines Engerth excepté l'accouplement. A la vitesse de 15 kilomètres, l'instabilité de cette machine était effrayante; elle ne devint stable, même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à des vitesses trois fois plus fortes, qu'avec l'emploi des contre-poids.

L'irrégularité dans la répartition du poids qui se produit entre essieux d'abord également chargés, pendant et par l'effet du service sur la voie, ne se corrige pas par du lest placé aux extrémités. Cette irrégularité est le résultat de la fatigue que les oscillations exercent sur les ressorts, souvent aussi de la différence de flexibilité de ceux-ci. Le moyen d'éviter que ces irrégularités se produisent dans la répartition du poids sur les essieux, c'est justement de diminuer l'amplitude des oscillations en supportant l'extrémité de la machine dont le poids en porte à faux et le levier sont les plus considérables.

Il n'y a donc pas lieu de conclure que parce que le poids supporté, à l'état de repos, par les essieux du tender, est faible, il n'y a que des avantages à rendre l'indépendance à la machine; car, dans l'état de mouvement, ce poids devient considérable, et si, malgré le concours de cet essieu, la répartition du poids de la machine sur les essieux varie quelque peu, elle varierait bien plus vite encore, si le poids en porte à faux était le libre jouet des oscillations verticales et horizontales.

Quant aux moyens proposés pour rendre l'indépendance aux machines, le premier, celui qui consiste à rétrécir la boîte à feu, est simplement la négation du type dont les dispositions ont pour but d'obtenir une surface de chauffe de 200 mètres et un foyer de dimensions correspondantes à cette surface. La critique a fort bien fait de ne pas insister. Le second n'est pas plus heureux; il s'appuie sur un essai qui aurait été fait avec succès en pareille circonstance. C'est u

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grave erreur, l'essai a eu lieu contre l'avis des ingénieurs et il a complétement échoué. C'était, de toutes les solutions, la plus mauvaise. Son extrême économie seule la recommandait. L'expérience a prouvé contre elle. La critique l'a, du reste, fort bien caractérisée, elle n'en éprouvera nul regret.

De cette discussion, il ne reste que la démonstration des difficultés qu'il y a de construire mieux ou autrement que ne l'a fait Engerth des machines très-puissantes. On doit y réussir, nous n'en doutons pas. On peut s'en rapporter au besoin qui se manifeste de toutes parts de réduire les frais d'exploitation des chemins de fer; mais il faut montrer la voie, et elle n'est pas de retourner en arrière, puisqu'on n'a pas encore construit, avant et depuis les machines Engerth, une seule machine de 200 mètres de surface de chauffe, pas même de 150 mètres. Il faut montrer la voie et elle n'est pas indiquée par les critiques dont la machine Engerth a été l'objet, puisque ces critiques étaient fondées sur des informations ou des appréciations inexactes. Mieux vaudrait faire connaître les dispositions qui auraient pour résultat de contenir une très-grande surface de chauffe sur une base assez courte pour pouvoir circuler dans les courbes autorisées aujourd'hui par les cahiers des charges, sans excéder le poids de 10 tonnes par essieu, et de conserver le supplément d'adhérence nécessaire lors du démarrage sur les rampes.

Outre la stabilité et l'économie de consommation du combustible, ce sont là les avantages spéciaux que présente le système Engerth et cela ne doit pas être perdu de vue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ 4.

Expériences établissant le maximum de puissance permanente des machines Engerth (n° 18 du *Guide du Constructeur*) et des machines pour fortes rampes (n° 20 du *Guide du Constructeur*).

PREMIÈRE EXPÉRIENCE

TRAIN N° 314 DU 10 JANVIER 1860, REMORQUÉ PAR LA MACHINE ENGERTH, (n° 18 du *Guide du Constructeur*).

COMPOSITION DU TRAIN.		POIDS UTILE.	
42	wagons ayant un poids utile de 336,275 kos.	42 wagons à 4,100 kos.	172,200
2	fourgons lestés à 1,200 k.	2 wagons lestés.	24,000
44	wag. représentant 162 unités.	Poids total.	532,475 kos

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

POTEAUX KILOMÉTRIQUES	HEURES	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX POTEAUX	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX ARRÊTS
6 départ de Creil	12h. 7′	» km	
49 —	12 14	8	
48 —	12 17 1/2	17	
47 —	12 20	24	
46 —	12 23 3/4	16	
45 —	12 28 3/4	12	14 km 5
44 —	12 33	14	
43 —	12 37	15	
42 —	12 40 2/3	16	
41 arrivée	12 44	14	
41 départ	12 49	»	
40 —	12 55 1/3	9 5	
39 —	1 3	8	
38 —	1 8	12	
37 —	1 12	15	
36 —	1 15 1/2	17	
35.6 —	1 17	16	11 6
35 —	1 21	9	
34 —	1 24 1/3	18	
33 —	1 29 1/2	12	
32 —	1 34	13	
31 —	1 40	10	
30 —	1 45 2/3	10	

La hauteur de combustible dans le foyer étant sensiblement la même au départ de Creil et à l'arrivée à Luzarches, la consommation de charbon a été de 14 paniers de 50 kilos, soit 700 kilos pour 20 kilomètres ou 33 kilos par kilomètre.

Le volume d'eau consommée a été de 7,500 litres, mais il y avait une fuite à un tube à air, par laquelle l'eau s'écoulait dans le foyer et la boîte à fumée. Soit 375 litres par kilomètre.

La pression dans la chaudière a varié de 8 atmosphères à 6 1/2.

Vitesse moyenne par heure, déduction de l'arrêt à Chantilly. $\frac{20 \times 60}{93'66} = 12\ \text{km}\ 8$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Consommation d'eau par heure pour cette vitesse de 12 km 8. $\frac{7{,}500 \times 60}{93'66} = 4{,}805$ kos »

Consommation d'eau par heure et par mètre carré de surface de chauffe. . . . . $\frac{4{,}805}{196} = 24$ kos 52

Consommation de charbon par heure pour cette vitesse de 12 km 8. . . . . $\frac{700 \times 60}{93'66} = 448$ kos 4

Consommation de charbon par heure pour cette vitesse de 12 km 8 et par décimètre carré de surface de grille. . . . $\frac{448.4}{194.4} = 2$ kos 30

Poids du train.	532,475 kos	»
Poids de la machine. . .	62,800	»
Poids total.	595,275	»
Effort par tonne. . . .	9	25
Effort de traction total. .	5,506	»

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME EXPÉRIENCE

TRAIN N° 312 DU 10 JANVIER 1860, REMORQUÉ PAR LA MACHINE ENGERTH,
(n° 18 du *Guide du Constructeur*).

COMPOSITION DU TRAIN.		POIDS UTILE.	
41	wagons ayant un poids utile de 390,511 kos.	41 wagons à 4,100 kos.	168,100 »
1	fourgon lesté à 12,008 kilog.	1 fourgon lesté.	12,000 »
42	wag. représentant 160 unités.	Poids brut. . .	570,611 ko

POTEAUX KILOMÉTRIQUES	HEURES	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX POTEAUX	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX ARRÊTS
	h. ′	km	
50 départ de Creil	9 16	15	
49 —	9 20	20	
48 —	9 23	24	
47 —	9 25 1/2	17	
46 —	9 29	20	
45 —	9 32	17	
44 —	9 35 1/2	13	18 km »
43 —	9 40	20	
42 —	9 43	30	
41 —	9 45	18	
40 —	9 48 1/4	18	
39 —	9 51 1/2	17	
38 —	9 55	20	
37 —	9 58	14	
36 —	10 2 1/5	16	
35 —	10 6	19	
34.2 —	10 8 1/2		
Garage à Orry			
34.7 Départ	10 19	»	
34 —	10 24	8	14 km 8
33 —	10 26 3/4	21	
32 —	10 31	18	
30 —	10 38	9	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La hauteur de combustible dans le foyer étant sensiblement la même au départ de Creil et à l'arrivée à Luzarches, la consommation de charbon a été de 14 paniers de 700 kilos, soit 700 kilos pour 20 kilomètres ou 35 kilos par kilomètre.

