

Zeitschrift:	Actes de la Société jurassienne d'émulation [1857-1876]
Herausgeber:	Société jurassienne d'émulation
Band:	19 (1868)
Artikel:	Les chemins de fer en 1868, ou, des voies de communication en général et du système pneumatique en particulier
Autor:	Froté, E.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-555266

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: 07.02.2026

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

LES CHEMINS DE FER EN 1868

OU DES VOIES DE COMMUNICATION EN GÉNÉRAL

ET DU

SYSTÈME PNEUMATIQUE EN PARTICULIER

avec une description du nouveau moteur inventé par M. Seiler
dans son application à la traction des trains
de chemins de fer.

COMMUNIQUÉ PAR M. E. FROTÉ, INGÉNIEUR.



AVANT-PROPOS

La direction des chemins de fer du canton de Berne s'occupe toujours avec sollicitude des améliorations qui surviennent journallement dans la construction et l'exploitation des voies ferrées. M. le conseiller national Seiler a demandé de faire examiner la nouvelle modification qu'il vient d'apporter à sa balance aéro hydrostatique transformée en cloche soufflante à double effet, au point de vue de son application comme moteur des chemins de fer pneumatiques dont on discute sérieusement l'emploi au passage des Alpes suisses. En conséquence, la direction des chemins de fer précitée m'a chargé d'expertiser l'invention de M. Seiler quant à la valeur du système et sous le rapport de son application au franchissement des fortes rampes qui devront nécessairement faire partie du réseau rationnel bernois.

Il est hors de doute que les chemins de fer prennent une importance telle, que les contrées qui en sont privées resteront

dans un état très inférieur à celles qui les possèdent et le canton de Berne qui n'a fait qu'ébaucher son réseau, a un grand intérêt à en préparer l'achèvement et surtout à contribuer à l'avancement de la question du passage des Alpes qui devra transformer ses lignes plus ou moins locales en lignes de transit d'une grande importance.

Cette sollicitude de la direction des chemins de fer pour la solution de ces grandes questions est de bon augure et il serait difficile de comprendre que le plus grand canton de la Suisse limitât la sphère d'activité de sa direction des chemins de fer à la présidence du conseil d'administration d'une petite ligne en exploitation qui ne dessert qu'une partie du canton.

Quelques voix inexpérimentées ou prévenues se sont déjà fait entendre pour proposer la suppression de la direction des chemins de fer comme dicastère de l'Etat et cela au moment où la question des voies ferrées est à peine éclosée dans notre pays, sous prétexte d'économies bien minces, car le budget de cette direction ne porte pour ainsi dire que sur des frais de chancellerie.

Ce serait à notre avis une grande faute d'éteindre la lumière qui doit avoir pour mission d'éclairer la plus grande question qui puisse surgir dans l'état actuel des choses.

En effet, il s'agit d'abord de prolonger la ligne de Berne-Langnau jusqu'à Lucerne pour donner vie à ce premier tronçon complètement à l'abri des dividendes.

D'un autre côté, le canton de Berne est grandement intéressé au franchissement des Alpes dans des conditions économiques, et si possible de telle manière que ses lignes actuelles ou futures puissent en retirer le maximum de rendement.

Avec les intelligentes administrations des chemins de fer qui nous entourent, l'Etat de Berne, ne suivant pas de très près la question, s'éloignant de plus en plus de ces matières, pourrait bien se trouver pris au dépourvu d'hommes ou d'arguments, lorsqu'il s'agira de mettre le poids dans la balance en faveur de tel système ou de tel passage des Alpes.

Il en arriverait peut-être des passages alpins favorables au canton de Berne comme pour celui de Pierre-Pertuis, dont on n'a pu soutenir la concurrence en face du Hauenstein, parce que l'on avait négligé l'étude raisonnée de la comparaison.

Il est probable que si, en ce temps là, le canton de Berne eut possédé une direction spéciale des chemins de fer, comme on a dû l'instituer plus tard, le passage de Pierre-Pertuis l'aurait emporté sur son concurrent, le Hauenstein, car, on se le rappelle, il s'agissait avant tout de relier Bâle à Genève; c'était du moins l'opinion de célèbre Stephenson qui a été consulté par la Confédération sur la direction à donner aux lignes principales de la Suisse.

Nous avons cru devoir décrire d'une manière générale les différentes voies de communication dont on se sert actuellement afin de faire mieux ressortir les avantages des chemins de fer sur les routes ordinaires et celui qui résulterait de l'application du système pneumatique, où les montagnes ne peuvent être franchies que par l'établissement de très fortes rampes ou au moyen de longs tunnels dont l'installation exige d'énormes capitaux et une longue durée d'exécution.

Si nous avons pu détourner l'attention des intéressés vers la vulgarisation des nouvelles idées en matière de chemins de fer notre but sera atteint.

Nous demandons au public une grande somme d'indulgence surtout pour ce qui concerne les questions de détail qui ne peuvent être traitées convenablement dans un rapport limité comme le nôtre.



CHAPITRE PREMIER

DES VOIES DE COMMUNICATION

Les différentes voies de communication peuvent se diviser en 3 groupes :

- a. Routes ordinaires.
- b. Voies ferrées (chemins de fer, Tramways).
- c. Voies d'eau (canaux, fleuves, mers etc.)

Pour la grande circulation, on se sert sur la route ordinaire et sur les chemins de fer de véhicules à roues (voitures ou wagons)

remorqués généralement par des chevaux ou des locomotives à vapeur.

Sur les voies d'eau, les voyageurs et les marchandises sont expédiés par bateaux remorqués au moyen du jeu des rames, par des chevaux circulant sur les chemins latéraux (chemins de hâlage) ou encore au moyen de voiles gonflées par les vents et le plus souvent dans l'état actuel de la navigation, par des machines à vapeur agissant sur des hélices ou sur des roues à palettes.

Nous pouvons encore faire la nomenclature des voies de communication et des moyens de locomotion de la manière suivante:

1. *Locomotion linéaire*, soit: marche à pied ou à cheval, routes etc., communications en voiture ou wagons, sur chaussées ou chemins de fer.

2. *Locomotion dans le plan*, soit navigation générale.

La géométrie distingue *la ligne*, *le plan* et *l'espace*. Jusqu'à présent nous n'avons indiqué que la locomotion qui se rapporte à la ligne et au plan et comme l'idéal des applications pratiques tend à se rapprocher de l'infini mathématique, il semble manquer à cette nomenclature *la locomotion dans l'espace*, soit la navigation aérienne.

Mais la possibilité de s'élever dans l'air a été démontrée par les Montgolfier et de plus récents aéronautes; ce moyen de circulation existe donc à l'état d'embryon, mais comme la solution industrielle du problème n'en est pas trouvée quant à la faculté de diriger les ballons, nous en ferons abstraction pour le moment, quoique notre conviction soit que, tôt ou tard, cette *locémotion dans l'espace* pourra prendre rang parmi les autres et rendre de grands services à l'humanité.

Il suffit, dans l'état actuel de la science, que l'on découvre une force nouvelle pouvant se manifester au moyen d'appareils très légers transportables sur les aérostats et surtout une force à bon marché.

Examinons maintenant l'utilité économique des différentes voies de communication que nous venons de mentionner.

A. LA ROUTE ORDINAIRE

La route ordinaire est une surface préparée au moyen de matériaux plus ou moins durs (pierres, gravier, béton, asphalte etc.) de manière à offrir le moins de rugosité possible et à empêcher la pénétration des roues des voitures destinées à circuler sur son aire.

Elle est aussi horizontale que possible; néanmoins, il y a des cas où la pente doit en être très forte, lorsqu'il s'agit de relier un fond de vallée avec des lieux très élevés.

La pente de 10 % (c'est à dire que pour chaque 100^m ou 100' mesurés horizontalement la route s'élève de 10^m et respectivement 10') est une limite qu'il ne convient guère de dépasser pour les routes de montagnes, encore faut-il établir des repos en faible pente destinés à soulager les attelages lorsque la route est longue et de forte déclivité : voilà pour le profil en long.

Quant au profil en travers (fig. 1, 2, 3 et 4), il y a des routes de 5^m de largeur; il y en a aussi de 20^m; ces dimensions dépendent de la circulation probable et de l'argent que l'on a à dépenser.

Une bonne route normale se compose:

- 1^o D'une chaussée C (fig. 2).
- 2^o De deux accotements ou trottoirs, A fig. 1 et 2.
- 3^o De un ou deux fossés (2 si la route est en plein déblais) F.
- 4^o Du nombre d'aqueducs, ponceaux, ponts ou viaducs nécessaires à l'écoulement des eaux et au franchissement des ravins.

