Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 13 (1887)
Heft: 7

Artikel: Étude des chemins de fer funiculaires
Autor: Vautier, Alph.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-13733

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: 05.12.2025

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

13e ANNÉE NOVEMBRE 1887 N° 7

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT 8 FOIS PAR AN

Sommaire : Etude des chemins de fer funiculaires, par Alph. Vautier, ingénieur. (Suite et fin.) — Exploitation de la glace des lacs de la vallée de Joux, par G. Duvoisin, ingénieur. — Bulletin bibliographique. — Concours.

ÉTUDE DES CHEMINS DE FER FUNICULAIRES

par Alph. Vautier, ingénieur.

(*Suite et fin.*)

§ 9. Les freins.

Les freins des chemins de fer funiculaires ont à remplir deux fonctions distinctes.

Dans l'exploitation normale ils agissent comme sur les chemins de fer ordinaires pour modérer la vitesse et arrêter les trains aux stations.

En cas de rupture du câble ils ont à fixer le train en détresse sur la voie.

Ces deux rôles peuvent être remplis par des freins ordinaires lorsque la pente est faible, c'est-à-dire en dessous de 10 %. Pour les déclivités plus fortes les roues glisseraient lorsque les rails seraient mouillés.

Au chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, le frein de détresse agit automatiquement en serrant le rail entre de fortes mâchoires mues par le train lui-même. Ce système fort ingénieux n'a pas été imité à cause de sa complication. Il ne permet aucun croisement de voie.

Le chemin de fer Lausanne-Ouchy présente dans sa partie centrale une pente de 5 ½ % sur 800 m. de longueur. Elle se raccorde en amont avec une pente de 12 % et en aval avec une pente de 7 %.

Dans ces conditions, on a estimé que des freins produisant seulement l'enrayement des roues suffiraient en toutes circonstances et l'expérience a démontré en effet que lorsqu'un train est abandonné à lui-même sur la pente de 12 %, dont les rails sont habituellement humides, il peut être arrêté au bas de cette pente, sans avoir pris de vitesse dangereuse, par l'emploi des freins que nous décrivons ci-dessous.

Ces mêmes freins suffisent aussi pour arrêter un train sur la pente de 7 %.

Les vagons à voyageurs et à marchandises sont tous munis de freins à sabots semblables à ceux des chemins de fer ordinaires, mais très robustes. Le fourgon, qui occupe toujours la position inférieure du train et qui est attaché au câble, est muni de freins à bandes et de freins de détresse que nous décrirons plus loin.

Les freins à bandes sont composés de poulies calées sur chacun des deux essieux du fourgon. Ces poulies sont embrassées par une bande flexible en fer, garnie de plots de bois dur (fig. 12).

En tirant au moyen de leviers et d'une vis la tringle *a-b* on agit sur le levier *cde* qui serre la bande avec une intensité suffisante pour arrêter la rotation de l'essieu et des roues.

Ces freins à sabot et à bandes servent à arrêter les trains aux stations en même temps que le moteur fixe. Leur action est nécessaire pour empêcher les à-coups, désagréables aux voyageurs et dangereux pour le câble, produits par la puissance vive des trains montants. Ceux-ci continueraient quelque peu leur course et reviendraient brusquement en arrière si on ne les enrayait pas à temps.

Le frein de détresse est esquissé fig. 13.

Une chaîne *c* enroulée sur une roue à rochet *r* soutient, par l'intermédiaire de leviers et de tringles, quatre patins *s*. Il suffit au garde-frein de décrocher la roue *r* pour que ces patins tombent sur les rails. Les roues gravissent le petit plan incliné *d* et s'enchâssent dans la partie circulaire des sabots. Le fourgon est ainsi transformé en traîneau et l'expérience a prouvé qu'il est ainsi plus promptement arrêté que par les autres freins. Dans les deux cas c'est le frottement de fer sur fer qui agit, mais le patin est limé sur une plus grande longueur que la roue par les joints et les aspérités des rails. Ce système a l'inconvénient de produire un choc violent pénible pour les voyageurs et qui fausse les tringles.

Au tronçon de chemin de fer Lausanne-Gare, la pente de de 12 % est suivie par une pente de 2 ½ % de 40 m. de longueur seulement et le vagon-fourgon doit souvent remorquer de lourds vagons à marchandises provenant d'autres compagnies et dépourvus de freins.