Le tender étant plein d'eau au départ de Creil et le niveau dans la chaudière étant le même au départ de Creil et à l'arrivée à Luzarches, le volume d'eau consommée a été de 6,500 litres, soit 325 litres par kilomètre ou 9 kilos 2 par kilogr. de houille.

La pression dans la chaudière a varié de 8 atmosphères à 6 1/2.

La vitesse moyenne, déduction de l'arrêt à Orry est de. . .	$\frac{20 \times 60}{71'5}$	=	16 km 7
Consommation d'eau pour cette vitesse de 16 km 7 et par heure.	$\frac{6,500 \times 60}{71'5}$	=	5,454 kos »
Consommation d'eau par heure et par mètre carré de surface de chauffe.	$\frac{5,454}{196}$	=	27 kos 83
Consommation de charbon par heure pour cette vitesse de 16 km 7.	$\frac{700 \times 60}{71'5}$	=	587 kos 4
Consommation de charbon par heure pour cette vitesse de 16 km 7 et par décim. carré de grille.	$\frac{857,4}{194,4}$	=	4 kos 41

Poids du train. . . .	570,611 kos	»
Poids de la machine. .	62,800	»
Poids total.	633,411	»
Effort de traction par tonne.	9	25
Effort de traction total.	5,859	»

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME EXPÉRIENCE

MACHINE POUR FORTES RAMPES, N° 555

(N° 20 du Guide du Constructeur.)

TRAIN N° 408 DU 28 JANVIER 1860

COMPOSITION DU TRAIN.			ÉTAT ATMOSPHÉRIQUE. Temps sec, pas de vent.
22 wagons	de houille	ayant un chargement utile de	240,000 kos
1 —	de coke	id.	10,000 »
4 —	de pavés	id.	40,000 »
1 —	de poudre	id.	1,700 »
		Poids du matériel	120,200 »
1 fourgon lesté à 12,000 kos			12,000 »
29 wagons représentant 123 unités de chargement ou de poids remorqué.			423,900 kos

POTEAUX KILOMÉTRIQUES	HEURES	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX POTEAUX	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX ARRÊTS	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE	Durée de l'admission de la vapeur
	h. ′	km		atmosphères	
50 départ de Creil	11 16 1/2	15		8	
49 —	11 20 1/2	21 2		7 3/4	
48 —	11 23 1/2	20 6		8	
47 —	11 26 1/4	11	km 17.»	7 1/2	
46 —	11 30 1/4	15		8	
45 —	11 34 1/4	16			
44 —	11 38	16		7 1/2	
43 —	11 41 3/4	18 4		7	
42 —	11 45	18 4		8	
41 arrivée à Chantilly	11 48 1/4	13 8		7 1/2	
41 départ de d°	11 55	15		8	
40 —	11 59 1/3	15 3		8	
39 —	11 3 1/3	15	15.4	8	
38 —	12 7 1/4	20		7 1/2	
37 —	12 11 1/4	15		8	
36 —	12 14 1/4			7 3/4	
35 arr. à Orry. Garage	12 18 1/4	7 7		7	
34.6 départ d'Orry	12 36 1/3	16		8	
34 —	12 41 1/4	16 3		8	
33 —	12 46	19 4	14.6	7 3/4	
32 —	12 48 2/3	18 4		7 3/4	
31 —	12 51 2/4	12		8	
30 —	12 55			6	
29.6 arr. à Luzarches	12 57			6	
29.6 départ de d°	1 5		10.6	6 3/4	
29 —	1 9	9		7	
28 —	1 14	12		7	

Admission de la vapeur pendant les $\frac{40}{100}$ à $\frac{50}{100}$ de la course du piston (du 6e au 8e cran du secteur).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La hauteur d'eau dans la chaudière étant la même au départ de Creil et à l'arrivée au km 28, le volume d'eau dépensé pendant ces 22 kilomètres, a été de. . . . . 5,500 litres

Soit par kilomètre. . . . $\frac{5{,}500}{22} = 250$ litres

La hauteur du charbon dans le foyer étant sensiblement la même au départ de Creil et à l'arrivée au km 28, la consommation a été de 14 paniers 1/2 à 50 kilos, soit. . . 725 kos »

La consommation par kilomètre est de.	$\frac{725}{22}$	=	33 kos »
La consommation d'eau par kilog. de houille est de.	$\frac{250}{33}$	=	7 kos 6
Vitesse moyenne à l'heure, déduction faite des arrêts et des garages.	$\frac{22 \times 70}{84'5}$	=	15 km 8
Consommation d'eau par heure pour cette vitesse de 15 k. 6.	$\frac{5{,}500 \times 70}{85'5}$	=	3,905 kos »
Consommation d'eau par heure pour cette vitesse de 15 k. 6, par mètre carré de surface de chauffe.	$\frac{3{,}905}{123}$	=	31 kos 74
Consommation de charbon par heure à cette vitesse. . .	$\frac{725 \times 60}{85'5}$	=	514 kos 79
Consommation de charbon par heure à la vitesse de 15 k. 6 et par mètre carré de grille.	$\frac{514.79}{177}$	=	2 kos 9

Les boîtes à graisse du train ont été soigneusement épinglées avant le départ de Creil.

Poids du train. . . .	423,900 kos	»
Poids de la machine. .	37,500	»
Poids total.	461,400	»
Effort de traction par tonne.	9	25
Effort de traction total.	4,267	»

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUATRIÈME EXPÉRIENCE

MACHINE POUR FORTES RAMPES N° 555
(*N° 20 du Guide du Constructeur*).
TRAIN N° 408 DU 30 JANVIER 1860

COMPOSITION DU TRAIN

30 wagons ayant un chargement utile de. . . . . 300,000 kos
Poids du matériel. 120,390 »
1 fourgon lesté à 12,000 k°. . . 12,000 »

31 wagons représentant 124 unités de chargement ou 432,390 kos de poids remorqué.

ÉTAT ATMOSPHÉRIQUE :
Pluie abondante jusqu'au km 28.
Vent debout à la descente.

POTEAUX KILOMÉTRIQUES		HEURES	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX POTEAUX	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX ARRÊTS	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE	Durée de l'admission de la vapeur
		h. ′ ″	km		atmosphères	
50	Départ de Creil	10 43 24	10 5		7	Admission de la vapeur pendant les $\frac{40}{100}$ à $\frac{50}{100}$ de la course du piston (du 6e au 8e cran du secteur).
49	—	10 49 4	20 »		7 3/4	
48	—	10 52 4	16 5		7	
47	—	10 55 40	13 6		8	
46	—	11 0 3	12 2	km	7 1/2	
45	—	11 4 58	19 7	14 6	7	
44	—	11 8 »	14 8		7 1/2	
43	—	11 12 3	14 8		7 3/4	
42	—	11 16 5			6 3/4	
41	arr. à Chantilly Garage	Ralentissement				
41	d. de Chantilly	11 44 55	19 2		8	
40	—	11 48 2	11 9			
39	—	11 53 4	15 3		7 1/2	
38	—	11 56 58	11 7		7 1/2	
37	—	12 2 4	14 7		7 1/2	
36	—	12 6 10			7 1/2	
	Orry.		13 »		8	
35	—	12 10 46	13 4	13 4	8	
34	—	12 14 14	13 5		7 1/2	
33	—	12 18 40	13 2		8	
32	—	12 23 11	10 7		8	
31	—	12 28 47	11 6		8	
30	—	12 33 56			7	
29.6	arrivée à Luzarches	Ralentissement				
	Garage					
29.3	départ de Luzarches	1 4 25	6 7			
29	—	1 7 5	8 »	7 35	8	
28	—	1 14 35			8	
					7	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

