

# Rupture des ponts métalliques: étude historique et statistique

Autor(en): **Elskes, Edouard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes**

Band (Jahr): **20 (1894)**

Heft 4 & 5

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18227>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

## DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT A LAUSANNE 8 FOIS PAR AN

Administration : Place de la Louve.

(GEORGES BRIDEL & C<sup>ie</sup> éditeurs.)

Rédaction : Rue Pépinet, 1.

(M. A. VAN MUYPEN, ing.)

Sommaire : Rupture des ponts métalliques, par Edouard Elskes, ing. (Suite et fin.) Avec planches, Nos 28-30. — Progrès des constructions maritimes, par Jules Gaudard, ing. (Suite.) — Richesse en bactéries des eaux de la Vanne et de la Seine. — Bibliothèque : Recueils techniques périodiques et ouvrages nouveaux reçus. — Exposition nationale suisse, Genève 1896.

## RUPTURE DES PONTS MÉTALLIQUES

ÉTUDE HISTORIQUE ET STATISTIQUE

par EDOUARD ELSKES, ing.

(Suite et fin.)

Le pont de Salez (fig. 11), sur le canal de Werdenberg (correction du Rhin), voir *Bauzeitung*, vol. IV, p. 137, n'est pas un cas tout aussi clair que le précédent : le pont tomba subitement, disent plusieurs témoins, sous une charge de 15 charriots (52 t.), sans que rien d'irrégulier (flexion ou tremblement) eût été observé. Il paraît cependant qu'une barre du treillis de la partie centrale avait présenté des symptômes de flambage pendant qu'on empierrait la chaussée, puis qu'on avait soulevé un des appuis du pont déjà empierré, pour remplacer un des sommiers en pierre de taille.

La ruine n'était pas dépourvue d'analogie, il faut le reconnaître, avec celle de Mönchenstein. Mais on remarquera que les membrures n'y étaient pas intactes.

Sans doute, ici aussi, le treillis laissait à désirer, beaucoup plus même qu'à Mönchenstein : en outre la membrure supérieure manquait de raideur et présentait des joints défectueux ; mais nous croyons qu'il faut attribuer la chute à quelque grave erreur ou malfaçon du montage, puisqu'un autre pont identique, essayé de même et le même jour, n'est pas tombé.

En effet, si tous les ponts un peu grêles tombaient, il y a longtemps qu'on aurait cessé d'en faire.

Nous croyons pouvoir exprimer la même opinion au sujet du pont sur la Morawa près de Ljubitschewo, écroulé pendant les essais, en septembre 1892. Sans nier les défauts évidents des membrures, nous émettons l'avis que le pont eût pu avoir un meilleur sort s'il avait été bien monté ; il a été question, en effet, de confusion de tôles par les monteurs et rien ne prouve qu'on sache bien tout ce qui s'est passé alors.

La figure 12, d'après le journal *Wochenschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins*, 1893, p. 9, représente ce pont ruiné. Il était chargé presque complètement au moment de sa chute, et s'est simplement affaissé sur son pont de montage.

Les trois cas de Rykon, Salez et Ljubitschewo offrent cette particularité commune, que pour tous trois l'inflexion des pou-

tres principales peu d'instant avant la chute était inférieure à la flèche calculée et n'annonçait absolument rien d'anormal.

On peut en dire autant du pont représenté à la figure 13 (même journal, 1891, p. 141), que nous appelons pont de Berg sans être sûr du nom ; c'est un cas presque identique, mais il suffit de jeter un simple coup d'œil à la coupe transversale (voir la fig. 13) pour comprendre ce qui manquait au pont.

Nous ne dirons que quelques mots des ruptures artificielles de ponts faites par la maison Gridl, à Vienne, et des essais qu'on a l'intention de faire cet été au pont sur la Neisse, à Forst, en Prusse. Le résultat de ces essais ne manquera pas d'ailleurs d'être publié.

On nous permettra par contre une digression quelque peu étendue sur les essais de rupture qui ont été faits à Wolhusen, en avril 1894<sup>1</sup>, sous les auspices du Département fédéral des chemins de fer.

L'ancien tablier du pont sur la petite Emme ayant été avarié il y a quelques années par la chute de plusieurs billes de bois, dans la courbe de 270 m. de rayon que décrit la voie sur cet ouvrage, la Compagnie du Jura-Simplon l'a fait remplacer par un pont neuf en 1893.

