

**Zeitschrift:** Die Eisenbahn = Le chemin de fer  
**Herausgeber:** A. Waldner  
**Band:** 16/17 (1882)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Formules pour déterminer la hauteur à partir de laquelle un mur de soutènement est plus avantageux qu'un remblai ou qu'une tranchée avec talus correspondant à la nature des terres dont ils se composent  
**Autor:** Crugnola, Gaetano  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-10280>

#### **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:** 30.01.2026

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

## Formules

pour déterminer la hauteur à partir de laquelle un mur de soutènement est plus avantageux qu'un remblai ou qu'une tranchée avec talus correspondant à la nature des terres dont ils se composent.

Lorsqu'on doit examiner si la construction d'un mur de soutènement est plus économique que celle d'un remblai ou d'une tranchée dans les conditions ordinaires et que cet examen se présente souvent dans l'étude d'un projet de route ou de chemin de fer, on peut établir une formule comprenant le coût des terrains à acquérir, des déblais à exécuter, des transports qui en sont la conséquence etc., puis une deuxième formule renfermant les dépenses nécessaires à la construction du mur telles que: fouilles, fondations, maçonnerie de parement etc. — La combinaison de ces deux formules permettra de construire une courbe de chaque prix déterminé du terrain par unité superficielle, et, ensuite, la courbe des économies maxima que la construction d'un mur permet de réaliser; — les abscisses seront, bien entendu, les distances à un point fixe, par exemple, à un point de l'axe du chemin de fer pour lequel on veut construire le mur.

Les formules en question peuvent s'établir comme ci-après:

### I. Cas d'un remblai.

Considérons le remblai de la fig. 1, sur une unité de longueur, normalement au plan du dessin; son établissement exige une certaine quantité de terre et l'occupation d'une surface déterminée de terrain, plus une partie *AF* comme zone de garantie.

En remplaçant le remblai par un mur, on économise:

1<sup>o</sup> un cube de remblai représenté par le prisme qui a pour section *ACDE* et

2<sup>o</sup> une portion de terrain à occuper d'une largeur *GF*.

On sera en revanche obligé de faire un déblai dont la section est *HCGI* et un volume prismatique de maçonnerie d'une section égale à *HDLI*.

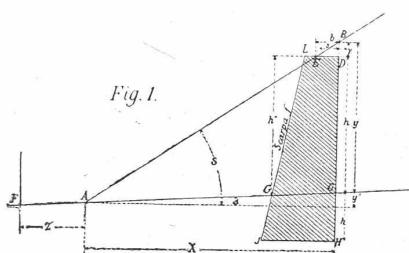


Fig. 1.

Désignons par:  
*h* et *h'* la hauteur du mur et la profondeur des fondations,  
*s<sub>c</sub>* l'épaisseur du mur en couronne,  
*b* la partie de *s<sub>c</sub>* recouverte par le remblai,  
*f* le fruit de la face antérieure du mur,  
*x* la distance entre la face intérieure du mur et le pied du remblai,  
*y* la différence de niveau entre les points d'intersection de la face intérieure du mur avec le terrain naturel et du prolongement de cette face avec le talus,  
*y'* la hauteur du point *C* au-dessus de l'horizontale,  
*v* la hauteur du point *B* au-dessus du sommet du mur,  
*z* la largeur de la zone de garantie,  
*φ* l'angle d'inclinaison du talus du remblai,  
*α* l'angle d'inclinaison du terrain naturel.

De la figure 1 on déduit:

$$y = h + v = h + b \tan \varphi$$

$$x = \frac{y + y'}{\tan \varphi}$$

$$y' = x \tan \alpha.$$

En substituant dans la deuxième équation les valeurs de *y* et *y'* fournies par les autres, on obtient

$$x = \frac{h + b \tan \varphi}{\tan \varphi + \tan \alpha} \quad (1)$$

La construction du mur nécessite par mètre courant: un volume *V'* de maçonnerie de fondation donné par la formule

$$V' = h' \left\{ s_c + f \left( h + \frac{h'}{2} \right) \right\},$$

et un volume *V* de maçonnerie en élévation donné par la formule

$$V = h \left( s_c + \frac{hf}{2} \right).$$

Si l'on supprime le mur on aura pour le remblai une augmentation correspondant au prisme dont la section est *CDEA* savoir

$$\frac{xy}{2} - \frac{bv}{2}$$

et, pour la surface du terrain occupé, une augmentation donnée par la formule

$$z + x - s_c - hf$$

dans laquelle on néglige la pente du terrain naturel sous le remblai. Si cependant on voulait en tenir compte il suffirait de remplacer le terme *hf* par

