

Rupture des ponts métalliques: étude historique et statistique

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

Objekttyp: **Article**

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

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

Heft 2 & 3

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18226>

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.

RUPTURE DES PONTS MÉTALLIQUES

ÉTUDE HISTORIQUE ET STATISTIQUE

présentée à la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes dans sa séance du 10 février 1894,

par EDOUARD ELSKES

Ingénieur des ponts métalliques à la Compagnie des chemins de fer du Jura-Simplon.

A cause des circonstances tragiques où elle s'est produite, la chute du pont de Mönchenstein a attiré sur les constructions en fer l'attention des ingénieurs et du public en général.

La presse au jour le jour, qui est censée refléter l'opinion de ce dernier, s'est livrée sur ce point à de graves exagérations, et quelques journaux techniques, oublieux de leur dignité, n'ont pas craint de prendre eux-mêmes parti dans les discussions violentes qui ont suivi.

Les opinions les plus diverses ont été émises, les explications, même les plus bizarres, ont été fournies, mais la question ne peut encore être considérée comme élucidée et deux courants restent en présence : d'une part les savants, pénétrés de l'excellence des formules, anxieux d'arriver à la clarté parfaite, prétendent démontrer que les ingénieurs se sont trompés ; ceux-ci d'autre part, appuyés sur leur expérience, mais sans pouvoir avancer de preuves positives, voudraient infirmer les calculs par des faits.

Alors, en effet, que les premiers mémoires parus contiennent surtout des considérations théoriques, les travaux plus récents sont moins abstraits, ils font une part plus large aux données d'observation, et le spectateur impartial ne doit pas désespérer de voir la lumière se faire enfin, complète, après des concessions réciproques, fruit d'une discussion mûrie autant que modérée.

Dans ce but, nous croyons faire chose utile en exposant ici une statistique des ruptures de ponts en fer et en l'accompagnant de quelques renseignements historiques. Nous espérons par là faire apparaître sous un jour plus vrai les événements de Mönchenstein, leur ôter un peu de leur importance et, nous plaçant à un point de vue purement technique, laissant donc de côté tout sentiment de commisération ou d'aigreur, préoccupé uniquement de rechercher la vérité, nous espérons aussi inspirer à tous nos collègues un peu de bienveillance à l'endroit des ruptures de ponts métalliques.

Nos recherches sur des cas de ce genre n'ont pas eu pour but la présente communication : notre désir était d'en faire la base, la préface d'une étude de plus longue haleine que nous appellerions volontiers la pathologie des constructions métalliques.

Mais la préface s'est trouvée si volumineuse, si intéressante par elle-même, que nous avons cru pouvoir l'offrir seule, quitte à reprendre plus tard le même sujet à un point de vue plus théorique, si Dieu nous prête vie.

Nous devons déclarer en commençant que notre statistique est loin d'être complète : d'abord, un grand nombre de ruptures de ponts ont été ensevelies dans l'oubli, à l'instar des scandales politiques que l'on étouffe ; ensuite, parmi celles que l'on connaît, nous en ignorons nous-même beaucoup.

Nous sommes arrivé, sans grande peine cependant, à collectionner une quarantaine d'exemples de ruptures de ponts métalliques ; nous les avons inscrits au tableau suivant, et divisés en cinq groupes, à savoir :

1^o *Ponts tombés par suite d'un écroulement des appuis en maçonnerie* : ici, maint lecteur sera déçu : « Quoi, dira-t-il, rupture de ponts en fer, mais si c'est la maçonnerie qui fait défaut, ce n'est plus ça du tout !... Je veux voir des fers qui se cassent ! »

D'accord, mais permettez ! Permettez tout d'abord à l'homme du fer de défendre sa marchandise :

Sur 40 ponts effondrés en voilà 8, soit 20 %, de ruinés non pour leur propre péché, mais pour une faute des maçonneries !

Que signifie cette proportion de 20 % ? Qu'on veuille observer combien nous eussions pu noircir le tableau à plaisir : nous n'avions qu'à nous baisser pour en cueillir, de ces nombreux exemples de ponts détruits par des crues, dans tous les pays du globe, où les rivières emportent les piles et les culées comme le vent les plumes.

Ne faut-il pas en conclure que le fer, dont on dit tant de mal, a du bon quelquefois, et n'est pas encore trop méprisable en comparaison des pierres et du mortier ?

On en conviendra d'autant plus volontiers après avoir vu, aux nos 3, 4, 5 et 6 du tableau, quatre ponts importants dont la partie métallique est restée debout quoique les maçonneries lui eussent fait défaut.