La vieille ossature, ainsi mise au rebut, présentait plus d'une analogie avec celle du pont détruit à Mönchenstein ; comme elle, elle était tubulaire, biaise, et avait des poutres principales à grandes mailles triangulaires, du type Neville.

L'ouverture était plus grande (48 m. environ), la largeur aussi, à cause de la courbe du tracé, et les pièces de pont reposaient toutes sur les nœuds inférieurs du treillis ; il n'y avait donc pas de tiges verticales de suspension ; il y avait en outre cette différence capitale que les poutres principales avaient des membrures très raides en forme d'auge et des treillis à double T.

Les avaries qui avaient motivé la construction d'un nouveau pont étaient plutôt locales : c'étaient des déchirures aux entretoises et quelques fentes aux attaches des contreventements inférieurs ; la plus grave était une courbure sensible d'une ou deux barres comprimées du treillis, courbure qui semblait avoir réagi d'une manière fâcheuse sur les barres voisines, légèrement ployées, elles aussi.

<sup>1</sup> Wolhusen est une station de la ligne Berne-Lucerne, sur le réseau de la Compagnie du Jura-Simplon. Cette partie du texte a été remaniée en mai 1894.

Le programme proposé par l'autorité fédérale et adopté par les Compagnies de chemins de fer<sup>1</sup> était le suivant :

1° Le pont transporté tout d'une pièce sur un terre-plein voisin, et définitivement calé sur quatre socles en béton sera nivelé à tous les nœuds des membrures inférieures et supérieures.

Les défauts de rectitude des barres du treillis, les avaries de la construction et l'aplomb des poutres principales seront vérifiés avec soin et feront l'objet d'un procès-verbal (9 avril 1894).

2° Au fur et à mesure de l'arrivée des rails qui, avec le ballast approvisionné, constitueront la surcharge, on chargera le tablier, panneau par panneau, à raison de 5<sup>t</sup>,86 par mètre courant (surcharge correspondant, pour les membrures, au train-type prescrit par l'ordonnance fédérale sur les ponts du 19 août 1892) jusqu'à ce que cette surcharge s'étende sur toute la longueur du tablier.

Le nivellement de tous les nœuds, la vérification de la rectitude des barres et de l'aplomb des poutres seront répétés lorsque la surcharge atteindra le milieu, puis l'extrémité du pont (9-15 avril 1894).

3° La moitié du tablier côté Berne sera déchargée pour préparer la deuxième phase des essais.

Les observations indiquées ci-dessus seront répétées après ce déchargement partiel (16-21 avril 1894).

4° La surcharge de 5<sup>t</sup>,86 par mètre courant demeurée sur la moitié du pont côté Lucerne sera doublée et les observations répétées.

On augmentera alors cette surcharge doublée, sur cette même moitié du tablier (côté Lucerne) de 1 t. par mètre courant, jusqu'à ce que la rupture, ou des déformations graves s'ensuivent.

Pendant cette dernière période, les observations déjà indiquées seront répétées aussi fréquemment que possible (23-25 avril 1894).

Comme on voit, les essais portaient surtout sur les barres du treillis du milieu du pont, qu'on cherchait délibérément à faire flamber ; on avait choisi pour cela celles qui étaient saines et droites ; les barres avariées devaient travailler à l'extension dès le 16 avril et le tablier se trouvait, par conséquent, dans des conditions à peu près normales.

Des calculs très circonstanciés avaient été faits contradictoirement avant les essais, avec tous les raffinements que la science moderne a introduits dans les recherches de ce genre ; ces calculs accusaient dans les nœuds extrêmes de la membrure supérieure des tensions secondaires (notamment à cause de l'excentricité des attaches) qui dépassaient de beaucoup la limite d'élasticité et pouvaient même faire prévoir une rupture ; ces calculs indiquaient en même temps que certaine barre comprimée ne présenterait plus aucune garantie de sécurité contre le flambage lorsque la surcharge atteindrait 14 t. environ par mètre courant : c'est alors, en effet, le 25 avril, à 9 h. 35 du matin, que cette barre a flambé, tout à coup, à un moment où aucun regard n'était dirigé sur elle.

