

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 5 (1879)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Notice sur l'ascenseur à air comprimé pour chemin de fer à fortes rampes et à profil varié  
**Autor:** Gonin, Louis / Dašek  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-6901>

#### **Nutzungsbedingungen**

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

#### **Conditions d'utilisation**

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

#### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 24.02.2026

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

## BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

## DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT 4 FOIS PAR AN

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

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

**Sommaire :** Nécrologie. M. Viollet le Duc. — Notice sur l'ascenseur à air comprimé pour chemins de fer à fortes rampes et à profil varié, par Louis Gonin, ingénieur cantonal des Ponts et Chaussées du canton de Vaud. — Casernes de la 1<sup>re</sup> division à Lausanne.

## NÉCROLOGIE

## M. VIOLET LE DUC

Nous devons à la plume de notre collègue M. H. Assinare, architecte de l'Etat, les lignes suivantes, consacrées au souvenir de M. Viollet Le Duc, qui avait bien voulu accepter de faire partie de notre société à titre de membre honoraire. (Réd.)

La Société des ingénieurs et des architectes vaudois vient ici rendre hommage à la mémoire du savant et illustre architecte Viollet Le Duc, de Paris, qui, pour nous prouver sa sympathie, avait implanté sa tente sur les bords de notre Léman, où il venait, disait-il, s'enivrer de paix en face de cette nature sans pareille.

C'est un maître qui laisse parmi nous les traces profondes de son génie si fécond dans l'art qu'il affectionnait.

Notre antique cathédrale, depuis longtemps la proie des siècles, restait, pour ainsi dire, abandonnée et la flèche de la coupole, reconstruite après l'incendie de 1825, étant un sujet de craintes journalières, le conseil d'Etat, en vue d'éviter de graves accidents, fit appeler à Lausanne l'éminent architecte pour étudier la situation de cet édifice. Cet architecte, dont le mérite exceptionnel fait autorité, arriva à Lausanne vers la fin du mois d'août 1872 et reçut le meilleur accueil de la part de l'administration cantonale et de MM. les architectes de la capitale.

C'est ensuite des études qu'il a faites que nous voyons aujourd'hui la nouvelle flèche qui couronne la tour de la lanterne achevée, ainsi que les contreforts et les deux travées orientales de la grande nef et des collatéraux. Mais il était dit qu'il n'acheverait pas son œuvre et qu'il ne verrait pas même l'entière restauration du *Porche des apôtres*; cependant les plans qu'il a laissés sont suffisants pour poursuivre l'œuvre et pour rendre sa pensée telle qu'il voulait qu'elle fût comprise.

L'Eglise écossaise a su profiter du séjour de M. Viollet Le Duc à Lausanne pour lui confier l'exécution de la charmante chapelle qui décore le boulevard de Rumine.

## NOTICE

## SUR L'ASCENSEUR A AIR COMPRIMÉ

POUR CHEMIN DE FER A FORTES RAMPES ET A PROFIL VARIÉ

par Louis Gonin, ingénieur cantonal des Ponts et Chaussées du canton de Vaud.

## INTRODUCTION

Au commencement de l'année 1865, M. Charles Bergeron, ingénieur français, l'un des directeurs de l'exploitation des chemins de fer de l'Ouest-Suisse, fit au gouvernement du canton de Vaud la demande en concession d'un chemin de fer destiné à relier la gare avec la ville de Lausanne.

Ce chemin de fer devait être établi d'après le système pneumatique dit « à tube-enveloppe », qui venait d'être expérimenté à Sydenham, près Londres.

Ce projet, qui devait servir de modèle à suivre pour le passage des chaînes de montagnes, fut soumis par le conseil d'Etat à l'examen préalable d'une commission d'experts composée de MM. D. Colladon, professeur à Genève; Louis Dufour, professeur de physique à l'académie de Lausanne; Jules Marquet, ingénieur et professeur à la même académie; G.-T. Lommel, ingénieur à Lausanne, et présidée par M. Louis Gonin, ingénieur cantonal des ponts et chaussées.

Ensuite de l'avis favorable émis par cette commission et sur la proposition du département des travaux publics, alors présidé par M. Berney, conseiller d'Etat, la concession demandée fut accordée à M. Bergeron, par décret du Grand Conseil du 25 janvier 1866. Le coût des terrains que devait traverser la ligne fut cependant renoncer à l'entreprise.

En succédant, en 1869, à M. Berney, comme chef du département des travaux publics, M. Delarageaz y apporta le même désir de faire arriver à un résultat pratique l'idée d'appliquer l'air comprimé à la locomotion ascensionnelle, idée reconnue possible par la commission d'examen du projet Bergeron, et c'est alors qu'elle fut reprise, sous une nouvelle forme, par MM. Jean Gay, professeur à l'académie de Lausanne et L. Gonin, ingénieur cantonal des ponts et chaussées.

Un premier essai fut exécuté à Lausanne par les bons soins de M. l'ingénieur Duvillard et servit à démontrer dans quel sens devaient se poursuivre ces études.

Le Grand Conseil et le Conseil d'Etat du canton de Vaud ont continué, par plusieurs décisions importantes, à en seconder le développement.

Depuis la mort de M. le professeur Gay, survenue en 1874, diverses circonstances ont conduit l'auteur de cette notice à faire construire un nouvel appareil expérimental et démonstratif, d'après ses propres idées et sous la direction de M. l'ingénieur *Th. Turrettini*, directeur de la Société genevoise pour la construction d'instruments de physique.

Plusieurs ingénieurs ont bien voulu seconder l'auteur du précieux concours de leurs avis et de leurs lumières et notamment MM. Charles *Goschler*, ancien président de l'Association amicale des anciens élèves de l'école centrale des arts et manufactures; *Gaudard*, professeur à la faculté technique de l'académie de Lausanne; *F. Laurent*, ancien directeur de l'exploitation des chemins de fer de l'Ouest-Suisse, à Lausanne; *A. Achard*, à Genève; *Th. Turrettini*, à Genève, et *Guiguer de Prangins*, à Lausanne.

Les premières expériences faites sur ce tube expérimental ont été soumises à l'examen d'une commission d'experts nommée par le Conseil d'Etat et composée de : MM. *K. Pestalozzi*, colonel fédéral, professeur au polytechnicum fédéral de Zurich; *L. Ribourt*, ingénieur de l'entreprise Louis Favre au Gothard, actuellement à Paris; *F.-G. Nöller*, ancien ingénieur en chef de la traction de la compagnie Ouest-Suisse, à Yverdon; *Rodieu*, ingénieur en chef de la traction des chemins de fer de la Suisse-Occidentale, à Yverdon.

Cette commission a conclu dans son rapport du 11 septembre 1876, en faveur de la continuation et du développement de cette application.

Par une décision subséquente, le Conseil d'Etat a décidé d'affecter une allocation à l'installation des appareils nécessaires à la mesure dynamométrique des efforts obtenus sur le tube expérimental de Plainpalais.

La présente notice a pour but de rendre compte des résultats obtenus par ces divers essais, de faire comprendre comment le système est applicable sur les lignes à forte rampe et à profil varié, d'en faire connaître le mode d'emploi et de démontrer, par un exemple et par une comparaison, quelles sont les économies importantes à obtenir dans la construction et surtout dans l'exploitation d'un chemin de fer de montagne par l'adoption du système de l'ascenseur en rampe et à air comprimé.

En terminant cet écrit, l'auteur tient surtout à exprimer sa sincère reconnaissance aux magistrats qui l'ont encouragé et à ceux de ses collègues et amis qui l'ont aidé à amener cette entreprise à bonne fin.

## I. But du système proposé. Double traction.

Depuis un certain nombre d'années il a été fait beaucoup d'efforts pour rendre les pays de montagnes accessibles aux chemins de fer et pour introduire la traction mécanique sur rails dans le cœur des vallées les plus reculées et les plus abruptes.

Dans les systèmes très divers qui ont été étudiés ou appliqués de préférence jusqu'à présent, on s'est surtout attaché à obtenir un moteur unique, imprimant à lui seul au mobile aussi bien la translation horizontale que l'ascension, double travail d'où résulte le mouvement en rampe.

Quelque satisfaisants que puissent être tous ces systèmes,

chacun dans son genre, lorsqu'ils s'appliquent sur une voie ferrée de courte distance et destinée à relier seulement un point bas avec un autre point plus élevé, ils n'offrent néanmoins qu'une faible ressource lorsqu'il s'agit de lignes à profil varié où le terrain exige tour à tour des rampes, des pentes et des paliers prolongés.

La nature a disposé la plupart des grandes vallées en étages successifs, à pentes douces, séparés les uns des autres par des rapides.

Pour qu'une ligne de chemin de fer y soit construite aussi économiquement que possible, il faut que son tracé épouse la structure naturelle de la vallée au plus près, et que son profil en long soit composé de rampes proportionnées à l'inclinaison locale du thalweg et reliées entre elles par des paliers ou par des rampes à faible inclinaison.

Mais il résulte de cette situation qu'une locomotive qui aura été calculée pour remorquer un train sur le palier ou la faible rampe deviendra insuffisante pour le faire avancer sur une pente plus forte, et réciproquement, qu'une locomotive appropriée à la remorque des trains sur les trajets à pente raide grèvera d'un poids mort dispendieux les trajets en palier à faible inclinaison ou même à la descente, pour les raisons qui seront indiquées plus loin.

Il serait donc très désirable que, par un moyen facile, on parvînt à appliquer aux trains, dans les trajets à grande inclinaison, une traction supplémentaire, qui pourrait être cinq ou six fois plus considérable, ou mieux encore, que celle que fournit alors la locomotive seule proportionnée au travail qu'elle a à fournir sur les parcours de plaine.

En d'autres termes, on sait que la résistance d'un convoi entier, machine et tender compris, se compose de deux parties, lorsqu'il chemine sur une rampe, savoir :

1<sup>o</sup> De celle qui se produirait sur une voie en palier;

2<sup>o</sup> De celle qui correspond à la composante de la pesanteur estimée parallèlement à la rampe.

C'est ce qui se traduit en langage mathématique par l'équation  $R = Tr + Tx$ , dans laquelle :

$R$  est la résistance totale à la marche des trains.

$T$  le poids total du train, y compris la machine et le tender.

$r$  la résistance au roulement, en kilogrammes par tonne.

$x$  la résistance due à la composante de la pesanteur, laquelle est de un kilogramme par tonne et par millimètre de rampe.

Tandis que le premier terme du second membre de cette équation, soit  $Tr$ , représente la résistance totale du train au roulement, à laquelle s'appliquera l'effort de la locomotive, c'est le deuxième terme  $Tx$  qui représente essentiellement le travail demandé de l'ascenseur. C'est donc à fournir au train cette traction additionnelle qu'est destiné l'appareil expérimenté à Genève et que cet écrit a pour but de faire connaître. En d'autres termes encore, le rôle de l'ascenseur pourrait être aussi représenté comme un contrepoids équilibrant à chaque instant la composante du poids du train engagé sur une rampe.

## II. Disposition générale de l'ascenseur.

L'ascenseur à air comprimé se compose d'un tube métallique établi au milieu de la voie ferrée, sur les mêmes traverses que les rails. Ces derniers sont relevés sur des longrimes, en sorte que leur niveau correspond à celui du dessus du tube. (Pl. I.)

Dans ce tube se meut un piston prolongé par une tige à laquelle est fixée une double barre d'attelage qui sort par une baie ménagée à la partie supérieure du tube; cette barre vient se terminer au dehors par un petit chariot porteur d'un tampon, par le moyen duquel le train placé sur la voie reçoit l'effort imprimé au piston par l'air comprimé, qui le chasse devant lui. (Pl. II.)

Il reste à indiquer comment est fermée la baie longitudinale qui règne à la partie supérieure du tube. C'est au moyen d'une soupape, à section trapézoïdale, enveloppée d'une lanière de cuir sur les côtés et bardée de fers plats sur ses deux faces de dessus et de dessous. Cette soupape, flexible dans le sens de sa longueur, prend successivement trois positions distinctes :

Au repos, elle est suspendue par de légères tiges verticales à une barre de fer méplat, qui vient se placer sur les lèvres de la baie.

Au passage de la barre d'attelage, qui l'entoure de ses deux bras, la soupape s'est relevée de quelques centimètres.

Enfin, lorsque arrive le piston, la soupape vient s'appliquer hermétiquement dans le siège trapézoïdal qui lui est ménagé sur les deux lèvres de la baie. Ce mouvement de la soupape est obtenu au moyen de galets de friction qui la saisissent et entre lesquels elle passe comme dans un laminoir.