La chaussée est composée d'une couche de grosses pierres d'environ 0^m,25 d'épaisseur recouverte de gravier, de sable, de (ciment) béton ou d'asphalte.

Les accotements ou trottoirs destinés aux piétons sont formés ordinairement de terres provenant des excavations recouvertes de sable, ou d'asphalte dans les villes.

Là où le bois abonde, comme en Amérique, les routes sont en bois, madriers ou $\frac{1}{2}$ rondins placés sur longrines: on les appelle Plankroads (fig. 5).

En Italie les grandes routes sont pourvues de dalles en granit ou en marbre non poli formant des fils de rail RR' au niveau de

la chaussée sur laquelle les roues des véhicules trouvent un appui solide et un frottement de roulement facile à vaincre (fig. 6).

Quant au plan ou tracé de la route, on est pour ainsi dire parfaitement libre, car les voitures employées sur ces voies de communication ont l'avant-train tellement mobile et les roues étant indépendantes des essieux, elles peuvent presque se retourner sur elles-mêmes et par conséquent circuler librement dans les courbes les plus brusques.

On est donc autorisé à descendre le rayon des courbes jusqu'à 20^m et au-dessous, si l'économie du projet l'exige.

B. CHEMINS DE FER

Les chemins de fer sont des routes perfectionnées sur lesquelles on place des rails ou bandes de fer maintenues à l'écartement fixé par des traverses en bois ou en fer posées sur du ballast (gravier, sable).

Ici on n'est plus maître du tracé à choisir; le matériel roulant, les wagons et les locomotives, sont construits de telle manière que leur passage dans les courbes de trop petits rayons (contours brusques) offre de graves inconvénients, car les roues sont fixées aux essieux et les 2, 3, 4 ou 6 essieux des moteurs ou des wagons sont adaptés d'une manière rigide à un chassis en fer; c'est du moins la construction d'une grande partie du matériel roulant européen.

On est donc obligé de se soumettre aux exigences de ce matériel appelé à circuler sur toutes les lignes du continent quant au tracé des chemins de fer se reliant aux lignes actuelles.

Sans cela, il en résultera des frottements, des glissements provoquant usure du matériel fixe et du matériel roulant lorsque les courbes seraient par trop brusques.

Il résulte d'une enquête générale faite à ce sujet que le minimum des courbes à employer en pleine ligne ne doit pas être d'un rayon moindre de 200^m pour une vitesse de 20 à 25 kilomètres à l'heure.

La question des pentes est beaucoup plus compliquée, car,

selon les moteurs que l'on a à sa disposition, on peut la faire varier économiquement dans des limites assez grandes.

Mais la solution économique du problème des fortes rampes exige que l'on ne dépasse pas la déclivité de 40 %,,, comme on le verra plus tard.

La section en travers d'un chemin de fer normal à une voie (fig. 7) présente une surface à peu près plate de 5^m,40 de largeur.

C'est la plateforme du chemin sur laquelle on dépose une couche de 0^m,50 de ballast destinée à consolider les traverses qui supportent les rails.

La section de ces rails, fig. 8, est ordinairement celle d'un simple champignon d'environ 0^m,12 de hauteur et 0,06 centimètres de largeur; ils pèsent en moyenne 36 kilos par mètre linéaire.

Les rails sont fixés sur les traverses par des clous ou chevilles, leurs extrémités s'assemblent sur des plaques de joints par des éclisses boulonnées de manière à laisser le jeu nécessaire à la dilatation du métal par les plus grandes chaleurs.

Le frottement de roulement des roues en fonte ou acier sur les rails en fer est très minime, comme nous le verrons plus loin, et c'est là le grand avantage des chemins de fer sur les routes ordinaires.

On pose quelquefois sur les routes ordinaires des rails spéciaux très légers, mais de manière à conserver leur caractère primitif et à laisser circuler les voitures ordinaires.

Ces rails servent à la circulation de voitures-omnibus, fig. 9, *ad hoc* trainées par des chevaux; on les appelle chemins américains ou chemins de fer à traction de chevaux (*tramways*).

La traction sur les chemins de fer ordinaires s'opère par des locomotives dont la force nominale varie de 40 à 150 chevaux environ. (Le cheval vapeur est une force capable d'élever continuellement un poids de 75 kilos à un mètre de hauteur dans une seconde de temps: c'est la force moyenne d'un cheval du pays travaillant 6 à 8 heures par jour).

Leur poids varie de 15,000 à 60,000 kilogrammes.

On emploie aussi exceptionnellement comme moteurs les hommes ou les chevaux, la force naturelle de la gravité des machines fixes, etc.

L'homme pousse des wagons à de très petites distances, son effort maximum peut être de 50 à 60 kilos.

Le cheval remorque des charges peu considérables à de plus fortes distances, le plus souvent pour des transports sur rails de terrassement où pour le service d'établissements industriels ou de mines.

L'effort maximum du cheval est de 2 à 300 kilogrammes.

Les wagons peuvent descendre sous l'impulsion de la gravité à partir d'une pente de 5 %.

Lorsque la pente est plus forte, l'excès de force est souvent employé à faire remonter les wagons vides ou peu chargés sur une voie latérale au moyen d'un cable enroulé sur une grande poulie placée au haut de la rampe.

On appelle ces plans inclinés: *plans automoteurs*.

Machines fixes. Les machines fixes font tourner des tambours sur lesquels s'enroulent des cables opérant la traction du convoi (fig. 10) c'est le *système fumiculaire*.

Les voyageurs ont une certaine répugnance à se voir remorqués au moyen de cordages et le service, en effet, offre moins de sécurité que l'exploitation ordinaire par locomotives.

Les machines fixes font encore agir des pompes aspirantes ou foulantes pour faire le vide ou pour comprimer l'air dans un tuyau qui contient un piston attelé au train au moyen d'une barre d'attelage.

Ce piston se meut en vertu d'une pression d'air et entraîne les voitures sur les rails:

La barre d'attelage traverse le tuyau dans une rainure longitudinale en ouvrant une série de soupapes qui se referment d'elles-mêmes après son passage (fig. 11) c'est le *système atmosphérique*.

L'exploitation de ce système est onéreux et il a été abandonné sur la rampe de Saint-Germain à Le Seck pour être exploité par la locomotive.

Il en est de même du plan fumiculaire de Liège où les locomotions opèrent la traction avec avantage.

Nous reviendrons sur ces divers systèmes lorsque nous traiterons le système hydropneumatique qui fait l'objet principal du présent travail.

C. CANAUX

Les canaux sont de larges fossés creusés en vue d'économiser l'eau des petites rivières et de les rendre par le fait navigables.

On enmagasine dans des réservoirs successifs (lorsque le pays est en pente) l'eau destinée à s'écouler ou à se gonfler au moyen d'écluses, ce qui permet une navigation de va et vient.

Ces canaux sont en général destinés à relier deux fleuves navigables de manière à obtenir une voie d'eau d'une mer à l'autre.

Quoique la résistance à la traction soit bien moins grande sur les canaux que sur les chemins de fer, lorsque la vitesse est petite, il n'en résulte pas moins que les chemins de fer sont supérieurs aux canaux, même pour le transport des marchandises en général; néanmoins, il est des cas où le canal rend des services au public par la légitime concurrence qu'il peut faire aux grandes compagnies qui ont toujours manifesté des tendances à monopoliser le trafic.

Nous ne nous arrêterons pas à la description du tracé des canaux et nous passons à la comparaison des voies de communication décrites très sommairement sous *A*, *B* et *C*.

VALEUR RELATIVE DES DIVERSES VOIES DE COMMUNICATION

Sur les routes où la circulation se compose ordinairement de voitures trainées par des chevaux, les résistances à vaincre après l'inertie sont:

- 1^o Le frottement de roulement des roues sur l'aire plus ou moins unie de la route.
- 2^o Les résistances passives provenant des divers frottements inhérents à l'organisme de la voiture (par exemple : frottement de glissement sur les essieux).

Ces frottements sont en raison directe des poids qui les provoquent et indépendants de la vitesse, (sauf celui qui résulte du *fluide atmosphérique*).

Ils varient encore suivant l'état ou la nature des surfaces en contact.

Sur les routes, le frottement de roulement s'exerce entre le fer du cercle de la roue et l'empierrement du chemin.