POTEAUX KILOMÉTRIQUES	HEURES	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX POTEAUX	VITESSE MOYENNE ENTRE DEUX ARRÊTS	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE	Durée de l'admission de la vapeur
	h. / //	km			
Point de partage	» » »	» 9			Levier de changement de marche au point mort et régulateur légèrement ouvert
27 —	1 21 5	20 »			
26 —	1 24 5	24 1			
25 —	1 26 30	21 6			
24 —	1 29 10	20 »			
Louvres					
23 —	1 32 16	24 3			
22 —	1 34 44	24 »			
21 —	1 37 14	24 6	Accélération de vitesse		
20 —	1 39 40	24 »			
Goussainville					
19 —	1 42 10	20 »	km		Régulateur complétement fermé
18 —	1 45 10	20 9	0 9		
17 —	1 48 2	22 6	1 7		
16 —	1 50 41				
15 —		11 »			
Gonesse					
14 —	1 56 23	24 »			
13 —	1 58 53	25 9			
12 —	2 1 12	28 1	1 9		
11 —	2 3 20	28 3	2 2		
Pierrefitte			0 3		
10 —	2 5 27	26 »			
9 —	2 7 45	29 5	3 5		
8 —	2 9 47				

La hauteur d'eau dans la chaudière étant la même au départ de Creil et à l'arrivée au km 28, le volume d'eau dépensé pendant ces 22 kilomètres a été de. . . . . 6,960 litres

Soit par kilomètre. $\frac{6,960}{22} = 316$ litres

Cette dépense d'eau s'explique par une perte résultant d'une garniture de pompe mal faite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La hauteur du charbon dans le foyer étant sensiblement la même au départ de Creil et à l'arrivée au km 28, la consommation a été de 15 paniers 1/2 à 50 kilog, soit.			775 kos »
La consommation par kilomètre est de.	$\frac{775}{22}$	=	35 kos 22
La consommation par kilogramme de houille est de.	$\frac{316}{35.22}$	=	8 kos 9
Vitesse moyenne à l'heure, déduction faite des arrêts et des garages.	$\frac{22 \times 3,600}{5,512''}$	=	14 km 3
Consommation d'eau par heure pour cette vitesse. . . .	$\frac{6,960 \times 3,600}{5,512''}$	=	4,545 kos »
Consommation d'eau par heure et par m. c. de surface de chauffe.	$\frac{4,545}{123}$	=	36 kos 9
Consommation de charbon par heure pour cette vitesse. . .	$\frac{775 \times 3,600}{5,512}$	=	506 kos 1
Consommation de charbon par heure et par décimètre carré de grille pour cette vitesse. .	$\frac{506.1}{177}$	=	2 kos 8

Les boîtes à graisse du train ont été soigneusement épinglées avant le départ de Creil.

Poids du train. . . .	432,390 kos	»
Poids de la machine. .	37,500	»
Poids total.	469,890	»
Effort de traction par tonne.	9	25
Effort de traction total.	4,346	»

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ V.

Expériences sur l'inclinaison à laquelle les wagons glissent sur les rails avec les roues embarrées.

La difficulté de faire ces expériences avec le matériel et sur les rails des grandes lignes m'a obligé de demander à M. S. Mony, mon frère, de les prescrire sur les plans inclinés du chemin de fer de Commentry à Montluçon qu'il a construit.

Il en a chargé M. Forey, ingénieur civil, qui dirige l'exploitation de ce chemin.

Ce qui suit est extrait des lettres de M. Forey relatant les expériences auxquelles il s'est livré.

« 10 décembre 1859.

« Mes premiers essais ont été faits avec un wagon vide sur des rails « secs et servant depuis longtemps.

« Le plan incliné a $0^{m}.20$ de pente par mètre.

« 4 *roues embarrées*. — 2 hommes en poussant ce wagon ne pouvaient « pas le faire glisser.

« 3 *roues embarrées*. — Le wagon glisse en le poussant, mais sans « prendre de vitesse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 1 *et* 2 *roues embarrées.* — Le wagon ne part pas seul, mais, dès « qu'il est en mouvement, sa vitesse s'accroît beaucoup.

« Nos roues sont en fonte trempée; le frottement que j'observe ne doit « pas être le même que celui qu'on obtiendrait avec des bandages en fer. »

« 12 décembre 1859.

« Poids du wagon vide.	1,110	kilos.
« Charge en fonte.	2,890	id.
	4,000	kilos.

« Sur rails secs, le wagon chargé ne glisse pas, même en le poussant, « avec deux roues embarrées. Avec une seule roue embarrée il part seul.

« Le wagon étant chargé et les roues embarrées, nous avons jeté de « l'eau sur les rails. Dès qu'elle a été jetée, le wagon est parti seul quoi- « que toutes les roues fussent embarrées. »

20 décembre 1859.

« J'ai fait passer 10 fois le wagon sur les rails couverts de glace « avant le premier passage. Le glissement avec les 4 roues embarrées a « été aussi facile la dixième fois que la première.

« J'ai opéré ensuite sur un plan ayant 12 centimètres de pente par « mètre, les rails étaient couverts d'une légère couche de glace. Le wagon « pesant y compris la charge 4,000 kilos. Avec trois roues embarrées le « wagon glisse à peine. Avec quatre roues embarrées, il faut la force de « quatre hommes pour le faire descendre.

« Comme sur la pente de 20 centimètres, je n'ai pas remarqué que le « wagon glissât moins facilement après avoir parcouru le plan incliné un « certain nombre de fois.

« Nos roues sont toutes mobiles sur l'essieu, ce qui explique pourquoi « je parle de 3 roues embarrées. »

24 décembre 1859.

« Avec la charge de 1,000 kil. par roue, condition dans laquelle nos « expériences ont été faites, le rail est bien altéré. Mais ne perdez pas de « vue ce que je vous ai déjà observé, c'est que nos roues sont en fonte « trempée et que l'usage a parfaitement poli la fonte.

« Le plan incliné dont je me suis servi n'a que 5 mètres de long. Un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« treuil placé au sommet remontait le wagon et servait à le retenir pour « éviter qu'il ne se brisât.

« Je n'ai pas jeté de sable sur les rails; il est probable que si je l'eusse « fait, le glissement eût été bien diminué. »

L'essai sur un plan incliné de 120 m/m. était assez concluant pour nous faire renoncer à prolonger les expériences en diminuant l'inclinaison jusqu'à 50 m/m. Nous nous sommes donc arrêtés, considérant comme acquis qu'à une inclinaison de 50 m/m. il ne pourrait se produire de glissements spontanés.

Le travail qui s'opère d'ailleurs incessamment parmi les ingénieurs sur l'usage et les dispositions des freins donne un bien plus vif intérêt aux moyens de ralentissement qu'aux moyens d'arrêt instantané vers lequel tendent invariablement les idées des inventeurs.

Le défaut des freins n'est pas aujourd'hui de ne pouvoir immédiatement transformer le frottement de roulement en un frottement de glissement en faisant cesser le mouvement de rotation des roues. Les appareils ordinaires suffisent à cela, à la volonté de l'ingénieur; mais celui-ci préfère, avec raison, ralentir le mouvement des roues à l'arrêter, afin d'éviter l'altération des bandages qui résulte d'un glissement prolongé sur les rails; et il dispose les appareils de façon à n'arrêter les roues qu'au moyen d'un effort assez considérable du garde-frein.

Un frein qui suspendrait les 9/10 du mouvement rotatif des roues et tirerait ainsi du frottement de glissement les 9/10 de ses effets, sans causer aux bandages d'autre altération qu'une usure également répartie sur la circonférence des roues, serait préférable aux freins actuels dont le défaut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

principal est de ne pas donner d'indice du ralentissement du mouvement rotatif, ce qui ne permet pas au garde-frein d'apprécier l'effet qu'il obtient.