Dans ces conditions, le système employé sur la ligne principale ne pouvait pas suffire et l'on a adopté des freins à crémaillères du système Riggenbach. Le vagon-fourgon étudié et construit par cet éminent ingénieur est muni de deux systèmes de freins. Un frein à bandes semblable à celui de Lausanne-Ouchy et un frein automatique esquissé fig. 14. Celui-ci ne sert qu'en cas de rupture du câble. Une forte roue dentée est calée sur l'essieu aval du vagon-fourgon et engrène avec une crémaillère fixée aux traverses de la voie.

La roue dentée est solidaire à deux poulies dont l'une reçoit la bande du frein à main et l'autre les sabots du frein automoteur (fig. 15).

Si le câble venait à se rompre on voit facilement (fig. 14) que

le contrepoids *d* ne serait plus soutenu par le levier *abd*. En tombant il tirerait le levier *egh* qui serrerait énergiquement les sabots *g* et *f*.

Ce frein est essayé chaque jour, mais il n'a jamais eu à fonctionner comme frein de détresse.

Le taquet *t* solidaire avec le boulet *q* sert à soutenir le contrepoids lorsque le fourgon circule sur les faibles pentes des stations extrêmes où la tension du câble serait insuffisante.

Des coulisseaux fixés à la voie aux origines de ces pentes obligent le boulet *q* à se mouvoir perpendiculairement au plan de la figure ce qui place ou déplace le taquet *t*.

L'arbre *p* qui les soutient a une section carrée.

Notre notice sur le funiculaire Territet-Glion, insérée dans ce Bulletin en 1885, donne le diagramme et la description des freins.

Ils sont analogues à ceux du Lausanne-Gare, mais agissent sur deux roues dentées. Il y a deux freins à main et un frein automatique à contrepoids. Ceux de nos lecteurs qui désireraient plus de détails sur le funiculaire Territet-Glion, apprendront avec plaisir qu'une monographie due à l'ingénieur Strub est en voie de publication (Sauerländer, éditeur, à Aarau).

Les crémaillères qui fournissent le point d'appui aux freins du Lausanne-Gare, du Giessbach et du Territet-Glion sont semblables comme forme à celles employées sur les chemins dits à crémaillères du Righi, de Rorschach-Heiden, etc. La figure 16 donne la coupe de la crémaillère du Lausanne-Gare.

Les échelons sont espacés de 100 mm. d'axe en axe; ils sont au niveau des rails, ce qui exige des selles en fonte sous les joints des tronçons de la crémaillère, c'est-à-dire tous les trois mètres et des tasseaux en chêne sur les traverses intermédiaires. Les échelons ont une hauteur de 31 mm. Leur section est un trapèze dont les bases ont 29 et 46 mm. de largeur. Leurs extrémités sont arrondies et pénètrent dans les flancs des fers en U contre lesquels ils sont rivés.

Les tronçons sont éclissés fortement et boulonnés aux traverses de la voie.

L'ingénieur Abt indique dans sa notice, *Die drei Rigibahnen*, que les échelons sont calculés en admettant que la pression des dents ne dépasse pas 6000 kg. et se répartit uniformément sur leur longueur. Il emploie la formule

$$\frac{6000 \times l}{12} = \frac{b\,h^2}{6}\,\mathrm{R}$$

dans laquelle *l* est la longueur de l'échelon, *b* sa hauteur et *h* sa largeur. R est le travail du fer.

Cette formule suppose que la rivure dans les fers en U réalise un encastrement complet.

On donne aux fers en U une section plus forte que celle qu'exigerait cette tension de 6000 kg. afin de donner de la rigidité à l'ensemble et de les rendre capables de parer à un déraillement.

Le département fédéral des chemins de fer a fait faire (en novembre et décembre 1885) de nombreuses expériences sur les freins des locomotives et vagons des chemins de Vitznau-Righi, Arth-Righi et Rorschach-Heiden, afin de déterminer leur efficacité soit pour retenir un train stationnant sur une voie en pente soit pour l'arrêter lorsqu'il est animé de diverses vitesses.

Nous déduirons de ces expériences quelques résultats qui sont applicables aux vagons de chemins de fer funiculaires.

Les vagons à voyageurs et à marchandises n'ont qu'une seule roue dentée, calée sur l'un des essieux des roues porteuses. Le même essieu porte deux poulies à frein pour les vagons de voyageurs et une poulie à frein pour ceux à marchandises. Ces poulies sont parfois canelées et les sabots qui les frottent ont des canelures correspondantes qui s'enfoncent dans les premières.

Les sabots sont en bois dur et embrassent plus de la moitié de la circonférence de la poulie.

Le diamètre de celle-ci est en général de 500 mm., celui de la roue dentée de 605. Au Rorschach-Heiden, les vagons de voyageurs ont des roues dentées de 637 mm.