Ces principes sont applicables aux chemins de fer, seulement ici, le frottement de roulement se fait entre la fonte ou acier des jantes de roues et le fer des rails, il est considérablement diminué comme on le verra plus tard.

Pour faire marcher une voiture sur une route ordinaire qui est de niveau, il faut exercer un effort horizontal de traction capable de remorquer la voiture et sa charge.

Traction de cheval. De nombreuses expériences ont prouvé que le cheval de force moyenne, travaillant 8 à 10 heures par jour et de manière à se retrouver chaque jour dans les mêmes conditions de force, portera sur son dos environ 110 kilos.

Le même cheval attelé à une voiture trainera au pas sur une route ordinaire horizontale bien entretenue 1000 kilos.

Attelé à un wagon marchant sur rails placés horizontalement et sans courbes brusques, il remorquera 10,000 kilos, c'est à dire dix fois plus que sur la route ordinaire.

C'est ce qui constitue l'avantage des chemins de fer surtout en plaine.

Traction sur l'eau. La traction sur l'eau (par bateaux) est encore moins pénible car le même cheval qui traîne sur chemin de fer 10,000 kilos en remorquerait 40,000 sur le canal, mais seulement à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure.

Dès que la vitesse augmente, la résistance devient beaucoup plus forte, car le principe de l'indépendance de la vitesse dans le frottement ne s'applique pas aux fluides.

C'est l'économie de cette traction qui a permis et permet encore à certaines compagnies, de navigation de faire aux voies ferrées une concurrence souvent bienfaisante, du moins en ce qui concerne le transport des marchandises.

Influence des pentes. Les pentes augmentent considérablement la résistance à vaincre quel que soit le mode de traction employé et quelle que soit la construction de la voie, empierrement ou bandes de fer.

Car, les rails de fer ne font qu'atténuer le frottement de rou-

lement qui est à peu près le même dans les limites de pente des chemins de fer ou des routes, quelle que soit l'inclinaison.

Il entre ici un facteur qui devient d'autant plus important que la pente augmente, ce facteur c'est la gravité dont les lois sont parfaitement connues et vérifiées par l'expérience.

Gravité. Dès que le chemin de fer atteint une pente de 5 à 10 %, les trains descendent en vertu de la gravité et cette force accélératrice dont on profite à la descente doit être rachetée au moyen d'un surcroit de puissance de la locomotive.

Pour démontrer l'importance et partant l'augmentation de dépenses nécessaires à la traction sur fortes rampes, nous donnons ici le résultat des expériences faites en matière de traction depuis le palier jusqu'aux rampes de 50 %.

Le cheval qui traînait 10,000 kilos en plaine sur le chemin de fer n'en traîne plus que 5000 sur la faible pente de 4 à 5 % sur une pente de 5 % le cheval ne remorquera plus que 800 kilos.

La route ordinaire conserve ses avantages relatifs jusqu'à un certain point, et dans une toute autre mesure, car le cheval traîne encore sur la faible pente de 4 à 5 % 900 kilogrammes et sur le 50 % 500 kilogrammes.

C'est que la gravité est ici le facteur principal à mettre en ligne de compte et il n'est pas au pouvoir du chemin de fer de l'atténuer de la moindre quantité lorsque son profil l'appelle à fonctionner.

Le travail à produire pour remorquer un convoi pouvant être assimilé à ce que la mécanique appelle quantité de mouvement: soit le produit de la masse par la vitesse on a : (T^m) $Q = Mr$.

Cette formule montre que la traction est directement proportionnelle à la masse et à la vitesse du train.

Influence de la vitesse. Le tableau de l'influence de la vitesse sur l'effort de traction à côté de celui des charges traînées sur diverses déclivités, nous donnera une idée de l'importance du facteur vitesse.

Ces tableaux démontrent aussi que l'effet utile en charges traînées diminue considérablement lorsque la vitesse ou la pente augmentent.

Ainsi :

TABLEAU DES CHARGES BRUTES TRAINÉES SUR DIVERSES PENTES ET

A DIFFÉRENTES VITESSES

Sur une pente de		à la vitesse de 20 kilomètres on remorque		20 tonnes brutes	
idem	50 0/00	idem	40 0/00	40	idem
idem	40 0/00	idem	30 0/00	60	idem
idem	30 0/00	idem	20 0/00	90	idem
idem	20 0/00	idem	10 0/00	170	idem
idem	10 0/00	idem	0 0/00	430	idem

A la vitesse de		100 kilom.		à l'heure sur un chemin horizontal on remorque		60 tonnes	
idem	80 "	idem	70 "	idem	idem	105 "	idem
idem	70 "	idem	50 "	idem	idem	150 "	idem
idem	50 "	idem	35 "	idem	idem	210 "	idem
idem	35 "	idem	20 "	idem	idem	310 "	idem
idem	20 "					470	idem

Les dépenses d'exploitation des chemins de fer à fortes rampes seront donc toujours considérables par le fait de la traction à vapeur car :

Pour éléver un poids donné soit verticalement soit sur un plan incliné, il faudra toujours employer une force égale à celle que la gravité produirait par la chute de ce poids à la même hauteur,

augmentée des résistances passives inhérentes au matériel employé, machines et wagons.

Un effort de traction horizontal de 3 à 5 kilos, suffit pour traîner un poids de 1000 kilos sur rails horizontaux, tandis qu'il faudra une force de 100 à 110 kilos pour remorquer les 1000 kilos sur une rampe de 10 %. (C'est le $(P + p) \sin a$ et le $P \cos a$ et $(P + p) \cos a$ de Perdonnet page 627 (fig. 12).

Pour se faire une idée de la différence des frais de traction entre les lignes à faibles pentes (0 à 12 %) et celles de 25 à 40 % nous citerons les chiffres suivants:

Frais de traction. Sur l'Ouest-Suisse avant la fusion appelée « chemin de fer de la Suisse occidentale » le coût kilométrique de traction était:

	Fr. cts.
1º Personnel	0. 19.
2º Combustible	0. 30.
3º Graissage	0. 02.
4º Entretien et réparations	<u>0. 16.</u>
Total	0. 67.

Le Central-Suisse en 1861 dépensait en moyenne 0, 80 cts. par train-kilomètre de traction y compris les nombreux trains de marchandises de cette ligne et la double traction sur le parcours du Hauenstein.

Le consommation moyenne du combustible était de 9 à 10 kilos de houille par kilomètre parcouru.

Le Jura-Industriel en 1861 sur ses rampes de 25 à 28 % consommait de 20 à 22 kilos de combustible par kilomètre parcouru, avec des charges moitié moindres, que celles de lignes en plaine.

Ses dépenses de traction pour 1863, étaient de fr. 1. 45. par kilomètre au lieu de fr. 0. 67, accusé par l'Ouest-Suisse.

Si l'on prend en considération la différence des charges traînées et des conditions respectives dans lesquelles ces compagnies exploitent, on trouve que la traction sur les rampes de 25 à 28 % coûte près de 4 fois plus cher que sur celles de pays légèrement accidentés où les lignes ont des profils en long variant de 0 à 12 %.

Machines Beugnot. Sur le chemin de fer de Turin-Gênes, de

Pontedecimo à Busalla, où l'on rencontre une rampe de 11 kilomètres de 28 à 35 % cette dernière sur 2,435 kilomètres, il résulte d'expériences faites en notre présence avec l'emploi des nouvelles machines à fortes rampes (Beugnot) à 8 roues couplées que les trains du Jura-Industriel seraient remorqués par la combustion de 19 à 20 kilos de combustible par kilomètre parcouru et comme le profil contient du 35 %, on peut admettre que l'effet utile de ces nouvelles machines est un peu supérieur à celui des locomotives employées au Jura-Industriel, puisque, avec moins de combustible, on produit un effort de traction plus considérable.

Néanmoins la machine Beugnot telle qu'elle est construite n'est pas encore celle qui convient à l'exploitation du 35 %, tandis qu'elle se prête admirablement à la traction des trains de Pistoja à Porêta sur la ligne de Bologne à Florence qu'il nous a été donné de visiter.

En effet, nous avons constaté que cette machine remorquait sur une rampe continue de 25 à 27 % et d'une longueur de 26 kilomètres, en moyenne 140 tonnes brutes avec une consommation de 20—22 kilos de houille et coke de 1^{re} qualité par kilomètre parcouru, tandis que pour remorquer le même tonnage sur le 35 % du Turin-Gênes, il faudrait brûler presque le double.

Importance du choix des moteurs. Nous citons ces faits pour démontrer la grande importance du choix des locomoteurs appliqués aux diverses rampes à franchir.