Des freins basés sur l'emploi de matières donnant lieu à des frottement plus énergiques que ceux du fer sur le fer, par tous les états de l'atmosphère, sont aussi l'objet d'études continues. Les expériences que fait, en ce moment, M. Bochet, ingénieur des mines, chargé du contrôle des chemins de l'Ouest, jetteront, sur ce côté de la question, une vive lumière.

Ces expériences établissent, qu'en temps sec, le frottement du bois sur le rail est bien plus énergique que celui du fer sur le rail.

L'essai comparatif est pratiqué au moyen de patins glissant sur le rail et susceptibles, à la volonté du garde-frein, de décharger les roues de la plus grande partie du poids qu'elles portent et d'en charger les patins.

Il résultera, sans nul doute, de ces études approfondies et toutes spéciales sur les frottements des matières qui peuvent être utilisées pour ralentir ou arrêter les trains, une amélioration qui rapprochera les deux buts que les freins actuels n'ont pu atteindre : celui d'obtenir les frottements les plus efficaces sans altération du matériel, et celui de tirer des freins des frottements d'intensité variable à la volonté du garde-frein.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ 6.

Développements sur les effets des tourmentes sur les trains.

Nous devons à M. Surrel, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, directeur du chemin de fer du Midi, d'avoir recueilli, sur les effets que peut occasionner un ouragan très-violent sur les trains de voyageurs et de marchandises, des observations d'un grand intérêt.

Le 27 février dernier un ouragan, plus violent qu'aucun de ceux dont on ait, de mémoire d'homme, conservé le souvenir, a passé dans la zône comprise entre Perpignan, Narbonne, Cette et la mer. Cette zône est un des points de la France qui sont le plus habituellement tourmentés par le vent.

L'ouragan s'est montré avec la plus grande intensité dans les environs des stations de Salces et de Rivesalte.

Des deux trains qu'il a rencontrés entre ces deux stations, l'un était composé de quatre voitures de voyageurs et de deux wagons à bagages.

Le second était composé d'un wagon à bagages, de 4 plate-formes et de 9 wagons couverts.

Au moment de l'accident, le train de voyageurs s'enga-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

geait dans une courbe assez forte. Les trois premiers véhicules avaient déjà une direction différente des trois derniers. Le vent pressait le premier véhicule sous un angle de 90 degrés environ; le troisième, sous un angle de 65 à 70 degrés; le cinquième, sous un angle de 40 degrés au plus.

Le train de marchandises était sur une portion presque rectiligne de la voie, ayant la direction Nord-Nord-Est; le vent qui avait la direction du Nord-Ouest agissait sur ce train sous un angle de 65 à 70 degrés.

Les wagons ont déraillé sous l'action du vent et n'ont été renversés qu'après le déraillement, par suite de l'affaissement du ballast du côté droit du train, côté vers lequel le vent poussait les véhicules.

L'état intérieur de la voie montrait qu'il y avait eu déraillement et translation des véhicules sous l'action du vent, dans une direction presque parallèle à la voie.

Le renversement a donc eu lieu, en grande partie, parce que la verticale du centre de gravité des véhicules tombait en dehors du quadrilatère formé par les quatre roues inégalement enfoncées dans le ballast.

Les trois premiers wagons du train de voyageurs frappé par le vent sous un angle de 90 degrés, ayant été poussés hors des rails et renversés, ont entraîné les trois wagons qui les suivaient et qui ont pris diverses positions sur le talus du remblai où ils sont tombés. Le dernier, le fourgon d'arrière, sur lequel le vent agissait moins violemment en flanc et qui a été peu sollicité à quitter le remblai par les autres véhicules, est resté seul en travers de la voie sans être renversé.

Un seul attelage a été cassé à ce train, c'est celui du premier fourgon à la machine; les autres attelages ont été forcés,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais seulement après que le train a eu quitté les rails et par suite du renversement des véhicules qui n'ont pas tous opéré la même révolution.

Des quatorze wagons composant le train de marchandises, les 4e, 7e, 9e, 10e et 11e ont été renversés. Le 2e et le 4e ont déraillé des 4 roues ; le 6e a déraillé de deux roues ; les 1er, 3e, 5e, 8e, 12e et 13e sont restés normalement sur la voie.

L'attelage de la machine au 1er fourgon et celui du sixième wagon vide au 7e wagon ont, seuls, été cassés.

Les indications qui suivent donnent la relation des effets de l'ouragan avec le poids des wagons :

Train de voyageurs

ORDRE D'ATTELAGE	POIDS TOTAL	POIDS SPÉCIFIQUE par mètre cube	OBSERVATIONS
	k.	k.	
1	6,915	189 11	
2	6,915	189 11	
3	7,360	200 77	Renversés.
4	7,360	200 77	
5	6,865	201 11	
6	7,614	203 41	Déraillé et mis en travers de la voie sans être renversé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Train de marchandises

Ordre d'attelage	Espèce des wagons	Poids total	Volume	Poids spécifique par mètre cube	Observations
		k.	k.	k.	
1	Wag. bag.	6,220	32,523	191.25	Resté sur la voie
2	Plate-forme	4,360	2,582	1,680 »	Déraillé de quatre roues
3	—	14,360	2,582	5,525 »	Resté sur la voie
4	Wag.couvert	5,700	38,410	148.40	Renversé
5	—	9,270	38,410	204.13	Resté sur la voie
6	—	6,640	38,410	170.28	Déraillé de deux roues
7	—	5,700	38,410	148.40	Renversé
8	—	10,595	30,410	207.56	Resté sur la voie
9	—	5,700	38,410	148.40	Renversé
10	—	5,700	38,410	148.40	Renversé
11	—	5,700	38,410	148.40	Renversé
12	Wag. frein	11,875	38,410	300.92	Resté sur la voie
13	Plate-forme	14,325	5,074	2,820 »	Resté sur la voie
14	—	4,325	5,074	850 »	Déraillé de ses 4 roues.

On peut tirer de ces chiffres les conséquences suivantes :

Les wagons dont le poids spécifique a excédé 202 kilos par mètre cube sont restés sur la voie.

Le déraillement des wagons n^{os} 2 et 14 semble être l'effet de la perturbation que le train a subie.

Nous n'étions pas en possession de toutes les observations qui précèdent, lorsque nous avons présenté (pages 111 et 115) les résultats des calculs sur le moment de renversement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ramené à la pression par mètre carré que le vent doit exercer pour renverser les wagons en les faisant tourner autour de l'un des rails. Le fait du déraillement préalable explique le renversement bien plus que le résultat des calculs, car on pouvait conclure de ce résultat un maximum d'effet qui ne correspond pas avec l'angle sous lequel les wagons du train de marchandises ont été frappés par le vent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

§ 7.

Faits sur l'avancement par jour des percements dans la roche. Souterrain du Mont-Cenis.

Les travaux du percement du Mont-Cenis sont poursuivis avec activité; mais rien encore dans les procédés employés n'a différé des méthodes habituelles, et il ne faut pas perdre de vue que si l'emploi d'autres procédés n'eût pas été formellement entendu, le projet d'un tunnel de 12,700 mètres de longueur n'eût pas été tenté. L'attention est donc portée sur le degré d'avancement des machines qui doivent résoudre ce grand problème, en forant les trous de mine avec une rapidité sans égale, et en assurant une circulation d'air frais pour chasser les gaz provenant de l'explosion de la poudre.