Ceux de Mönchenstein et de Moudon, étant biais, n'en sont pas sortis indemnes, il est vrai : le premier a eu la fin terrible que l'on sait, et l'on s'accorde à reconnaître que les efforts anormaux subis alors, c'est-à-dire dix ans avant la catastrophe finale, ont été pour beaucoup dans celle-ci. Le pont de Moudon, ne présente, lui, aucun symptôme apparent de désorganisation ; sa portée étant moindre (33 m. au lieu de 41 m.), on pouvait espérer qu'il n'aurait pas souffert autant que le premier ; toutefois, leur analogie est si singulièrement frappante et leurs deux cas sont si identiquement les mêmes qu'on s'est décidé à le remplacer par un ouvrage neuf, aujourd'hui en cours de construction.

Les figures 1 et 2 représentent, vue d'amont et d'aval, d'après la *Bauzeitung* (vol. XII, p. 139), la culée rive droite du pont de Moudon le 3 octobre 1888, au lendemain de la crue.

2^o Nous avons formé le 2^e groupe des *ouvrages dont la ruine a été causée par un choc extraordinaire* : ainsi le n^o 10, un pont-tournant jeté à l'eau par le choc d'un bateau à vapeur ; le n^o 11, un pont du chemin de fer du Brünig emporté par une avalanche de pierres, et les nos 9 et 12, cas plus fréquents, déraillement d'un train entraînant l'effondrement des poutres du pont.

3^o Le groupe suivant comprend des *tabliers métalliques tombés pendant les travaux de montage* : deux grands viaducs, ceux de Douarnenez et de la Tardes, sont tombés au cours de cette opération si délicate du lançage longitudinal, qui a avarié tant de ponts et qu'on évite de nos jours le plus possible. — Le pont de Kladwa, en Bohême, a été renversé pendant un lançage transversal, tel que nous le pratiquons souvent ces temps pour substituer un tablier neuf à un vieux pont (3 tués, 5 blessés).

RUPTURE DES PONTS MÉTALLIQUES

1. Par écoulement des fondations ou des maçonneries.

a) Fondations.

N°	Pont de :	sur :	Pays :	Ouverture :	DATE de la construction	DATE de la rupture	Causes. — Observations.
1.	Hagneck	Aar	Suisse	55 ^m 20	1875	18 VIII 77	Glissement, puis éboulement de rocher.
2.	Vaprio	Adda	Italie	2×30 ^m	1873	X 88	Pile emportée par une crue.
* 3.	Mönchenstein (1 ^{er} accident)	Birse	Suisse	41 ^m	1875	2 IX 81	Culée renversée par une crue.
* 4.	Borgoforte	Pò	Italie	2×54 ^m +5×65 ^m	—	10 X 82	Pile » »
* 5.	Moudon	Broye	Suisse	33 ^m	1876	2 X 88	Culée » »
* 6.	Beauchastel	Erieux	France	2×44 ^m +54 ^m	—	22 IX 90	» » »

b) Maçonneries.

7.	Balvano	Platano	Italie	48 ^m	1889	III 89	Glissement de maçonnerie.
* 8.	Kioto	Nagaragawa	Japon	6×55 ^m	—	28 X 91	Tremblement de terre.

2. Par le choc extraordinaire d'un corps étranger.

* 9.	Cayuga	Vermilion-River	Amérique.	54 ^m	—	1 V 92	Déraillement.
*10.	Chicago	canal	»	30 ^m	1871	30 VI 92	Choc d'un bateau à vapeur.
*11.	Lungern	Steinlaubach	Suisse	20 ^m	1887	2 VIII 92	Avalanche.
*12.	Ayer-Junction	Ayer	Amérique.	—	—	11 XI 92	Rupture de bandage et déraillement.

3. Pendant les travaux de montage ou de reconstruction.

13.	Miramont	Garonne	France	54 ^m	1881	1881	Lançage imprudent, puis flambage des poutres.
14.	Douarnenez	»	»	56 ^m	1884	1884	Lançage imprudent.
15.	Evaux	Tardes	»	2×72 ^m +104 ^m	1884	26 I 84	Ouragan pendant le lançage.
16.	Monfourat	»	»	50 ^m	1886	1886	Lançage sur échafaud insuffisant.
17.	Staunton	Big Otter	Amérique.	40 ^m	1887	1887	Contreventement insuffisant; défauts divers.
18.	Covington	Licking-River	»	116 ^m	1892	15 VI 92	Rupture du pont de service (câbles).
*19.	Kladwa	»	Autriche	—	—	1892	Ripage, ou lançage transversal imprudent.
*20.	Cincinnati	Ohio	Amérique.	168 ^m	1888	26 VIII 88	Débâcle du fleuve (bois flottant).
*21.	Chester	Willcutts	»	2×32 ^m	1874	31 VIII 93	Affaibliss ^t imprud ^t des membrures supérieures.
*22.	Louisville	Ohio	»	2×166 ^m	1893	15 XII 93	Ouragan.