$$\frac{h + s_c \tan \alpha}{1 - f \tan \varphi} f.$$

Appelons *p'* le coût de l'unité de volume de maçonnerie de fondation, fouilles comprises et *p* celui de l'unité de volume de maçonnerie en élévation, les sujétions inhérentes aux parements comprises, *K* le coût de l'unité cubique de remblai toutes mains d'œuvre accessoires comprises, et *Z* celui de l'unité superficielle du terrain occupé. Pour que la construction du mur offre une économie par rapport à l'exécution du remblai, on devra avoir:

$$Vp + V'p' < (xy - bv) \frac{K}{2} + (z + x - s_c - hf) Z$$

et à la limite

$$Vp + V'p' = (xy - bv) \frac{K}{2} + (z + x - s_c - hf) Z.$$

En remplaçant les qualités *V*, *V'*, *y* et *x* et en faisant par brièveté

$$\tan \varphi - \tan \alpha = M$$

on aura

$$ph \left( s_c + \frac{h}{2} f \right) + p'h' \left\{ s_c + f \left( h + \frac{h'}{2} \right) \right\} = \frac{K}{2} \frac{(h + b \tan \varphi)^2}{M}$$

$$+ Z \left( z + \frac{h + b \tan \varphi}{M} - s_c - hf \right). \quad (2)$$

Réduisant et coordonnant par rapport à *h* on obtient l'équation

$$h^2 + h\beta - \gamma = 0 \quad (3)$$

dans laquelle *β* et *γ* ont les valeurs suivantes:

$$\beta = 2 \frac{M(ps_c + p'h'f + Zf) - Kb \tan \varphi - Z}{pfM - K}$$

$$\gamma = 2 \frac{bt \tan \varphi \left( \frac{K}{2} bt \tan \varphi + Z \right) + M \left( Z(z - s_c) - h'p' \left( s_c + \frac{h'}{2} f \right) \right)}{pfM - K}$$

La résolution de cette équation donne la valeur de *h* pour laquelle les deux dispositions nécessitent des dépenses égales; cette valeur est:

$$h = - \frac{\beta}{2} \pm \sqrt{\frac{\beta^2}{4} + \gamma}$$

pour toute autre valeur *h<sub>1</sub>* supérieure à *h* on obtiendra une économie en construisant le mur; l'équation (2) mise sous la forme suivante donnera le montant de cette économie:

$$E = \frac{K}{2} \frac{(h + b \tan \varphi)^2}{M} + Z \left( z + \frac{h + b \tan \varphi}{M} - s_c - hf \right)$$

$$- ph \left( s_c + \frac{h}{2} f \right) - p'h' \left\{ s_c + f \left( h + \frac{h'}{2} \right) \right\}$$

On portera toutes les valeurs de  $E$  correspondantes aux valeurs que peut recevoir  $h_1$ , comme ordonnées au-dessus d'un axe  $MN$  (fig. 3); les abscisses seront les valeurs de  $x$  correspondantes à  $h_1$  et obtenues au moyen de la formule (1) dans laquelle on remplacera  $h$  par  $h_1$ .

En substituant à  $h$  dans le deuxième membre de l'équation (2) sa valeur donnée par la formule (1) et en réduisant, on obtient une équation qui, pour chaque distance  $x$  donne le montant  $A$  des dépenses de construction nécessaires pour l'exécution du remblai. Voici cette équation :

$$A = x^2 \frac{K}{2} M + x Z (1 - f M) + Z (z - s_c + f b \tan \varphi) \quad (4)$$

Cette équation permet de construire la courbe des valeurs de  $A$  pour une certaine valeur de  $Z$  (Fig. 3) en faisant  $x$  successivement égal à différentes longueurs; — si maintenant on fait varier aussi la valeur de  $Z$  on obtiendra une série de courbes qui couperont dans leur développement l'axe  $NVN$ . Or, aussi longtemps que les courbes se trouvent au-dessus de cet axe (Fig. 3) il y a économie à construire le mur; au-dessous il y a augmentation de dépense à le faire.

$h'$  la profondeur de ses fondations,  
 $s_c$  son épaisseur en couronne,  
 $f$  le fruit du parement extérieur,  
 $a$  la profondeur du pied  $A$  du mur par rapport à la surface supérieure du terrain,  
 $x$  et  $y$  les coordonnées du point de rencontre du talus avec le terrain naturel, dans le cas où le mur ne se construise pas,  
 $x'$  et  $y'$  les mêmes pour le cas de la construction du mur,  
 $\alpha$  l'angle d'inclinaison du terrain naturel,  
 $\varphi$  l'angle d'inclinaison du talus.