Pour expérimenter l'efficacité des freins on faisait stationner un train sur une forte pente et l'on examinait si une seule roue dentée pouvait le maintenir en repos, puis on laissait prendre au train une certaine vitesse et on l'arrêtait au moyen d'un seul frein en notant l'espace parcouru entre le commencement du serrage et l'arrêt complet, ainsi que le temps employé à le parcourir.

Ces expériences avaient avant tout pour but de contrôler l'état du matériel roulant de trois chemins à crémaillères, mais nous pouvons en déduire quelques résultats d'une application plus générale.

1° Lorsqu'un train stationne sur une voie dont la pente est $tg\,\alpha$, il est sollicité par une force parallèle à la voie dont l'intensité est $P \sin \alpha$, P désignant le poids du train.

Pour que le train reste immobile, il faut que la roue dentée du vagon expérimenté produise une pression égale à $P \sin \alpha - P f'$, en désignant par f' le coefficient de frottement au démarrage que nous évaluons à 5 kg. par tonne.

Quelques freins ont supporté une pression de 5900 kg., mais d'autres ont lâché lorsqu'ils étaient soumis à des pressions bien inférieures.

En faisant abstraction de quelques vagons du Rorschach-Heiden qui ont donné les plus mauvais résultats, on peut inférer de ces expériences que des freins en bon état d'entretien et construits comme ceux des lignes du Righi pourront fournir une résistance de 4000 kg. au moins contre les échelons de la crémaillère, ce qui équivaut à 4840 kg. à la jante de la poulie a frein.

2° Lorsque le train est animé d'une vitesse v au moment où l'on commence le serrage des freins, sa puissance vive est $\frac{P\,v^2}{2\,g}$ et il est en outre soumis à l'action de la gravité qui produit un travail $= P\,(\sin \alpha - f)\,e$,
f désigne ici le coefficient de frottement de roulement $= 0{,}003$ et *e* l'espace parcouru jusqu'au moment de l'arrêt du train.

Le travail total des freins est donc égal à

$$\frac{P\,v^2}{2\,g} + P\,(\sin \alpha - f)\,e.$$

et leur travail moyen par mètre parcouru sera

$$\frac{P\,v^2}{2\,g\,e} + P\,(\sin \alpha - f)$$

Cette formule, appliquée aux expériences les plus caractéris-

tiques donne, pour travail moyen des freins, des valeurs variant entre 1400 et 2600 km. Dans un cas, l'arrêt s'est produit en 3″ et le travail moyen a été de 3470 km., mais le vagon s'est soulevé. Il pesait 4 tonnes et arrêtait un train de 12 1/2 tonnes à la vitesse de 1m40. Une autre expérience a donné pour travail moyen 3550 km. Il s'agissait d'un vagon à marchandises qui devait retenir par son seul frein un train de 23 tonnes animé d'une vitesse de 9 m. par seconde sur une pente de 6,8 %. L'arrêt s'est fait après un parcours de 13 m. Les sabots se sont allumés.

Un train de 5 voitures se servant de tous ses freins a donné comme travail moyen par frein 2430 km.

Nous concluons de ce qui précède que la valeur de la pression de la roue dentée contre les échelons de la crémaillère, que nous avons désignée par la lettre F dans notre chapitre II, peut être de 1400 kg. au moins, mais ne doit pas dépasser 2400 kg.

3° On peut prévoir que lorsque le câble romprait et que les freins agiraient tardivement, leurs sabots glisseraient sur les poulies et que la pression de la roue dentée contre la crémaillère n'atteindrait pas 6000 kg. Comme ils sont calculés en vue de cette pression maximale, ils ne rompraient pas, mais si l'on serrait les freins très brusquement, la roue dentée provoquerait le soulèvement du vagon et son déraillement.

Il serait donc plus prudent, dans un cas pareil, de ne serrer les freins à fond que progressivement. Ils s'allumeraient probablement, mais c'est un petit inconvénient.

L'ingénieur Riggenbach, l'inventeur et le constructeur des freins à crémaillère, a prouvé d'une manière frappante sa confiance en leur sécurité. Accompagné d'un de ses employés, il a descendu, dans un vagon pesant sept tonnes, la pente vertigineuse du Territet-Glion. Le vagon n'était pas attaché au câble et descendait lentement, retenu seulement par la roue dentée d'un frein à main.

Ce système, usité depuis 1870 sur le Vitznau-Righi et dès lors sur plusieurs chemins de fer, n'a donné lieu jusqu'ici qu'à un seul accident grave, celui survenu en 1885 sur la ligne d'Arth-Righi. Le train est sorti des rails. Il est probable que la roue dentée, serrée brusquement, avait produit un soulèvement comme cela a eu lieu dans certaines expériences.