4. Pendant les essais.

23.	Peney	Rhône	Suisse	100 ^m	1852	1852	Rupture d'un galet en fonte, puis des câbles.
24.	Payerne	Broye	»	30 ^m	1873	1873	Flambage des membrures supérieures.
25.	Rykon-Zell	Töss	»	21 ^m	1883	28 VIII 83	» » » »
26.	Salez	{ canal de Wer- denberg }	»	35.5	1884	13 IX 84	» » » et du treillis.
27.	Berg	»	Autriche	27.5	1891	23 III 91	» » » supérieures.
28.	Ljubitschewo	Morawa	Serbie	60 ^m	1892	IX 92	» » » »
29.	Laboratoire Gridl	»	Autriche	divers	—	—	Ruptures artificielles.
*30.	Forst	Neisse	Allemagne	$\frac{180\text{m}}{n}$	1869	1894	» »
*31.	Wolhusen	petite Emme	Suisse	48 ^m	1878	1894	» (flambage du treillis).

5. Sans autre cause apparente qu'un défaut de résistance.

32.	Angers	Maine	France	—	—	1855 (?)	Rupture d'un câble (passage d'un régiment).
*33.	Fischkorn	Pruth	Autriche	30 ^m (?)	—	1868	» de membrures en fonte (train).
*34.	Dundee	Tay	Ecosse	13×70 ^m	1874	28 XII 79	Renversement des piles (ouragan).
*35.	Ashtabula	ravin	Amérique.	45 ^m	1865	29 XII 76	Défaut grave de construction (usure).
36.	Bath	Avon	Angleterre	55 ^m	1862	6 VI 77	Irruption imprévue d'une foule.
37.	Chatham	Medway	»	23 ^m	—	26 VIII 85	Flambage de membrures supérieures (foule).
*38.	Norwood-Junction	»	»	—	—	—	?
*39.	Hopfgarten	Brixer Ache	Autriche	29 ^m	1874	5 X 86	Flambage des membrures supérieures (train).
*40.	Forest Hill	»	Amérique.	—	—	—	?
*41.	Optucha	»	Russie	—	—	—	?
42.	Praunheim	»	Allemagne	27 ^m	—	1892	Flambage des membrures supérieures (?).

Le signe * signifie : pont de chemin de fer.

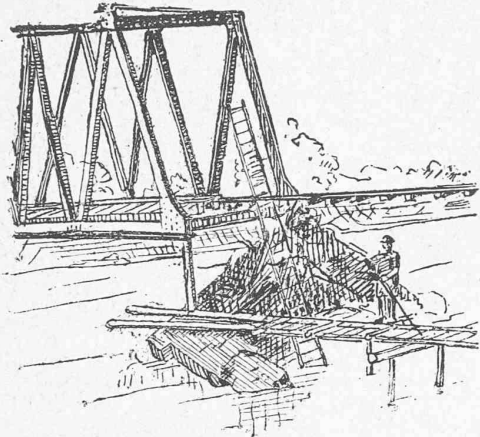


FIG. 1. MOUDON.

D'APRÈS LA SCHWEIZ, BAUZEITUNG.

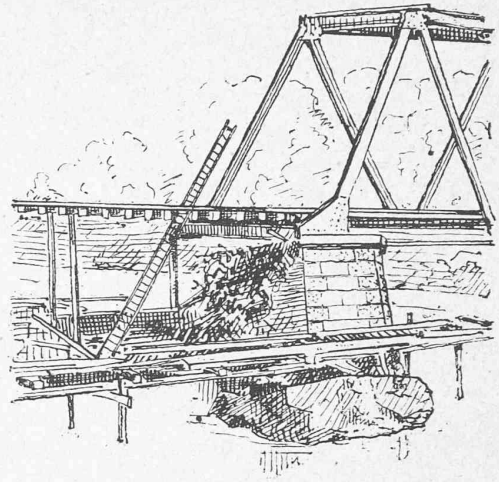


FIG. 2. MOUDON.

BAND 12. S. 139.