Ce genre de soupape, en forme de coin, permet de donner une grande étanchéité au joint longitudinal. Plus la pression intérieure est forte derrière le piston, plus aussi cette tension s'emploie à presser la soupape dans son siège et à obturer tous les interstices qui auraient pu donner lieu à des fuites d'air.

En outre, ce mode de suspension de la soupape permet de donner à cet organe essentiel du système une rigidité alliée à une élasticité complète, un mouvement très régulier et d'éviter la torsion à laquelle était soumise la soupape appliquée par MM. Clegg et Samuda aux anciens chemins de fer atmosphériques de Dublin et de Saint-Germain.

Nous reviendrons avec plus de détails dans les chapitres suivants sur la construction du tube, de la soupape et du piston.

### III. Effort obturant. — Pose de la voie.

#### Courbes.

1<sup>o</sup> *Effort obturant.* L'effort sollicitant la fermeture de la soupape longitudinale, dans l'appareil expérimenté à Plainpalais, est environ 12 à 20 fois plus fort, à longueur égale, que dans le système atmosphérique qui fut appliqué autrefois à Saint-Germain, ainsi que le démontre un calcul comparatif très simple :

Soupape à charnière de Saint-Germain.	Soupape trapézoïdale de Plainpalais.
<i>Poids et pressions par m<sup>2</sup>. linéaire.</i>	<i>Poids et pressions par m<sup>2</sup>. linéaire.</i>
Dépression intérieure	Pression intérieure
2/3 atm. = 0 kil. 7 par c/m qu.	6 atm. = 6 kil. par c/m qu.
Largeur de la soupape	Largeur de la lanière
6 c/m × 100 × 0 kil. 7 = 420 k.	9 c/m × 100 × 6 kil. = 5400 k.
Poids propre de la soupape, environ	A déduire, poids de la soupape
13	14
Effort obtur. par m. lin. 433 k.	Effort obt. par m. lin. 5386 k.
5386 = 433 × 12,5	

Si l'on admettait une pression de 10 atm. dans l'ascenseur, la charge sur la soupape atteindrait près de neuf tonnes par mètre courant ou vingt fois celle agissant sur la soupape Clegg.

2<sup>o</sup> *Pose du tube.* A l'inverse de ce qui avait été pratiqué dans les anciens chemins de fer atmosphériques de Dublin et de Saint-Germain, la pose du tube de l'ascenseur aura lieu de telle manière que son niveau supérieur et le dessus de la soupape coïncide avec le niveau des rails du chemin de fer. Ainsi le tube ne formera aucune saillie au-dessus de la voie.

Cette disposition, fortement recommandée au début de nos études par M. Eugène Flachat, ancien ingénieur en chef du chemin de fer atmosphérique de Paris à Saint-Germain, est rendue possible par la diminution du diamètre du tube et, à son tour, elle rend possible l'admission sur l'ascenseur du matériel ordinaire de traction, ce qui n'était pas le cas à Saint-Germain. Elle permet aussi, grâce à la structure à la fois simple et solide de la soupape, la traversée de passages à niveau et la pose de l'ascenseur sur l'accotement de larges routes ordinaires, avantages que ne présentent ni le système funiculaire, ni les voies à crémaillère ou à rail central. (Pl. I.)

3<sup>o</sup> *Courbes.* L'ascenseur pourra se prêter au passage des courbes d'après les moindres rayons admis sur les chemins de fer. C'est dans ce but qu'il a été prévu que la tige du piston pourrait être articulée, entre la barre d'attelage et le piston, au moyen d'un genou flexible dans le sens vertical, comme dans le sens horizontal.

### IV. Assemblage de l'ascenseur avec la locomotive.

Il a été déjà expliqué plus haut que le but de l'ascenseur à air comprimé est de compléter, par un effort additionnel, ce qui manque à la locomotive au moment où elle quitte un pâlier ou une faible rampe pour aborder une forte déclivité.

Il faut que l'assemblage de ce nouvel organe puisse avoir lieu avec une grande facilité et sans que l'on ait à aiguiller le train sur une seconde voie. C'est à quoi il est pourvu d'une manière très simple par le moyen suivant :

La barre d'attelage, sortant du tube de propulsion, vient, comme on l'a déjà décrit, se terminer au jour par un petit chariot-guide, qui roule sur de petits rails placés à droite et à gauche de la baie et qui porte un tampon, lequel vient buter contre le tampon mobile correspondant fixé sur la locomotive ou sur le wagon-frein spécial attelé au train. (Pl. III.)

Lorsqu'on veut faire usage de l'ascenseur, ce second tampon est abaissé au contact du premier, par le mouvement d'un levier manœuvré par le mécanicien; c'est ce qui a lieu lorsque le train est au bas de la rampe.

Lorsque le train est arrivé au haut de la montée, le piston de l'ascenseur et le petit chariot-guide s'arrêtent seuls, le contact cesse et le train poursuit sa marche sans arrêt.

Quand le tampon mobile est relevé, le train tout entier peut donc passer par-dessus le petit chariot de l'ascenseur, sans rencontrer de sa présence aucun obstacle sur la voie. Cette manœuvre n'exige donc pas plus d'efforts et bien moins de temps que l'attache d'une locomotive de renfort.

### V. Système locomotif.

Le système qui vient d'être exposé permet donc d'établir les lignes de montagne en conservant le système locomotif à simple adhérence, sans surcharger outre mesure le poids de la ma-

chine et sans y ajouter des organes de transmission à engrenages, qui ne peuvent fonctionner qu'en admettant une vitesse très réduite et qui réclament toujours une extrême précision d'ajustement.

La double traction au moyen de deux ou trois locomotives est déjà en usage sur un grand nombre de chemins de fer, mais c'est un moyen coûteux et limité quant à sa puissance.

La double traction au moyen du système atmosphérique par le vide a été indiquée déjà par divers auteurs (voir Perdonnet, 1856, tome II, pag. 484 à 488), plus tard par M. Pendred, de l'*Engineer* et par d'autres ingénieurs.

Récemment encore, dans un écrit inséré dans l'*Eisenbahn* du 15 juin 1877, page 188, M. Hellwig, ingénieur en chef de la Compagnie du Gothard, émettait le vœu qu'il fût trouvé un système permettant d'ajouter sur des rampes de 7 % une traction suffisante pour compléter celle de la locomotive à simple adhérence.

Il est, d'autre part, évident que l'accouplement d'un moteur fixe avec une locomotive ne peut avoir lieu que par une transmission jouissant de toute l'élasticité des corps gazeux et qu'il serait absolument inadmissible de songer pour ce service à un câble qui serait bientôt rompu par l'effet des chocs et des inégalités de tension résultant de la marche de la locomotive.

L'emploi de l'air comprimé se justifie donc pleinement et les essais de Plainpalais ouvrent donc le chemin pour répondre au vœu rappelé tout à l'heure.

## VI. Installations mécaniques et mode d'emploi de l'air comprimé.

Les installations fixes pour l'emploi du système se composeront essentiellement de turbines, de compresseurs du système Colladon et de réservoirs d'air.

C'est dans le jeu des appareils de compression et leur disposition, et surtout dans le mode d'emploi de l'air comprimé que réside l'une des plus grandes particularités de l'appareil expérimenté par M. Turrettini, mode d'emploi qui différencie totalement ce nouveau système ascensionnel à air comprimé d'avec les systèmes atmosphériques et pneumatiques décrits précédemment.

On sait, en effet, que le système atmosphérique reposait sur l'emploi d'air raréfié de la tension de 0<sup>m</sup>76 de mercure à celle d'environ 0<sup>m</sup>30, soit d'environ  $\frac{1}{2}$  à  $\frac{2}{3}$  d'atmosphère, et que les systèmes pneumatiques reposaient sur l'emploi d'air comprimé à  $\frac{1}{16}$  ou à  $\frac{1}{10}$  d'atmosphère effectif, s'il s'agissait du système à tube enveloppe, ou de 1 à 2 atmosphères, s'il s'agissait de tubes entre rails.

Or la quantité de force motrice nécessaire pour comprimer un même poids d'air, à des degrés croissants, ne progresse que dans la proportion des logarithmes des pressions. En d'autres termes, pour comprimer un kilogramme d'air naturel de 0 à 10 atmosphères, il ne faut pas cinq fois plus de force que pour comprimer ce même poids de 0 à 2 atm., mais ce rapport est comme  $\log. 10$  est à  $\log. 2$  ou de  $\frac{1}{0.301} = 3.33$ .

Pour tirer parti de cet avantage, l'air envoyé dans le tube, à la pression voulue pour pousser le mobile sur la rampe, n'est pas appelé directement de l'atmosphère.

Au contraire, cet air est fourni déjà sous pression au compresseur qui n'a plus qu'à lui fournir un surplus de compression exigeant ainsi un travail bien moins considérable. A cet effet, un approvisionnement d'air comprimé est constamment entretenu à la tension de 3 à 4 atm., dans des réservoirs en tôle dont le volume est calculé en proportion de la longueur de l'ascenseur.

Voici maintenant la série des opérations suivie par la compression et par la détente de l'air pendant la marche ascensionnelle et pendant la descente du train.

Les chiffres qui vont être indiqués ne sont pas absous et peuvent varier dans des limites assez étendues suivant les différentes circonstances à rencontrer dans l'application du système.

Le réservoir alimentaire contiendra de l'air comprimé à la pression d'environ 3  $\frac{1}{2}$  atmosphères effectives.

Son volume sera tel que la quantité d'air à en aspirer pour remplir le tube de propulsion sur les deux tiers de sa longueur ne fera baisser la pression dans le réservoir que d'environ trois quarts d'atmosphère.

Pendant la marche du train, le compresseur s'alimente au moyen de cet air à la pression de 3 à 2  $\frac{1}{2}$  atmosphères et le comprimera à 6 atmosphères pour le lancer derrière le piston propulseur dans le tube.

Lorsque les deux tiers environ de la course sont parcourus, on arrête le compresseur, le train continue à marcher par la simple détente de l'air et arrive en haut avec une pression d'environ 4  $\frac{1}{2}$  atmosphères dans le tube.

A ce moment on ouvre une communication directe entre le tube et le réservoir. Il s'établit une égalité de pression entre ces deux capacités. Aussitôt que la pression est sensiblement égale, par une simple manœuvre de vannage, on met en communication l'aspiration du compresseur avec le tube et le refoulement avec le réservoir.

Le compresseur est alors remis en marche; il commence à aspirer avec une pression égale au refoulement. Au fur et à mesure de son fonctionnement, la différence de pression augmentera et on arrêtera l'aspiration lorsque la pression dans le tube sera redevenue sensiblement égale à celle de l'atmosphère.

Le poids du train descendant sera de même employé à comprimer l'air refoulé dans le tube devant le piston et à l'emmailler dans le réservoir alimentaire.