L'appareil à perforateurs, dont il a été question dans notre premier mémoire, a été construit en Belgique. Un ingénieur qui a eu l'occasion de l'examiner tenait du constructeur que, dans les essais qui ont eu lieu, la violence des coups frappés pas les burins dépassait toute espérance. Un bloc de marbre de plusieurs mètres cubes, devant lequel était placé l'appareil était, non-seulement perforé avec une grande rapidité,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais il était, en outre, tellement ébranlé par les chocs, qu'il se fendait et se déplaçait, bien qu'il fût scellé sur le sol avec du plâtre. Cela se passait, il y a plus de huit mois; l'appareil était achevé. Si l'application en avait eu lieu et si elle avait réussi, il est probable que cela serait connu ; toujours est-il que l'opinion de ceux qui avaient vu l'appareil dans l'atelier de construction lui était favorable.

Cette grande tentative est trop intéressante, elle est conduite par des hommes trop intelligents et trop résolus, pour ne pas exciter les sympathies générales. Il serait à désirer, sous ce rapport, qu'une publicité officielle, comme celle qui, en tout temps, s'est attachée à l'exécution des travaux publics de premier ordre, fît connaître la situation de ceux-ci. Les gouvernements n'y ont jamais manqué ; les rapports de Telford sur le canal Calédonien, sur le pont de Menay, sur la route d'Holyhead; les publications de notre administration sur la situation des travaux de canalisation, des routes et des chemins de fer, sont un exemple à suivre.

Ceux mêmes qui sont chargés de ces grands travaux ont intérêt à cette publicité. S'ils réussissent, ils puisent dans les encouragements du public et dans sa reconnaissance des forces qui les soutiendront au jour d'un échec imprévu ou passager; si des difficultés les arrêtent, ils sont aidés jusqu'au jour où elles sont au-dessus de leurs forces, mais ils sont conservés à la tête de leur tâche. Les gouvernements changent quelquefois de généraux, mais rarement, très-rarement, changent-ils les ingénieurs auxquels ils ont confié de grands travaux d'industrie; à plus forte raison, quand des preuves d'une intelligence élevée ont déjà valu autant que d'anciens services. Mais ce que ni gouvernement ni opinion

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

publique ne pardonneraient, ce serait de dissimuler les difficultés le jour où il serait évident, pour les auteurs du projet, que leurs promesses ne peuvent être réalisées.

Il faut qu'à l'aide de la publicité des procédés suivis ou en voie de préparation la durée des travaux du percement du Mont-Cenis soit appréciée par toute l'Europe industrielle ; et on peut compter que certaines populations consulteront ce baromètre avec plus d'intérêt que celui des variations atmosphériques.

Depuis la publication de notre premier mémoire, il n'a été imprimé, en France, de travaux intéressants sur les percements souterrains, que ceux de M. Croizette-Desnoyers, ingénieur des ponts-et-chaussées (1). La description donnée par cet ingénieur des travaux du tunnel de Saint-Martin-d'Estreaux sera, dans ce genre, une des publications les plus utiles.

Nous en extrayons des faits dont la connaissance est essentielle dans l'ordre des difficultés qui s'attachent au percemeut du Mont-Cenis.

« Les roches traversées par le tunnel se composent principalement de granit porphyroide à gros cristaux de feldspath qui, sur certains points, deviennent amphiboliques et

(1) M. Croizette-Desnoyers a imité, en décrivant les travaux du chemin de fer du Bourbonnais, entre Saint-Germain-des-Fossés et Roanne, l'utile exemple donné par M. Martin, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, chargé de la construction du nouveau réseau de l'Ouest, dans sa notice sur les travaux de cette ligne.

De pareils mémoires, qui pourraient être si nombreux, feraient, des Annales des ponts-et-chaussées, le meilleur traité de construction ; et il est bien à regretter que l'expérience acquise par les hommes heureusement placés pour cela ne soit pas propagée davantage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

passent à une sorte de diorite avec veines de quartz. Cette dernière roche est la plus dure de toutes. Le massif n'est pas compacte, et doit plutôt être considéré comme une réunion d'énormes blocs séparés par des lits très-minces d'argile et de talc.

« La longueur du tunnel est de 1,380 mètres ; il est pratiqué dans les roches ci-dessus décrites, à l'exception de 70 à 80 mètres qui traversent une dépression remplie de gore dur ou rocher décomposé.

« Huit puits espacés à peu près également ont fourni, avec ceux des têtes, 18 attaques.

« Les travaux ont été suivis, effectivement, pendant quatre ans et demi, par équipe se renouvellant de dix heures en dix heures; l'avancement moyen a été de 1^{m}. 34 par semaine à chaque attaque. Si on avait voulu exploiter seulement par les têtes, il aurait fallu dix ans pour le percement, en supposant même les tranchées faites d'avance. En ajoutant, ensuite, le reste du travail, on arrive à un total de onze à douze ans. »

Le tunnel de Saint-Martin-d'Estreaux a présenté, par suite de la contexture générale du sol en gros blocs, des difficultés d'étaiement qui ont un intérêt tout spécial, mais ce n'est pas à ces travaux que l'ingénieur attribue la durée du percement; c'est évidemment à la dureté de la roche.

L'ingénieur s'est rendu un compte exact des principaux éléments du travail d'extraction par mètre cube, à savoir, le nombre de journées, les quantités de poudre, de mêches, le nombre des pointes d'outils, etc.

Les détails qui suivent s'appliquent à l'ensemble de l'extraction, c'est-à-dire à la moyenne de duretés très-différentes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Le salaire des mineurs étant de 4 fr. 50, il a fallu, par mètre cube, 3 jours 37 de mineur.

« La quantité de poudre a été, en moyenne, de 1 kil. 50 par mètre cube; on pratiquait 10 trous par mètre cube, et la charge était, en moyenne, de 0 kil. 15. Les mineurs comptaient, en effet, un kilog. pour sept coups de mine. Chaque mineur perçait, dans ses dix heures, à peu près 3 trous de 0^{m}. 40 de profondeur moyenne.

« La longueur de mèche était de 15^{m}. 60 par mètre cube, soit 1 ^{m}. 56 par trou.

« Les réparations d'outils consistaient presque uniquement en rechangement des pointes en acier des burins. Chaque pointe pouvant être évaluée à 0 fr. 10 c., on voit qu'il en fallait 66 par mètre cube ou 7 environ par trou. Mais dans les parties les plus dures la quantité était beaucoup plus considérable. Ainsi, près du puits n° 7, on a employé jusqu'à 15 pointes par trou; et, en effet, surtout pour commencer un trou, en quelques coups, le burin était émoussé et avait besoin d'être remplacé.

« En reportant à une période de vingt-quatre heures les divers éléments du travail pour l'ensemble du tunnel, on voit que, pour un avancement total de 3^{m}. 44 (avec 18 attaques) et, par conséquent, pour l'extraction de 55 mètres cubes, il fallait 180 journées de mineurs; 82 kilog. de poudre; 85 mètres de mêches anglaises et près de 4,000 pointes de burins. »

Avant de comparer ces résultats avec ceux que l'on s'est promis au Mont-Cenis, recueillons encore quelques faits relatifs aux méthodes de travail.

« Le souterrain de Saint-Martin-d'Estreaux a été exécuté par puits, galeries et abattage en grand.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« La galerie a été ouverte avec une largeur de $3^{m}.80$ et une hauteur de $4^{m}.20$ en moyenne, soit 16 mètres de section.

« Cette section est plus grande que celles qui sont généralement employées ; mais son adoption a été motivée parce que, dans des roches aussi dures, comme la plus grande difficulté résulte du percement, les mineurs demandent un prix à peu près égal pour 10 à 12 mètres de section ou pour 16. Il y avait, dès lors, avantage à adopter cette grande dimension qui, d'ailleurs, facilitait notablement le service et qui n'entraînait, cependant, par les blindages, aucun inconvénient sérieux. D'un autre côté, il n'y aurait pas eu avantage à prendre une section plus grande ; car on a fait l'expérience de porter la section à 20 mètres, sur une certaine longueur, et le prix ne s'est pas abaissé d'une manière sensible.

