

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 14 (1888)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Chemins de fer funiculaires: recherches sur la tension, le flottement et la compensation du poids des cables  
**Autor:** Ladame, Henri  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-14453>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 13.04.2026

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

# BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

## DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT 8 FOIS PAR AN

**Sommaire :** Chemins de fer funiculaires, par Henri Ladame, ingénieur. — Le percement des grands tunnels sous les Alpes. Note historique par J. Meyer, ingénieur. (Première partie.) — Niveau des eaux des lacs du Jura. (Réd.)

### CHEMINS DE FER FUNICULAIRES

RECHERCHES SUR LA TENSION  
LE FLOTTEMENT ET LA COMPENSATION DU POIDS DES CABLES  
par HENRI LADAME, ingénieur.

#### I

#### Considérations générales. Courbe des tensions.

La courbe théorique que forme une corde suspendue librement par ses extrémités, est une chaînette qui a pour équation :

$$y = \frac{b}{2} \left( e^{\frac{x}{b}} + e^{-\frac{x}{b}} \right)$$

mais les câbles ne possèdent pas une flexibilité parfaite, en sorte que cette équation ne représente pas rigoureusement la courbe qu'ils décrivent. Cette considération suffit à elle seule pour justifier l'emploi d'une formule plus simple, qu'on obtient en ne tenant compte que d'un certain nombre des termes de la série

$$e^{\frac{x}{b}} = 1 + \frac{x}{b} + \frac{x^2}{2b^2} + \dots$$

En développant cette série jusqu'au troisième terme, ce qui donne une approximation suffisante, ainsi que nous le verrons plus loin, on arrive à une expression de la forme

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2c}$$

équation d'une parabole rapportée à son sommet, et dont le paramètre est  $2c$ .

Si l'on prend pour origine le point A dont les coordonnées sont  $a$  et  $h$  (fig. 1)

$$x_1 = a - x \quad y_1 = h - y \quad c = \frac{a^2}{2h}$$

et l'on a pour équation générale de la courbe cherchée :

$$y = \frac{2h}{a}x - \frac{h}{a^2}x^2$$

Soit  $T$  l'effort de traction qu'un câble librement suspendu exerce sur ses points d'attache supposés de niveau.

$H$  et  $V$  les composantes horizontale et verticale de cette force.

$\alpha$  l'angle qu'elle fait avec l'horizon.

$p$  le poids du câble par mètre courant.

$2L$  la longueur de ce câble.

$a$  et  $h$  les coordonnées du point S, sommet de la parabole qu'il décrit.

Le poids du câble étant  $2pL$ , et la longueur de l'arc AS,

$$L = a + \frac{2}{3} \frac{h^2}{a}$$

$$V = T \sin \alpha = pL = p \left( a + \frac{2}{3} \frac{h^2}{a} \right) \quad (1)$$

et

$$H = T \cos \alpha = \frac{a}{2h} V \quad (2)$$

d'où

$$\frac{T}{p} = \left( \frac{a}{2h} + \frac{h}{3a} \right) \sqrt{4h^2 + a^2}$$

pour un point C quelconque,  $H$  étant constant,  $V' = \frac{a}{h} \frac{h'}{a'}$  V

et

$$T' = V \frac{a}{h} \sqrt{\left( \frac{h'}{a'} \right)^2 + \frac{1}{4}}$$

mais

$$\frac{h'}{a'} = \frac{h}{a^2} (a - x')$$

d'où

$$T' = V \frac{a}{h} \sqrt{\frac{h^2}{a^4} (a - x')^2 + \frac{1}{4}}$$

pour  $x' = a$

$$T_0 = H = p \left( \frac{a^2}{2h} + \frac{h}{3} \right) \quad (3)$$

$T' - H$  varie donc de 0 à  $T - H$ . Cette force est la composante, suivant la tangente à un point donné, du poids de la partie du câble comprise entre le sommet de la courbe (S) et le point considéré.

$q'$   $q''$   $q'''$  étant les composantes du poids des différents éléments  $ds$  d'une courbe quelconque, suivant leur inclinaison  $\varepsilon'$   $\varepsilon''$   $\varepsilon'''$

$$q' = p ds \sin \varepsilon'$$

$$q'' = p ds \sin \varepsilon''$$

$$q''' = p ds \sin \varepsilon'''$$

⋮

$$T - H = \Sigma (q) = p \int \sin \varepsilon ds$$

or

$$tg \varepsilon = \frac{dy}{dx} \quad \text{d'où} \quad \sin \varepsilon = \frac{dy}{dx \sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2}}$$

ayant

$$ds = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$T - H = p \int_0^h dy = ph$$

et

$$H = T - ph$$

on a également

$$T' - H = ph' \quad \text{ou} \quad T' = T - p(h - h')$$

mais

$$h - h' = y'$$

d'où

$$T' = T - py' \quad (4)$$

L'effort de traction en un point quelconque est donc égal à l'effort maximum  $T$ , moins le poids du câble par mètre courant multiplié par l'ordonnée du point considéré.