La marche des opérations qui viennent d'être décrites fait voir :

1<sup>o</sup> Qu'aucune pression supérieure à celle réellement nécessaire sur le piston moteur n'est donnée à l'air;

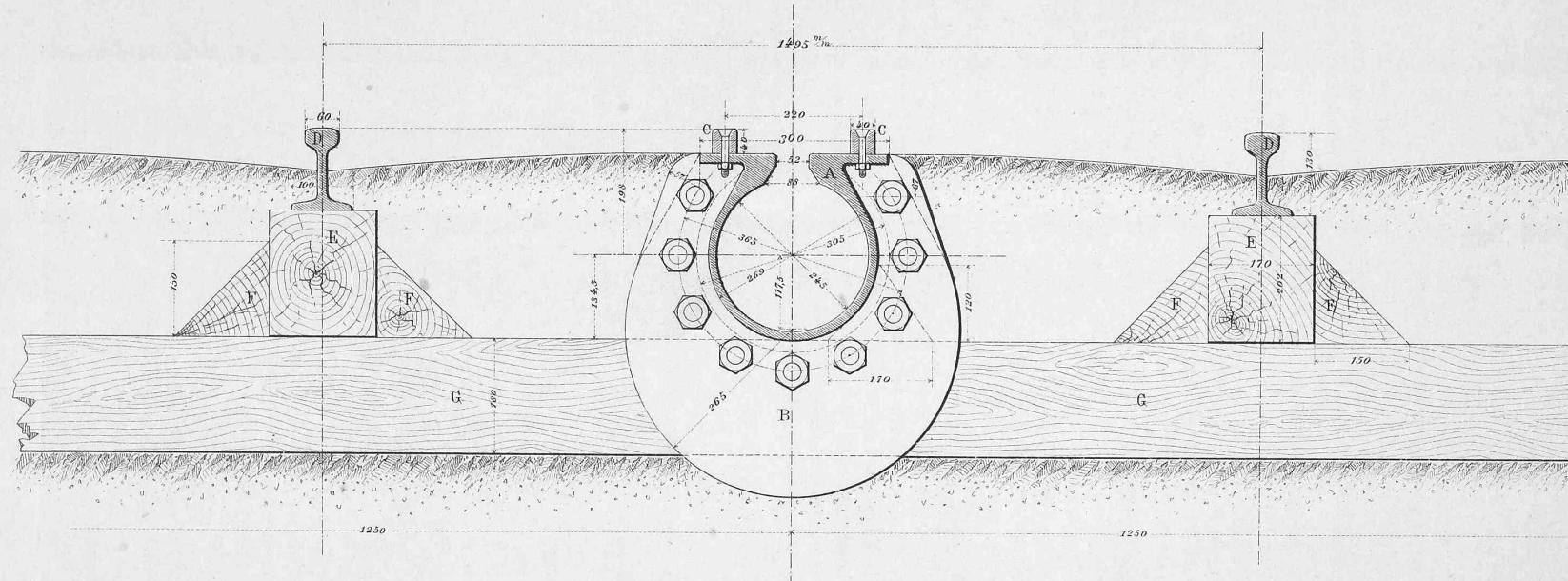
2<sup>o</sup> Que l'air comprimé en vue de l'ascension ne subit point de détente inutile et qu'on tire tout le parti possible de la pression qui lui a été donnée;

3<sup>o</sup> Que les phénomènes thermiques qui jouent un grand rôle dans le travail de l'air comprimé à forte pression sont, par la même raison, réduits dans une grande mesure dans le système qui fait l'objet de cette notice et que, par conséquent, les variations de température résultant des variations de pression ne produiront que des effets insensibles<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> A ceci nous croyons devoir ajouter les explications suivantes :

Les phénomènes de compression se passent ou dans le compresseur ou dans le tube. — Dans le compresseur, on évite les actions ther-

Coupe de la voie avec tube de propulsion

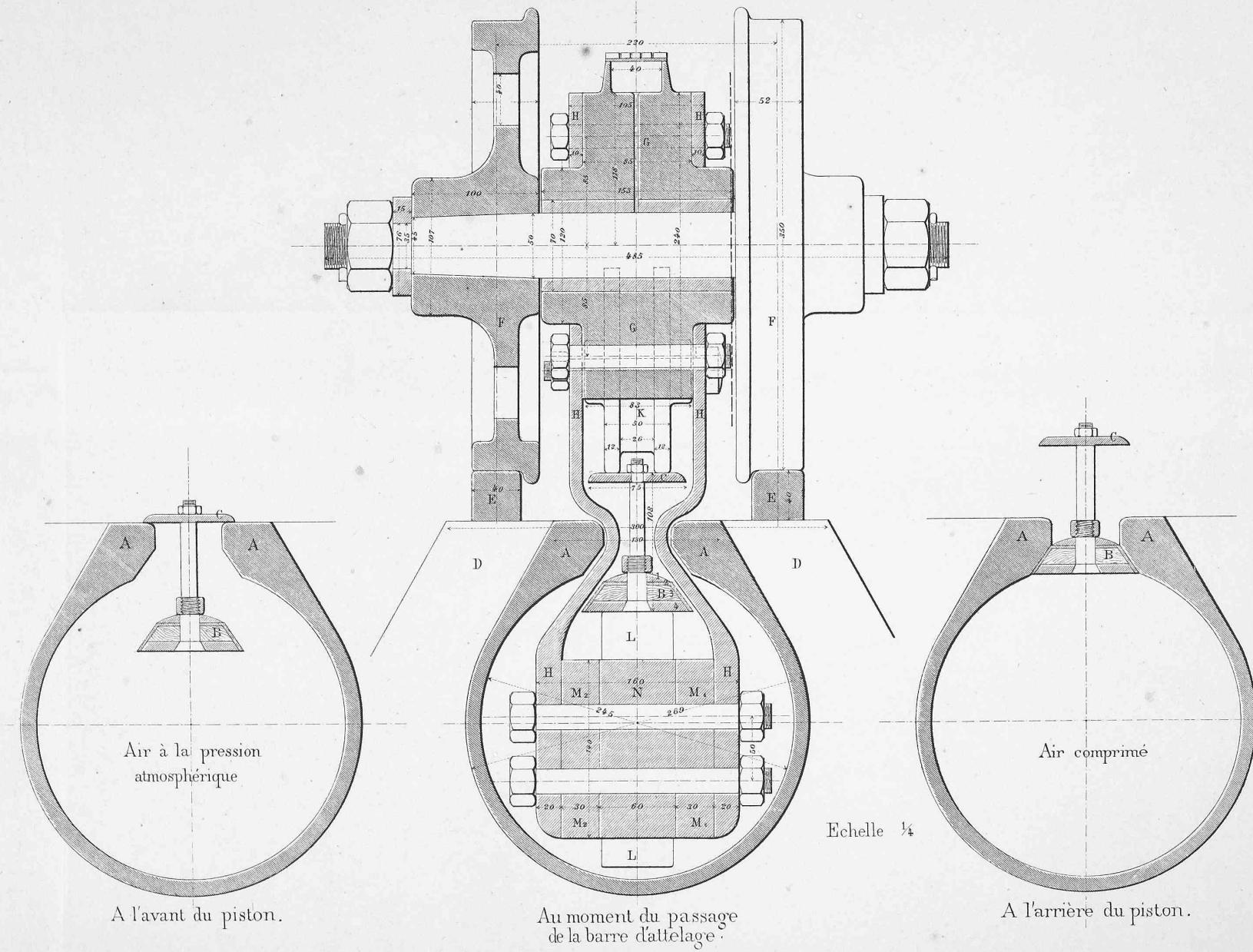


Echelle =  $\frac{1}{10}$

Seite / page

leer / vide /  
blank

Coupe du tube avec soupape et chariot porte tampon

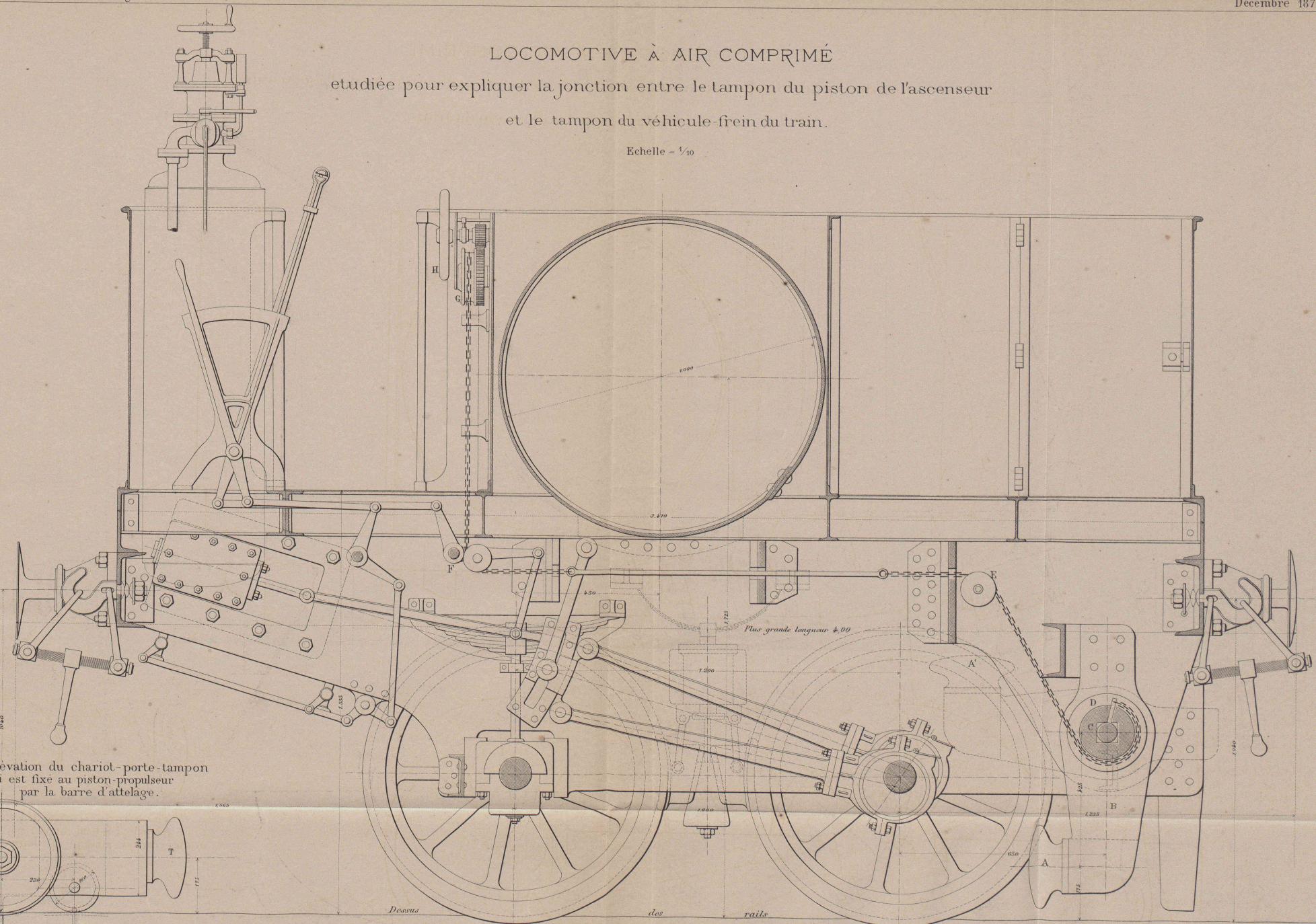


Seite / page

leer / vide /  
blank

## LOCOMOTIVE À AIR COMPRIMÉ

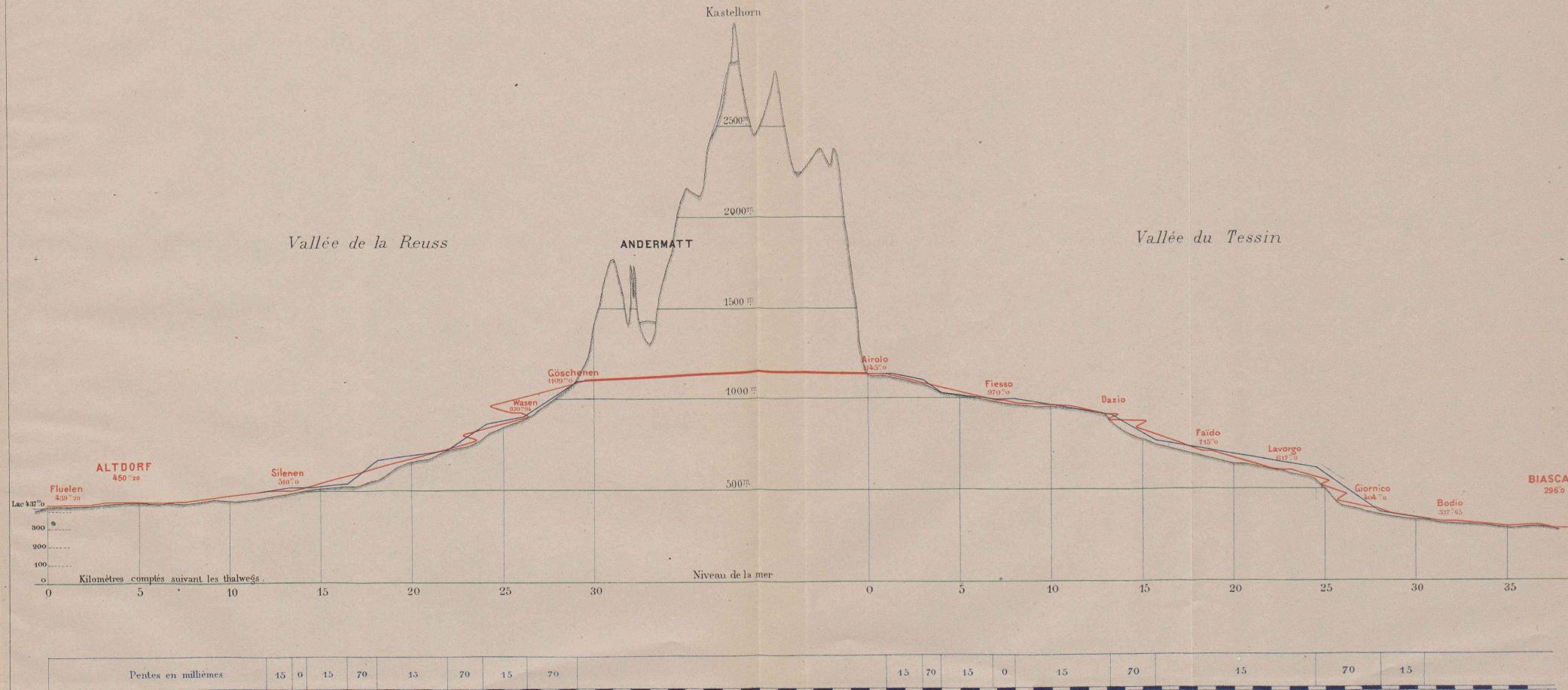
étudiée pour expliquer la jonction entre le tampon du piston de l'ascenseur  
et le tampon du véhicule-frein du train.