Si une locomotive n'est pas appropriée à la traction de telle ou telle rampe, il en résultera une augmentation de frais de traction bien défavorable à la rénumération du capital de la ligne.

Aussi l'administration du Turin-Gênes, en comparant l'effet produit par la machine Beugnot sur sa ligne et celle de la Poreta, s'est empressée d'y faire apporter des modifications nécessaires pour l'approprier à son service spécial.

Traction sur 40 %. M. l'ingénieur Lommel dans un travail fort intéressant sur les divers passages des Alpes, déduit avec une logique mathématique basée sur des expériences parallèles que sur des rampes de 40 %, les frais de traction kilométrique seraient (Tracé Mondésir et Lehaître au Simplon) (la houille coûtant 55 la tonne):

1 ^o Personnel	fr. 0. 40
2 ^o Combustible	» 1. 90
3 ^o Graissage	» 0. 05
4 ^o Réparations	» 0. 32
5 ^o Alimentation et amortissement	» 0. 33
	fr. 3. —

(Le dernier poste se justifie par le surcroit du capital et des frais exceptionnels d'alimentation pour des charges de plus du double de celles remorquées sur le Jura-Industriel.)

Tractions sur le 45 %: D'Enghien à Montmorency. M. Level a eu le courage d'adopter une rampe de 45 % sur environ 1500m avec une courbe de 250m de rayon. La machine Gouin de 40 T (5m d'eau) remorque 45 tonnes avec une consommation de 15 à 16 kilos par kilomètre. Cette machine peut remorquer 75 tonnes à petite vitesse. C'est là que nous avons vu fonctionner le frein à friction Didier très recommandable pour les fortes rampes.

La même exploitation au moyeu de la machine Thouvenot (en projet) déservant des rampes de 50 % donnerait d'après M. Lommel les frais de traction comme suit:

1 ^o Personnel	fr. 0. 80
2 ^o Combustible	» 3. —
3 ^o Graissage	» 0. C5
4 ^o Réparations	» 0. 32
5 ^o Alimentation et amortissement	» 0. 33
	Total fr. 4. 50

Ainsi près de 7 fois plus considérable que sur les lignes à faibles pentes.

Au delà de ces limites de pentes, l'effet utile des machines actuelles diminue de plus en plus, c'est-à-dire que l'augmentation du travail utile ne répond plus à l'augmentation de la consommation du combustible.

Les machines destinées à produire un travail considérable exigent alors une construction très solide et partant un poids énorme qui doit nécessairement être remorqué, augmentant ainsi largement le chapitre des résistances passives (poids mort).

Machines fixes. Pour éviter ce poids mort, on a déjà appliqué depuis longtemps, à la traction des trains de chemins de fer le système des machines fixes agissant par transmission de leur force sur les trains à remorquer.

Cables (transmission par des); Transmission atmosphérique. Les uns se sont servi de cordes ou cables en fer attachés au train et enroulés sur des tambours dépendant de la machine; — les autres ont communiqué la force des machines fixes au moyen de tuyaux dans lesquels se trouve un piston mis en mouvement par un refoulement ou une aspiration d'air produit par des pompes ordinaires.

Ces divers modes de traction ont été classés sous le nom générique de *plans inclinés*; les moteurs consistent généralement en machines fixes à vapeur.

Un des premiers hydrauliciens du monde, Girard à Paris, a proposé l'emploi exclusif de l'eau à la propulsion des trains. Son système est connu sous le nom de chemin de fer à patins.

Chemins de fer à patins. Dans ce système les roues sont supprimées et remplacés par des patins glissant sur une couche d'eau injectée entre les rails plats et les surfaces inférieures des patins.

La propulsion serait une autre injection agissant sur des aubes placées sous le train.

Un essai patronné par l'empereur des Français a donné d'excellents résultats, mais le fait que tout le matériel fixe et roulant devrait être changé dans les chemins de fer actuellement existant, empêchera le système de prendre pied.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces divers modes de traction qui semblent tomber en désuétude, nous citerons seulement comme application du système fumiculaire:

Les plans inclinés de:

Liège, où il y a 2 rampes de 1980^m chacune avec une pente graduelle jusqu'à 30 %.

Blackwall à Londres de 6300^m de longueur et comme application du système atmosphérique, les plans inclinés de *Kingston à Darkey* en Irlande, de *Londres à Croydon* en Angleterre et celui de *Le-Peck à Saint-Germain* en France dont la longueur est

de 2 kilomètres et la hauteur rachetée de 52^m; l'un des kilomètres est à 35 %.

Des expériences concluantes ont prouvé que sur ces rampes l'exploitation par locomotives était beaucoup plus économique que celle effectuée par transmission fumiculaire ou atmosphérique.

C'est ainsi que l'exploitation atmosphérique sur le chemin de Saint-Germain coûtait de fr. 3.80. à 4 fr. par kil. parcouru, tandis que l'exploitation ordinaire ne coûte que fr. 1, 32 cts.

Nous ne possédons pas de données sur les frais d'exploitation du système fumiculaire, mais nous savons que les plans inclinés de Liège et Blackwall sont actuellement exploités par des locomotives et pour cause!

Système Agudio. M. Agudio a modifié le système de traction fumiculaire en ce sens que le locomoteur (qui peut être une locomotive) porte un tambour autour duquel s'enroule une fois le cable fixe de son système.

Il remédie par ce fait à l'inconvénient du poids du cable sur les fortes et longues rampes et dans ce cas le cable est censé représenter un rail central et le tambour les roues de la locomotive; alors l'adhérence sur tout le pourtour de la poulie est considérable.

Le système Agudio a été essayé en Italie sur une assez grande longueur mais avec des rampes accessibles à la locomotive et il a fonctionné à la satisfaction des intéressés.

Il constitue probablement le superlatif des perfectionnements à apporter au système fumiculaire et il est à recommander dans le cas où le système pneumatique nouveau ne pourrait être employé faute d'eau et où les frais d'installation seraient considérables pour l'établissement d'un chemin de fer ordinaire tracé à faibles pentes.

Système Fell. M. Fell a imaginé l'application au Mont Cenis d'un système qui n'est pas nouveau, car il y a 50 ans que de pareils chemins de fer existent en Angleterre pour le service des mines. En 1836 et 1840, il fut pris par MM. Ch. Vignolles et Henry Pinkus des brevets relatifs au rail central.

En 1843 M. le baron Séguier proposa le rail central comme préservatif contre les déraillements.

Enfin ce n'est que le 20 janvier et le 16 décembre 1863 que M. Fell prit les brevets sous le titre de « Perfectionnements apportés aux machines locomotives et aux voitures de chemins de fer. »

Son système que nous avons eu l'occasion de voir exécuter fonctionne à l'heure qu'il est au Mont-Cenis.

Son avantage principal est de pouvoir marcher sur les rampes de 8 à 10 % et dans les courbes de 40 à 80^m de rayon sans danger de déraillement *pour la machine*, nous disons pour la machine car dernièrement un wagon ayant eu ses freins cassés a été précipité dans la vallée, occasionnant la mort de 1 ou 2 employés, dit-on.

Quant aux frais de traction ils sont énormes, car toutes les fois qu'il s'agit d'élèver un poids à une grande hauteur à coups de combustible, le travail coûte cher.

Les moteurs pèsent de 16 à 17 tonnes et remorquent respectivement 16 à 20 tonnes à la vitesse de 12 à 15 kil. à l'heure. Les machines ont 4 roues portantes et 4 roues horizontales laminant le rail central à double champignon, de manière à se procurer un surcroit d'adhérence en dehors du poids du moteur.

Au dessous de 50 % de pente, ce système n'a plus sa raison d'être à moins qu'une route toute prête se trouve exister à travers une chaîne de montagnes dont la traversée en tunnel offre un obstacle insurmontable financièrement parlant. ;

En passant en revue, les divers systèmes de locomotion employés sur les chemins de fer, nous avons omis avec intention le nouveau système pneumatique parce que nous nous proposons de le décrire plus en détail dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II.

NOUVEAU SYSTÈME PNEUMATIQUE AVEC MOTEUR

PROPOSÉ PAR M. SEILER

inventeur de la balance aéro-hydrostatique.

Ce système porte en lui les grands caractères de l'invention pratique et sa simplicité est un sûr garant de son bon fonctionnement.

Les intermédiaires compliqués sont supprimés.

Le moteur n'est plus une machine à haute pression qui exige un travail de mécanique excessivement dispendieux d'établissement et d'entretien, mais c'est un simple produit de chaudronnerie analogue aux cloches d'usines à gaz.