Fort heureusement, on en avait mesuré la courbure dix minutes auparavant ; cette courbure était de 0<sup>m</sup>012 de flèche sur 6 m. environ de longueur, et n'avait donc rien d'alarmant, puisque plusieurs autres barres en accusaient autant depuis la veille. On peut donc dire que le flambage s'est produit soudainement : cela est si vrai que, détail bizarre, la suppression subite de l'équilibre a eu un véritable effet dynamique : la partie surchargée du tablier, en s'abaissant, a fait monter celle qui était vide comme par un levier (voir la fig. 16) ; ce relèvement a atteint 0<sup>m</sup>26 au droit de la barre flambée.

En ce point, les deux membrures inférieures se sont rompues,

<sup>1</sup> La Confédération s'est chargée de deux cinquièmes des frais, les Compagnies du Jura-Simplon, du Nord-Est-Suisse, du Gothard, du Central-Suisse et de l'Union-Suisse supporteront le reste en proportion de la longueur des réseaux.

presque net, les longerons de la voie aussi, et les membrures supérieures, ouvertes, présentent toutes deux une foulure très prononcée.

Toutes ces lésions et le flambage des barres comprimées de la moitié chargée se sont succédé en moins d'une seconde : le pont ne se trouvait plus guère qu'à 0<sup>m</sup>30 du sol et a d'ailleurs rencontré presque immédiatement des blocs de bois disposés d'avance, qui ont amorti sa chute en l'arrêtant dans la toute première phase de la rupture.

Pour cette raison, l'aspect de la ruine est extrêmement intéressant (voir fig. 16) : elle confirme ce qu'ont dit MM. Collignon et Hausser (voir notre citation de la page 140) au sujet du témoignage des ponts ruinés ; elle confirme aussi les craintes toutes particulières qu'il convient d'entretenir à l'endroit des longues barres sujettes à flamber, qu'on ne saurait calculer, raidir, ou renforcer, avec trop de sollicitude ; elle infirme, par contre, les résultats des calculs trop méticuleux et trop défavorables auxquels ne manque jamais de conduire la recherche des tensions secondaires et elle prouve d'une manière bien claire que ce genre de calcul perd toute sa valeur dès que ces tensions dépassent la limite d'élasticité ; il doit évidemment se produire alors, auparavant même, des déformations, et ces déformations établissent aussitôt un nouvel état d'équilibre, toujours plus favorable, sans porter atteinte à la stabilité de l'ensemble.

Des déformations très sensibles et de légères ouvertures des joints ont en effet été observées un peu partout avant la rupture, mais en particulier aux nœuds extrêmes où les efforts secondaires étaient plus intenses.

L'inflexion du pont, normale pendant la première phase des essais, avait dépassé avant la rupture les valeurs données par le calcul ; elle avait atteint 0<sup>m</sup>08 environ. Les hautes tensions auxquelles étaient soumises les diverses parties du pont l'avaient rendu sensible aux vibrations les moins fortes, c'est ainsi que le déchargement d'une seule brouette de ballast lui imprimait des oscillations d'un demi-millimètre environ, dans le plan vertical et dans le plan horizontal.

Les barres du treillis avaient toutes été ployées à des degrés divers, les barres comprimées présentant, en général, une convexité assez marquée vers les culées, les barres tendues affectant plutôt, légèrement, la forme d'un S.

Le rapport officiel que l'autorité fédérale ne manquera pas de publier sur ces essais présentera un haut intérêt à cause du grand nombre des observations qui ont été faites et coordonnées avec le plus grand soin.

Un essai du même genre, avons-nous dit, aura lieu prochainement en Allemagne, et il est à désirer qu'on en fasse encore beaucoup, car c'est par la multiplication des expériences qu'on arrivera à des résultats certains.

La Société autrichienne des Ingénieurs et des Architectes a fait faire, en 1891, dans les grands ateliers de construction Gridl, à Vienne, une série d'essais de rupture sur des poutres en tôle et à treillis, de types variés, atteignant 10 m. de portée, de diverses qualités tant au point de vue du métal qu'à celui de la façon. Un mémoire très intéressant paru dans l'organe de cette société (*Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-und Architektenvereins*, 1891, p. 63) rend compte de ces expé-

riences. On a trouvé que, pour les petites portées, les poutrelles laminées offrent une résistance bien supérieure à celle des poutres rivées; celles-ci se rompent sous une charge équivalant à un travail théorique à la flexion de 30 à 33 kg. par mm<sup>2</sup>, tandis que les poutrelles résistent fréquemment à 50 kg. par mm<sup>2</sup> (valeur calculée) et même davantage. Des poutres à treillis se sont rompues sous des charges correspondant à un travail théorique de 24 kg. à 38 kg. par mm<sup>2</sup>; les résultats les plus favorables ont été obtenus pour des poutres droites à treillis double, avec montants, en fer Siemens-Martin, travaillé avec grand soin.