Echelle -  $1/10$ 

Seite / page

leer / vide /  
blank

## GOTTHARD

Profil en long comparatif  
des thalwegs de la Reuss et du TessinEchelles -  $H^{\prime\prime} 1/20,000$   
 $L^{\prime\prime} 1/200,000$ .

Les données de ce profil pour les thalwegs de la Reuss et du Tessin et pour le tracé rose sont extraits de l'Album publié en 1876 par la Cie du Gothard. [Die Bahnachse und das Längenprofil der Gotthardbahn]

Seite / page

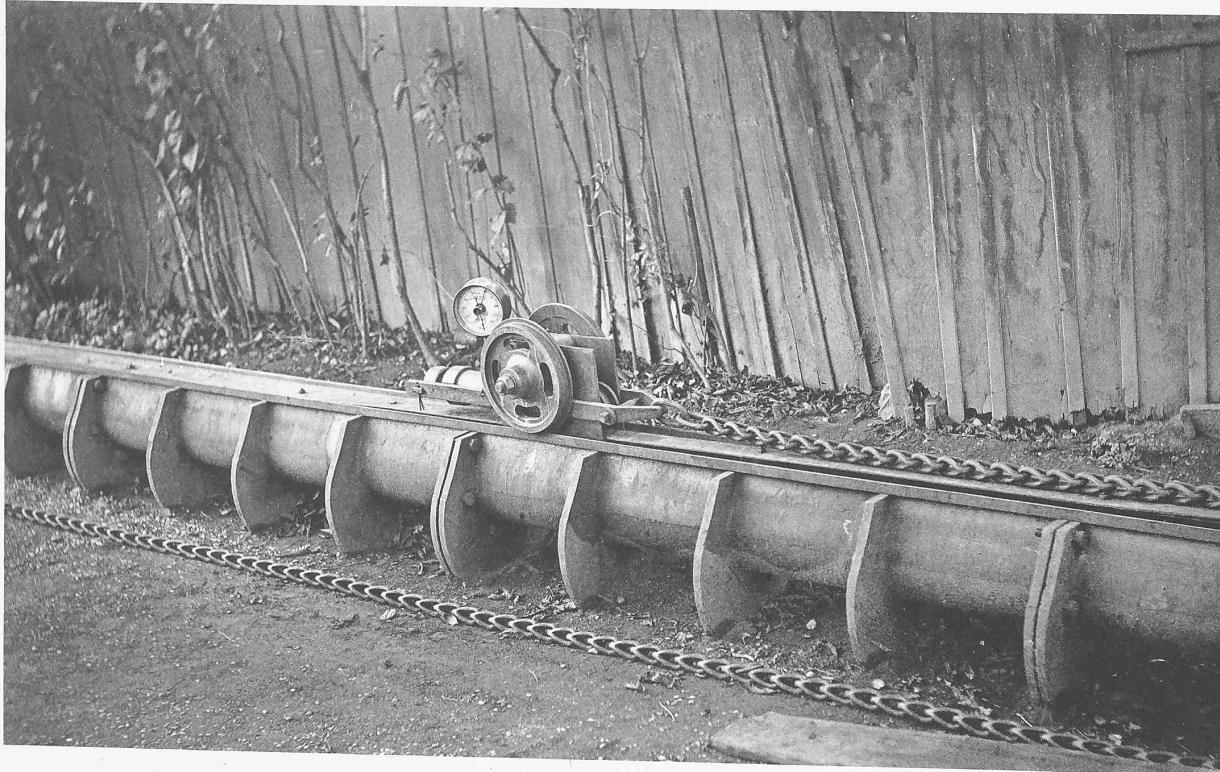
leer / vide /  
blank

VUE PHOTOGRAPHIQUE  
DE L'APPAREIL EXPÉRIMENTAL POUR ASCENSEUR A AIR COMPRIMÉ

*Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.*

*Décembre 1879.*

Pl. V.



*Phototypie Bauerheinz.*

La chaîne ne fait partie que de l'appareil dynamométrique expérimental. Elle est sans emploi dans l'ascenseur.

Seite / page

leer / vide /  
blank

Ce fonctionnement de l'ascenseur à air comprimé diffère donc entièrement de celui qui a été décrit et calculé par M. Albert Fliegner, professeur au Polytechnicum fédéral de Zurich, aux pages 129 et 132 de son ouvrage intitulé *Die Bergbahn-Systeme*, dans l'article qui traite des chemins de fer atmosphériques à air comprimé.

Nous reproduisons plus loin, au chapitre X et à la suite de l'annexe I, les résultats obtenus à plusieurs reprises dans les essais dynamométriques faits sur le tube de Plainpalais. Ils démontrent que le travail reçu par le train est peu inférieur au travail transmis par l'air, et que le travail absorbé par le frottement du piston est peu considérable.

On remarquera de plus que l'effet utile de l'ascenseur est indépendant de l'inclinaison du tube.

L'action des fuites, qui dépend de la longueur de la rampe, est peu sensible, grâce au perfectionnement apporté à la soupape, ainsi que cela sera démontré dans l'annexe à propos du calcul de la force motrice employée par un ascenseur.

## VII. Descente des trains.

Dans le système locomotif à simple adhérence, sur toutes les pentes excédant 0,0032, on doit, d'après M. Lindner<sup>4</sup>, modérer la vitesse par le serrage des freins.

Le surplus du travail moteur développé par la descente du train, en plus de celui appliqué à son avancement horizontal, est entièrement consommé en frottements d'organes mécaniques entre eux ou sur la voie, c'est-à-dire qu'une grande partie du travail opéré à la descente n'a d'autre résultat que de dévorer graduellement le capital de la Compagnie, dans son matériel roulant et dans son matériel fixe.

C'est un inconvénient grave, auquel vient parer le système que nous avons décrit, en offrant au train descendant une résistance qu'on peut régler à volonté et en transformant un travail destructeur en un travail utile, c'est-à-dire en recompensant, sous l'effet du poids du train descendant, l'air contenu dans le tube de propulsion et en le refoulant dans le réservoir d'alimentation.

## VIII. Sécurité.

On remarquera sans doute que l'une des pièces dont la solidité est essentielle dans l'appareil que nous décrivons, c'est la barre d'attelage qui réunit la tige du piston au chariot-tampon.

Cette barre doit résister à un effort de cisaillement. Il est facile de démontrer que cette pièce peut, sans peine, recevoir des dimensions qui lui assureront une sécurité qui sera, non

miques par une réfrigération bien entendue tenant au système de l'appareil. — Dans le tube, on les évitera, au moins dans la mesure nécessaire pour éviter un préjudice, par ces faits que le tube, en raison même de sa forme, présente beaucoup de surface, eu égard à son volume, que cette surface est métallique et immergée dans le sol, et que par conséquent le tube offre des conditions tout à fait opposées à l'imperméabilité thermique. — D'ailleurs la détente n'aura qu'une faible amplitude et, à la descente, on pourra toujours modérer la vitesse par les freins de manière à ralentir la compression et à faciliter l'émission de la chaleur développée dans l'air.

<sup>4</sup> *Die virtuelle Länge und ihre Anwendung auf Bau und Betrieb der Eisenbahnen*, une étude de A. Lindner, Ingénieur. Zurich, 1879.

pas seulement de dix à douze fois l'effort de rupture, comme c'est le cas dans l'emploi d'un câble, mais au moins cinquante fois plus forte.

C'est ce qui ressortira de la comparaison des deux exemples suivants :

Au plan incliné funiculaire de Lyon à la Croix-Rousse, dont la rampe est de 16 %, le câble supporte une tension maximale de 9000 kilogrammes; la résistance du câble, qui a 46 millim. de diamètre, est de 102 800 kilog., le coefficient de sécurité est donc de  $\frac{102\ 800}{9000} = 11$  à 12 fois la charge de rupture<sup>1</sup>.

La double barre d'attelage du piston de l'appareil expérimental de Plainpalais est formée de deux pièces de fer de 8 millim. d'épaisseur chacune et de 400 millim. de largeur. Leur section est donc de  $2 \times 0,8 \times 40 = 64$  cent. carrés, ce qui donne une résistance totale à la rupture par cisaillement de  $64 \times 3600 = 230\ 400$  kilog.<sup>2</sup> La surface du piston propulseur est de 487 cent. carrés, ce qui, à 8 atmosphères, représente un effort de traction de 3896 kilog.

Le coefficient de sécurité est donc de  $\frac{230\ 400}{3896} = 59$  fois la charge de rupture. Rien n'empêche d'ailleurs de doubler la largeur des barres, ce qui donnerait un coefficient de sécurité plus que centuple de la charge de rupture.

Il est bien plus facile, en effet, de donner un très grand surcroît de sécurité à un organe isolé, de dimension restreinte, sur lequel se concentre la résistance, qu'à un câble qui occupe toute la longueur de la voie et dont les sections de rupture se succèdent sans intervalle d'un bout à l'autre de la ligne<sup>3</sup>.

Il ressort de ce qui précède que le piston de l'ascenseur est lui-même le principal frein du convoi, sans exclure l'emploi des autres freins en usage sur toutes les lignes.

## IX. Description du tube expérimental construit à Plainpalais pour la locomotion à l'air comprimé à forte pression. (Pl. IV.)

Le but du système qui vient d'être décrit est d'obtenir, à l'aide d'air comprimé à 6, 8 ou 10 atmosphères, une sorte d'ascenseur servant à la traction d'un wagon-frein remorquant ou poussant lui-même un train attelé de sa locomotive sur un plan incliné, où les circonstances auraient rendu nécessaire l'adoption de pentes supérieures à 6 ou 7 %.

1. *Tube*. Le tube expérimental est fendu à la partie supérieure dans toute sa longueur; dans cette fente vient se loger la souape.

Il a un diamètre de. . . . . 0 m. 250

La section de ce cercle serait de . . . . . 490 cmq. 87  
dont il faut déduire le segment occupé par la souape. . . . . 3 50

Il reste une section utile de . . . . . 487 cmq. 37

<sup>1</sup> Oppermann, *Nouvelles annales de la construction*, 1869.

<sup>2</sup> Claudel, *Formules, tables, etc.*

<sup>3</sup> On remarquera aussi que, dans le système funiculaire automoteur, c'est l'organe le plus exposé à la rupture, le câble, qui est aussi celui qui éprouve le plus de frottement et, par conséquent, d'usure tandis que la barre d'attelage de l'ascenseur en est exempte.

qui sous une pression effective de 6 atmosphères<sup>1</sup>. donnerait un effort total de . . . . . 2924 kil. 20 La résistance du tube à l'ouverture a été calculée en supposant une pression de 10 atmosphères.

Cette résistance est obtenue en donnant à la paroi du tube une épaisseur de . . . . . 0<sup>m</sup>012 et en renforçant le tube par un série de nervures espacées de 50 en 50 cent., épaisses de . . . . . 0<sup>m</sup>025 et ayant un diamètre de . . . . . 0<sup>m</sup>530

Le centre de la courbure de cette nervure est placé plus bas que l'axe du tube; la saillie inférieure de cette nervure est de . . . . . 0<sup>m</sup>250

La fente du tube a une largeur de . . . . . 0<sup>m</sup>055 avec chanfreins s'ouvrant à 36° avec la verticale en dedans du tube, jusqu'à une largeur de . . . . . 0<sup>m</sup>090 à la circonference intérieure du tube.

2. *Soupape.* Le système de soupape qui a été expérimenté dans les ateliers de la Société genevoise de construction a pour but d'éviter les inconvénients du système Clegg et Samuda, employé naguère à Saint-Germain. On obvie au mouvement de torsion qu'avait la soupape en n'imprimant à celle-ci qu'une simple flexion, qu'on rend la plus faible possible en assurant à la barre d'attelage un passage suffisant.