Les divergences notables que les expériences du département fédéral constatent entre la puissance des divers freins du même système, montrent qu'il y a encore quelque progrès à accomplir dans leur construction et dans leur entretien, mais, tel qu'il est, le système de freins à crémaillères est certainement très approprié au service des chemins funiculaires, c'est le seul qui jusqu'ici convienne aux très fortes rampes.

Lorsque les sabots sont en bon état, l'arrêt est très doux et s'opère progressivement, ce qui est une condition essentielle.

§ 10. La voie.

La construction de la voie d'un chemin de fer funiculaire ne présente rien de particulier lorsque la pente est faible. Au Lausanne-Ouchy, on n'a observé aucun glissement longitudinal de la voie, même dans les parties où la pente atteint 12 %. On a perreyé les fossés afin d'éviter des érosions.

Au Giessbach, la pente est de 24 à 32 % et l'on a jugé nécessaire de retenir les traverses par des massifs en maçonnerie et des pieux en fer et de les relier par des longrines fixées sur leurs extrémités.

Au Territet-Glion, les pentes de 30 à 57 % exigeaient des précautions plus énergiques. Les traverses en fer sont supportées par des gradins en maçonnerie de libage soigneusement appareillés (fig. 17 et 18). Elles sont enchâssées dans des selles en fonte fixées dans la maçonnerie.

Nous avons diminué la poussée que les tabliers métalliques sous voie exercent contre leur culée aval, en munissant les extrémités des poutres porteuses de sabots triangulaires en fonte. Ces sabots sont boulonnés fortement aux poutres et reposent sur des assises horizontales qui couronnent les culées. Dans ces conditions, les poids des trains et du tablier ne produisent que des réactions verticales. La dilatation du tablier et la réaction de la crémaillère produisent seules des poussées obliques contre la culée aval.

La plupart des chemins de fer funiculaires qui ne reçoivent sur leurs rails que leurs propres vagons ont une voie de 1 m. de largeur ; les vagons ont 2m20 de largeur maximale, ce qui ne donne que quatre places de voyageurs par banquette transversale. Nous proposerions plutôt une largeur de voie de 1m15, ce qui permettrait de donner aux voitures 2m55 de largeur maximale. On aurait ainsi des banquettes de cinq places.

Cette disposition donnerait aussi un peu plus d'espace pour les caisses à eau placées sous le vagon.

Il est assez généralement admis que le tracé des chemins funiculaires doit être rectiligne en plan, cependant la plupart des chemins construits présentent des voies courbes aux abords de la voie d'évitement et il n'en résulte aucun autre inconvénient qu'une augmentation d'usure du câble.

Nous avons vu au § 5 *b* que l'augmentation de travail moteur et de tension du câble produite par une courbe est peu considérable.

Nous en concluons que l'on pourrait desservir par un câble des tracés sinueux à la condition expresse de raccorder les changements de pente aux abords de ces courbes selon les prescriptions énoncées dans notre § 4.

Le croisement des trains s'opérant nécessairement au milieu du trajet, on peut réduire la largeur de la plate-forme en amont et en aval de la voie d'évitement. La fig. 19 indique la disposition adoptée au plan incliné du Giessbach. La voie est unique en dessus et en dessous de la voie d'évitement, ce qui réduit au minimum les frais de construction de l'infrastructure, mais cette disposition exige que le câble traverse les rails dans une rainure ; il faut aussi quatre croisements de la crémaillère et du rail, avec deux pièces de bifurcation.

En outre, afin d'éviter des aiguillages, on a placé les boudins des roues de l'un des trains à l'extérieur de la voie. Les bifurcations de rails et leurs croisements ont des rainures spéciales.

Les voies du Lausanne-Ouchy sont disposées comme l'indique la fig. 20. La voie d'évitement n'exige ainsi qu'une pointe de cœur, le câble ne traverse pas le rail et l'on peut faire circuler des vagons provenant des chemins de fer ordinaires.

Au Territet-Glion, la voie présente en amont et en aval du croisement la disposition représentée fig. 17.

§ 11. Tambours et poulies.

Outre les galets qui soutiennent et dirigent le câble sur la voie, les chemins de fer funiculaires présentent des poulies et des tambours de divers genres, placés au haut du plan incliné. Lorsque le câble est sans fin ces organes sont placés en un point quelconque de la ligne.

Nous avons vu qu'il n'est pas possible de déterminer l'influence de ces poulies sur la tension moléculaire du câble, mais il est évident que plus leur diamètre est grand, moins est importante leur influence sur la fatigue et l'usure des fils.