La transmission se porte directement et en plein sur les véhicules à transporter agissant par l'air légèrement comprimé ou raréfié avec pression sur la section totale du tunnel dans lequel se trouve renfermé le train.

Un simple disque appliqué en un point quelconque du train ne touchant point exactement les parois du tunnel reçoit la pression d'air suffisante à la mise en mouvement des véhicules,

Opinion de M. Perdonnet. Voici comment M. Perdonnet s'exprime au sujet de ce système à l'état naissant: « Nous ne sommes pas suffisamment renseignés actuellement pour bien nous rendre compte des dépenses de l'opération. Mais il nous paraît évident que l'ancien système atmosphérique est tombé en désuétude à cause des pertes d'air qu'il exigeait pour la marche à haute pression; tandis que la disposition nouvelle permet de marcher à basse pression et d'éviter les fuites. En conséquence les frais de l'opération doivent être bien inférieurs à ceux de l'ancien système.

On parle d'importants projets résultant de l'application des chemins de fer pneumatiques au transport des voyageurs. Ainsi au lieu d'un tunnel à travers les Alpes, on établirait sur le

sol même des voûtes en maçonnerie ou en tôle dans lesquelles on ferait circuler les voyageurs au moyen du procédé pneumatique.

Un grand projet dont on s'entretient déjà est l'application de ce même principe à un tunnel sous-marin dans le détroit qui sépare l'Angleterre de la France entre Douvres et Calais.

Ce projet a souvent été discuté et la difficulté était qu'il fallait établir au moins 20 puits pour le renouvellement de l'air sur tout le parcours au travers du détroit.

Avec le principe pneumatique, il n'y a pas besoin de puits, et s'il doit exister une voie entre Douvres et Calais, elle sera établie d'après le modèle pratique que vient d'inaugurer avec tant de succès l'administration du palais de Cristal.»

On voit donc que le nouveau système pneumatique est favorablement jugé par une autorité éminente en matière de chemins de fer, et les expériences faites depuis lors confirment en tous points les prévisions des hommes compétents.

Tubes pneumatiques de Londres. Ce système est appliqué à Londres depuis plusieurs années au transport des lettres et paquets entre le bureau central des postes et les principales gares de chemins de fer.

Les tubes pneumatiques de ce service sont en fonte de 0^m,56 de hauteur sur le même diamètre ; ils sont posés sous le pavé des rues comme les conduits de gaz et d'eau.

Une nouvelle ligne a été ouverte le 10 octobre 1865 entre la station centrale de Holborn et la gare du Nord-Ouest à Euston-square.

D'autres lignes se terminent actuellement en passant sous des rues importantes avec des courbes de faibles rayons.

Les dimensions de ces conduites à base horizontale sont de 1^m,35 sur 1^m,35 (4',6" anglais).

L'écartement des rails a environ 1^m,11.

Deux machines à vapeur de 24 chevaux mettent en mouvement un ventilateur de l'invention de M. Ramel ; ce ventilateur en tôle a 7 mètres de diamètre.

Il aspire ou comprime de l'air dans le tube selon que la conduite est mise en communication avec la partie centrale ou avec le pourtour du ventilateur.

Les trains peuvent donc être soufflés ou aspirés.

De Holborn à Euston-square, il y a 3 kilomètres 2, et cette distance est franchie en 5 minutes par le convoi accompagné d'un employé, ce qui donne la belle vitesse de 10 lieues à l'heure !

Tunnel de Sydenham. M. Ramel, encouragé par le plein succès du chemin de la Pneumatic-despatch-company, s'est décidé à faire une expérience en grand près du palais de Sydenham, où il a établi un tunnel d'essai de 548 mètres de longueur avec un diamètre de 3^m,20.

Ce tunnel était construit en maçonnerie de brique (3 briques d'épaisseur à la voûte et 2 briques au radier) de 0^m,35 centimètres d'épaisseur maximum.

Une partie de la ligne avait une courbure de 30^m de rayon et le profil en long une rampe de 66 %.

Lors de notre visite à Londres, ce tunnel d'essai était démolî, et c'est à M. Ramel lui-même, ainsi qu'aux brochures de MM. Dapples et Daigremont que nous devons les détails de cette installation.

Voici comment M. Dapples s'exprime dans son judicieux travail sur l'application des forces hydrauliques à l'exploitation des chemins de fer de montagnes :

« Une machine à vapeur de 60 chevaux est placée à l'une des extrémités (du tunnel de Sydenham) et fait marcher un grand ventilateur qui, par une conduite de 0^m,50, communique avec le tunnel.

» Le ventilateur se compose simplement de deux disques en tôle mince de 7^m de diamètre placés à 0^m,30 d'écartement avec des palettes à l'intérieur et un axe creux au milieu.

» Ce ventilateur peut refouler de l'air dans le tunnel ou en aspirer suivant que l'on met en communication avec le tunnel la périphérie ou l'axe creux du ventilateur.

» Si l'on fait communiquer au moyen du tube de 0^m,50 l'axe creux du ventilateur avec le tunnel, il y a *aspiration* et vice-versa.

» Le wagon qui stationne à l'entrée du tunnel est d'abord poussé dedans; alors on ferme la porte d'entrée et le ventilateur refoule de l'air dans l'espace situé entre le wagon et la porte

d'entrée ; cette pression d'air fait avancer le wagon et le pousse jusqu'à l'autre extrémité du tunnel.

» Pour obtenir une vitesse d'environ 24 kilomètres à l'heure, il suffit d'une pression de $\frac{1}{60}$ d'atmosphère.

» Avec une voiture à voyageurs et 4 wagons de marchandises pesant 100 tonnes, on a obtenu une pression de $\frac{1}{45}$ d'atmosphère et une vitesse de 32 kilomètres par heure.

» Il n'est pas nécessaire que le *wagon-piston* contre lequel la pression d'air doit agir remplisse exactement le profil du tunnel. On a trouvé qu'il fonctionnait très bien lors-même qu'il existait tout autour un jeu de 22 millimètres !

» La voiture de voyageurs est de construction ordinaire, longue de 6 mètres et munie d'une porte à chaque extrémité. »

L'expérience de Sydenham a démontré : que les fuites au travers des parois du tunnel sont très insignifiantes.

Que l'économie du système en est le principal avantage. On n'a qu'un seul mécanicien, quel que soit le nombre de trains et seulement un garde-freins sur le wagon.

Que jamais un accident n'est arrivé dans les tubes pneumatiques, etc.

Que le système est très applicable en pays de montagnes puisqu'on peut passer des rampes et des courbés qu'aucune locomotive n'oseraffronter.

Qu'un autre avantage est celui du renouvellement constant de l'air ; le voyage est toujours agréable et comme on n'emploie aucune vapeur, on n'a jamais l'odeur suffocante qui souvent rend la traversée des tunnels ordinaires insupportable.

Projet de Waterloo-Charingcross. Une compagnie s'est formée au capital de fr. 3,350,000, sous le nom de *Waterloo and Whitehall Railway Company* et dans le but de relier la station de Waterloo avec Charingcross par une voie pneumatique sous la Tamise.

Le tube, dont nous avons vu les dessins et la photographie, est en tôle à nervure, recouvert de 3 rangées de briques à l'extérieur et d'une rangée à l'intérieur : ceci pour lui donner la pesanteur nécessaire et garantir les tôles.

Il sera immergé et enterré dans un dragage fait au fond de la Tamise où les supports sont en pleine construction.

Du diamètre de 11 pieds qu'a le tube en question à celui de 18 pieds que devrait avoir un tunnel pneumatique où pourrait circuler tout le matériel roulant des chemins de fer européens, il n'y a qu'un pas.

Et ce pas ne peut manquer de réussir comme couronnement de la marche précédente suivie par la « Pneumatie despatch company ».

En effet : est-ce que les tubes de 1,38 de diamètre n'ont pas confirmé pleinement les prévisions basées sur les expériences de la ligne qui n'avait que 0,56 de diamètre ?

L'essai de Sydenham n'a-t-il pas prouvé que l'augmentation des dimensions était plutôt favorable que nuisible ?