Ce résultat est obtenu au moyen d'une soupape en forme de coin.

Cette disposition permet ainsi d'obtenir une parfaite herméticité du joint; à mesure que la pression intérieure deviendra plus forte, l'herméticité du joint ira croissant, comme c'est le cas pour les joints des presses hydrauliques.

La soupape est formée de deux lames de fer plat serrant entre elles un cuir gras contre une bande de bois. Les extrémités de la garniture dépassent très légèrement et sont appuyées fortement, ainsi que l'ensemble, contre les parois du tube et assurent ainsi un excellent joint. La soupape est suspendue de mètre en mètre par des tringles qui sont toutes réunies à leur partie supérieure par une longue bande de fer plat, suffisamment large pour empêcher, le système étant en repos, la soupape de tomber dans le tube. Cette bande de fer, en obturant l'ouverture du tube, empêche aussi les poussières ou corps étrangers de s'introduire dans celui-ci; de cette façon on prévient les avaries qui pourraient résulter de leur introduction.

Un rouleau compresseur fixé à la barre d'attelage du piston constraint la bande de fer à s'élever d'environ 25 mill. et, par là même, la soupape, qui en est solidaire par les tringles.

Une fois la barre d'attelage passée, le piston relève la soupape qui reste collée au tube par le fait de la pression; au repos, la soupape se décolle et est retenue par la bande supérieure.

3. *Piston.* Le piston est à garniture en cuir; il se compose d'une masse de fonte rendue aussi légère que possible, à la circonference de laquelle sont pratiquées trois rainures larges de 50 millim.; au fond de chaque rainure est placé un anneau en caoutchouc analogue à celui de la garniture Giffard; sur cet anneau ou bague on a enroulé de longues bandes de cuir qui

<sup>1</sup> On trouvera dans le cours de résistance des matériaux professé par M. de Mastaing à l'Ecole centrale des arts et manufactures (Paris 1874), le calcul d'un tuyau fendu pour monte-chARGE hydraulique, calcul applicable à l'ascenseur que nous décrivons ici.

frottent de champ contre le tube. Les résultats obtenus par ce mode de garniture ont été satisfaisants, tant au point de vue de l'étanchéité qu'à celui de la durée.

L'air comprimé, agissant sur la face postérieure du piston, trouve trois trous qui le font communiquer avec la face intérieure de l'anneau en caoutchouc. Si la première garniture fuit, l'air s'en ira à la circonference, il rencontrera là encore quelques trous qui le font retourner à la face interne du second anneau, et ainsi de suite jusqu'au troisième.

Le piston n'est pas complètement circulaire; il a été ménagé à sa partie supérieure un plat en forme de segment pour laisser passer la soupape.

La tige du piston est formée de deux bandes de fer plat, longues de 3<sup>m</sup>80, sorte de fortes joues, portant à leur extrémité deux rouleaux-guides, et, derrière ceux-ci la barre d'attelage, reliée à un petit chariot roulant sur une voie de 30 cent. d'écartement, cette voie est formée de deux fers à cornières fixés aux épaulements des nervures du tube.

La barre d'attelage est formée de deux plaques de tôle cintrées en forme de lyre; leur épaisseur est de 8 millim. et leur longueur de 400 millim.; cette barre d'attelage, suffisamment guidée par les deux rouleaux fixés à la tige, passe entre les lèvres du tube et de la soupape sans y toucher.

## X. Essais dynamométriques.

Le tube expérimental de Plainpalais a une longueur totale de 40 mètres. Les dispositions locales du terrain n'ont pas permis de l'établir sur une inclinaison qui aurait rendu faciles la production et la mesure d'un effort de traction. Pour y supplanter, on a eu recours aux arrangements suivants :

Au cours des expériences, le petit chariot conducteur qui, en pratique, devra porter le tampon destiné à appuyer contre le wagon-frein, a été seulement muni d'une petite pompe à huile servant de dynamomètre; une sorte de bride ou étrier, à laquelle est reliée la chaîne d'un treuil servant à produire la résistance, appuie sur le piston de la pompe à huile; on mesure alors directement les pressions dynamiques exercées sur le piston du tube par l'air comprimé et les pressions exercées, sur le piston de la pompe à huile, par le treuil.

Un premier manomètre gradué de 0 à 10 atm. est placé à la tête du tube près de l'arrivée d'air; un second permettant de lire les pressions de 0 à 300 atm. est placé sur le cylindre de la pompe à huile.

Le rapport des deux sections est d'environ  $\frac{1}{17}$ , ce qui fait que le chiffre 300 ne sera jamais atteint puisqu'il correspondrait à une pression dans le tube de  $\frac{300}{17}$ , soit 17,5 atm., le chiffre maximum qui ne doit jamais être dépassé, et pour lequel le tube a été calculé, étant 10 atmosphères.

Nous donnons ici un extrait du tableau dressé d'après les expériences et qui a servi à établir le rendement du système.

En examinant les chiffres, nous voyons que le rendement augmente avec la pression.

Le travail perdu est celui qui provient du frottement du piston dans le tube et du frottement des rouleaux-guides contre les parois du tube.

## EXPÉRIENCE N° 4.

Pressions dynamiques lues au manomètre placé près l'arrivée d'air et multipliées par 17.5, rapport des sections.	Pressions dynamiques lues au manomètre de la pompe à huile faisant fonction de dynamomètre.	Rapport entre l'effort théorique et l'effort effectif de traction.
82 at.	73 at.	0.89
78	71	0.91
73	69	0.945
69	65	0.94
65	59	0.91
60	53	0.883
56	49	0.875
52	46	0.885
47	42	0.893
43	37	0.86
39	34	0.875
664	598	
Moyenne	$\frac{598}{664} = 0.90$	

## EXPÉRIENCE N° 5.

60	52	0.867
56	48	0.86
52	45	0.865
47	41	0.87
43	38	0.885
39	33	0.847
34	28	0.825
30	24	0.80
26	20	0.77
21.5	16	0.76
408.5	345	
Moyenne	$\frac{344}{408.5} = 0.84$	

Voir à la suite de l'Annexe I les résultats de l'expérience du 28 novembre 1879, dont la moyenne est 0.95.

## XI. Résultats comparés.

Pour donner une idée aussi exacte que possible de l'avantage économique qui résultera de l'adoption des idées que nous venons d'exposer, le moyen le plus simple sera de choisir une ligne ferrée comme exemple, de déterminer le coût de sa construction, et le capital correspondant aux frais annuels de son exploitation pour un trafic prévu, et de calculer ces éléments dans la double hypothèse d'une construction qui serait faite dans les conditions ordinaires de traction par locomotive à simple adhérence et à rampes de 25 à 30 millim. par mètre, et de la construction de la même ligne suivant un tracé réparti en rampes de 15 millim., reliées par des ascenseurs à air comprimé sur rampes à 7, 8 ou 10 %. Pour faire cette comparaison avec fruit et avec exactitude, il nous est nécessaire de choisir pour champ d'étude une ligne réelle, bien définie et dont on connaisse le mieux possible les éléments géométriques, ainsi que les dépenses projetées. Ce sont ces considérations qui nous portent à choisir à cette fin la ligne du Gothard.

L'avancement actuel des travaux de cette voie internationale est tel qu'il mettra l'auteur de la présente notice à l'abri de tout soupçon de chercher dans ce choix autre chose qu'un exemple dont les données soient à la portée de tout le monde et, par conséquent, faciles à contrôler. C'est dans l'ouvrage déjà cité de M. Lindner, *Die virtuelle Länge*, publié en 1879 à Zurich ensuite d'un vœu exprimé par le département fédéral suisse des chemins de fer, que nous trouvons la marche à suivre et les principales bases de notre calcul.

Rappelons d'abord ce que cet auteur entend par longueur virtuelle d'un chemin de fer :

« Par le terme de longueur virtuelle d'une ligne ferrée comprenant des rampes et des courbes, on désigne la longueur d'une voie horizontale et rectiligne qui oppose à un convoi de même poids et de même vitesse une somme équivalente de résistances et qui, par conséquent, réclame pour les vaincre, la même quantité de travail. »

TABLEAU A. — *Tracé de la Compagnie.*

Distances itinéraires	STATIONS ET DISTANCES ENTRE ELLES	LONGUEURS RÉELLES	RAMPES PAR KILOM.	PENTES PAR KILOM.	ALLER		RETOUR	
					Coefficients	Longueurs virtuelles	Coefficients	Longueurs virtuelles
Kilom.	Kilom.	Kilom.				Kilom.		Kilom.
44.250	Silenen.....	23.950	25	.	9.683	232.005	— 7.783	Nég.
	25.750							
70	Göschenen.....	1.790	0	0	1	1.790	1	1.790
		8	5.82	.	2.873	22.984	— 0.872	Nég.
		1.400	1	.	1.318	1.845	0.682	0.955
	Tunnel.....	0.400	0	0	1	0.400	1	0.400
		1.200	.	0.5	0.841	1.009	1.159	1.391
		4.695	.	2	0.362	1.700	1.638	7.690
85.695	Airolo .....	32.286	.	25	— 7.863	Nég.	9.683	312.625
	38.685							
124.380	Bodio .....	6.399	0	0	1	6.399	1	6.399
	Longueur réelle...	80.130			Longueur virtuelle, aller.....	268.132		
					» retour .....	.....	.....	334.250
					Somme .....	599.382		
					Longueur virtuelle moyenne.....	299.691	299.691	soit 300 kilom.
					Rapport $\frac{299.691}{80.130} = 3.74$			

*Observation.* — Le profil en long du projet publié en 1876 n'indiquant pas en détail les longueurs et les inclinaisons de chaque rampe, on a supposé le parcours Silenen-Göschenen et le parcours Airolo-Bodio comme formés

d'une inclinaison de 25 % s'étendant sur une longueur égale à quarante fois la différence des altitudes, et le reste du parcours de chacun de ces deux trajets a été compté comme palier.

TABLEAU B. — *Tracé à ascenseurs.*

Distances itinéraires suivant le thalweg	STATIONS ET DISTANCES ENTRE ELLES	LONGUEURS RÉELLES	RAMPES PAR KILOM.	PENTES PAR KILOM.	ALLER		RETOUR		Long. des ascenseurs
					Coeffic.	Long. virtuelles	Coeffic.	Long. virtuelles	
Kilom.	Kilom.	Kilom.			Kilom.		Kilom.	Kilom.	
12	Silenen .....	1.400	15	.	5.994	8.392	— 3.994	Nég.	—
		850	0	0	1	850	1	850	—
		2.240	15	.	5.994	13.427	— 3.974	Nég.	—
		1.750	70	.	5.994	10.490	»	»	1.750
		3.700	15	.	5.994	22.158	»	»	—
		2.000	70	.	5.994	11.988	»	»	2.000
		1.550	15	.	5.994	9.241	»	»	—
		550	0	.	1	550	1	550	—
		2.900	70	.	5.994	17.383	— 3.994	Nég.	2.900
29.390	Göschenen .....	450	15	.	5.994	2.698	»	»	6.650
		Tunnel .....	15.695	—	—	27.938	—	10.436	—
1	Airolo .....	2.000	.	45	— 3.994	Nég.	5.994	11.988	—
		1.000	.	70	»	»	5.994	5.994	1.000
		3.000	.	15	»	»	5.994	17.982	—
		1.420	.	0	1	1.420	1	1.420	—
		30.400	5.180	.	45	— 3.994	Nég.	5.994	31.049
		2.200	.	70	»	»	5.994	13.187	2.200
		8.950	.	15	»	»	5.994	53.646	—
		3.550	.	70	»	»	5.994	25.279	3.550
		3.000	.	15	»	»	5.994	17.982	6.750
		400	.	0	1	400	1	400	—
		Longueur réelle ...	63.485	Longueur virtuelle, aller .....	126.635	retour...	190.463	13.400	
				Somme .....	317.098				
				Longueur virtuelle moyenne .....	158.549				
				Rapport $\frac{158.449}{63.485} = 2.50$					

*Observation.* — Les parcours à la pente de 70 % ont été comptés comme s'ils étaient inclinés à 15 % dans le calcul des longueurs virtuelles, pour tenir compte du travail de la locomotive sur ces passages.