L'usage paraît s'être établi de donner aux tambours et poulies un diamètre centuple de celui du câble, tandis que dans les transmissions télèdynamiques ce diamètre est de 150 à 200 fois celui du câble.

Voici quelques renseignements :

Au Lausanne-Ouchy les poulies de renvoi ont 3 m. de diamètre, soit 94 fois le diamètre du câble et 1500 fois celui des fils.

Le tambour moteur a 6 m. de diamètre.

Au Territet-Glion la poulie principale a $3^{m}57$ de diamètre, soit 108 fois celui du câble et 1880 fois le diamètre des fils.

Au Giessbach elle a 3 m. de diamètre, soit 130 fois celui du câble et 1500 fois celui des fils.

A Saillon les moufles ont $2^{m}20$ de diamètre, soit 50 fois le diamètre du câble et 1333 fois celui des fils.

Les tramways de San-Francisco ont des poulies et tambours dont le diamètre est de 96 à 100 fois celui du câble.

Les gorges des poulies et la surface des tambours doivent être garnies de cuir, de bois ou d'un alliage plus doux que le fer et facile à remplacer. Dans nombre de cas, il est indispensable de placer des guides fixes près de la gorge des poulies, afin que le câble n'en puisse sortir.

Lorsque le câble est actionné par un moteur fixe, la tension du brin montant est plus forte que celle du brin descendant, et la poulie ou tambour ne pourrait entraîner le câble si le rapport entre ces deux tensions était plus grand que e élevé à la puissance $f\,\frac{s}{r}$, f désignant le coefficient de frottement, s la longueur de l'arc embrassé par le câble et r le rayon de la poulie.

Lorsque le câble est enduit de goudron, f ne dépasse guère 0,06, ainsi que nous l'avons constaté au tambour du Lausanne-Ouchy. On sait que e base des logarithmes népériens $= 2{,}718$.

Une poulie embrassée sur les $^3/_4$ de sa circonférence ne pourra entraîner le câble que lorsque la tension T du brin le plus tendu sera inférieure à 1,33 t.

t désignant celle de l'autre brin.

Pour des tensions supérieures on devra, ou bien augmenter la valeur de f, comme l'a fait Fowler, en munissant de pinces la gorge de la poulie, ou bien employer un tambour sur lequel le câble fait plusieurs tours, ce qui augmente le facteur $\frac{s}{r}$

Désignons par n le nombre de tours nécessaires, le rapport $\frac{s}{r} = \frac{2\pi r n}{r} = 2\pi n$ et l'on a

$$\frac{T}{t} = e^{2\pi n f} \text{ d'où } n = 6{,}091 \log \frac{T}{t}$$

On a cherché à augmenter l'adhérence du câble en donnant à la gorge une section en forme de coin dans lequel il se serre fortement. D'après Reuleaux le rapport $\frac{T}{t}$ pourrait être doublé en donnant à ce coin un angle de 30°. Ce procédé, ainsi que la poulie Fowler, doivent augmenter notablement l'usure du câble.

Au plan automoteur de Saillon la marche des trains est régularisée par un frein agissant sur le câble par l'intermédiaire de deux poulies dont l'une a trois gorges et l'autre deux. Le câble passe de l'une à l'autre comme dans une moufle. Ce système équivaut à un tambour sur lequel le câble ferait $2\,^1/_2$ tours. Il suffit, nous dit-on, même lorsque $T = 5\,t$, ce qui implique une valeur de $f = 0{,}10$ notablement supérieure à celle observée par nous au Lausanne-Ouchy où elle est comprise entre 0,055 et 0,07.

Une disposition analogue à celle de Saillon se trouve au Clay-street-road de San-Francisco, les deux poulies n'ont ensemble que trois gorges qui coincent le câble, mais le rapport des tensions est bien moindre.

Il est probable que l'enduit qui recouvre le câble a une très grande influence sur la valeur de f.

Lorsqu'on employe un tambour, il est nécessaire d'assurer la parfaite régularité de l'enroulement et du déroulement du câble dont les spires occupent successivement toute la longueur du tambour.

La figure 21 représente la disposition adoptée et étudiée par l'ingénieur Ch. Callon, sur notre proposition, pour le tambour du Lausanne-Ouchy.

Deux poulies de 3 m. de diamètre A A reçoivent l'une le brin montant, l'autre le brin descendant.

Leurs paliers reposent sur des glissières B B de 7 m. de portée et sont actionnés par deux vis sans fin.