Il est vrai que l'effet utile du ventilateur est limité car au-delà d'une pression d'eau de 0^m,50, soit environ $\frac{1}{33}$ d'atmosphère, il ne peut plus rendre de services, mais alors commence l'efficacité de la cloche soufflante, proposée par M. Seiler et dont la description suivra comme partie essentielle du

SYSTÈME HYDRO-PNEUMATIQUE

Nous décomposerons ce système de la manière suivante :

- 1^o Le moteur fixe (*cloche soufflante*).
- 2^o La voie qui se trouve couverte d'une voûte en maçonnerie ou en tôle que nous appellerons *tunnel pneumatique*.
- 3^o Le wagon ou les wagons spéciaux destinés à recevoir la pression d'air et à communiquer le mouvement au train que nous nommerons *wagon disque*.

Commençons par décrire le moteur.

LE MOTEUR.

Supposez une cuve en maçonnerie ou creusée dans le sol, remplie d'eau, placez dans ce réservoir une cloche gazométrique d'une surface de 100 mètres par exemple, en vertu du principe d'Archimède, la cloche ne s'enfoncera que de la profondeur d'eau correspondante à son poids (fig. 12^a).

Si la cloche pèse 25 tonnes elle devra déplacer, avant d'être en équilibre (flottant), 25 mètres d'eau et comme sa surface est

de 100 mètres, elle s'enfoncera de $\frac{1}{4}$ de mètre en dénivellation ou de 0^m,25.

L'air emprisonné dans la cloche aura donc diminué son volume de cette première course, il sera donc comprimé à raison de 0^m,25 d'eau ou près de 2 centimètres de mercure.

Comme l'action est égale à la réaction le fluide élastique dans la cloche aura hérité la pression que lui communique la dénivellation de l'eau, pression égale au poids de l'eau déplacée, c'est à dire à 100 mètres carrés \times 0,25 = 25 tonnes ou pour chaque mètre carré 250 kilos.

La pression atmosphérique correspondant à 0^m,76 de *dénivellation* mercurielle ou à environ 10 mètres d'eau, on pourrait dire que la pression de 0^m,25 d'eau exprimée en fraction d'atmosphère serait $0,25/10,00 = \frac{1}{40}$ d'atmosphère.

Si la cloche est munie d'un réservoir dans sa partie supérieure et qu'on fasse arriver dans ce récipient une hauteur d'eau de 0^m,75 par exemple, alors la cloche augmentant son poids de 100 mètres \times 0,75 s'enfoncera de la même profondeur en *dénivellation* puisqu'il faut qu'elle déplace la même quantité d'eau avant d'être en équilibre.

La différence de niveau entre l'eau intérieure et celle extérieure communiquant avec l'atmosphère sera alors de 0^m,25 + 0^m,75 soit 1^m,00.

L'air renfermé dans la cloche aura diminué de volume jusqu'à obtenir une tension égale au poids de 1 mètre d'eau par mètre de surface : soit une force totale de 100 mètres carrés \times 1000 kilos = 100 tonnes ou 100,000 kilos.

Supposons maintenant que l'on mette cet air comprimé en communication (au moyen du tuyau c fig. 12^a) avec l'atmosphère, la cloche descendra et l'air s'écoulera en vertu de son excès de pression, par l'orifice B avec une vitesse d'environ 116 mètres par seconde.

Si on fait communiquer ce fluide comprimé F, avec un piston P, se mouvant dans un tube T, il transmettra à ce piston une pression d'autant de fois 1000 kilos que la section du piston aura de mètres carrés. Dans un tunnel ordinaire le wagon disque ayant environ 20 mètres de surface, la pression sur ce piston serait de 20,000 kilogrammes.

Voilà en peu de mots le principe de l'invention de M. Seiler, qui dans le fond n'est qu'un vaste piston creux, se mouvant dans l'eau aspirant de l'air atmosphérique pour le comprimer et lui donner une tension utilisable.

M. Seiler, après avoir proposé plusieurs moyens très ingénieux d'utiliser son invention à la traction ou à l'élévation des trains de chemins de fer, se trouvait toujours en face de la nécessité de construire une grande quantité de cloches soufflantes devant contenir le même volume d'air que celui du tunnel à traverser, il vient d'apporter à la cloche soufflante une modification très importante comme nous allons le démontrer.

Supposons en effet que la cloche dont on vient de voir la description, soit recouverte d'une enveloppe métallique E (fig. 14) bien étanche (comme la cloche elle-même) munie des clapets P, P' et d'un tuyau de refoulement R ; la cuve sera remplacée ici par un espace annulaire rempli d'eau, l'intérieur de cette cuve annulaire permettant le placement des tuyaux d'aspiration et de refoulement B et B' avec clapets p p' ainsi que celui de la communication hydraulique H.

Supposez encore que la tige T soit reliée d'une manière rigide avec la cloche C ainsi qu'avec un piston P animé d'un mouvement vertical de va et vient alternativement sollicité qu'il serait par une force hydraulique convenable, la cloche fixée à la tige du piston suivra ce mouvement.

En descendant, elle comprimera l'air intérieur et le refoulera par le tuyau B', le clapet P s'ouvre et l'espace V en s'agrandissant aspire l'air atmosphérique.

Par son mouvement ascensionnel, la cloche refoule l'air de l'espace V par le tuyau R dont le clapet P' s'ouvre et l'air atmosphérique rentre dans l'intérieur de la cloche par le clapet p.

Voilà l'organisme de la

CLOCHE SOUFFLANTE A DOUBLE EFFET

projetée par M. Seiler.

C'est donc une génération continue d'air comprimé mis à la disposition de la locomotion dans les tunnels pneumatiques.

Pour faire arriver cet air comprimé à une tension déterminée,

M. Seiler met le tuyau collecteur de refoulement B' (fig. 14) en communication avec une cloche simple (fig. 12_a) que l'on peut appeler *accumulateur régulateur de pression*.

Cette cloche est chargée de manière à provoquer la pression désirée, elle régularise la production d'air pendant les points morts de la cloche soufflante et maintient constante la pression du fluide (au $\frac{1}{40}$) (fig. 15).

LA VOIE PNEUMATIQUE.

La voie sera un tunnel en maçonnerie ou en tôle circulaire à base horizontale (fig. 17) ou encore à section ovale avec parois verticales comme le représente la figure 19.

Les dimensions seront telles que les locomotives et le matériel roulant servant au transport des voyageurs et des marchandises puisse passer commodément, sans qu'il soit jamais question d'un transbordement quelconque au pied des rampes pneumatiques.

Les rails seront placés à l'écartement ordinaire de 1^m,50 d'axe en axe sur traverses et longrines enterrées dans la maçonnerie ou le béton.

D'après M. Seiler, les trains et le wagon-disque circuleraient sur ces rails, mais nous ne croyons pas que cette disposition soit la plus convenable et voici pourquoi.

Nécessité de construire une voie à part pour le wagon-disque.
Le matériel roulant ordinaire composé généralement d'une locomotive destinée à traîner le convoi en dehors des sections pneumatiques et d'un nombre assez considérable de wagons plus ou moins en bon état, provoqueront une certaine usure des rails, peut-être même un ébranlement de la base qui maintient les rails et le wagon-disque; celui-ci doit marcher aussi régulièrement que possible, et il subirait dans sa marche l'influence de toutes les irrégularités de la voie.

De plus, un disque de 5^m,30 de diamètre supporté par un chariot dont l'écartement des roues n'est que de 1^m,50, ne roulerait pas dans un état d'équilibre tel que nul frottement, nulle secousse ne fussent à craindre.

C'est pourquoi nous proposons de donner au wagon-disque une voie à part qui n'aura jamais à subir d'autre usure que

celle que pourra produire le train assez léger du wagon en question.

Cette voie aura un écartement de 3 mètres comme l'indique la figure 17.

WAGON-DISQUE.

Le wagon-piston se composera de disques en tôle comprimant sur leur pourtour un gros tuyau en caoutchouc au moyen de vis à manivelles et de manière à pouvoir toucher les parois du tunnel par l'allongement obligé que le rapprochement des disques provoquera sur le tuyau-bourrelet en caoutchouc.

Le disque employé comme frein. Le tuyau en question s'userait rapidement si on devait provoquer trop souvent son adhérence contre les parois du tunnel, mais cette manœuvre ne se produirait qu'en cas d'accident au tunnel ou à sa porte de sortie qui laisserait échapper l'air destiné à maintenir à la vitesse convenable le train descendant; alors la pression de la circonférence du disque contre les parois du tunnel serait un frein des plus puissants pour arrêter le train, sans compter les freins ordinaires ou extraordinaires que l'on pourrait avoir à sa disposition.

D'ailleurs le tuyau en caoutchouc serait entouré d'une peau de mouton ou d'une brosse en matière filamenteuse qui tout en formant un joint convenable préserverait l'organe principal du wagon-disque.