Nous avons donc pris pour bases de notre comparaison le projet de tracé publié par la Compagnie du Gothard en 1876, et nous en avons calculé la longueur virtuelle d'après les coefficients indiqués par M. Lindner pour les rampes et les pentes seulement, sans tenir compte des courbes. Le projet, modifié en 1878, ayant admis des inclinaisons supérieures à 25 %, donnerait des résultats plus frappants encore.

Nous comparons ensuite ce résultat avec celui qu'offrirait un tracé réunissant les mêmes têtes de ligne, mais admettant sur son parcours des trajets avec rampes et pentes de 7 % et

double traction entre des paliers ou des parcours à pentes limitées à 15 %.<sup>4</sup>

Le tableau A forme une récapitulation sommaire du profil en long de la ligne du Gothard tel qu'il a été projeté en 1876, avec l'indication des majorations d'après l'ouvrage auquel nous nous référions. Les têtes de ligne sont les points où commencent au nord et où se terminent au sud les rampes d'accès à 25 %, c'est-à-dire Silenen et Bodio.

Le tableau B correspond à une ligne dont la longueur réelle se composerait, entre les mêmes points, des éléments suivants:

1<sup>o</sup> De Silenen à Göschenen, une ligne directe suivant le thalweg, sans rebroussements, et formée d'une succession de

<sup>4</sup> Voir Pl. V, le profil en long comparatif des deux tracés.

paliers et de rampes limitées à 15 %, reliées par trois rampes inclinées à 70 % avec ascenseur à air comprimé.

2<sup>o</sup> De Göschenen à Airolo, même ligne et même profil que dans le projet A.

3<sup>o</sup> D'Airolo à Bodio, une ligne directe, suivant le thalweg, composée de paliers, de pentes à 15 % et de plans inclinés à 70 % avec ascenseurs.

La ligne à laquelle correspond le tableau A, avec pentes à 25 % et lacets, a une longueur réelle de 80 kilom. 130 m. et une longueur virtuelle de 300 kilomètres.

La ligne représentée par le tableau B, qui suit le thalweg des vallées et n'a pas de rebroussements et dont les pentes sont de 15 % et de 70 %, n'a qu'une longueur réelle de 63 kilom. 485 m. et une longueur virtuelle de 158 kilom. 549 m. Une plus-value sera comptée à part pour l'exploitation des ascenseurs.

L'introduction des coefficients indiqués par M. Lindner pour les courbes augmenteraient encore d'environ 1/5 les longueurs virtuelles, surtout sur le premier tracé.

Revenant maintenant au mode de calcul suivi par cet auteur, nous ferons pour chacun des deux projets le calcul du capital correspondant aux frais annuels d'exploitation.

A la différence de ces deux chiffres, nous ajouterons la différence de coût des deux lignes, et la somme de ces deux valeurs sera la mesure de l'avantage du système le plus économique.

Dans ces calculs nous adopterons les mêmes données que M. Lindner dans l'exemple qu'il cite à la page 96 de son ouvrage, savoir :

a) Un tonnage brut de 733 280 tonnes brutes par an, c'est-à-dire le trafic moyen de tous les chemins de fer suisses dans l'année 1875.

b) Un prix de 1 centime comme prix de transport d'une tonne brute à 1 kilomètre de distance sur rails placés en ligne droite et sur l'horizontale.

Quant à la plus-value à compter pour les frais d'exploitation de l'ascenseur, nous ferons une très grande part à l'imprévu en prenant pour point de départ le prix de revient de l'exploitation du chemin de fer atmosphérique de Paris à Saint-Germain, après défaillance du coût du combustible, ici remplacé par l'eau des rivières et par leurs chutes. Nous avons indiqué plus haut quelle différence fondamentale existe entre les deux systèmes et pourquoi l'ascenseur exigera un entretien bien moins dispendieux.

#### Frais d'exploitation du chemin de fer atmosphérique de Paris à Saint-Germain<sup>1</sup>.

	1850.	1851.
	fr. c.	fr. c.
Combustible par kilom. parcouru . . .	1 35	0 884
Conduite des machines . . . . .	0 607	0 607
Entretien et surveillance de la soupape	0 822	0 630
	<u>2 779</u>	<u>2 117</u>

Moyenne fr. . . . . 2 45

dont à déduire pour frais de combustible . . . . 1 —

Il reste . . . . . 1 45

soit en chiffre arrondi 1 fr. 50 cent. par kilom. parcouru.

<sup>1</sup> Renseignements inédits dûs à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef G. Bridel.

Ces résultats sont confirmés par les indications de l'annuaire Chaix et de Heusinger de Waldegg. (Sternberg.)

Pour savoir à quel nombre de trains devra s'appliquer cette dépense, nous supposerons le tonnage annuel de 733 280 tonnes brutes réparti en 5000 trains de 100 à 200 tonnes, en moyenne de 147 tonnes, qui parcourent les 13 kilom. 400 m., soit 14 kilom. d'ascenseurs répartis en 6 rampes, dont 3 sur chaque versant de la montagne.

Enfin c'est dans un écrit déjà cité de M. l'ingénieur en chef Hellwag (*Eisenbahn 1877*), répondant aux observations de M. l'ingénieur Thommen, que nous trouvons l'évaluation de la différence entre le coût d'un tracé tel que celui de la compagnie et la dépense d'un tracé direct où les pentes seraient surhaussées jusqu'à 70 %.

Cette différence est estimée par M. Hellwag à la somme de . . . . . 25 millions.

De ce chiffre nous devons défaillir, pour l'établissement de 14 kilom. d'ascenseurs, y compris les installations mécaniques . . . . . 5 »

Il reste donc comme économie nette de construction . . . . . 20 millions.

A l'aide des données qui précèdent nous pourrons établir comme suit la balance entre les deux systèmes de tracés.

*Balance établie d'après le système des longueurs virtuelles, de M. l'ingénieur Lindner.*

#### Tracé à rampes de 25 % et lacets.

Frais d'exploitation :	Capitalisation
$20 \times 300 \times 0.01 \times 733280 = \dots \dots \dots$	Fr. 43 996 800
Excédant des frais de construction de la ligne	
à 25 % . . . . .	20 000 000

Total, Fr. 63 996 800

#### Tracé direct à ascenseurs, rampes de 15 % et de 70 %.

Frais d'exploitation :	
$Loc. 20 \times 159 \times 0.01 \times 733280 = \dots \dots \dots$	Fr. 23 318 304
Ascenseurs, $20 \times 5000 \times 14 \times 1.50 = \dots \dots \dots$	2100 000
	25 418 304
Boni résultant de l'application du système à ascenseurs . . . . .	38 578 496

Somme égale, pour balance, Fr. 63 996 800

On peut donc estimer, d'après ce calcul, qui est basé sur des données faciles à vérifier, que l'adoption d'un tracé direct avec plans inclinés à ascenseurs tubulaires économiserait au Gothard un capital d'environ 38 millions, ou une dépense annuelle de 1 900 000 francs.

Pour contrôler ces résultats qui peuvent surprendre au premier abord, nous avons voulu prendre aussi pour point de départ les formules que M. Vauthier, ingénieur des ponts et chaussées, ancien ingénieur en chef de la ligne d'Italie par le Simplon a appliquées au calcul des majorations pour l'étude comparative des passages des Alpes. (Percement du Simplon, Paris 1874.)

Dans le système de M. Vauthier, la majoration ne consiste plus à ramener un tracé donné à l'échelle d'une ligne horizon-

tale et sans courbes, mais à une ligne de plaine, de conditions ordinaires, admettant des pentes modérées limitées à 15 millim. par mètre.

M. Vauthier se réfère d'ailleurs pour l'établissement de ses calculs de majoration aux résultats publiés par M. Ruelle, dans les *Annales des ponts et chaussées*, de 1865, sur l'exploitation du chemin de fer Franco-Suisse.

Pour déterminer la majoration de la ligne du Gothard dans les deux hypothèses de profils que nous comparons, il faut d'après M. Vauthier (pag. 54 et 55) ajouter aux longueurs réelles de chaque tracé les valeurs trouvées comme suit :

Sur le tracé à 25 %, 82 fois la somme des hauteurs rachetées par rampes de 25 %, à l'aller et au retour, soit

$$82 \times 1464 \text{ m.} = 120 \text{ kilom.} 048 \text{ m.}$$

Sur le tracé à 15 %, 65 fois la somme des hauteurs rachetées, soit

$$65 \times 673 \text{ m.} 05 = 43 \text{ kilom.} 748 \text{ m.}$$

La différence de  $1464 - 673 \text{ m.} 05 = 790 \text{ m.} 95$  est rachetée par les ascenseurs.

Le prix de la tonne brute transportée à 1 kilom., à appliquer dans ce calcul, se déduit des tableaux contenus à la page 194 du travail déjà cité de M. Ruelle.

Une locomotive à marchandises à six roues couplées remorque, à la vitesse de 15 kilom. à l'heure, les charges suivantes :

Sur une rampe de 0,014 . . . . . 195 tonnes brutes

» » » 0,016 . . . . . 169 » »

et par conséquent

sur une rampe de 0,015 à peu près

la moyenne, soit . . . . . 182 » »

Le kilomètre de train coûte d'après le même auteur 3 fr., il en ressort donc un prix de revient par tonne et par kilomètre, sur rampes de 0,015, de  $\frac{3.00}{182} = 0 \text{ fr.} 01,6 \text{ cent.}$

Appliquant maintenant ces bases à la comparaison entre les deux tracés déjà mis en présence pour le passage du Gothard, nous voyons que le système de majoration de M. Vauthier conduirait aux résultats suivants :

*Balance établie d'après le système de majoration de M. Vauthier, ingénieur des ponts et chaussées.*

*Tracé à rampes de 25 % et lacets.*

Longueur majorée,  $80 + 120 = 200 \text{ kilom.}$

Frais d'exploitation . . . . .

Capitalisation . . . . .

$20 \times 200 \times 0.016 \times 733280 = \dots \text{ Fr.} 46929920$

Excédant des frais de construction de la ligne

à 25 % . . . . . 20 000 000

Total, Fr. 66929920

*Tracé direct à ascenseurs. Rampes de 15 % et de 70 %.*

Longueur majorée,  $63485 + 43748 = 107233 \text{ kilom.}$

Frais d'exploitation :

$Loc. 20 \times 107233 \times 0.016 \times 733280 = \text{Fr.} 25162110$

Ascenseurs,  $20 \times 5000 \times 14 \times 1.50 = \dots \text{ 2100000}$

27262110

Boni résultant de l'adoption du système à ascenseurs . . . . .

39667810

Somme égale pour balance, Fr. 66929920

La concordance presque absolue des résultats obtenus par des voies diverses et dérivant de données empruntées à des auteurs différents est une preuve de l'exactitude des conclusions comme aussi des points de départ.

Il ne sera pas sans intérêt de comparer ces résultats avec ceux que M. l'ingénieur Olivier Zschokke a fait connaître dans une brochure publiée en juillet 1876, pour la substitution d'un chemin de fer direct à crémaillère et à 48 % de pente maximum au tracé à simple adhérence de M. Hellwag pour le passage du Gothard.

Système à crémaillère.	Système avec ascenseurs et locomotive à simple adhérence.
------------------------	-----------------------------------------------------------

1<sup>o</sup> Economie de construction :

25 166 980 fr.	20 000 000 fr.
----------------	----------------

2<sup>o</sup> Economie annuelle d'exploitation :

194 000 fr.	956 000 fr.
-------------	-------------

3<sup>o</sup> Parcours avec systèmes spéciaux :

27 k. 222 m.	13 k. 400 m.
--------------	--------------

## XII. Résumé de la comparaison des deux systèmes d'exploitation.

Il résulte donc des calculs comparatifs qui précèdent que, pour le passage d'une chaîne de montagnes, un tracé à pentes variées, composé de paliers ou rampes faibles et de plans inclinés à fortes rampes et ascenseur, réaliseraient, sur un tracé composé de rampes uniformes de 25 à 30 millièmes, une double économie, c'est-à-dire une économie sur les travaux de construction et une économie plus grande encore sur l'exploitation.

Cette dernière, pour l'exemple cité du chemin du Gothard, serait d'environ 50 %. Ces résultats sont dus aux causes suivantes :

1<sup>o</sup> Au raccourcissement de la ligne à construire, réduite à  $63 \frac{1}{2}$  kilomètres au lieu de 80.

2<sup>o</sup> A la faculté que les changements de pente donnent à l'ingénieur de choisir les étages les plus favorables sur les flancs de la vallée et à l'abandon de souterrains longs, si-nueux et dispendieux.