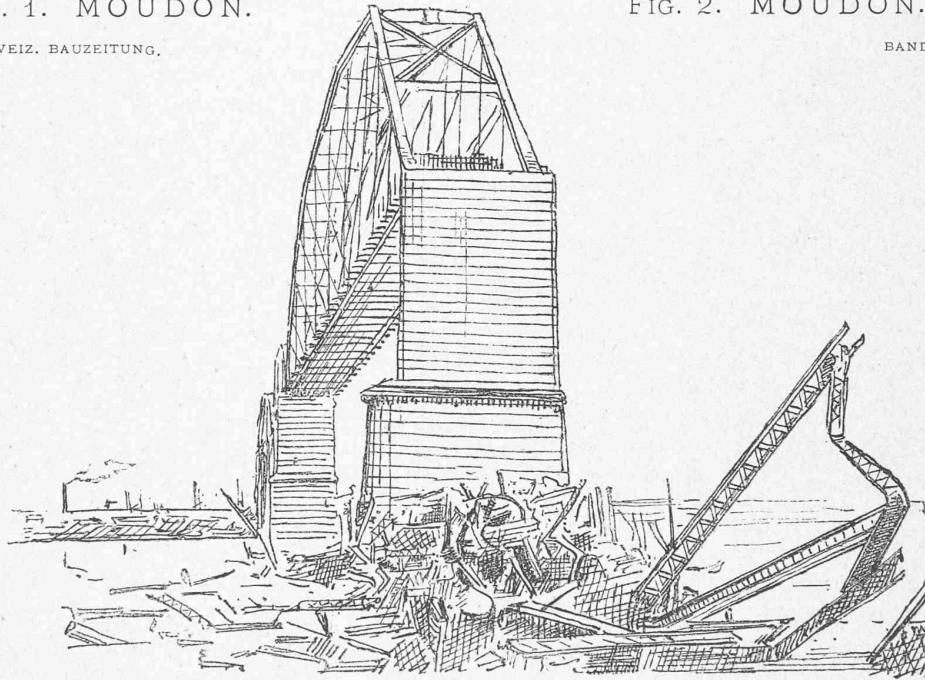


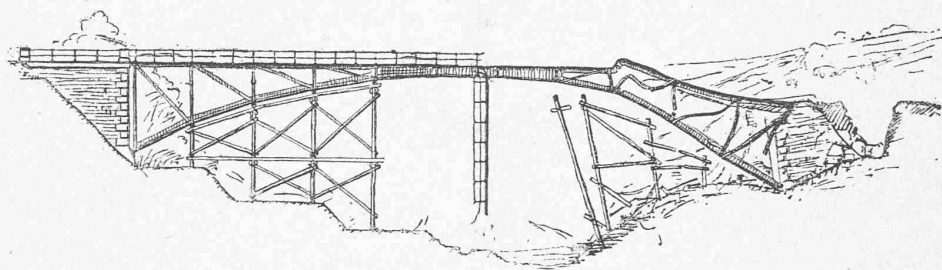
FIG. 3. LOUISVILLE.



FIG. 4. BIG OTTER.

Seite / page

leer / vide /
blank



D'APRÈS L'EISENBAHN.

FIG. 5. HAGNECK.

ED. 7. S. 177.