De la fig. 2 on déduit

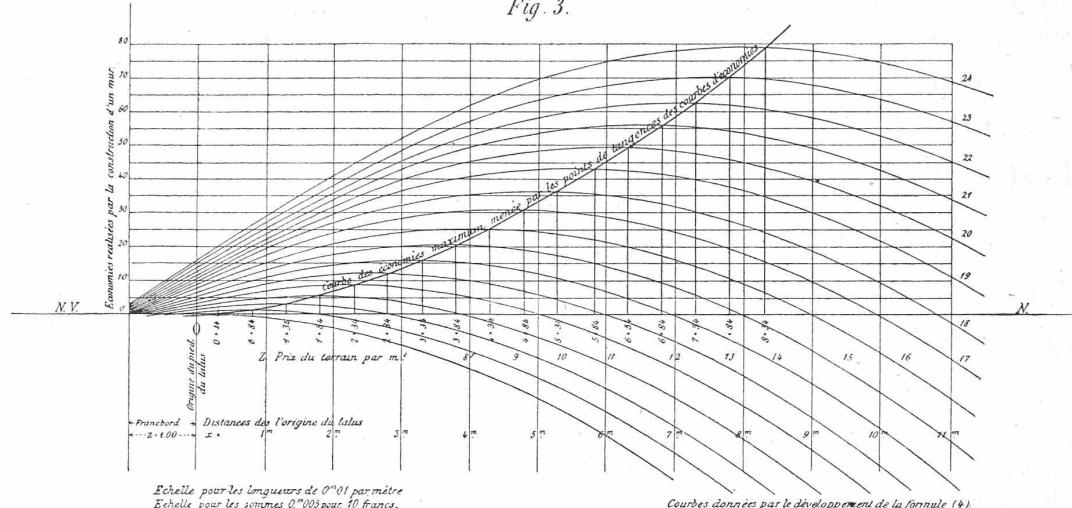
$$x = \frac{a}{\tan \varphi - \tan \alpha}$$

$$y = \frac{a \tan \varphi}{\tan \varphi - \tan \alpha}$$

de même que

$$x' = \frac{a + h (\tan \varphi - 1)}{\tan \varphi - \tan \alpha}$$

Fig. 3.



La fig. 3 représente un cas spécial que nous avons eu à traiter plusieurs fois dans notre pratique.

Pour obtenir la hauteur  $h_1$  à laquelle la construction d'un mur produit le maximum d'économies, on pourra procéder analytiquement comme ci-après :

En faisant

$$h^2 + h \beta - \gamma = B$$

on a une expression proportionnelle à l'économie que l'on atteint; par conséquent pour obtenir le maximum des économies on fera :

$$\frac{dB}{dh} = 2h + \beta = 0$$

d'où

$$h_1 = -\frac{\beta}{2}.$$

Il est bien entendu que la valeur que l'on obtiendra n'est convenable qu'autant que la formule (3) a déjà donné pour  $h$  une valeur positive.

## II. Cas d'une tranchée.

Lorsqu'au lieu d'un remblai, il s'agit d'une tranchée et que, par économie, on est amené à construire un mur  $HGEC$  (Fig. 2) au lieu du talus  $AB$  qui conviendrait à la nature des terres à enlever, on doit chercher jusqu'à quelle hauteur la construction d'un mur peut être convenable.

Le développement des formules nécessaires est tout à fait analogue à celui des formules du cas précédent, par conséquent nous nous bornerons à une simple exposition. Soit donc :

$h$  la hauteur du mur en dehors du terrain naturel,

$$y' = \frac{\tan \varphi \{a + h (\tan \alpha f - 1)\}}{\tan \varphi - \tan \alpha}$$

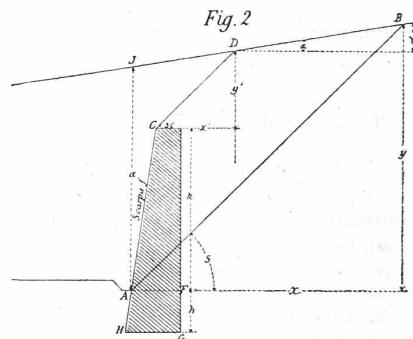
Pour abréger posons

$$f \tan \alpha - 1 = N$$

$$\tan \varphi - \tan \alpha = M.$$

Si l'on n'exécute pas le mur, le déblai nécessaire sera donné (Fig. 2) par la surface  $ABI$ , savoir :

$$\frac{xa}{2} = \frac{a^2}{2M}$$



et si on le construit, le déblai que l'on sera encore obligé de faire se réduit au cube de la maçonnerie plus celui qui a pour section  $ACDI$ , c'est à dire à