3<sup>o</sup> A la subdivision du travail moteur et à sa distribution entre des organes spéciaux, l'un pour la traction horizontale, l'autre pour la locomotion ou, en d'autres termes, à la meilleure répartition du poids utile au poids adhérent de la machine, due à l'abaissement de la pente et par conséquent à un meilleur travail obtenu de la locomotive.

4<sup>o</sup> A ce que la plus grande partie du travail ascensionnel du train ou de la résistance due à l'élévation du faîte est concentrée sur quelques parcours de longueur limitée, et que ce travail est accompli par un moteur hydraulique quasi gratuit.

5<sup>o</sup> A ce que le travail mécanique développé par le train à la descente cesse de devenir une cause d'usure et de destruction dans le matériel roulant et sur la voie, et est au contraire appliqué à récupérer une pression utile dans les réservoirs à air.

On voit donc ainsi que l'avantage retiré de l'application de l'ascenseur ne réside pas seulement dans les propriétés méca-

niques de cet appareil en lui-même, mais encore et surtout dans une meilleure disposition du reste de la ligne sur le terrain, et dans une meilleure accommodation de la locomotive au service qu'elle a à accomplir sur tout le passage, et cela, sans rompre l'unité du système d'exploitation par locomotives à simple adhérence.

### XIII. Comparaison entre l'ascenseur et les autres systèmes atmosphériques et pneumatiques.

On reconnaîtra aisément par la lecture de ces explications les différences fondamentales qui distinguent le nouvel ascenseur à rampes et à air comprimé d'avec les systèmes précédemment connus et basés également sur l'emploi de l'air comme moyen de transmission.

Le système atmosphérique de Saint-Germain et de Dublin et le système pneumatique à tube-enveloppe, n'employant l'air qu'à une très faible pression, exigeaient des tubes de très gros diamètre et des machines soufflantes énormes, entraînant ainsi des constructions et des dispositions coûteuses et incommodes.

L'un et l'autre étaient exposés à des pertes d'air considérables.

Dans le système atmosphérique, la soupape formée d'une bande de cuir fixée d'un côté à l'une des lèvres de la baie, sollicitée de l'autre à l'extension à chaque passage de la barre d'attelage, pressée entre deux séries de plaques en fer, devait être promptement déformée, plissée et déchirée, de là ces rentrées d'air qui affaiblissaient la puissance du système.

Dans le système pneumatique à tube-enveloppe, les fuites seraient surtout à craindre au pourtour du piston-écran dont la garniture ne pourrait être rendue parfaitement jointive et étanche sur un aussi grand périmètre.

Dans l'ascenseur expérimenté à Plainpalais, au contraire, la structure cunéiforme de la soupape et la construction plus haut décrite du piston qui est sensiblement celle employée avec avantage dans les compresseurs à air évitent ce double inconvénient.

Enfin, on remarquera que, dans ce nouveau système, l'air n'est appelé à se détendre ou à se comprimer que dans des limites peu étendues, ce qui pare aux pertes de travail et aux variations de température qui ont longtemps arrêté l'adoption des fortes pressions dans l'emploi de l'air comprimé.

### XIV. Progrès réalisés dans la compression et dans l'emploi de l'air.

C'est grâce aux progrès réalisés dans l'art de comprimer l'air en le refroidissant, progrès dus à notre illustre concitoyen M. le professeur D. Colladon, de Genève, qu'il devient aujourd'hui possible de résoudre un problème dont la solution a été poursuivie depuis longtemps.

Il n'y a qu'à comparer le volume énorme des pompes employées naguère pour produire une faible dépression d'air dans le tube du chemin de fer atmosphérique de Paris à Saint-Germain et les installations non moins volumineuses des anciennes machines à colonne d'eau de Bardonnèche, lesquelles ne donnaient qu'un effet utile d'environ 8 %, avec les com-

presseurs du système Colladon, établis aujourd'hui dans les chantiers du Gothard et dont le rendement dépasse 80 %, pour juger le chemin parcouru dans l'emploi de l'air comprimé et pour justifier l'étude de plus amples applications de ce fluide si aisément à transporter à de grandes distances.

Si les procédés de production de l'air comprimé ont été grandement perfectionnés depuis l'époque où ont été commencées les premières recherches citées dans cette notice, les moyens de l'utiliser n'ont pas fait moins de chemin.

A cet égard nous devons citer tout particulièrement l'emploi de l'air sous la très haute pression de 30 atmosphères pour la traction des voitures sur les tramways d'après le système de M. l'ingénieur Louis Mekarski. Le succès obtenu par ce procédé sur les tramways de Nantes, aujourd'hui en pleine et fructueuse exploitation, démontre d'une manière manifeste la possibilité d'employer ce gaz dans des conditions de pression qu'on n'aurait jamais espérées, il y a peu d'années, et de le conserver avec facilité dans des réservoirs sans éprouver de dépression sensible pendant un temps prolongé. Une locomotive approvisionnée d'air comprimé a pu fonctionner encore après trois mois de chargement.

### XV. Conclusions.

La création de nouveaux chemins de fer, un moment poursuivie avec une grande activité dans notre pays, est aujourd'hui paralysée, ou tout au moins fortement ralentie, et bien des contrées ont vu s'évanouir pour un temps indéterminé des espérances caressées pendant de longues années.

Cependant il y a encore de nombreux besoins à satisfaire; plusieurs vallées industrielles, écartées de quelques heures de route des gares les plus voisines, sont placées à l'arrière-plan de localités exerçant la même industrie et desservies par des chemins de fer. Leur vie et leur activité ne peuvent qu'en être profondément atteintes et la population ouvrière sera tentée de les quitter pour chercher ailleurs son travail et son pain.

D'autres vallées, dans la Suisse orientale, ont été, durant des siècles, au bénéfice du transit des marchandises et du passage des voyageurs du nord au sud et réciproquement, et vont voir cet élément de prospérité leur être enlevé.

C'est dire qu'il y a encore beaucoup à faire pour donner satisfaction à tous les intérêts locaux et pour entretenir cette solidarité qui doit exister entre tous les groupes d'une même nation.

Mais, d'un autre côté, il est démontré aujourd'hui qu'il faut absolument proportionner l'outil au travail qu'il doit accomplir, en d'autres termes, il faut arriver à construire des lignes dont le coût de construction et les frais d'exploitation ne soient pas en complète disproportion avec le trafic moyen.

C'est pour avoir méconnu ce principe élémentaire que tant de lignes nouvelles sont devenues presque inexploitables, et que d'autres sont tombées en faillite ou en liquidation.

L'introduction de pentes supérieures à 20 % sur nos lignes à voie normale et l'uniformité du matériel sur les lignes secondaires comme sur les lignes principales exigent pour ces premières une voie aussi forte et, partant, aussi dispendieuse, un matériel de traction aussi lourd et un coût d'exploitation kilométrique par train aussi considérable que pour les secondes, quoique leur rendement soit infiniment plus faible.

On sera donc forcée de sortir de cette ornière si l'on veut étendre un jour à des rameaux nouveaux l'avantage d'une traction mécanique rapide, fréquente et économique. Les faits nous démontrent chaque jour davantage qu'il ne suffit pas d'avoir pu construire, à grands efforts, une ligne où la traction peut, à la rigueur, se faire, malgré les courbes à petit rayon et les fortes pentes; il faut encore que la ligne soit exploitable, c'est-à-dire que le poids du mécanisme moteur et le poids mort du train et, par conséquent, le coût d'un train ne soit pas en complète désharmonie avec le nombre des voyageurs ou le poids des marchandises, ainsi qu'on le voit sur la plupart des lignes secondaires.

On remarquera facilement, d'après ce qui a été décrit plus haut, que l'ascenseur à air comprimé est aussi bien applicable aux chemins de fer à voie étroite qu'aux voies à écartement normal.

Les forces hydrauliques, que le Jura et les Alpes déversent par milliers de chevaux, sont un trésor latent qui demande à être exploité intelligemment et qui peut, comme on vient de le voir, être appliqué à celle de toutes les industries qui consomme le plus de force ou de travail mécanique, celle des transports, et certainement, on peut le dire aujourd'hui avec confiance, c'est sous forme de canalisations d'eau et d'air que ces forces sont le plus facilement transmissibles à de grandes distances.

Les essais de Plainpalais ont donc eu pour but et pour résultat de faire connaître l'outil au moyen duquel ces forces hydrauliques, si abondantes, peuvent être appliquées facilement et avantageusement à la propulsion de trains gravissant et redescendant une montagne.

Ils ont été poussés aussi loin que l'ont permis les circonstances dans lesquelles ils ont été provoqués; c'est maintenant aux Etats et aux contrées intéressées à en tirer parti, qu'incombe le soin de les amener à une application ultérieure et à les faire entrer dans le domaine pratique.

#### ANNEXE I

##### INSTALLATIONS MÉCANIQUES

La notice qui précède a eu essentiellement pour objets :

1<sup>o</sup> La description du tube expérimental construit à Genève et la démonstration de ce fait qu'il est possible de construire une soupape longitudinale fermant hermétiquement, du dedans au dehors, un tube dans lequel circule un piston, tout en donnant libre passage à la barre d'attelage qui relie ce piston au train.

2<sup>o</sup> La description du mode d'assemblage par juxtaposition du chariot-piston avec le train et l'explication du jeu des divers organes de l'ascenseur.

3<sup>o</sup> L'exposé des simplifications et des économies à apporter dans le tracé et dans l'exploitation des chemins de fer de montagnes par l'interposition de fortes rampes à double traction avec ascenseurs à air comprimé.

Il n'entre pas dans le cadre de notre écrit de traiter des moyens employés pour la compression de l'air. Il nous suffira de citer les progrès considérables faits dans cet art depuis les premiers bâliers hydrauliques de Bardonnèche jusqu'aux compresseurs en usage aujourd'hui, à réfrigération intérieure et à mouvement rapide dus à M. le professeur Colladon et de ren-

voyer le lecteur pour la description de ces appareils aux traités spéciaux, au nombre desquels nous citerons l'ouvrage très détaillé et intéressant de M. Pernolet, *L'air comprimé et ses applications*.

Nous reproduirons simplement ici les données principales des installations mécaniques nécessaires à l'établissement d'un ascenseur de 2000 mètres de long à 0,070 de pente, rentrant à peu près dans les conditions énoncées au chapitre XI. Nous devons ces données à l'obligeance de la Société genevoise pour la construction d'instruments de physique.

##### Calcul relatif à un projet d'ascenseur à air comprimé.

(Système décrit dans la notice de M. L. Gonin, ingénieur.)

Poids du train .....	200 000kg
La locomotive sur la rampe prévue est supposée remorquer son poids, plus une fraction de la charge, soit en tout .....	50 000kg
Il reste à remorquer .....	150 000kg
Pente par mètre .....	0 <sup>m</sup> 07
Longueur du plan incliné .....	2000m
Vitesse par seconde, en montant .....	6m
Effort de traction $70^k \times 150^l + 750^kg$ .....	= 11 250kg
Diamètre du tube .....	0 <sup>m</sup> 400
Surface utile .....	0 <sup>m</sup> 21250
Soit une pression effective de $\frac{11250}{1250}$ .....	= 9kg
Volume du tube par kilomètre .....	125 <sup>m</sup> 3
» pour 2 kilomètres .....	250 <sup>m</sup> 3

En admettant que les réservoirs contiennent, au départ du train de l'air à 9 atmosphères eff. et que la pression à l'arrivée au haut de la rampe soit encore à  $4\frac{1}{2}$  atm. eff., les réservoirs auront débité la moitié de l'air qu'ils contenaient.

Leur capacité devra donc être de 5000 mètres cubes d'air aspiré à la pression atmosphérique, qui, réduits à 10 atm. abs. donnent un volume de 500 mètres cubes.

Le débit des compresseurs aspirant dans les réservoirs et comprimant dans le tube devra varier pendant le parcours, puisqu'au départ ils aspirent à 9 et refoulent à 9. Leur travail, à ce moment, sera nul et le volume engendré par les pistons devra être équivalent au volume engendré par le piston propulseur.

Soit à 6 mètres de vitesse  $6 \times 0^{m}3125 = 0^{m}3750$  par 1".

A l'extrémité du parcours, l'air aspiré sera à 4,5 atm. et devra être comprimé à 9 atm.

Le volume engendré par les pistons devra donc être double du volume engendré par le piston propulseur, soit  $1^{m}3500$  par 1".

A ce moment la pression dans le tube est à 4,5 atm. ; les compresseurs ont donc à développer le travail nécessaire à porter  $1^{m}3500$  d'air de 4,5 à 9 atmosphères.