Wagon-disque de M. Daigremont. M. Daigremont propose d'établir autour du wagon-disque une série de volets mobiles munis de galets à jantes en gutta-percha maintenant à une faible distance des parois du tunnel les volets du disque et supprimant par là tout frottement de glissement.

Dans les expériences de Sydenham, on a fait usage de la peau de mouton qui a donné de bons résultats.

Il sera toujours possible de combiner un wagon-disque remplissant les conditions voulues pour la réussite du système, dût-on laisser 3 à 4 centimètres de jeu à son pourtour sauf à placer 3 à 4 disques successifs.

Fuites d'air autour du piston. Les fuites d'air autour du piston ne constituent pas une perte absolue puisqu'elles servent à une excellente ventilation du tunnel et qu'elles rendent le voyage très-agréable en fournissant aux voyageurs une alimentation d'air pris en dehors du tunnel.

MARCHE DU SYSTÈME

Nous essaierons maintenant d'expliquer le fonctionnement du système ; plus loin, nous tâcherons d'en déterminer le coût d'installation ainsi que les frais d'exploitation.

Avant tout, initions nos lecteurs aux résultats de la discussion théorique des faits qui peuvent se présenter lors de la mise en action des machines soufflantes et dans le mouvement des véhicules chassant la colonne d'air atmosphérique en avant pendant l'ascension, sollicités qu'ils sont par un excès de pression derrière le wagon-disque.

Principes régissant le mouvement des fluides. Ces résultats sont exactement déduits des lois de la nature qui régissent le mouvement des fluides, par M. Daigremont dans sa brochure sur les chemins de fer atmosphériques.

Les voici en résumé.

En premier lieu, le mouvement ascensionnel de la colonne d'air comprimé qui fait ressort et pousse le train devant elle, n'absorbe guère plus d'un centième de la force motrice totale, même dans le cas où cette colonne mesure dix kilomètres de longueur, circonstance qui constitue un des avantages les plus saillants du système pneumatique.

La question des fuites d'air ne se présente pas sous un aspect aussi favorable ; ainsi un train de 160 tonnes, engagé sur une rampe de 100 % (0,10 par mètre) et animé d'une vitesse de 18 kilomètres à l'heure ne consommerait en chaque seconde que 83 mètres cubes d'air comprimé à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère, si le piston s'adaptait rigoureusement aux parois du tunnel ; mais si l'on donne au piston un jeu de 0,05 comme l'ont proposé quelques personnes, il se produit aussitôt une perte de 72 mètres

cubes d'air comprimé par seconde ; la consommation d'air et par conséquent de la force motrice se trouve donc immédiatement doublée.

Les frottements de la colonne d'air en mouvement contre les parois de la galerie ne donneraient qu'une perte d'environ 1 % par kilomètre de tube, si la vitesse de cette colonne était seulement de 5 mètres (soit 18 kilomètres à l'heure) s'il ne se produisait pas de fuites.

Mais ces frottements croissent comme le carré de la vitesse ; par conséquent, si celle-ci est doublée par les fuites autour du piston, la perte devient 4 fois plus grande et s'élève à 4 % par kilomètre ou à 40 % pour un tube de 10 kilomètres.

Sans compter le travail préliminaire de la compression d'air on trouve pour un tube de 8000 mètres.

Pente de	0,095	{	$T^r = 1330 \text{ chevaux.}$
Hauteur rachetée	760m		$T^m = 1770 \quad ,$
Poids du train .	200		
Vitesse.	5m		$\text{Effet utile} = \frac{T^r}{T^m} = 78 \%$
Jeu	0,01		

Si le train est pourvu de plusieurs disques ou boucliers, on peut, sans diminuer l'effet utile augmenter le jeu de chacun d'eux proportionnellement à la racine carrée de leur nombre ; l'effet utile de 78 % serait donc encore obtenu avec les données précédentes si l'on portait le jeu à

0,02 avec 4 boucliers
0,04 > 16 ,
0,05 > 25 ,

Ces principes posés, discutons la marche du système tel que nous l'avons projetée dans les figures 15, 16, 17 et 18, en prenant la rampe pneumatique de M. Seiler pour base.

DONNÉES DU PROBLÈME

Trois cloches soufflantes de 10 mètres de diamètre et de 5 mètres de course, mues par une machine à colonne d'eau à la vitesse de 1 mètre par seconde.

Ces cloches ont une surface de 78 mètres carrés, elles produisent

donc $3 \times 78 = 234$ mètres cubes d'air atmosphérique par seconde ou 212 mètres cubes d'air comprimé à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère.

Cet air comprimé entre dans un accumulateur chargé de manière à maintenir cette pression très régulière pendant la marche du train.

Un tunnel de 4400 mètres de longueur, dont 200 mètres inférieurs en palier, se raccordant avec une rampe de 3800 mètres à 10 %; puis une partie supérieure de 400 mètres en rampe décroissante de 10 % à 0. Ce tunnel a un diamètre de 5^m,30; il est supposé parfaitement étanche.

A tous les 100 mètres se trouve pratiquée une niche où se réfugieraient les cantonniers lors du passage des trains. A cette niche correspondrait autant que possible une lucarne vitrée, résistant à la pression.

On élèverait une maison de garde à chaque kilomètre pouvant servir de refuge aux voyageurs dans le cas d'un arrêt accidentel.

On communiquerait à ces maisons de garde au moyen de deux portes-écluses.

Le wagon-disque de M. Seiler se compose de 3 ou 4 boucliers comprimant le tuyau en caoutchouc et la peau de mouton de manière à laisser un jeu réel et ordinaire de 1 à 2 centimètres.

Ce bouclier aura dans l'exemple proposé 21^m,75 de surface.

Une porte à guillotine pouvant se mouvoir au moyen d'une pression hydraulique fermera hermétiquement l'entrée inférieure du tunnel lors du fonctionnement des cloches soufflantes ainsi qu'à la descente des trains.

Télégraphe. La position du train serait indiquée par un cadran télégraphique à chaque extrémité du tunnel, de manière à pouvoir en régler la marche par la quantité plus ou moins grande d'air refoulé par les machines soufflantes à la montée ou expulsé par le wagon-disque du train descendant.

Une porte de sûreté serait établie au sommet de la rampe pneumatique pour le cas où la porte inférieure ne serait pas fermée lors de la descente du train ou en cas d'accident au tunnel provoquant une fuite en avant du train descendant.

Accidents à prévenir. Il peut encore arriver que le tunnel laisse échapper de l'air en avant et en arrière du train, alors

seulement, on ferait usage des freins ordinaires de la locomotive et du train si l'on craignait d'appliquer trop fortement le pourtour mobile du wagon-disque contre les parois du tunnel.

D'ailleurs rien n'empêcherait pour ces cas tout à fait extraordinaires de munir le wagon-disque du frein à friction ou frein (traineau Didier) indépendant du poids du véhicule (un seul wagon arrête les trains de Montmorency à Enghien sur le 45 %).

Force à employer. Déterminons maintenant la force nécessaire pour mettre en mouvement les machines soufflantes qui doivent livrer l'air comprimé nécessaire à la remorque d'un train de 200 tonnes.

La résistance à vaincre sera par le fait de la gravité sur 10 % $P \sin a$ (a étant l'angle de pente) ou à peu de chose près $200,000 \text{ kilos} \times 0,10 = 20,000 \text{ k}^s$
Le frottement de roulement sera de $0,003 \times 200,000 = 600$,

A une vitesse de 8 mètres par seconde, le travail dynamique serait représenté par $20,600 \times 8 = 164,800$ kilogrammètres ou 2197 chevaux-vapeurs.

Dans le cas qui nous occupe et d'après les principes énoncés précédemment nous avons $\frac{T^r}{T^m} = 80\%$ ou $T^m \frac{T^r}{0,8}$ ce qui porte le travail moteur à $\frac{2197}{0,8} = 2746$ chevaux.

Le travail préliminaire de la compression se faisant par une machine à colonne d'eau, on peut admettre que celle-ci travaillera à 70 % de la force théorique qui l'actionnera et nous aurons alors pour la force originale nécessaire $\frac{2746}{0,7} = 3923$ chevaux ou 294,225 kilogrammètres.