« Après l'achèvement de chaque partie de la galerie, on a procédé à l'élargissement de la section, désigné, par les ouvriers, sous le nom *d'abattage en grand*. Cette opération a été effectuée sans blindage dans les parties très-solides. La section de l'abattage en grand variait suivant l'épaisseur du revêtement. Le prix en ressortait à 28 fr. 78 c. par mètre cube. Celui des déblais dans les puits à 57 fr. 46 c. et celui dans les galeries de 41 fr. 01 c. par mètre cube. La section générale des déblais à varié de 47 à 54 mètres ; la section moyenne a été de 51 mètres. »

Ce souterrain a coûté 2,600 fr. par mètre linéaire, non compris les intérêts de fonds.

Il y a lieu de tirer des résultats dus à l'intéressante et judicieuse analyse de M. Croizette-Desnoyers des moyennes de comparaison avec le percement du Mont-Cenis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Non pas que nous ayons la pensée de comparer la dureté moyenne des roches rencontrées à Saint-Martin-d'Estreaux avec celles que l'on rencontrera au Mont-Cenis; d'en conclure que l'avancement sera de 1 m. 34 par semaine soit 2 m. 68 pour les deux attaques, et qu'il faudra, en conséquence, 91 ans pour achever le souterrain de 12,700 mètres.

Nous n'en voulons pas conclure davantage qu'il faudra 1 kil. 50 de poudre par mètre cube, ni 10 trous par mètre cube, ni 10 à 15 pointes par trou.

Ce que nous en voulons conclure, avec la certitude de n'être pas contredit, c'est que, sur un parcours souterrain de 12,700 mètres, il peut se rencontrer une notable partie de roches de la dureté moyenne de celles-ci. De quelle difficulté ne serait pas, alors, l'application d'un appareil à perforateurs portant 17 burins? Nous avons fait observer que la durée du travail de cet appareil dépendait de celui des burins qui travaillerait le plus lentement; de celui qui s'arrêterait, se briserait ou s'engagerait; de celui qui serait le dernier installé; mais nous avons oublié la circonstance qui influera peut-être le plus sérieusement sur la rapidité du travail, c'est le remplacement des burins pendant la perforation. Puisqu'une roche d'une très-grande dureté exige jusqu'à 15 pointes par trou, et que les roches de dureté moyenne du tunnel Saint-Martin ont exigé 10 pointes par trou, quelle sera la durée du travail de l'appareil à perforateurs devant la nécessité de changer plusieurs fois les pointes émoussées? A quels signes s'appercevra-t-on que la pointe est émoussée? Ne sera-ce pas par le défaut de progrès de l'outil, c'est-à-dire après du temps perdu?

Et, ici, nous reviendrons sur une question que nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'avions fait qu'indiquer dans notre premier mémoire (page 73). Quelle sera la section du souterrain? Cette question est grave. La section d'un souterrain de 12,700 mètres sera-t-elle la section ordinaire? Nous pourrions nous borner à citer, à cet égard, les dimensions données aux souterrains de Blaizy et de la Nerthe par MM. Jullien et Talabot. Ce n'est pas sans motif que ces deux ingénieurs ont donné à ces longs souterrains une hauteur sur rails beaucoup plus grande que le cahier des charges ne la leur imposait. Il y a lieu d'admettre qu'ils avaient de sérieuses raisons pour cela.

Il sera facile d'indiquer quelques-unes de celles qui doivent influer sur la section à donner au percement du Mont-Cenis.

C'est d'abord l'utilité d'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 surfaces froides sur lesquelles elle se condense.

La fumée et les gaz produits par la combustion doivent également se tenir dans cette région jusqu'à la sortie du tunnel. Cela est d'autant plus nécessaire qu'il est tel état de l'atmosphère qui s'opposera à un courant d'air quelconque dans le souterrain.

C'est encore qu'il faudra pouvoir réparer le tunnel sans arrêter la circulation sur aucune des voies.

Supposez que la roche, que l'on trouve aujourd'hui assez saine pour se dispenser de revêtement, exige plus tard d'être revêtue parce qu'elle se désagrégerait, ou bien que les tassements, qui ont lieu si fréquemment par glissement dans les formations schisteuses, se produisent dans les par-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ties non revêtues, il faudra alors pouvoir extraire la roche de l'épaisseur du revêtement et porter celui-ci sur cintre, sans interruption d'aucune des deux voies. Les ingénieurs qui ont l'expérience de la circulation des trains dans les souterrains n'admettront pas, en effet, qu'il puisse y avoir, dans l'intérieur de celui-ci, un passage de deux voies à une voie, nécessitant l'arrêt et l'attente des trains avant de s'engager.

Nous citons ces deux causes de réparations, entre plusieurs autres, telles que l'invasion des eaux par les fissures de la roche ; l'encombrement des écoulements ; la nécessité de chambres de repos pour les hommes chargés de l'entretien de la voie ou des travaux s'il en est fait dans l'intérieur.

Ajoutons encore, en faveur d'une grande section de souterrain, la nécessité de pouvoir circuler à pied, sans danger : nécessité qui ne se montre pas pour des parcours de 4 à 5 kilomètres, où les niches ouvertes à faible distance suffisent à garantir les piétons, mais qui devient sensible avec un souterrain de 12,700 mètres.

La section du souterrain de la Nerthe est de 59 m 32, dans les parties non voûtées, et de 81 m 82 dans les parties où la voûte en revêtement a l'épaisseur de 0m 82. Les ingénieurs du Mont-Cenis ne s'étant, à notre connaissance, expliqués, dans aucune publication, sur la section qu'ils comptent donner à leur souterrain, nous supposerons celle de 70 mètres par mètre courant.

Il ne nous reste plus alors qu'un rapprochement à faire :

1° Les ingénieurs du Mont-Cenis ont compté que le travail des perforateurs serait douze fois plus rapide que celui des mineurs et qu'un homme ou deux conduiraient 17 burins. Or voici que le même trou peut exiger le changement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 10 et même de 15 burins. Cela n'apporte-t-il pas un élément nouveau de retard dans l'appareil de perforation?

Nous avions fait observer que, des dix opérations dont se compose l'extraction à la mine, le perforateur mécanique en abrégeait une seule, le forage (page 76 de la première publication). Nous avions oublié, parmi les autres, celle du changement de burin en cours de travail; elle prend ici une importance capitale. Quelle part faut-il lui faire?

2° Les ingénieurs du Mont-Cenis ont compté sur 98 kilog. de poudre pour 3 mètres d'avancement, ce qui ferait, pour 210 mètres cubes, 0 k. 466 par mètre cube, tandis qu'il en a fallu 1 k. 50 au souterrain de Saint-Martin. Que deviennent alors tous les calculs sur les quantités d'air nécessaires pour assurer l'assainissement du souterrain pendant la construction? N'y a-t-il pas là une difficulté qui ne pourra être surmontée que par l'emploi de moteurs d'une puissance bien supérieure à celle qui a été prévue?

3° Les ingénieurs du Mont-Cenis comptent sur un avancement de 21 mètres par semaine et par point d'attaque. Au souterrain de Saint-Martin d'Estreaux, l'avancement a été de 1 m. 34 pendant le même temps. Cependant la section moyenne du souterrain de Saint-Martin d'Estreaux a été de 51 mètres, tandis qu'il faut compter sur 70 mètres au Mont-Cenis.

Quel engagement peut-on, désormais, prendre pour la durée d'un travail où l'inconnu doit avoir une si grande part?