Nous passerons brièvement sur la catastrophe du pont suspendu d'Angers, dont les détails sont connus de chacun, et sur la chute de la passerelle de Chatham, une passerelle d'embarquement où 60 personnes tombèrent à l'eau sans qu'aucune cependant y perdit la vie; c'est un cas de flambage des membrures supérieures bien caractérisé, le récit en coïncide point pour point avec celui de la rupture de Rykon-Zell.

Nous ne dirons que peu de chose du viaduc du Tay dont la disparition tragique (1879) est encore présente à toutes les mémoires. Nous croyons cependant devoir rappeler qu'en 1874, pendant le montage, deux des grandes travées avaient déjà été culbutées par le vent.

Le pont était tubulaire, mais très haut pour sa largeur, mal contreventé et mal ancré.

La catastrophe récente de Chester, Massachusetts (n° 21 du tableau), qui a coûté la vie à quatorze personnes, est due à une grosse imprudence, commise pendant des travaux de renforcement: on avait dérivé sur une longueur de 8 m. environ toutes les semelles de la membrure supérieure et les contreventements supérieurs et, par un singulier oubli de toute précaution, on était allé dîner sans même penser à faire ralentir l'express spécial de Chicago.

Le pont était un pont à treillis, tubulaire, à double voie, biais, et continu sur deux ouvertures de 32 m. environ chacune.

Un premier train passa sur la voie opposée à la poutre affaiblie sans causer de dégât apparent; mais quand l'express arriva, en sens contraire, sur la voie adjacente, marchant à plus de 50 km. à l'heure, il fit tomber le pont; il n'eût pu en être autrement. La machine franchit cependant les deux travées et alla dérailler à 50 m. au delà de l'autre rive; le fourgon qui suivait dérailla dans la seconde travée et la fit tomber; le reste du train s'engloutit dans la rivière et dans les débris de la première travée, comme l'indique la figure 15, d'après une photographie.

On peut lire des détails d'une rare précision sur ce triste événement dans le *Railroad Commissioner's Report* de janvier 1894 (n° 14), document officiel que M. Hilgard a bien voulu nous communiquer.

Nous voudrions nous étendre un peu plus au sujet des deux ponts (nos 35 et 39) d'Ashtabula, en Amérique, et de Hopfgarten, en Autriche, lesquels, comme celui de Mönchenstein, ont fait époque, chacun dans son pays.

Celui d'Ashtabula présente d'ailleurs avec ce dernier quelques analogies étranges dignes d'être relevées:

La portée, la composition du train, le nombre des victimes étaient presque les mêmes; les expertises contradictoires aussi,

et les discussions qui suivirent, font penser involontairement au cas de Mönchenstein.

La ruine du pont d'Ashtabula fut un affreux désastre:

Le 29 décembre 1876, à 8 h. du soir, au milieu d'une rafale de neige, un train express composé de deux machines et onze wagons et voitures dont trois sleeping-cars, passa sur le pont que représente la figure 14, pont construit par un ingénieur réputé fort habile, directeur de la Compagnie du chemin de fer. Cet ingénieur, il est vrai, n'avait guère construit jusque là que des ponts en bois et tenta une innovation: elle consistait à assembler des poutrelles en fer à la façon des bois d'une poutre Howe, sans vis ni rivets, pour faire vite et bon marché; mais l'idée était malheureuse.

Le travail fut bien exécuté, à ce qu'il paraît; mais les monteurs, charpentiers eux aussi, intervertirent certains profils de barres, faute de surveillance.

Pour s'en tirer, ils burinèrent les sabots en fonte, lesquels « portaient mal. » (Voir les détails fig. 14.)

Le train fatal passa à la vitesse de 25 km. à l'heure, environ. Le mécanicien de la première machine entendit un craquement et sentit une secousse en passant au droit du point A; il eut la présence d'esprit d'ouvrir son régulateur, rompit ainsi son attelage et atteignit heureusement la culée, sur les rails; le tender seul avait déraillé.