Leur déplacement est de 40 mm. par tour de tambour ; l'une des poulies est en avance de 160 mm. sur l'autre lorsque le câble fait $4\,^3/_4$ tours sur le tambour C. Bien que les vis aient à supporter la tension du câble, ce système, motivé par les circonstances locales, marche d'une manière satisfaisante.

On a profité du mouvement de translation des poulies pour actionner un indicateur de la marche des trains.

Le tambour est mis en mouvement par un moteur hydraulique de 180 chevaux étudié et fourni par l'éminent ingénieur Ch. Callon. Notre collègue, M. J. Michaud, a apporté des modifications heureuses à la distribution d'eau qui commande les vannes et les freins et a réussi à annuler les coups de béliers. (Voir au *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs* de 1878.)

Engins accessoires. — Le service des gares des chemins funiculaires exige comme les autres chemins de fer des voies auxiliaires pour composer et décomposer les trains. Il en résulte que le câble peut avoir à passer sur des voies transversales pour chariots à niveau et sur des changements de voie. Il suffit de le dissimuler dans des rainures pratiquées dans les rails traversés et il n'en résulte aucun danger ni aucune usure, car ces manœuvres se font pendant l'arrêt des trains.

L'emploi des plaques tournantes est plus compliqué, mais on peut les construire de manière que le câble tombe pendant la manœuvre sous le plateau de la plaque, ce qui permet à celle-ci

un mouvement de rotation d'une fraction de tour. Sur l'initiative de M. l'ingénieur S. Rochat, MM. Bell, à Krienz, ont construit pour le chemin de fer Lausanne-Gare une plaque pareille de 5 m. de diamètre qui fonctionne depuis 1879.

Les voies desservies font entre elles un angle de 46°.

§ 12. Exploitation.

Le système funiculaire est employé dans des conditions différant beaucoup de celles des chemins de fer ordinaires et des tramways et c'est à peine si l'on trouve deux chemins de fer à câble qui se ressemblent ; il serait donc inutile de chercher à formuler, soit des règles d'exploitation soit des évaluations de dépenses kilométriques ou par journées de voiture comme on le fait pour d'autres chemins de fer.

Nous nous bornerons donc à donner ici quelques renseignements.

Marche des trains. — La vitesse de marche des trains a peu d'importance sur les courts trajets que desservent la plupart des funiculaires.

On se borne à accomplir la course en moins de temps qu'un piéton ou une voiture ne pourraient le faire sur les routes qui relient les points extrêmes du tracé.

Il n'y a intérêt à précipiter la marche que lorsque les trains doivent se succéder sans interruption pour suffire à un grand trafic.

On juge prudent de marcher lentement sur les fortes pentes, afin de diminuer la puissance vive du train descendant et d'augmenter ainsi l'efficacité des freins, si le câble venait à rompre, mais on ne saurait établir une relation mathématique entre la vitesse maximale et la pente.

La rupture d'un câble est, en effet, un phénomène anormal et excessivement rare dans une exploitation bien conduite et l'action utile des freins de détresse dépend non seulement de la vitesse acquise par le train descendant, mais de la manière dont on les serre, ainsi que du poids des trains et des sinuosités de la voie. Voici quelques données :

— Le Lyon Croix-Rousse, marche à raison de 2 m. par seconde sur sa pente de 0,16.

Au Lausanne-Ouchy la vitesse est de 4 m. sur la pente de 0,056 et de 3 m. sur celle 0,12.

Au Giessbach la vitesse est de 1 m., la pente de 0,32.

Au Territet-Glion elle est de $1^{m}20$ à $1^{m}60$; la pente est de 0,30 à 0;57.

Les tramways de Saint-Francisco marchent avec une vitesse de $2^{m}70$, leur pente est de 0,16 à 0,19.

Au Saillon où la pente est de 0,80, la vitesse est de 0,50.

Personnel. — Le nombre et la qualité des employés attachés aux gares et stations dépend du genre de trafic du chemin de fer, du système du contrôle des taxes perçues et du mode de signaux adoptés pour commander la marche des trains.

A cet égard, on pourra faire des économies importantes en n'ayant qu'une classe de voyageurs et qu'une taxe de parcours, ce qui permettra l'emploi de tourniquets compteurs. Une simple sonnerie électrique fournit un nombre suffisant de signaux pour tous les besoins du service et peut être manœuvrée par un garde-frein.

Nous avons appliqué ce système au chemin de fer Lausanne-Gare où il fonctionne depuis sept ans.

Il pourrait être adopté sur des lignes plus importantes. Ce n'est, en effet, pas rationnel de dépenser annuellement de grosses sommes en achats de billets et en salaire de contrôleurs et distributeurs, pour éviter la perte possible de très petites sommes par l'infidélité éventuelle d'un employé.