Dans le prix de 2,600 fr. par mètre courant, appliqué au souterrain de Saint-Martin d'Estreaux, il n'entre rien qui ne semble devoir se rencontrer, selon toute probabilité, dans le percement du Mont-Cenis; mais ce prix ne comprend pas les intérêts de fonds.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il serait facile d'établir l'annuité dont sera grevé, sous ce rapport, le premier mètre percé, d'après le délai d'achèvement des travaux. Il n'est pas besoin de dire que ce sera un chapitre de dépenses fort important.

Nous terminerons par une explication essentielle :

Les bases des calculs sur lesquelles reposent les données du projet de percement du Mont-Cenis semblent bien sérieusement ébranlées par les faits qui se sont produits dans le travail du percement de Saint-Martin-d'Estreaux. Mais on doit se demander si les données fournies par M. Croizette-Desnoyers sont les seules; si elles sont exceptionnelles et si nouvelles qu'on ait ignoré, jusqu'à lui, les résultats qu'il annonce?

Il est facile d'expliquer ce que cette situation a, en effet, de singulier. Il est vrai que les exemples de grands percements dans les formations primitives sont très-rares; il est plus vrai que l'expérience acquise dans ce genre de travaux est restée personnelle et très-disséminée, car aucun livre, avant le mémoire de M. Croizette-Desnoyers, ne fait l'historique et l'analyse de travaux analogues, comme le sont ceux-ci, au percement du Mont-Cenis, en ce qui concerne la dureté de la roche. Nous n'avons pas besoin de dire qu'aucun des faits cités par M. Combes dans ses savantes études sur l'ouverture des galeries souterraines n'autorise les espérances qui ont été produites. Et quant aux renseignements perdus dans les cartons et les souvenirs des ingénieurs et des entrepreneurs, il en existe un grand nombre; mais le cachet de la publicité n'y est pas apposé, et l'embarras de les invoquer est aussi grand que l'a pu être pour les auteurs du projet la difficulté de les recueillir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Beaucoup de faits du genre de ceux que nous avons retrouvés dans le mémoire de M. Croizette-Desnoyers nous avaient été signalés, mais ils n'avaient pas un degré d'évidence suffisant pour être présentés comme une objection sérieuse à un si grand projet, et ils n'étaient pas dignes, sous ce rapport, d'être opposés à des hommes qui ont évidemment beaucoup travaillé, de leur côté, et sont encouragés par les sympathies les plus respectables.

Aujourd'hui, les promoteurs du percement souterrain du Mont-Cenis nous semblent mis, par le mémoire de M. Croizette-Desnoyers, en demeure de s'expliquer sur leurs procédés, sur l'usage qu'ils ont fait du temps qui vient de s'écouler, sur l'espoir qu'ils ont de rester dans leurs prévisions, quant au travail mécanique et au délai d'exécution.

D'après une lettre de M. Colladon, écrite en avril à M. Perdonnet, « il y avait, au Mont-Cenis, au commencement de cette année 1860, du côté de Modane (France), 820 mètres de tunnel ouverts en grande section; dont les deux tiers revêtus en maçonnerie. Du côté de Bardonèche (Italie), l'avancement était plus facile, la roche étant un calcaire schisteux, tandis que du côté de Modane elle contient beaucoup de quartz, et que de plus il existe de nombreuses filtrations. »

D'après M. Calmette, Ingénieur civil, qui a visité les travaux en juin 1860, l'avancement serait du côté de France de 1,380 mètres, mais les travaux seraient suspendus faute d'aérage.

Du côté de l'Italie, les travaux seraient également arrêtés devant une roche d'une extrême dureté.

Les machines perforatrices et celles de compression de l'air seraient, en partie, rendues sur place, mais le montage n'en serait pas commencé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE

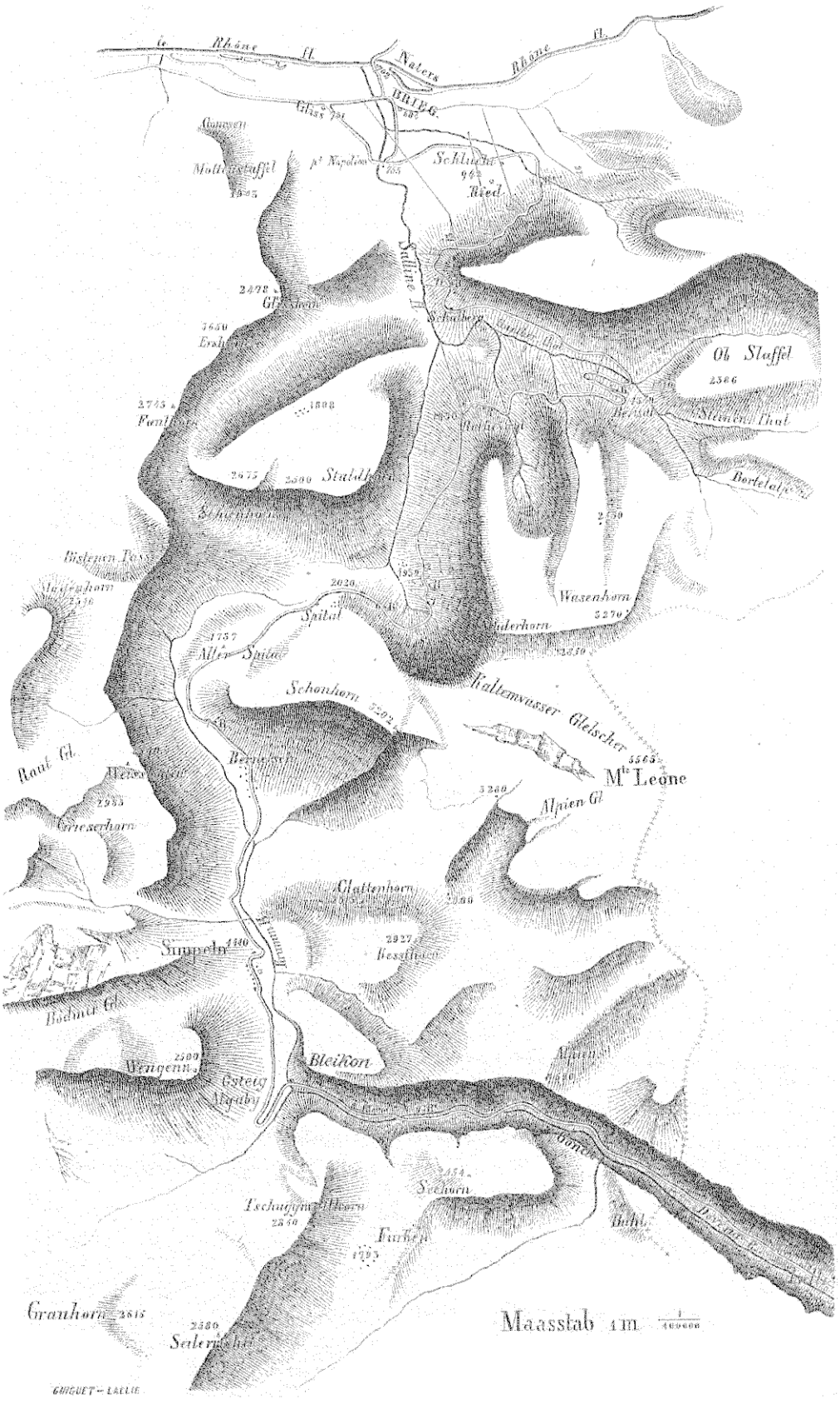
§ 8.

Mouvement et Recettes des Postes sur les routes principales par les Alpes.