La seconde machine tomba avec le pont; le train tout entier sauta dans le milieu du ravin, à 20 m. de profondeur, et y forma un vaste monceau de débris, qui prit feu. Le pont lui-même s'était légèrement déplacé vers l'ouest. Sur 145 personnes (128 passagers et 17 employés) il y eut 80 morts et 4 disparus.

Les pièces voisines du point A furent seules visiblement ployées, tandis que toutes les autres poutrelles formant le pont ont été retrouvées relativement intactes. Il est donc à supposer qu'il y a eu défaillance de ce point A vers l'extérieur, très probablement par suite d'une rupture du sabot en fonte, qui fut retrouvé en petits fragments, et l'on peut s'expliquer le sauvetage miraculeux de la première locomotive par l'hypothèse que le triangle BCD de la figure, ancré par la voie, a tenu bon un instant comme une grue, puis culbuté dans le vide avec la seconde machine, qui endommagea l'angle de la culée et fut retrouvée, renversée, au pied de celle-ci, à quelque distance des ruines du pont et du train.

Ce pont, fort heureusement, était seul de son genre en Amérique; un théoricien appelé comme expert crut trouver dans des phénomènes de flambage des treillis l'explication de sa ruine; mais d'autres sont venus tôt après réduire à une plus juste proportion ce premier jugement: ils attribuèrent la ruine à un défaut local, produit en partie par un assemblage mal combiné et mal exécuté, puis par l'usure (par martellement) des surfaces de contact, sous des pressions exagérées, résultant du mauvais assemblage. Le journal anglais *Engineering* (du 4 mai 1877) dit, exactement comme MM. Collignon et Hausser, que, s'il y avait eu uniquement du flambage, les barres eussent dès longtemps accusé des déformations visibles et qu'on eût facilement découvert le danger en voyant ces déformations, qui eussent frappé les passants.

L'expérience de Wolhusen ne confirme pas l'exactitude de cette manière de voir.

Après cela, l'Engineering n'est pas tendre, il est vrai, pour l'auteur du projet du pont, qu'il taxe délibérément de folie et d'imbécillité!

Le jury fut du même avis, car il répondit ce qui suit :

« La responsabilité de cette terrible catastrophe et de la mort des nombreuses victimes retombe tout entière sur la Compagnie du chemin de fer, laquelle, par son directeur (*Chief executive officer*) avait conçu et exécuté ce pont. »

Ce désastre eut pour résultat une inspection générale des ponts dans tous les Etats-Unis d'Amérique, l'institution d'un service de surveillance des ponts dans les administrations de chemin de fer et l'introduction de la théorie du flambage dans les calculs.

Mais le gouvernement ne jugea pas à propos d'exercer lui-même un contrôle sur les ponts métalliques, malgré toute la sollicitude déployée en cette occasion par le président Grant; seul l'Etat de Massachusetts a, à l'heure qu'il est, un inspecteur officiel des ponts.

Le pont de Hopfgarten, en Autriche, sur la ligne de Salzburg à Wörgl, s'est écroulé, le 5 octobre 1886, sous un train de marchandises dont la machine atteignit heureusement, elle aussi, la culée opposée : on a voulu expliquer cette chute par la mauvaise qualité des matériaux, puis par la rupture des membrures inférieures, mais on a admis plus généralement dans la suite qu'il y avait eu gauchissement des poutres, et flambage des membrures supérieures.

Les Autrichiens instituèrent aussitôt un contrôle officiel des ponts métalliques, et les chemins de fer de l'Etat comme les Compagnies de chemins de fer eurent à renforcer ou à reconstruire presque tous leurs ouvrages métalliques : ces travaux, fort intéressants, touchent actuellement à leur terme et ont donné, de l'avis de chacun, de bons résultats.

En Suisse, le coup de fouet de Mönchenstein a été terrible, mais les mesures prises alors pour l'avenir ont été énergiques, et l'on peut espérer pouvoir dire avec certitude dans quelques années que des ruptures de ponts ne seront plus à craindre chez nous.

\* \* \*

Un exposé statistique et historique des faits peut se passer de commentaire; les explications peut-être trop succinctes que nous avons cru devoir y ajouter auront déjà suggéré au lecteur attentif certaines conclusions.