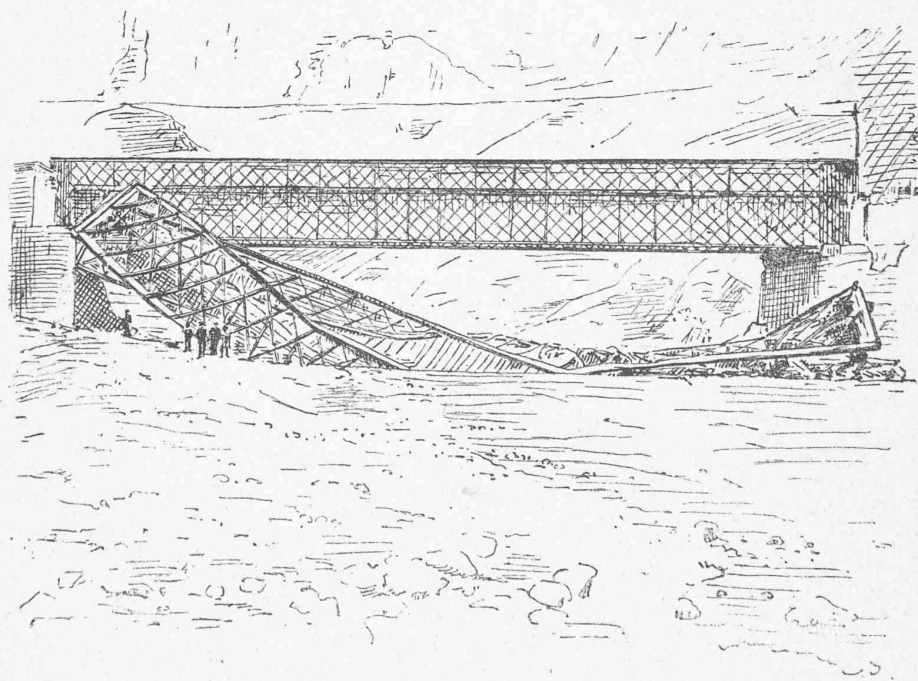


FIG. 6. BALVANO.

Seite / page

leer / vide /
blank



FIG. 7. NAGARAGAVA.



FIG. 8. STEINLAUIBACH.

Seite / page

leer / vide /
blank

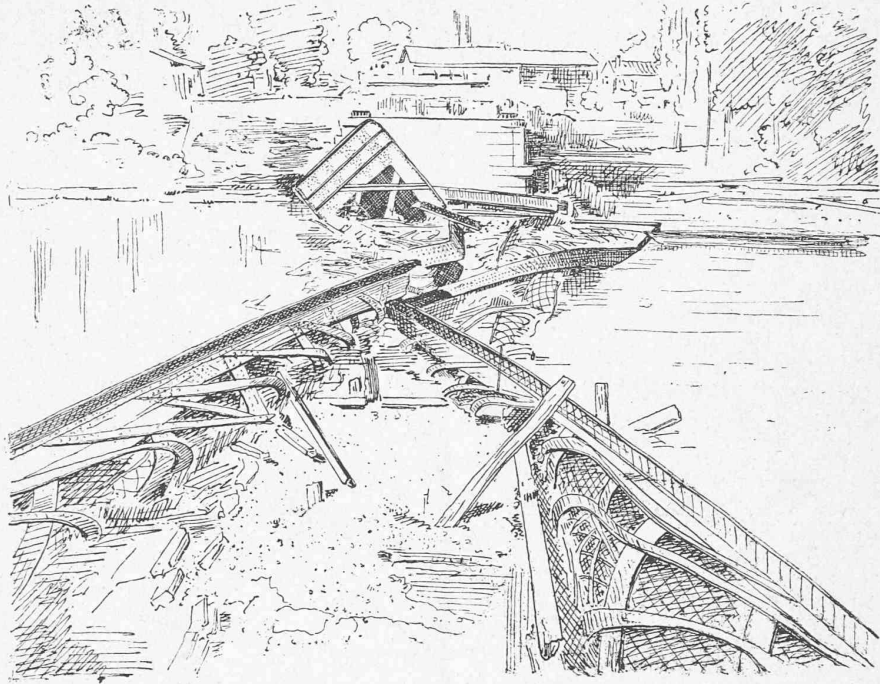
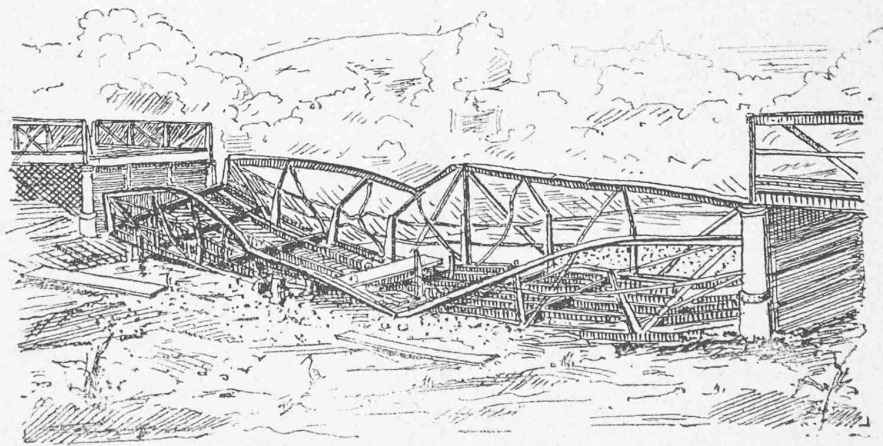


FIG. 9. MIRAMONT.



D'APRÈS LA SCHWEIZ. BAUZEITUNG.

FIG. 10. RYKON-ZELL.

BD. 2. S. 73.