$$\frac{a^2}{2M} + \left( \frac{Nh}{2} + a \right) \left( \frac{Nh}{M} + hf \right) + V + V'$$

expression dans laquelle  $V$  et  $V'$  ont conservé leur valeur précédente. Le cube de déblai épargné sera donné par la différence entre cette expression et  $a^2/2M$ ; en outre le terrain occupé diminuera d'une quantité

$$x - x' - hf = \frac{hN}{M} - hf = h \left( \frac{N}{M} - f \right)$$

Si nous représentons par  $p$  et  $p'$  les rapports entre les prix de la maçonnerie en élévation et de fondation et le prix du déblai, par  $Z$  le rapport entre le prix de l'unité superficielle de terrain et celui de l'unité de volume du déblai, nous reconnaîtrons qu'il y a avantage, au point de vue de la dépense, à faire un mur, lorsque nous aurons

$$pV + p'V' < \frac{a^2}{2M} - \left[ \frac{a^2}{2M} + \left( \frac{Nh}{2} + a \right) \left( \frac{N}{M} + f \right) h + V + V' \right] - Zh \left( \frac{N}{M} + f \right)$$

expression à laquelle il suffit de changer le signe  $<$  en  $=$  pour obtenir la valeur de  $h$  qui donne une économie de zéro.

En coordonnant par rapport à  $h$  et en réduisant on obtient l'équation

$$h^2 + h\beta + \gamma = 0 \quad (5)$$

dans laquelle  $\beta$  et  $\gamma$  ont les valeurs suivantes:

$$\beta = \frac{(a + Z) \left( f + \frac{N}{M} \right) + fh' (l + p') + s_c (1 + p)}{fM (N + p + l) + N^2} - \frac{2M}{2M}$$

$$\gamma = \frac{f (l + p') \left( s_c + \frac{h'}{2} f \right)}{fM (N + p + l) + N^2} - \frac{2Mh'}{2M}$$

De l'équation (5) on tire la valeur

$$h = -\frac{\beta}{2} \pm \sqrt{\frac{\beta^2}{4} - \gamma}$$

qui donne la limite de convenance de l'exécution d'un mur. Pour obtenir la hauteur  $h_1$  à laquelle l'économie atteint son maximum, on fera comme dans le cas d'un remblai

$$h^2 + h\beta + \gamma = B$$

d'où, en différentiant

$$\frac{dB}{dh} = 2h + \beta = 0$$

ce qui donne pour  $h$  la valeur

$$h_1 = -\frac{\beta}{2}$$

ici aussi, la valeur obtenue n'est valable que dans le seul cas où la formule (5) a déjà donnée pour  $h$  une valeur positive.

Gaetano Crugnola.

Redaction: A. WALDNER,  
Claridenstrasse Nr. 30, Zürich.

## Vereinsnachrichten.

### Technischer Verein Winterthur.

Vorträge Januar bis Mai 1882.

Sitzung vom 2. Februar.

Vorsitzender: Herr Hirzel-Gysi, Maschineningenieur.

Herr Dr. Rossel, Professor der Chemie am Technikum in Winterthur, macht Mittheilungen über den muthmasslichen Grund der Zerstörung von Bleiröhren in der Erde, die als Umhüllungen von Telegraphendrähten dienen. Herr Dr. Rossel hat festgestellt, dass an einigen Stellen in Winterthur die Bleihülle der Telegraphenkabel in Bleiweiss verwandelt wurde. Den Grund der Bleiweissbildung findet der Vortragende darin, dass an den betreffenden Orten je Kohlensäureentwicklung und Vorhandensein von Alkalien, meist Kalk, constatirt wurde.

In Fernern theilt Herr Dr. Rossel Beobachtungen über das Rosten von

Dampfkesseln und Dampfröhren unter dem Einfluss von Chlorverbindungen, namentlich Chlormagnesium, mit.

Herr Dr. Rossel setzt seine Beobachtungen über die beiden Gegenstände fort und wird später einmal in der „Eisenbahn“ einlässlicher darüber referiren.

Sitzung vom 9. Februar.

Vorsitzender: Herr Hirzel-Gysi, Maschineningenieur.

Mittheilungen von Herrn Dr. Rossel über Verwendung von Eisenoxydsalzen in der Photographie. — Gestützt auf eine Reihe von Experimenten wurde gezeigt, welche chemischen Eisenverbindungen praktisch sich verwenden lassen, namentlich wurde das gewöhnliche Verfahren der Heliographie, die Verwendungen der Eisenverbindungen zum Lichtdruckverfahren und die Umwandlung der blauen Linien in schwarze weiter beleuchtet.