Qu'on nous permette de les résumer en quelques mots :

1° L'expression « dur comme le fer » et l'axiome « le fer est une matière susceptible de vie éternelle, bonne à tout, sans qu'on prenne de précaution, » ces expressions-là ont fait leur temps.

2° Toutefois, il a fallu presque toujours un concours extraordinaire de circonstances malheureuses pour amener la chute d'un pont métallique, même médiocre.

3° L'ennemi le plus sérieux, nous dirons même le seul ennemi vraiment sérieux à combattre, est le flambage des

pièces trop peu rigides en proportion de leur longueur et en particulier celui des membrures supérieures des ponts ouverts; toutes les autres actions pernicieuses, connues sous le nom d'efforts secondaires, méritent vraiment ce dernier nom, et n'ont été en aucun cas la cause évidente d'une ruine de pont.

4° La plupart des ponts effondrés étaient des ponts trop faibles; il faut donc se garder avec soin d'une trop grande parcimonie dans l'élaboration des projets, surtout lorsqu'il s'agira de raidir et d'éviter des déformations partielles.

5° Il est probable cependant qu'aucun pont, si faible qu'il ait été, n'est tombé sans une autre cause spéciale et déterminante telle qu'un défaut de fabrication ou de montage, par exemple, ou un choc, ou une avarie antérieure.

6° Les tableaux A et B indiquent, par année et par pays<sup>1</sup>, la fréquence des cas de rupture pour autant qu'ils nous sont connus; le tableau C, plus intéressant, les représente groupés d'après la date de la construction des ouvrages; on voit qu'une fatalité paraît attachée aux ponts nés de 1871 à 1878. C'était, il est vrai, l'époque où l'on construisait encore, bien que l'argent vint à manquer, mais c'était aussi et surtout, il faut le reconnaître, la période où s'épanouissaient les méthodes élégantes de la statique graphique et, avec elles, une foi trop aveugle dans l'excellence des calculs et l'infaillibilité de la théorie.

Tableaux statistiques.

A			
1851	1862	1873 •	1884 •••
1852 •	1863	1874	1885 •
1853	1864	1875	1886 ••
1854	1865	1876 •	1887 •
1855 •	1866	1877 ••	1888 •••
1856	1867	1878	1889 •
1857	1868 •	1879 •	1890 •
1858	1869	1880	1891 ••
1859	1870	1881 ••	1892 ••••••••
1860	1871	1882 •	1893 ••
1861	1872	1883 •	1894 ••

B		Total.
Suisse	••••••••••	10
Italie	•••	3
France	•••••••	6
Allemagne	••	2
Autriche	•••••	5
Serbie	•	1
Russie	•	1
Grande-Bretagne	••••	4
Amérique	••••••••••	9
Japon	•	1
		42

<sup>1</sup> Nos renseignements sont trop incomplets pour permettre d'attacher de l'importance à cette partie de notre statistique.

## C

1851	1862 •	1873 ••	1884 •••
1852 •	1863	1874 •••	1885
1853	1864	1875 ••	1886 •
1854	1865 •	1876 •	1887 ••
1855	1866	1877	1888 •
1856	1867	1878 •	1889 •
1857	1868	1879	1890
1858	1869 •	1880	1891 •
1859	1870	1881 •	1892 ••
1860	1871 •	1882	1893 •
1861	1872	1883 •	1894

7° L'inflexion d'un pont sous la charge n'est pas un critère infailible; toutefois, si l'utilité des épreuves de charge peut être mise en doute pour les ponts de chemin de fer, il semble qu'on aurait grand tort de les abolir pour les ponts-routes; à cet égard, il est désirable que toutes les administrations cantonales, communales et autres, adoptent les normes fixées par l'ordonnance fédérale du 19 août 1892, en annexant celle-ci à tous les contrats qui ont trait à des constructions métalliques.

8° La rouille, certes un ennemi redoutable, n'a, à notre connaissance, causé, ou accéléré de beaucoup la chute d'aucun pont; cependant on a trouvé, au cours de certaines démolitions, des exemples vraiment effrayants de corrosion; les ingénieurs chargés de l'entretien des ponts, notamment des passages sur voie, ou des charpentes métalliques dans les gares, ont donc à faire preuve d'une vigilance très minutieuse pour disputer sa proie à cet ennemi silencieux.