ANNÉES	SPLUGEN		BERNARDIN		SAINT-GOTHARD		SIMPLON	
	CHUR-CLEVEN		SPLUGEN-BELLINZ SPLUGEN-MAGADINO		FLUELEN-AIROLO		LAUSANNE-DOMO	
	Voyageurs	Recettes	Voyageurs	Recettes	Voyageurs	Recettes	Voyageurs	Recettes
		FR.		FR.		FR.		FR.
1849	3,820	21,216	2,042	10,461	14,923	89,897	12,868	50,759
1850	6,377	40,638	2,556	13,702	17,613	123,843	12,159	66,757
1851	6,690	61,404	2,508	18,878	20,405	203,854	20,431	131,337
1852	6,530	68,703	2,309	20,393	21,294	238,670	21,483	210,322
1853	7,958	82,735	2,458	23,007	18,581	173,868	33,706	153,656
1854	7,739	80,265	2,941	27,767	21,170	216,211	37,607	175,035
1855	8,979	87,262	3,292	32,555	24,923	273,966	30,113	188,262
1856	9,456	94,387	3,717	37,412	27,723	324,311	32,038	211,742
1857	9,385	91,298	3,891	37,485	29,027	367,625	34,687	219,646
1858	9,395	105,942	8,673	61,521	28,520	322,801	34,166	202,131
1859	8,952	91,501	9,099	58,529	26,149	274,305	32,772	166,867

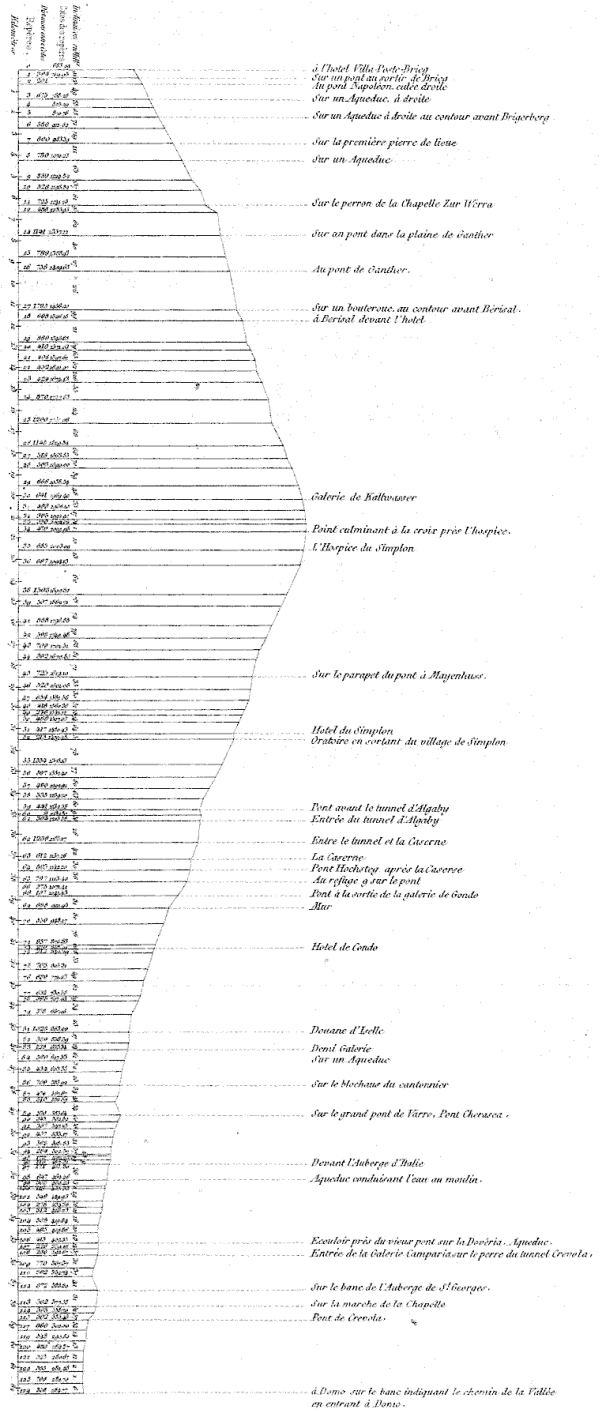
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

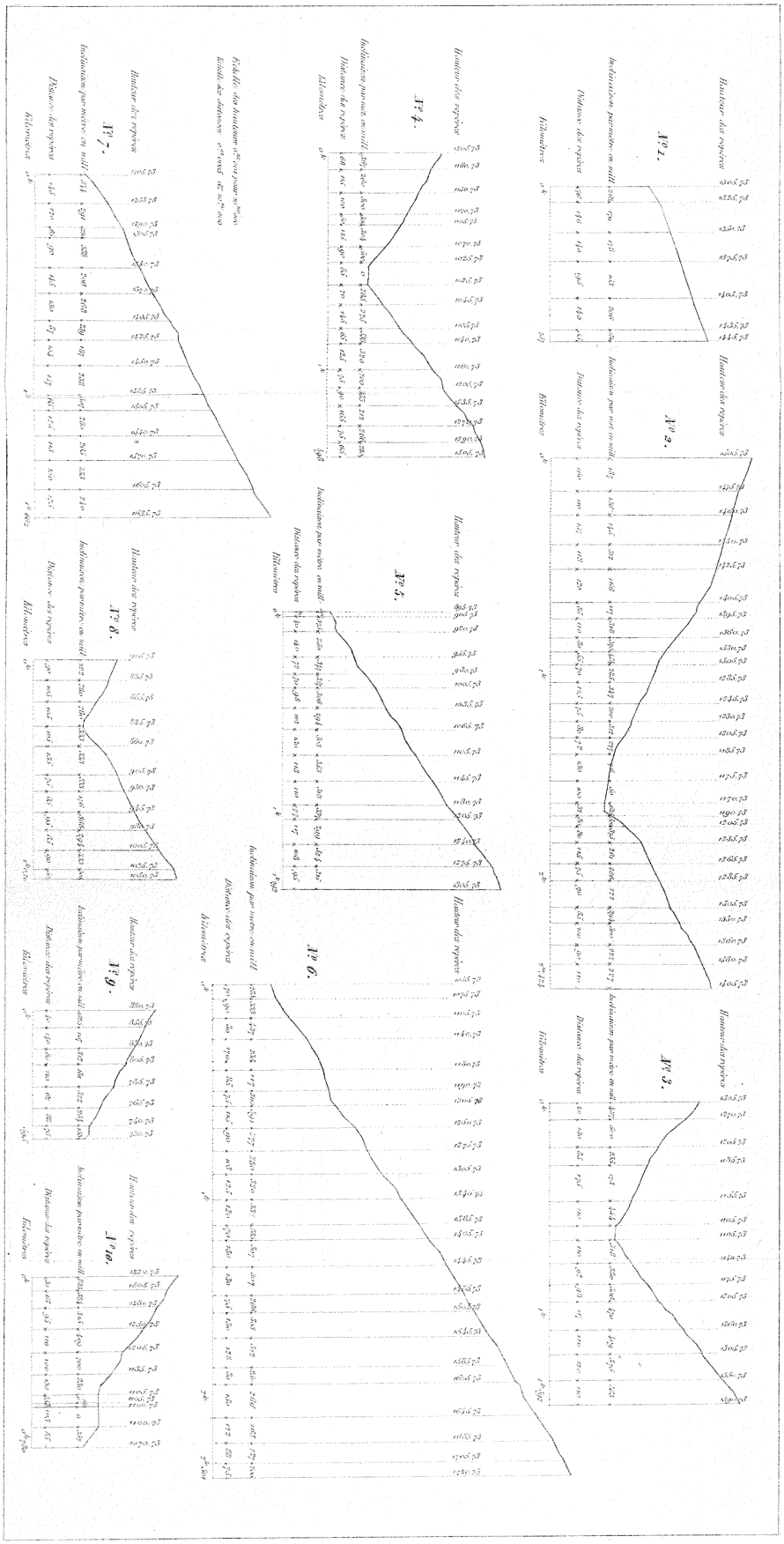
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Profil de la route du Simplon entre Brieg et Domo d'Ossola.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil de la Vallée Eclusin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires