Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 3 (1881-1883)

Artikel: De la résistance et de la qualité des fers et fils de fer employés aux travaux de consolidation du Grand-Pont suspendu de Fribourg

Autor: Gremaud, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306699

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: 11.07.2025

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

DE LA RÉSISTANCE

ET

DE LA QUALITÉ DES FERS ET FILS DE FER

employés aux travaux de consolidation

du Grand-Pont suspendu de Fribourg.

RÉSULTAT

des épreuves faites par M. le professeur TETMAYER à la station fédérale de Zurich pour les essais des matériaux de construction.

(Communication faite par M. **A. Gremaud,** ingénieur.)

(Voir Planche III.)

I. Données générales.

La consolidation du Grand-Pont suspendu de Fribourg consiste dans l'addition de deux nouveaux câbles pouvant, avec le concours des quatre anciens, supporter, outre le poids permanent de la construction (180 tonnes), une surcharge de 200 kilos par mètre carré de tablier (318 tonnes), et cela en ne faisant pas travailler le fil de fer au-delà de 18 kilos par millimètre carré.

Les anciens câbles ne devaient supporter qu'une surcharge de 100 kilos par mètre carré de tablier, tout en faisant travailler le fil de fer à 26,9 kilos par millimètre

carré ! Avec le poids permanent seulement, ces câbles travaillaient déjà à 17 kilos par millimètre carré.

Les nouveaux câbles ne pénètrent pas, comme les anciens, au fond des puits. Les câbles d'amarre ont été remplacés par des chaînes en fer forgé, au nombre de deux par câble et formées de plusieurs chaînons de 2750 millim. de longueur, d'un axe d'assemblage à l'autre (fig. 1). Les chaînons sont, d'après le projet, formés de 9 à 10 barres d'une section de 120 millimètres sur 18, soit de 21,60 centimètres carrés. Pour racheter la différence de profondeur des puits, il a été introduit, sur l'une des rives, un chaînon plus court de 1200 millim. de longueur et de même section. Ce sont des barres semblables à celles qui composent ces petits chaînons, qui ont servi aux essais (*). Les barres, fabriquées au charbon de bois, proviennent de l'usine Roll et Cie à Gerlafingen ; elles sont en fer forgé, corroyé ou, suivant une expression plus moderne, *en fer soudé*, que l'on obtient par une opération appelée *ballage :* on coupe les barres, obtenues par un premier forgeage du minerai en fusion, en bouts de 20 à 30 centimètres de longueur ; on en fait des trousses composées de plusieurs assisses, afin de donner beaucoup d'étirage ; on les chauffe au blanc, puis on les lamine. Chaque trousse donne une barre. Suivant la qualité du fer que l'on veut obtenir, cette opération peut se répéter plusieurs fois. De cette façon, le métal acquiert une plus grande résistance. D'après M. le directeur Brauns (rapport présenté à l'assemblée générale de la Société des usiniers allemands en juin 1883), « *la qualité du fer et de l'acier est d'autant meilleure* » *et la résistance, opposée à tout genre d'effort, d'autant* » *plus grande que le métal a été plus travaillé, c'est-*

(*) Les dimensions réelles des barres varient un peu de celles du projet, car le laminage ne peut se faire à un ou deux millimètres près.

» *à-dire réduit dans les dimensions transversales par* » *l'action du forgeage et du laminage à chaud.* »

La tête des barres, soit le renflement donné à leurs extrémités, a été obtenue par la superposition d'un petit bout de barre. La soudure a eu lieu comme suit : l'extrémité de la barre, ainsi préparée, a été chauffée au rouge blanc de la même manière que pour la fabrication des barres, puis forgée au marteau-pilon ; ensuite, après un second chauffage au blanc, battue au marteau-pilon dans une matrice pour lui donner le renflement destiné à recevoir l'œil. Comme on le voit, la tête n'a pas été formée d'un morceau de fer que l'on aurait ajouté et soudé à la barre, comme cela se pratique quelquefois. Néanmoins, comme nous le verrons, le raccord de la barre à la tête présente toujours un point faible.

D'après le cahier des charges, les chaînes, dans les conditions de surcharge susmentionnées, ne devaient pas travailler au-delà de 10 kilos par millimètre carré pour les parties droites, et de 9 kilos pour les parties courbées (point d'inflexion à l'entrée des puits).

Les nouveaux câbles sont formés chacun de 2238 fils N° 18, dont le diamètre est de 3,4 millimètres, la section de 9,079 millimètres carrés et le poids du mètre courant de 70,82 grammes.

Il a été imposé à l'entrepreneur, dans le cahier des charges, une résistance absolue des fils de fer, au moment de la rupture, de 75 kilos par millimètre carré.

Les fils de fer des nouveaux câbles ont été fabriqués avec des barres d'un centimètre de diamètre environ provenant de l'usine de Gerlafingen. Ces barres ont été étirées et ramenées au diamètre de 3,4 millimètre du fil de fer N° 18, par un tréfilage successif opéré à l'usine Blösch et Cie à Bienne.

II. Essais faits sur la résistance et la qualité des barres employées à la confection des chaînes d'amarre.

Dans le résultat des essais nous désignerons :

1° par *module d'élasticité*, le rapport de la *charge* en tonnes, au moment où la limite de l'élasticité est obtenue, à l'allongement en centimètre de la barre ;

2° par *module de la résistance-limite*, le rapport de la charge, au moment où la limite de l'élasticité est atteinte, à la section primitive en centimètre carré ;

3° par *module de rupture*, le rapport de la charge, au moment de la rupture, à la section primitive en centimètre carré ;

4° par *allongement en* %, l'augmentation de longueur de la barre, exprimée en pour cent de sa longueur primitive ;

5° par *contraction en* %, la diminution de section à l'endroit de la rupture, exprimée en pour cent de sa longueur primitive.

Des deux barres mises à la disposition de la station fédérale d'essais, l'une fut essayée toute entière (fig. 2), telle qu'elle est sortie de l'usine, sans autre apprêt (*), tandis que l'autre (fig. 3) fut coupée en 3 parties et chaque partie fut préparée comme l'indique la fig. 5.

Les barres ainsi transformées furent essayées séparément au moyen de la machine d'essai de Werder. A cet effet, les barres furent fixées à leurs extrémités entre deux joues et arrêtées par un boulon d'acier dont le diamètre correspondait exactement au diamètre des boulons de jonction des chaînes (fig. 4).

(*) L'œil, pour le passage du boulon d'assemblage, a été fait par l'entrepreneur du pont. Cette opération, exigeant une grande précision et beaucoup d'uniformité, afin que chaque barre reçoive la même somme de traction, ne pouvait être faite à l'usine ; de sorte que les barres envoyées à Zurich n'étaient pas percées.

L'allongement au fur et à mesure de l'augmentation de la charge (effort de traction longitudinal) a été déterminé d'abord au moyen de la balance de la machine Werder, puis lorsque la traction eut atteint 50 tonnes, avec les échelles spéciales de Kern (*Kern'sche Endflachmassstäben*).

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus.

PIÈCES D'ESSAI.	Module d'élasticité, tonnes par cm².	Module de la résistance-limite, tonnes par cm².	Module de rupture, tonnes par cm².	Contraction en %.	Allongement en %.	OBSERVATIONS.
I. Barre entière	—	1,74 (?)	3,10	8,2	11,6	Rupture à la place de la soudure, soit au raccord de la partie médiane avec la tête.
Barres découpées :						
II *a*. De l'une des têtes N° 1 .	2130	1,44	3,15	14,4	11,9	Rupture à la soudure.
II *b*. De la partie médiane N° 2	1990	1,50	3,59	40,5	25,0	Partie médiane, point de soudure.
II *c*. De l'autre tête N° 3 . .	2040	1,51	3,55	24,6	22,8	Rupture à la soudure.
La moyenne de II *a* et II *c* est	2085	1,475	3,35	19,5%	17,3%	
» de I et $\left(\frac{\text{II } a + \text{II } c}{2}\right)$	—	—	3,225	13,85	14,45	

D'après ces données, il résulte que, par suite de la soudure, la résistance à la traction a été :

en moyenne, réduite du 10,2 % (1)
et au maximum » du 13,7 % (2).

Il s'en suit donc que la soudure est très satisfaisante.

Entre la partie laminée (II *b*) et les parties soudées (I, II *a* et II *c*), on trouve aussi une différence, soit une diminution dans la contraction. Cette diminution dans la contraction de la section (degré de ténacité du fer) a été :

en moyenne, du 65 % (3)
et au maximum, du 80 % (4)

Nous ajouterons encore que l'essai fait avec la barre entière a donné le résultat suivant : la rupture eut lieu sous une traction de 72,5 t., soit 31 kilos par millimètre carré. Or, d'après les conditions du cahier des charges, les barres ne devaient pas travailler au-delà de 10 kilos par millimètre carré, il y aurait donc une sécurité triple, ce qui est généralement admis pour les chaînes des ponts suspendus. Mais, dans le cas qui nous occupe, il est à remarquer que les chaînes reposent sur des sommiers et qu'elles ne sont soumises à aucun mouvement appréciable, ni à des secousses, comme cela a lieu pour les chaînes de suspension, les ponts à treillis et les pièces de machines.

La rupture a eu lieu, comme nous l'avons déjà dit, au raccord de la tête, soit à la partie soudée. La section de rupture, représentée par les fig. 6 et 7, avait une texture moitié fibreuse et moitié granuleuse cristalline.

(1) $\frac{3,59}{(3,59 - 3,225)} = \frac{100}{X}$; X = 10,2 %

(2) $\frac{3,59}{(3,59 - 3,10)} = \frac{100}{X}$; X = 13,7 %

(3) $\frac{40,5}{(40,5 - 13,85)} = \frac{100}{X}$; X = 65 %

(4) $\frac{40,5}{(40,5 - 8,2)} = \frac{100}{X}$; X = 80 %

Cela provient de ce que le métal a souffert par la soudure ; les chiffres mentionnés sur le tableau ci-dessus l'indiquent d'ailleurs.

III. Essais faits sur la résistance et la qualité des fils de fer employés à la confection des câbles de suspension.

Les 25 mètres de longueur de fil de fer N° 18 de 0,33 cm. (respectivement 0,34) de diamètre, envoyés à la station d'essai, furent enroulés sur les boulons de traction de la machine Werder de façon à former un écheveau composé de 6 fils et de $2^m,10$ de longueur. Après qu'on en eut ligaturé les extrémités, l'écheveau fut soumis à une traction de 2 tonnes, afin d'obtenir un groupement régulier et une tension aussi égale que possible des différents fils. Ainsi tendu, l'écheveau fut ligaturé fortement avec du fil de fer recuit, puis enlevé de la machine et coupé aux extrémités A et B (fig. 8). On obtint ainsi deux petits câbles ou faisceaux (fig. 9) avec lesquels on fit les essais. Dans ce but, les extrémités des petits câbles furent fixées d'une manière analogue au mode d'attache des câbles, pratiqué par M. Rœbling dans la construction des ponts suspendus américains (fig. 10). Le système consiste en une plaque de fer *(socket)* ou sabot percé d'un trou conique, dans lequel on engage l'extrémité du câble. On épanouit les fils dans l'intérieur du cône et on y chasse des clous en fer, de manière que la cavité soit parfaitement remplie ; on commence par des clous occupant toute la longueur de la cavité et on achève avec d'autres qui sont plus petits et plus minces. Enfin, on coule du plomb, qui achève de remplir les vides, et on mate soigneusement. Dans les essais qui nous occupent, on s'est contenté de couler entre les vides, du zinc, au lieu d'y placer des clous et du plomb.

Les faisceaux, ainsi préparés et placés sur la machine Werder, furent débarrassés de leurs ligatures (fig. 11).

Les essais, faits séparément avec les deux faisceaux, ont donné les résultats suivants :

a) avec l'un des faisceaux :

la traction moyenne à la rupture a donné par centimètre carré 7,83 tonnes = 7830 kilos ; comme degré moyen de ténacité, une contraction de la section après la rupture du 40,5 % ;

b) avec l'autre faisceau :

la traction moyenne à la rupture a donné 7,39 tonnes = 7390 kilos ;

comme degré moyen de ténacité, une contraction de la section du 37,3 %.

Ces essais assez concordants prouvent en faveur de la bonne fabrication du fil.

Les deux essais donnent, comme résistance moyenne du fil de fer, 76,2 kilos par millimètre carré. Or, le cahier des charges prévoyait 75 kilos. Il est à noter que la rupture des fils a toujours eu lieu près du sabot où ils étaient fixés, preuve que le métal a un peu souffert par le coulage du zinc et qu'ils auraient pu supporter un plus grand effort de traction. En effet, les essais faits à la tréfilerie de Bienne avec des fils isolés, ont donné une résistance moyenne de 80 kilos par millimètre carré, mais généralement le fil cassait dans la pince.

Dans ses conclusions, M. le professeur Tetmayer s'exprime ainsi : « Les fils essayés pour la consolidation du Grand-Pont suspendu de Fribourg, doivent être considérés comme étant très tenaces et solides. En outre, ils ont pu être pliés deux fois sous un angle de 180° sans se casser. »

Les fils des anciens câbles plus petits (diamètre 3,08 millimètres, section 7,44 millimètres carrés) devaient, d'après le cahier des charges, supporter à la rupture

82 kilos par millimètre carré (*). Nous avons enlevé aux câbles du pont deux fils, avec lesquels nous avons fait des essais, et nous avons obtenu 80,7 kilos par millimètre carré. Comme on le voit, après bientôt 50 ans d'existence, ces fils de fer ont bien peu perdu de leur résistance primitive.

— Pendant le dévidage des bottes et la manipulation du fil de fer, la formation de cosses est inévitable. Nous avons voulu nous assurer de combien la formation de ces cosses diminue la résistance du fil de fer. Dans ce but, nous avons fait, avec cinq fils, des expériences dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-après (fig. 12).

FILS.	La cosse commence à se redresser.	La cosse est entièrement redressée.	Effort de traction au moment de la rupture.		Diminution dans la résistance en % de la résistance moyenne de 80 k^os par mm. carré obtenue sur les fils essayés séparément.	OBSERVATIONS.
			par fil.	par mm. c.		
N°						
1	20	450	730	80	0	Fil rompu près de la pince.
2	30	470	640	70	12 %	» à la cosse.
3	35	500	700	77	3,7 %	» à une des cosses.
4	40	600	740	81	—	Anormal.
5	50	580	640	70	12 %	Fil rompu à la cosse.

Les essais faits avec les N°s 1 et 4 n'ont pas donné des résultats pratiques et ne doivent pas être pris en considération. Par contre, les essais faits sur les autres fils sont plus concluants. La diminution moyenne de la résistance provenant des cosses de ces derniers fils est de près du 10 %. La nature des cosses est bien différente ; c'est ainsi que pour le N° 1, la cosse a commencé

(*) Cette résistance plus grande, exigée pour les anciens fils, provient de ce que leur diamètre est plus petit.

à se redresser sous un effort de traction de 20 kilos, tandis que pour le N° 5 il a fallu une traction de 50 kilos pour obtenir le même effet.

Le fait que, par la formation des cosses et par leur redressement, le fil de fer n'a perdu en moyenne qu'un dixième de sa résistance absolue, prouve une fois de plus que le métal a une très grande ténacité, cela d'autant plus que le redressement de la cosse doit, autant que sa formation, nuire au fil. Ainsi, pour ce motif, les cosses qui se sont formées pendant le filage des câbles ne doivent pas nuire beaucoup à la résistance de ces derniers. Il y a plus : pour redresser une cosse, il a fallu au minimum un effort de traction de 450 kilos, soit environ 40 kilos par millimètre carré. Or, avec le poids mort du pont et la surcharge de 200 kilos par mètre carré de tablier, le fil de fer ne travaille pas au delà de 18 kilos.

Nous dirons encore pour terminer quelques mots des essais faits sur la résistance des épissures, soit des petites ligatures servant à assembler les fils bout à bout. Dans ce but, nous avons fait des essais avec des fils dont les bouts ont été croisés et ligaturés à des longueurs différentes. Le tableau ci-après donne les résultats obtenus (fig. 13) :

Numéro d'ordre.	Longueur en cm. du croisement du fil N° 18 (3,4 mm. de diamètre).	Longueur en cm. de l'épissure avec du fil N° 4 (0,9 mm. de diamètre.)	Effort de traction au moment de la rupture.	Résistance absolue par millimètre carré.	OBSERVATIONS.
			Kilos.		
1	6,8	3,75	180	18,—	Epissure rompue.
2	8,—	5,—	560	62,—	» »
3	8,8	6,3	735	81,7	Fil cassé, ligature cédée.
4	10,—	7,2	730	81,2	Fil rompu dans la pince.
5	11,—	8,—	730	81,2	» »

Le cahier des charges prévoyait une longueur de croisement des fils de 12 centimètres et une longueur de ligature de 8 centimètres.

— Il résulte de ces différents essais que les matériaux employés à la consolidation du Grand-Pont suspendu sont de très bonne qualité et doivent rassurer les pessimistes sur le degré de solidité qu'offre aujourd'hui le chef-d'œuvre dont M. Chaley a doté la ville de Fribourg. Notre intention était d'abord de ne publier que brièvement le résultat de ces essais, qui rentrent plus spécialement dans le domaine des sciences naturelles ; mais, pour bien faire comprendre à nos lecteurs leur importance, nous avons été amené à dire quelques mots des principaux éléments constitutifs du pont. D'un autre côté, nous tenions aussi à recueillir ces différentes données et à entrer dans quelques considérations techniques, afin de renseigner plus tard les préposés à l'entretien du pont et être utile aux ingénieurs et constructeurs qui se trouveraient dans le cas d'exécuter des travaux analogues.

CONSOLIDATION DU GRAND-PONT SUSPENDU.

Fers.

Fig. 1, 1/20.

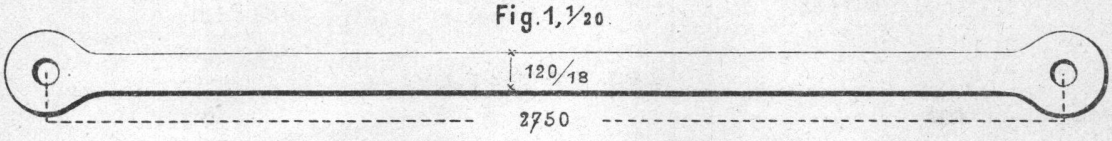


Fig. 2, 1/20

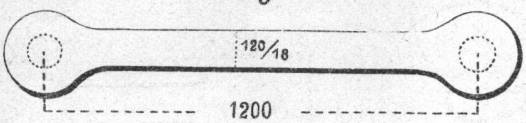


Fig. 3, 1/20

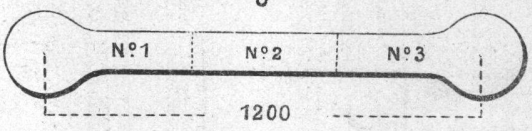


Fig. 4, 1/17

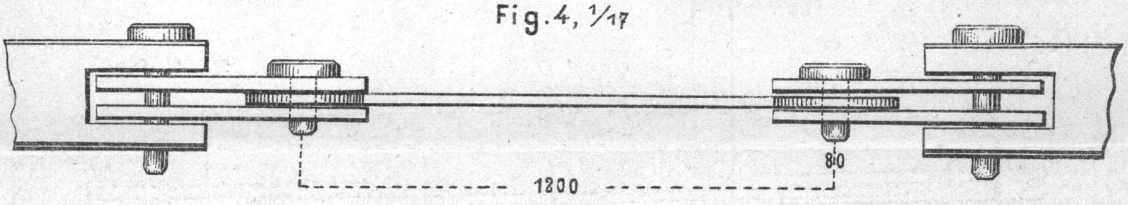


Fig. 5, 1/10.

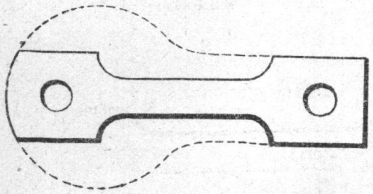


Fig. 6, 1/10.

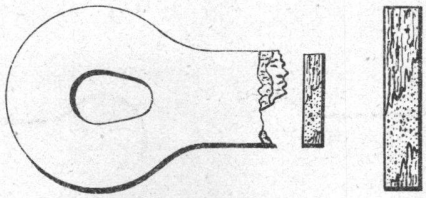
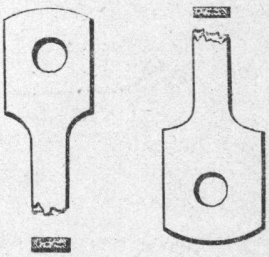


Fig. 7. 1/10.



Fils de fer.

Fig. 8.

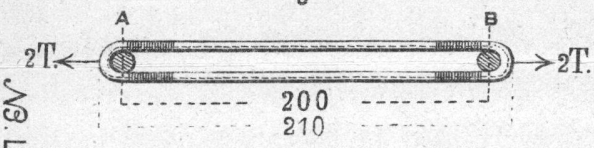


Fig. 9.

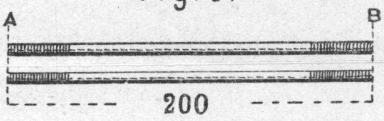


Fig. 10.

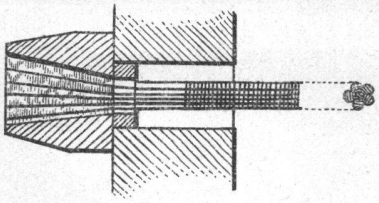


Fig. 11.

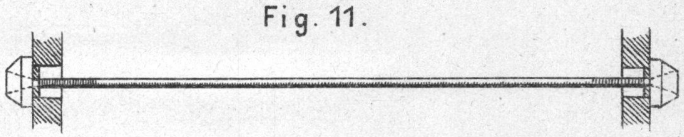


Fig. 12.

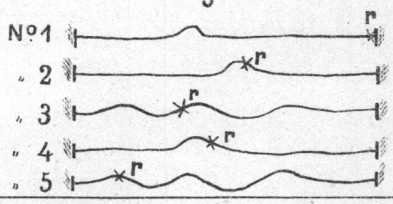


Fig. 13.

N.B. Les cotes sont en millimètres