Les tourniquets compteurs fonctionnant en public, celui-ci contrôle inconsciemment la régularité des opérations.

Personnel des trains. — Chaque frein devant pouvoir être serré promptement, les garde-freins ne peuvent être chargés d'autres fonctions pendant la marche des trains.

Au Territet-Glion chaque voiture a deux freins à main et est montée par deux garde-freins destinés à se suppléer si, au moment critique, l'un d'eux venait à manquer de présence d'esprit, et si le frein automateur ne suffisait pas.

Au Lausanne-Ouchy les trains sont composés de plusieurs voitures tournées de manière que les manivelles des freins de deux voitures soient justaposées. Un garde-frein suffit ainsi pour deux voitures.

Dépenses d'exploitation. — Les dépenses spéciales au système funiculaire sont celles d'entretien et d'amortissement du câble, des galets et poulies et parfois d'un moteur fixe.

Les autres dépenses sont similaires à celles des chemins de fer ordinaires ou des tramways, hormis celles provenant des locomotives ou des chevaux.

Le Lausanne-Ouchy a dépensé en moyenne 54 200 fr. par an pour son exploitation, non compris le service du capital de construction.

Sa recette moyenne a été de 84 000 fr. pour le transport des voyageurs et bagages et de 10 300 fr. pour le transport des marchandises. Le nombre des voyageurs est annuellement de 400 000 environ.

Le Lausanne-Gare a dépensé en moyenne 15 000 fr. par an. Sa recette a été de 11 000 fr. pour les voyageurs et bagages et de 28 400 fr. pour les marchandises.

Il transporte annuellement 120 000 voyageurs.

Le Territet-Glion a dépensé pendant sa seconde année d'exploitation 29 200 fr. non compris le service du capital. Ses recettes ont été de 64 000 fr. pour transport de 80 000 voyageurs, 14 tonnes de marchandises et 103 tonnes de bagages.

Taxes de transport. — Ici encore il ne peut être question de proportionner la taxe à la longueur de la ligne. Le service rendu aux voyageurs et aux marchandises consiste le plus souvent à leur faire franchir rapidement une grande hauteur.

Le Territet-Glion qui élève ses vagons à 320 m. de hauteur est bien fondé à demander une taxe plus haute que le Lausanne-Ouchy qui ne les élève que de 100 m. ; il est cependant bien plus court. Il est aussi bien moins exposé à avoir des concurrents sur les longs lacets de la route ordinaire.

Le premier de ces chemins de fer demande aux voyageurs 1 franc pour la simple course, le second 0,25.

Au Giessbach on demande 1 fr. pour franchir 96 m. de hauteur, ce qui se justifie par le petit nombre de mois pendant lesquels il transporte des touristes.

Le Lausanne-Gare ne demande que 0,10 pour un trajet aussi long, mais il ne franchit qu'une hauteur de 32 m. et fonctionne toute l'année.

Conclusion.

Dans les lignes qui précèdent nous avons mentionné très souvent les funiculaires de Lausanne; ce sont ceux, en effet, que nous connaissons le mieux, ayant coopéré, comme chef du bureau technique, à leur construction et aux premiers temps de leur exploitation. Nous ne terminerons pas cet exposé sans rappeler que ces travaux ont été exécutés sous la haute direction de l'ingénieur J.-J. Lochmann et de notre ingénieur en chef E. Cuénod.

Nous espérons que ceux de nos collègues qui se sont occupés de chemins funiculaires voudront bien faire connaître les résultats de leur travaux et de leur expérience. Ce sera tout profit pour les progrès nombreux qui restent à accomplir.

La traction par câble est employée depuis un assez grand nombre d'années sans avoir occasionné d'accidents graves, pour qu'on puisse la considérer comme aussi peu dangereuse que n'importe quel système de traction sur voie ferrée. Son application présente quelques sujétions de tracé que nous avons définies et quelques complications dans la composition et décomposition des trains; elle se prête souvent malaisément aux traversées à niveau des voies charetières ou ferrées.

D'autre part, elle donne parfois le seul moyen de desservir des localités escarpées et d'utiliser avec les moindres frais des forces hydrauliques, et même des cours d'eau sans pression.

L'ingénieur sera donc amené à en étudier l'application, ne fût-ce que pour la comparer avec d'autres systèmes qui ont eux aussi leur sujétions et leurs avantages.

Lausanne, mars 1887.

EXPLOITATION DE LA GLACE DES LACS
DE LA VALLÉE DE JOUX

par G. Duvoisin, ingénieur.