Von Interesse war auch die Mittheilung, dass das neutrale, oxalsaure Kali das Berlinerblau in eine farblose Verbindung überführt. Diese Lösung kann daher als Tinte zum Weisschreiben auf den blauen Heliographien benutzt werden.

Herr Kronauer, Maler, legt eine Reihe selbstverfertigter Lichtdruckbilder vor, die sich durch grosse Reinheit der Ausführung auszeichnen.

Sitzung vom 17. März.

Vorsitzender: Herr Schübler, Maschineningenieur.

Vortrag von Herrn Maschineningenieur J. Weber über Tramways und Tramwaylocomotiven. Nach einigen einleitenden Bemerkungen über Secundär- und Tramwaybahnen beschreibt Redner die Schienen-Profile, -Verbindungen und -Lagerungen, geht dann zu den Wagen und Locomotiven über. Von letzteren werden die mit Heisswasser und mit comprimirter Luft getriebenen einlässlicher beschrieben. Bei beiden Systemen wird die motorische Kraft stationär erzeugt und der Wagen damit geladen.

Sitzung vom 23. März.

Vorsitzender: Herr Hirzel-Gysi, Maschineningenieur.

Vortrag von Herrn Maschineningenieur Zollikofer über Bühneneinrichtungen. Redner bespricht hauptsächlich die Beleuchtung und die Vorsichtsmassregeln gegen Feuersgefahr. Als mustergültig führt er das Münchener Hoftheater auf. Bei einem im Jahre 1879 dort ausgebrochenen Brande bewährten sich sowohl der Regenapparat als auch der eiserne Vorhang sehr gut. — Verschiedene andere in dieser Beziehung gut eingerichtete Bühnen werden erwähnt. Alle diese Einrichtungen haben aber nur dann Werth, wenn sie gut bedient werden.

Sitzung vom 14. April.

Vorsitzender: Herr Hirzel-Gysi, Maschineningenieur.

Vortrag von Herrn Maschineningenieur Weber über Tramwaylocomotiven (Fortsetzung und Schluss). Redner erörtert die Anforderungen, welchen eine rationell construite Tramwaylocomotive genügen soll. An Hand von Zeichnungen werden die Systeme von Merryweather & Sons in England, Krauss in München und das der Schweizer. Locomotiv- und Maschinenfabrik erläutert. Zum Schlusse folgt eine Zusammenstellung der Gewichte, Leistungen, des Kohlen- und Wasserverbrauchs dieser Maschinen.

Sitzung vom 20. April.

Vorsitzender: Herr Schübler, Maschineningenieur.

Vortrag von Herrn Maschineningenieur Lichti über die Kessel der Düsseldorfer Ausstellung. Die Systeme werden an Hand von Zeichnungen erläutert, ebenso zwei ganz aus Eisen construite Kesselläuser.

Sitzung vom 12. Mai.

Vorsitzender: Herr Hirzel-Gysi, Maschineningenieur.

Vortrag von Herrn Maschineningenieur Geiger über neuere Apparate zur Speisung von Dampfkesseln. Diese Apparate zeichnen sich in der Regel durch grosse Complicirtheit und Unzuverlässlichkeit aus.

Mit diesem Vortrage schloss der Verein seine technischen Sitzungen. Dieselben werden im Monat October wieder aufgenommen. In der Zwischenzeit finden hie und da gesellige Vereinigungen statt. Ein Sonntag wird je für einen Ausflug benutzt, um eine technische Sehenswürdigkeit zu besuchen.

### Gesellschaft ehemaliger Studirender der eidgenössischen polytechnischen Schule zu Zürich.

Für die XIV. Generalversammlung, welche dieses Jahr in Bellinzona und Lugano stattfinden soll, wurde der 8. October festgesetzt.

### Stellenvermittlung.

Gesucht:

On cherche pour le service de la navigation des ingénieurs à nommer au cadre auxiliaire des ponts et chaussées. (291)

Dans le bureau des travaux publics d'une municipalité un ingénieur qui parle le français. (292)

Dans une fonderie et atelier de construction (grande usine) en France un ingénieur-mécanicien. Il doit parler couramment le français. (294)

Ein guter Planzeichner. (295)

In eine Druckerei und Färberei Russlands als Gehilfe des technischen Directors einen Chemiker, der in dieser Branche genügende praktische Erfahrung besitzt. (296)

Auskunft ertheilt:

Der Secretär: H. Paur, Ingenieur, Bahnhofstrasse-Münzplatz 4, Zürich.