Seite / page

leer / vide /
blank

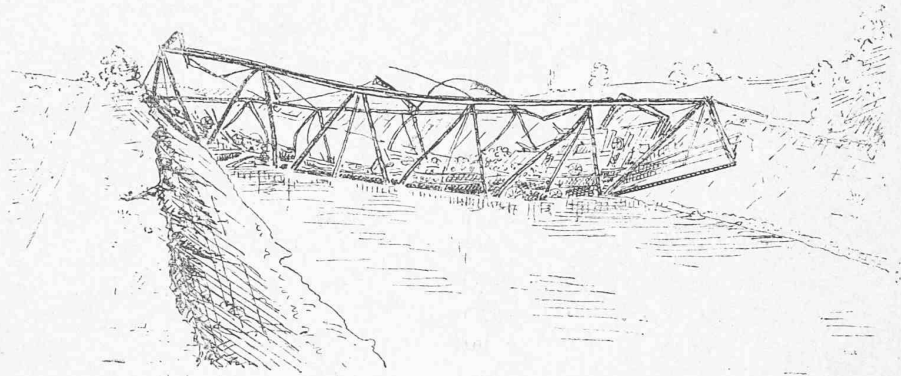


FIG. 11. SALEZ.

D'APRÈS LA SCHWEIZ. BAUZEITUNG.

BD. 4, S. 137.

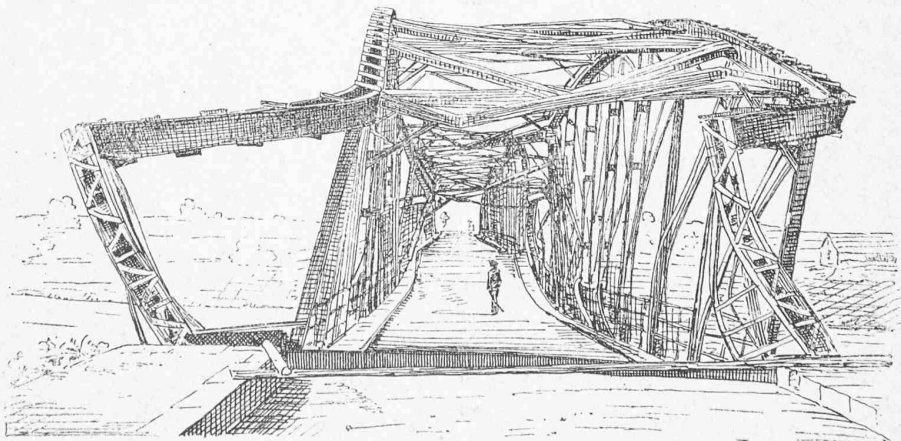


FIG. 12. LJUBITSCHOW.

D'APRÈS LA WOCHENSCHRIFT DES OESTERR. ING. & ARCH. VEREINES.

1893, S. 9.

Seite / page

leer / vide /
blank

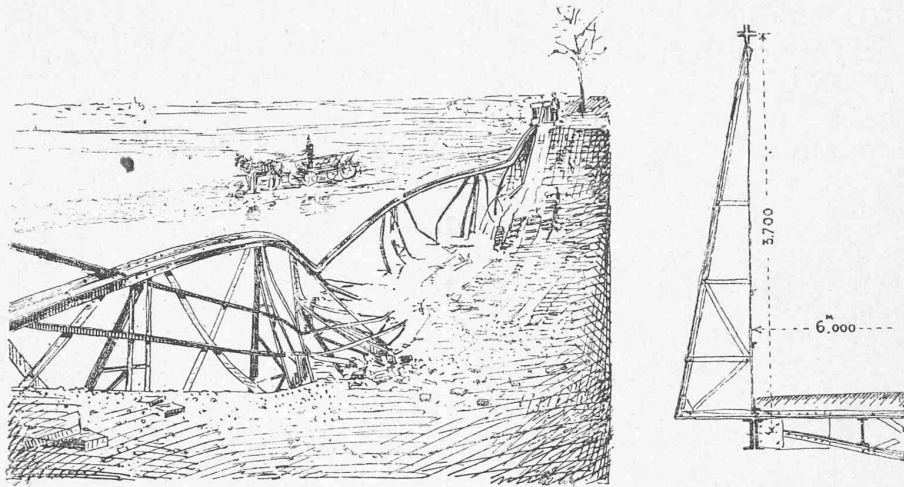


FIG. 13. BERG.

D'APRÈS LA WOCHENSCHRIFT DES ÖSTERR. ING. & ARCH. VEREINES

1891, S. 141.