Les glacières des lacs de Joux sont situées au bord du lac Brenet, sur un terrain contigu à celui de la gare du Pont.

Elles se composent de deux grands corps de bâtiment occupant 3400 mètres carrés de surface, et pouvant contenir 30 000 mètres cubes de glace.

Ces bâtiments sont construits en bois, sur un petit socle en maçonnerie.

Les pignons font face au lac et à la voie ferrée; la couverture est en tuiles; ils ont 11 mètres de hauteur du socle au plafond.

Leur construction est très simple; une série de fermes en charpente de 10 mètres d'ouverture, et à 5 mètres les unes des autres, sont portées sur des poteaux de 11 mètres de hauteur. Sur les poteaux extérieurs on a cloué deux parois en planches, l'une extérieure au poteau, l'autre intérieure; entre ces deux parois on a mis de la sciure de bois, qui forme une couche isolante de 25 centimètres d'épaisseur, permettant de conserver la glace très longtemps avec fort peu de déchet.

Il est à remarquer que la fonte en glacière est faible, comparée à celle qui se produit pendant le transport.

L'exploitation de la glace se fait actuellement comme suit:

Quand on a choisi sur le lac l'emplacement qu'on veut exploiter, on fait un canal entre ce point et les glacières; on choisit l'endroit où la glace est la plus transparente et la plus épaisse.

Au moyen de scies à main, maniées par deux hommes, on coupe les deux bords du canal; la première glace emmagasinée est celle qui en provient. On découpe ensuite avec les mêmes scies des radeaux de glace rectangulaires, que l'on flotte jusque près des bâtiments; là on trace sur ces radeaux avec un bâton ferré des bandes de 50 à 60 centimètres de largeur, et on les fait passer, ainsi marqués, sous un petit pont, sur lequel se tiennent debout cinq ou six hommes, armés de bâtons ferrés très lourds et très pointus. Les hommes piquent à coups redoublés sur la première marque faite, et une première bande ne tarde pas à se détacher. L'opération se renouvelle autant de fois qu'il y a de traits marqués, et tout le radeau se trouve divisé en glaçons d'égale longueur.

Ces glaçons sont flottés, et passent devant des hommes armés de haches, qui les recoupent en morceaux aussi réguliers que possible.

Ce sont ces morceaux, dont le poids peut atteindre 100 kg. suivant l'épaisseur de la glace, qu'il s'agit d'entasser dans les glacières.

Au début, on installait sur la berge des glissoirs allant du lac aux bâtiments; le premier d'entre eux plongeait dans l'eau du canal.

Ces glissoirs une fois posés, on répartissait, à droite et à gauche, à une distance d'autant plus grande que la pente était moins rapide, des hommes armés de crochets en fer.

Les deux hommes placés au bas du glissoir, aidés des flotteurs avec leurs gaffes, harponnaient les blocs flottants et les engageaient sur le glissoir; leurs camarades échelonnés derrière eux continuaient le mouvement, jusqu'à ce que les blocs furent arrivés en glacière, à l'endroit où ils devaient être empilés.

On comprend facilement que, lorsque le lac était bas, et que la hauteur de la glace augmentait dans les bâtiments, ce travail devenait difficile et très coûteux.

On ne pouvait empiler, par ce moyen, qu'une hauteur de 5 mètres de glace, le reste se remplissait au moyen de deux monte-charges à manège, avec benne montante et descendante.

Les blocs de glace tirés sur glissoirs, arrivaient au pied du monte-charge, à la hauteur du seuil des glacières, et on les mettait un à un dans les bennes.

Un seul de ces monte-charges ne pouvait élever plus de 150 mètres cubes par jour.

L'exploitation de la glace devant pouvoir se faire très rapidement, suivant les conditions climatériques dans lesquelles on se trouve, il aurait fallu multiplier le nombre de ces monte-charges pour arriver dans les délais voulus.

Avec l'extension donnée aux glacières par la construction du chemin de fer, il fallait trouver un moyen plus expéditif et moins coûteux pour les remplir; on a eu l'idée de faire un élévateur à plan incliné, qui n'est en réalité qu'une drague fixe appropriée au genre de matériaux qu'il faut élever.

Cet élévateur se compose:

1° D'une élinde en tôle et cornières, soit deux grandes poutres de 36 mètres de longueur, étrésillonnées et contreventées, reposant dans la partie inférieure sur un point d'appui mobile, permettant de suivre les variations du niveau du lac.

2° De deux chaînes de maillons glissant en montant sur chacune des semelles supérieures de la poutre, et en descendant sur les semelles inférieures. Ces chaînes de maillons portent tous