Pour obtenir cette force, il faut avoir à sa disposition une chute d'eau de 200 mètres de hauteur avec un débit de 1961 litres ou idem 100 idem 2942 »
» idem 50 idem 5884 »
» idem 10 idem 29,422 »

Ces chutes et ces quantités d'eau existent ordinairement dans certaines cluses jurassiennes et sur les versants des Alpes d'où il descend des centaines de mille de chevaux, de force complète-

ment abandonnés à leur mission actuellement destructive et dont on pourrait profiter si utilement à la remorque des trains pneumatiques.

Les riches bassins houillers de l'Angleterre ont permis à ce pays de vaincre les plus fortes résistances dans le domaine industriel ; on est même allé jusqu'à la production artificielle de forces hydrauliques au moyen de *machines à vapeur*, brûlant du *combustible*, pour obtenir ce que nous possédons en Suisse dans la plus large mesure.

C'est ainsi que les grues Armstrong ne sont pas autre chose qu'une colonne d'eau comprimée dans un accumulateur à une très haute pression.

Par l'installation d'un simple barrage ou réservoir, nous obtiendrons sur nos chutes d'eau les meilleurs engins de ce genre et sans beaucoup de frais.

Le ventilateur Rammel est mis en mouvement par la vapeur et cela pour comprimer de l'air à $= \frac{1}{30}$ d'atmosphère *au plus*,

Ainsi on voit que ce ne sont pas les forces qui nous manquent. car nous les possédons à l'état naturel, mais peut-être que notre éducation industrielle très développée dans la fabrique de détail est un peu timide lorsqu'il s'agit d'entreprises colossales.

Mais revenons à notre sujet et voyons si les 3 cloches soufflantes avec accumulateur, de la figure 15, suffisent à remorquer un train de 200 tonnes dans les conditions indiquées à la figure 16, c'est-à-dire avec une vitesse de 8 mètres par seconde.

Nous avons vu plus haut que le travail dynamique résistant, nécessaire à pousser un train de 200 tonnes sur les rampes de 100 % étant de 20,600 kilogrammes et nous en avons 21,750 à notre disposition, car la surface du piston étant de 21^m,75 et la pression 1^m, le wagon-disque sera chargé du poids de 21,75 mètres cubes d'eau ou 21,750 kilogrammes.

Si le piston était jointif, la quantité d'air nécessaire serait pour une vitesse de 8 mètres, de $22 \times 8 = 176$ mètres cubes.

Mais, comme nous avons supposé un jeu de 1 à 2 centimètres, les fuites autour du piston seront d'environ 26 mètres et nous en supposons 34 dans lesquels sont comprises les résistances passives dont nous avons parlé au commencement de la rubrique « Marche du système ».

Le train de 200 tonnes marchera donc à la vitesse de 8 mètres par seconde sur la rampe de 100 %.

Arrivées au sommet de la rampe, les machines soufflantes seront arrêtées et la détente de l'air suffira pour faire parcourir au train la partie supérieure du tunnel tracé au profil décroissant de 10 % à 0.

En effet, l'air comprimé à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère sur une longueur de 3800 mètres $+ 200 = 4000$ mètres, s'étendra d'environ 400 mètres pour rentrer à la pression atmosphérique.

C'est précisément la longueur admise pour cette partie culminante du tunnel.

COUT DU SYSTÈME

D'après les données recueillies aux meilleures sources, une cloche soufflante de la dimension indiquée (fig. 15) pèserait environ	90,000 kilos
2 autres	180,000 ,
L'accumulateur (au maximum)	<u>90,000 ,</u>
	Total, <u>360,000 kilos</u>

Ou en chiffres ronds 400,000 kilos.

Comme il entre beaucoup de fonte dans cette construction, il est permis d'espérer que les 100 kilos ne coûteront pas plus de fr. 55, le quintal métrique.

4000 quintaux métriques à fr. 55	fr. 220,000
Machine à colonne d'eau et tuyauterie	<u>30,000</u>
	Somme, fr. 250,000

pour le moteur soufflant qui peut suffir à une rampe de 10 kilomètres au besoin rachetant une hauteur de 800 à 1000 mètres.

Dans les Alpes on peut donc admettre que les lignes pneumatiques seront grévées d'une dépense kilométrique de 25,000 à 30,000 francs par le fait du moteur aero-hydrodynamique de M. Seiler, à la condition toutefois que le tunnel pneumatique puisse avoir de 8 à 10,000 kilomètres de longueur.

Les dessins des planches représentent le tunnel normal circulaire, figure 17, et le tunnel restreint, figure 19.

Des entrepreneurs de maçonnerie nous ont fait leurs séries

de prix éventuels d'après lesquelles nous avons établi les prix de revient détaillés aux planches.

Le tunnel circulaire normal à profil demi-enterré coûterait dans le Jura en chiffre rond, par mètre fr. 280,—

Le même tunnel en plein roc . . , » 430,—

Somme, fr. 710 —

En supposant que la moitié des tracés se fit à ciel ouvert, on aurait pour le prix moyen du mètre linéaire du tunnel fr. 360 en nombres ronds.

Des entrepreneurs sont prêts à signer un contrat éventuel pour travailler sur ces données.

Pour les tunnels elliptiques le profil déterré coûterait fr. 230,—

Le profil à demi-enterré. » 170,—

idem souterrain » 340,—

Somme, fr. 740,—

En admettant le tiers de chaque catégorie, on aura pour le prix moyen du mètre linéaire fr. 250 (chiffre rond).

Mais, la pression devant augmenter pour remorquer les mêmes trains que ceux qui sont supposés plus haut, les maçonneries devront être renforcées et les devis aggravés, nous ne saurions recommander ce profil que pour des lignes tout à fait locales et à faible trafic.

Nous n'avons pas de devis certains sur le wagon-disque et les portes du tunnel ou autres accessoires, mais nous estimons à une trentaine de mille francs, 4 wagons-disques et deux portes du tunnel y compris le télégraphe et les sas à air.

Les accessoires d'un tunnel pneumatique de 4 à 10 kilomètres, moteur soufflant, wagons-disques, portes, télégraphes, sas à air, exigeraient donc une dépense de fr. 280 à 300,000.

Lorsque nous traîterons de l'application de ce système dans le Jura ou au passage des Alpes, nous établirons un devis comparatif entre le tracé ordinaire et le tracé pneumatique.

En attendant, il nous a semblé suffisant de déterminer le prix des unités du système.

Quant à l'exploitation, nous nous contenterons de dire que la force motrice hydraulique remplaçant la vapeur, les frais de

traction seront dégrévés du poste combustible, ce qui n'est pas peu de chose, car la hauteur rachetée par une rampe pneumatique, comme celle de la planche première, par exemple, étant de 400 mètres, un chemin de fer ordinaire à 25 % exigeait un développement de 16 kilomètres pendant lesquels il faudrait brûler probablement 30 kilogrammes de charbon par kilomètre parcouru, soit $30 \times 16 = 480$ ou $\frac{1}{2}$ tonne de combustible pour chaque ascension ; calculons sur 4 trains par jour : la dépense serait de 2000 kilos par jour ou 2 tonnes à fr. 40 = fr. 80 par jour ou environ fr. 30,000 par an.

Sans compter l'usure du matériel fixe et roulant qui serait beaucoup moins considérable par unité de voie et sur une longueur 4 fois plus petite.

C'est dans les exemples que nous nous proposons d'étudier, que nous déterminerons aussi exactement que possible les frais d'installation et d'exploitation du système pneumatique, comparés à ceux que nécessitent les chemins de fer ordinaires.

Nous nous résumerons comme suit :

Le système hydro-pneumatique avec moteurs et wagon-disque de M. Seiler mérite de prendre place parmi les systèmes sérieux qui se disputent l'exploitation de fortes et longues rampes.

Il est même difficile d'admettre que ce système ne soit pas le plus économique, tout compte fait, et dans l'état actuel des choses, pour franchir les Alpes où des galeries de préserve devront être établies sur une grande longueur afin de mettre la voie à l'abri des neiges et des avalanches, n'importe quel système l'on adopte.

Nous sommes en outre convaincus que si les circonstances permettaient d'essayer ce système sur une très courte rampe qui permette de constater le fonctionnement de la machine soufflante à double effet de M. Seiler, les intéressés s'empresseraient de vouer la plus grande vénération à ce système et que des projets sérieux se feraient jour pour une application à la traversée des Alpes.

Les modèles en petit que nous avons fait établir, nous ont confirmé dans toutes nos prévisions, mais cela ne suffit pas toujours à

convaincre le public ; on veut voir les choses en grand, et il est à souhaiter que bientôt une expérience décisive vienne effacer tous les doutes, dissiper toutes les craintes et donner raison à la vérité.