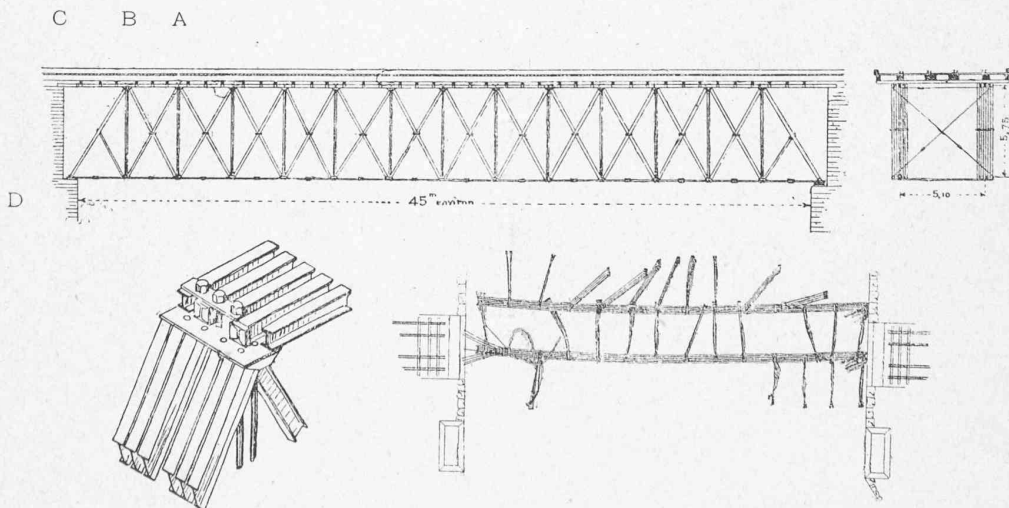


FIG. 14. ASHTABULA.

Seite / page

leer / vide /
blank

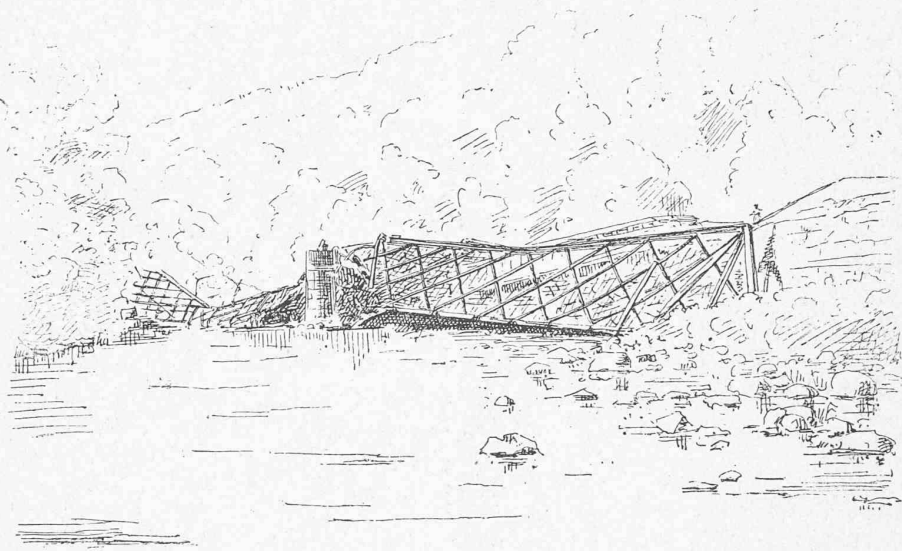


FIG. 15. CHESTER.

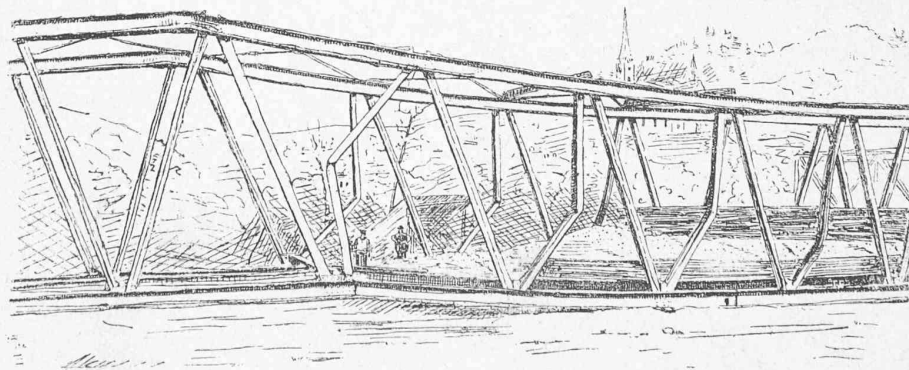


FIG. 16. WOLHUSEN.