Cette formule étant indépendante de la forme de la courbe s'applique également à une droite, ou à n'importe quel profil admis pour un plan incliné.

Soit de plus  $t$  la tension maximale par millimètre carré de section métallique.

$q$  la section totale des fils qui composent le câble.

$\gamma = 0,0000078$  le poids du millimètre cube des fils de fer ou d'acier.

$0,00000056$  constante, tenant compte de l'érouissage des fils par suite de leur torsion, et du poids du chanvre qui forme l'âme, pour câbles de 32 à 33 mm. de diamètre.

La longueur des fils étant les  $\frac{9}{8}$  environ de celle du câble

$$p = \frac{9}{8} 1000 (\gamma + 0,00000056) q$$

ou

$$p = 0,0094 q$$

mais

$$T = tq$$

Divisant ces équations l'une par l'autre

$$\frac{T}{p} = \frac{t}{0,0094} \quad (5)$$

d'où

$$\left. \begin{aligned} t &= 0,0094 \frac{T}{p} \\ p &= 0,0094 \frac{T}{t} \\ q &= \frac{T}{t} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

on a de même

$$\frac{T'}{p} = \frac{t'}{0,0094} \quad \text{mais} \quad \frac{T'}{p} = \frac{T}{p} - y'$$

d'où

$$t' = t - 0,0094 y' \quad (7)$$

La tension en un point quelconque d'un plan incliné est donc égale, quelque soit son profil, à la tension maximale admise pour la traction, moins 0,0094 fois l'ordonnée du point considéré.

$$\text{pour } y' = 0 \quad t' = t$$

$$\text{» } y' = h \quad t' = t - 0,0094 h = t_0$$

En portant  $t' - t_0$  comme ordonnée pour chaque  $x$  correspondant on obtiendrait la courbe des tensions  $A' B' S'$  (fig. 1). Cette courbe est également une parabole dont le paramètre

$$2c = \frac{a^2}{0,0094 h}$$

Nous avons vu que  $V' = \frac{a}{h} \frac{h'}{a'} V$  et  $\frac{h'}{a'} = \frac{h}{a^2} (a - x')$

d'où

$$V' = V - \frac{V}{a} x'$$

$V$  et  $a$  étant constants, le lieu géométrique des composantes verticales est une ligne droite.

De l'équation 1, on peut déduire le poids, et par suite la longueur d'un arc quelconque de la parabole décrite par le câble à partir du point A.

Ayant

$$a' = a - x$$

$$tg \alpha' = 2 \frac{h - y}{a - x}$$

on a

$$V - V' = (L - L') p$$

et

$$L - L' = x + \frac{a tg^2 \alpha - a' tg^2 \alpha'}{6}$$

(A suivre.)

## LE PERCEMENT DES GRANDS TUNNELS

SOUS LES ALPES

Note historique par J. MEYER, ingénieur.

Au moment où la question du percement du Simplon est sur le point de passer dans le domaine de l'exécution, une revue rétrospective des conditions dans lesquelles se sont effectués les grands percements faits jusqu'ici, peut présenter un certain intérêt.

### Mont Cenis.

La première idée de franchir le mont Cenis ou plutôt le col de Fréjus par un chemin de fer reliant la Savoie (Maurienne) au Piémont est due à Joseph Médail, de Bardonnèche, commissaire aux douanes, puis entrepreneur de routes à Lyon (1828). Dès 1832, il s'occupait de cette étude, traçant des plans, relevant les distances entre Bardonnèche et Modane. Il avait relevé l'endroit où le massif des Alpes offre le moins d'épaisseur.

Médail avait fait de ce tunnel le rêve de sa vie. Dans le projet qu'il rédigea, il traversait les Alpes au même point qui fut choisi plus tard par les ingénieurs. C'est le 20 juin 1841 qu'il présenta son projet au gouvernement sarde, mais il plaçait le tunnel plus haut de manière à ne lui donner que 5000 m. environ de longueur; personne, à ce moment, n'aurait osé songer à percer un tunnel de plus de 12 km. avec deux seules attaques possibles.

Ce n'est qu'en 1845 qu'on commença à s'occuper sérieusement de ce percement. A cette époque on exécutait le chemin de fer de Gènes à Turin qui comportait le plan incliné du Giovi, à la traversée des Apennins, avec des rampes de 35 mm. M. Henri Maus, ingénieur belge (le constructeur du plan incliné de Liège), fut chargé de la direction de la construction de ce chemin de fer et de l'étude des moyens de franchir ce plan incliné de 10 km. de longueur. M. Maus qui avait construit le plan incliné de Liège, proposait aussi pour l'exploitation de celui-ci un câble de remorque mû par des roues hydrauliques.

Pendant que M. Maus construisait la ligne de Gènes à