Soit un groupe de deux compresseurs à double effet, marchant à 60 tours, le volume engendré pour une course simple d'un piston est de  $\frac{1^{m}3500}{4} = 0^{m}3375$ , ce qui, pour une course de 1<sup>m</sup>10, correspond à un diamètre d'environ 0<sup>m</sup>660.

Le poids de  $1^{m}3500$  d'air à 4,5 atmosphères effectifs est égal à  $1.500 \times 5,5 \times 1^{k}29 = 10^{k}643$ .

Soit  $Tm$  travail moteur nécessaire à la compression de  $1\text{m}^3 500$  de  $4^{\circ}5$  à 9 atmosphères effectifs.

$\pi$  poids de l'air .....  $= 10\text{kg} 643$   
 $\tau_0$  température initiale de l'air .....  $= 273^{\circ} + 15^{\circ} = 288^{\circ}$   
 $p_0$  pression initiale .....  $= 10,332 \times 5,5$   
 $p_1$  pression finale .....  $= 10,332 \times 10$   
 $\frac{\gamma - 1}{\gamma}$  .....  $= 0.2908.$

Le travail nécessaire théorique pour comprimer un poids  $\pi$  d'air à  $p_1$  est donné par la formule de Pernolet (ouvrage déjà cité, page 44) :

$$Tm = 102,6864 \pi \tau_0 \left[ \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] = 798 \text{ chevaux.}$$

Si de ce résultat nous retranchons les  $144\%$ , différence en faveur de la compression de l'air humide, nous arrivons au résultat final de  $798 - 115 = 683$  chevaux.

*Travail nécessaire, 683 chevaux<sup>4</sup>.*

Nous ajouterons que, dans le même temps, le travail correspondant au train montant à la vitesse de  $6\text{m}00$  par seconde représentait dès le départ jusqu'à l'arrivée

$$\frac{11\,250\text{kg} \times 6\text{m}00}{75} = 900 \text{ chevaux.}$$

Le compresseur n'aura donc à livrer, pendant l'ascension, qu'une quantité de travail bien inférieure à celle consommée par le train dans le même temps.

Cela est dû à l'emmagasinement du travail sous forme d'air comprimé dans le réservoir.

Le solde de travail nécessaire pour compenser cette différence et les pertes de travail dues aux frottements, détentes, réaspiration, etc., sera produit :

a) Par le refoulement d'air dans le tube et de là dans le réservoir sous le poids du train descendant faisant fonction de compresseur.

b) Par la marche à plein travail du compresseur dans l'intervalle des trains et dans une durée qui sera à  $1\frac{1}{4}$  à 2 fois celle de l'ascension, selon que l'importance du train descendant aura été plus grande ou plus petite.

Quant aux fuites par la soupape, contrairement à une opinion généralement répandue, elles ne jouent qu'un rôle presque insignifiant, ainsi que le démontre le calcul suivant :

D'après les résultats observés à Plainpalais, sous une pression qui a été portée à 12 atmosphères effectifs, la perte par la soupape peut être exprimée par la formule :

$$Q = \frac{65}{10^8} \sqrt{p_1 - p_0},$$

ce qui, sous 12 atmosphères, correspond à une perte de  $0\text{m}^3 000225$  par mètre et par seconde, et, sous 9 atmosphères, à  $0\text{m}^3 000195$  en air ramené à la pression atmosphérique ordinaire.

En moyenne, la longueur totale du tube n'est exposée aux fuites que pendant un temps moitié du temps de l'ascension, ou pendant  $\frac{2000}{2 \times 6} = 167$  secondes, la perte pendant l'ascen-

<sup>4</sup> La perte de rendement du compresseur, dont les calculs qui précédent ne tiennent pas compte, est compensée par la détente de l'air du tube qui peut être utilisée à la fin du parcours et qui est également négligée dans le calcul.

sion sera donc, sous 9 atmosphères, en volume ramené à la pression ordinaire, égale à :

$$0\text{m}^3 000195 \times 2000 \times 167 = 65 \text{ mètres cubes},$$

ce qui, rapproché des 2500 mètres cubes que contient le tube, ne fait qu'une proportion de  $2,72\%$  ou un peu moins de  $3\%$ .

Ces applications suffiront pour faire comprendre un nouvel avantage de l'ascenseur à air comprimé, c'est celui de n'exiger que des moteurs et compresseurs d'une importance modérée et des débits d'eau d'un volume moyen mais régulier.

En revanche, l'ascenseur doit être accompagné de réservoirs d'air assez volumineux, mais ces appareils qui sont maintenant d'une construction très courante, ne subissent aucun mouvement, aucun travail, et n'exigent donc qu'un entretien insignifiant.

#### EXPÉRIENCES DU 28 NOVEMBRE 1879

N° 1		N° 2		N° 3	
A	B	A	B	A	B
Pressions lues au manomètre d'arrivée	Pressions lues au manomètre du dynamomètre	Pressions lues au manomètre d'arrivée	Pressions lues au manomètre du dynamomètre	Pressions lues au manomètre d'arrivée	Pressions lues au manomètre du dynamomètre
88	82	86	80	88	85
80	76	80	75	80	80
76	72	74	70	80	78
74	70	72	68	76	72
72	68	70	65	76	70
68	65	66	65	72	68
64	60	62	60	72	65
60	58	60	58	68	65
		55	52	68	62
582	551	52	50	64	62
$\frac{551}{582} = 94.6\%$		677	643	62	60
		$\frac{643}{677} = 94.8\%$		60	58
		$\frac{677}{926} = 95.6\%$		60	55
				926	880
Résultat moyen :					
$\frac{551 + 643 + 880}{582 + 677 + 926} = 94.9\%$					

#### ANNEXE II

##### LÉGENDE DES PLANCHES

Pl. I. — Coupe de la voie avec tube de propulsion.

- A. Tube de propulsion en fonte.
- B. Nervure du tube.
- C. Petits rails sur lesquels roulent les galets du chariot-tampon.
- D. Rails de la voie.
- E. Longrines servant à ramener le rail au niveau supérieur du tube en même temps qu'à consolider l'ensemble de la voie.
- F. Tasseaux pour appuyer les longrines.
- G. Traverses de la voie.

Le système peut se prêter à toute largeur de voie, dès le système ordinaire à  $1\text{m} 44$  d'écartement entre rails, jusqu'à la dimension la plus restreinte, telle que celle de  $0\text{m} 60$  en usage avec succès depuis plus de quarante ans au chemin de Festiniog à Port-Madoc. (Pays de Galles.)

Pl. II. — *Coupe du tube avec soupape et chariot porte-tampon.*

A. Tube en fonte.

B. Soupape longitudinale, se composant de quatre parties, savoir :

1<sup>o</sup> Bande de fer en goutte de suif.

2<sup>o</sup> Lanière de cuir gras, enveloppant le corps de la soupape.

3<sup>o</sup> Corps de la soupape, en bois.

4<sup>o</sup> Lame de fer plat.

C. Bande de fer plat, à laquelle la soupape est suspendue, au moment du repos, par des tringles verticales. Elle sert en même temps à recouvrir l'orifice longitudinal du tube et à intercepter l'entrée des corps étrangers.

Au passage de la barre d'attelage, puis du piston, elle se relève, avec la soupape qui y est attachée, et prend les positions successives indiquées dans les trois figures de la planche II.

D. Nervures ou contreforts extérieurs du tube, résistant à la pression intérieure.

E. Petits rails en fer carré sur lesquels roulent les galets ou roues du chariot.

F. Galets du chariot.

G. Boîte à graisse et palier de l'essieu du chariot.

H. Barre d'attelage double, en forme de lyre.

K et L. Galets d'écartement, placés l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la soupape et la maintenant à la position voulue pendant le passage de la barre d'attelage.

M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub>. Les deux barres moisées en fer qui forment la tige du piston et auxquelles est fixée la barre d'attelage.

L'une des extrémités de la barre d'attelage est fixée au piston par une rotule qui permet le passage dans les courbes; l'autre extrémité est supportée par un jeu de trois galets rayonnants et formant entre eux des angles au centre de 120°, ou par un second piston à frottement doux.

N. Fourrure entre les deux barres de la tige moisée, pour permettre le serrage des boulons.

Pl. III. — *Locomotive à air comprimé.*

Cette locomotive a été étudiée par M. Léon Ribourt, ingénieur, à Paris, et par MM. Léon et Eugène Deletraz frères, ingénieurs-contracteurs, à Paris, d'après le système de M. l'ingénieur Louis Mekarski.

Ce dessin est donné afin d'expliquer le mode de jonction entre le tampon du piston de l'ascenseur et le tampon du véhicule-frein du train.

La locomotive ou le véhicule-frein portent un tampon mobile A, pouvant faire autour de l'arbre C une rotation de 90° sous l'action de la chaîne D E F G, cette chaîne étant elle-même sollicitée par la poulie à gorge G, mue par l'intermédiaire d'un pignon et du volant H.

Par ce mouvement, le tampon A, fixé sur l'arbre C par les deux flasques B, vient occuper la position A' et permet ainsi le passage de la locomotive ou du wagon-frein au-dessus du chariot porte-tampon T du piston propulseur.

Réciproquement, si on veut coupler la locomotive avec l'ascenseur, on laisse descendre le tampon mobile de sa position A' à sa position A, que le dessin figure en traits pleins; on fait avancer la machine de manière à procurer le contact du tampon récepteur A et du tampon propulseur T, et dès lors l'ensemble est prêt au départ.

Pl. IV. — *Profil en long comparatif des thalwegs de la Reuss et du Tessin.*

Ce profil en long est établi sur les données extraites des publications de la Compagnie du Gothard.

Il est destiné à rendre aussi claire que possible la compa-

raison d'un tracé à rampes variées et ascenseurs avec un tracé à lacets et à rampes à peu près uniformes à 25 %, d'après ce qui a été développé au chapitre XV de la notice.

Pl. V. — *Vue de l'appareil expérimental pour ascenseur à air comprimé.*

Le tube expérimental est placé simplement sur le terrain naturel. — La photographie fait voir le tube avec ses nervures espacées de 0<sup>m</sup> 50.

Sur la gauche du dessin, en avant du piston, la soupape est dans sa position de repos. On la voit se relever légèrement à l'approche du chariot, puis un peu plus jusqu'à la droite du dessin, où elle arrive à sa position la plus haute; c'est là la position qu'occupe le piston.

Sur le tube, au milieu du dessin, on remarque le chariot-guide, porteur de la pompe à huile servant de dynamomètre, décrite au chapitre X, et d'un manomètre.

La chaîne trainante qu'on voit sur le terrain et sur la soupape est celle du treuil qui sert à effectuer la résistance à la marche du piston en lieu et place du train.

Cette chaîne ne fait partie que de l'appareil expérimental et serait sans emploi dans une application définitive.

CASERNES DE LA 1<sup>re</sup> DIVISION A LAUSANNE

L'auteur du projet *L'armée est le pilier de notre liberté*, présenté au concours qui a eu lieu en août dernier a écrit ce qui suit au rapporteur de la commission :

Monsieur Lochmann, ingénieur.

C'est pour rectifier une erreur que le soussigné se permet de vous adresser deux mots.. Dans son projet de caserne, qui montre deux bâtiments séparés, la chambre des tambours et trompettes est placée au milieu du comble de la caserne du nord, pendant que l'infirmerie occupe la même place dans la caserne du sud. Il n'y a donc pas de rapport entre les malades et les musiciens !

En vous priant, monsieur, de bien vouloir prendre note de cette rectification j'ai l'honneur de vous envoyer mes salutations dévouées.

L'auteur du projet :

*L'armée est le pilier de notre liberté.*

Zurich, 11 novembre 1879.

En nous communiquant cette lettre la commission nous écrit ce qui suit :

Nous voyons par la lettre qui précède que nous avons fait, bien malgré nous, tort à un concurrent.

Un des membres de notre commission avait remarqué que les tambours et trompettes se trouvaient tous réunis dans les combles. Cette disposition déjà vicieuse fut trouvée encore plus mauvaise par le fait qu'un autre des membres de la commission avait vu l'infirmerie au même endroit. L'un se souvenait de la caserne Nord et l'autre de la caserne Sud, de là l'erreur et nous en donnons bien volontiers acte à l'auteur.

Du reste, malgré cela ce projet était loin de nous satisfaire, car nous estimons qu'un bâtiment au nord de la place et un au midi, constitue une disposition n'étant ni un quartier militaire ni une grande caserne, mais tenant des deux systèmes surtout par leurs côtés défectueux.

Le rapporteur de la commission,

J.-J. LOCHMANN.