9° Les fers se brisant de préférence aux endroits où leur profil change brusquement, il paraît utile d'éviter des gonflements subits, et en particulier des montants du type esquissé à la figure 8.

10° Le fait que quatre fois (Ashtabula, Hopfgarten, Big Otter, et Chester) la machine, première cause du désastre, a franchi heureusement le pont sans éprouver elle-même le moindre mal, prouve qu'il y a un certain retard dans la manière dont se transmettent les perturbations, et en particulier celles qui résultent des vibrations ou des chocs dus à la surcharge.

Il est, par conséquent, permis de se demander si le train fatal a bien été dans chaque cas la véritable cause de la rupture et si, pour certains ponts, surtout pour des ouvrages avariés, celui de Mönchenstein par exemple, des vibrations ou des chocs antérieurs, dus à des trains précédents, n'avaient pas amené la construction à la limite même de sa résistance, c'est-à-dire à un état d'instabilité tel qu'il suffit d'une gouttelette pour faire déborder le vase.

Cette version, que nous sommes loin de prétendre seule exacte, est au moins plausible; nous ne sommes pas seul d'ailleurs à l'envisager comme telle, car elle explique plusieurs des phénomènes les plus singuliers narrés par les témoins oculaires de la catastrophe.

11° Comme on voit, la théorie des ponts métalliques est encore entourée de bien des brouillards; ce n'est qu'en coordonnant les résultats de nombreuses observations de tous genres

qu'on arrivera à l'en dégager. Ces observations sont laborieuses et exigent autant de patience, de persévérance et de jugement que d'exactitude et de science; toutes celles qu'on a pu faire depuis 1891 ne sont encore qu'une minime partie de ce qu'il faudrait pour jeter une lumière plus complète sur certains points.

Puisse les quelques renseignements qui précèdent y contribuer pour notre faible part.

Lausanne, mai 1894.

## PROGRÈS DES CONSTRUCTIONS MARITIMES

par JULES GAUDARD.

(Suite).

## Brise-lames.

La question capitale de la construction des brise-lames a fortement fixé l'attention du Congrès de Londres. Des mémoires ont été présentés par MM. Quinette de Rochemont, pour la France; le chevalier L. Luiggi, pour l'Italie (avec dessins nombreux); le capitaine P. Hansen, pour un port au fort de Middelgrunden, dans le Sund; Möller, pour le port-franc de Copenhague; Carey, pour le port de la Guaira (Vénézuëla); Kinipple, pour un système nouveau propre à cet entrepreneur anglais.

Pour importantes que soient ces constructions avancées vers le large de la mer, le terme le plus propre à les désigner semble assez mal arrêté en France. Tour à tour, on les appelle *brise-lames*, *digues maritimes*, *môles*. Or, ce dernier terme a aussi été appliqué à des traverses accostables ou quais proéminents établis dans des bassins intérieurs. Au mot « digues » il convient d'ajouter le qualificatif « extérieures, » si l'on veut tout au moins donner à entendre que ces ouvrages abritent une rade, une nappe d'eau, contre les flots agités, et non des territoires contre l'eau, comme c'est le cas pour les digues des polders. Enfin, le terme de brise-lames s'entend aussi dans le sens de certaines chambres d'épanouissement, à plan doucement incliné, pratiquées sur le côté d'un chenal dans le but d'étaler, d'amortir les vagues et de les empêcher de se propager jusque dans le port. Toutefois, ces derniers ouvrages étant assez secondaires, il semble difficile de séquestrer à leur usage exclusif une dénomination que les ingénieurs anglais attribuent, avec une décision invariable, aux digues maritimes (*breakwaters*).

Les diverses variétés de brise-lames se rangent entre ces deux types opposés :

— Celui de *Douvres*, muraille à faces à peu près verticales, flancs accostables et stables, mais où la moindre dégradation est grave; cube minimum de matériaux, mais coût spécifique considérable, les blocs devant être ajustés par des plongeurs dans des eaux profondes, soumises à la marée et à la houle;

— Celui à long talus ou à *Pierre perdue*, d'un volume énorme, mais de bas prix par mètre cube, si les carrières ne sont pas loin. Ce sont des entassements que bouleversent parfois des tempêtes: tel fut le cas à la digue de Cherbourg,