Seite / page

leer / vide /
blank

Le pont de Licking-River, aux Etats-Unis, a eu comme cintre, ou pont de montage, le vieux pont suspendu qu'il était destiné à remplacer; par suite d'une répartition irrégulière des charges, facilement explicable par une inégalité des déformations, un câble du vieux pont se rompit et toute la construction, neuve et ancienne, fut précipitée d'une hauteur de 30 m. environ.

Enfin le pont de Miramont, sur la Garonne, sur lequel nous aurons l'occasion de revenir, car il présentait un vice de construction, s'est effondré à l'achèvement du montage, au moment où on commençait à y apporter l'empierrement; on venait de le lancer en long et on l'y avait, paraît-il, fort maltraité.

Nous devons à la grande complaisance de notre collègue et ami, M. K.-E. Hilgard, ingénieur des ponts à la Compagnie du North-Pacific Railroad, à Saint-Paul (Minnesota), une série de vues photographiques, trop nombreuses pour être reproduites ici, du grand pont sur l'Ohio, à Cincinnati, dont une grande travée de 168 m., presque achevée, a été emportée avec son imposant échafaud de montage, en 1888, par une crue inattendue du fleuve et surtout par l'amoncellement des bois qu'il charriait.

Nous devons également à M. Hilgard une série de détails des plus instructifs, que nous regrettons de devoir omettre pour nous en tenir au cadre étroit de notre brève compilation, sur la ruine toute récente du pont sur l'Ohio, entre Louisville et Jeffersonville, dont deux grandes travées de 166 m. ont été renversées par un coup de vent le 15 décembre 1893.

Ce pont, comme le précédent, était du type Pratt, et se trouvait à environ 30 m. au-dessus de l'eau. La figure 3 le représente, au moment où la première travée venait de s'effondrer avec ses échafauds: celle qu'on voit encore debout a eu le même sort dans la soirée; comme elle était assemblée et livrée à elle-même, on suppose que les contreventements, et leurs attaches en particulier, ont été insuffisants.

La figure 4 représente le pont du Big Otter, près de Staunton, dans l'Etat de Virginia (n° 17 du tableau), tombé au passage d'un train pendant la reconstruction et, probablement aussi, faute d'un contreventement vertical suffisant. On y remplaçait des poutres Howe en bois par des fermes Fink, et deux travées avaient été heureusement achevées, lorsque la troisième, presque terminée, se rompit au passage d'un lourd convoi de marchandises; la locomotive et la tête du train avaient franchi le pont sans avarie, ce qui est d'autant plus remarquable que le train marchait à l'allure modérée de 10 km. à l'heure environ¹.

4° et 5°. Nous avons classé en deux autres groupes les ponts tombés par *rupture proprement dite de l'ossature métallique*: le groupe 4 comprend une dizaine de *ponts tombés au moment des essais*: ce sont des cas fort intéressants, car ils ont en général été observés par des gens du métier; leur nombre prouve que les épreuves de charge ont du bon, quoi qu'on dise, au moins pour les ponts-routes; il est seulement déplorable que presque tous ces accidents aient coûté la vie à quelques-uns des intéressés.

¹ Ces deux derniers cas de rupture sont discutés en détail dans la *Railroad Gazette* du 8 avril 1887 et du 29 décembre 1893; on trouvera aussi des vues fort intéressantes du premier dans l'*Engineering Record* du 23 décembre 1893.

Le groupe 5, enfin, contient les *ruptures purement accidentelles*; plusieurs de celles-ci ont été d'épouvantables catastrophes.

* * *

Nous n'avons pas la prétention de raconter en détail chacun des 40 accidents de ponts sur lesquels nous avons pu recueillir des renseignements et serons bref à l'égard des trois premières catégories.

Nous nous bornerons à présenter quelques observations générales au sujet des débris de fer, car, pour du fer cassé, il y en a aussi là où les maçonneries ont cédé tout d'abord, et la manière dont il s'est cassé renferme certains enseignements utiles.

Voici d'abord le pont de Hagneck, un pont en arc construit en 1875 par MM. Ott & C^{ie} sur la tranchée de Hagneck, non loin de l'embouchure du nouveau canal de l'Aar dans le lac de Biene. La culée ouest était assise sur un banc de molasse reposant lui-même sur de l'argile: il en résulta des glissements lorsque, en 1877, on se fut mis à creuser le canal jusqu'au fond, soit jusqu'à 6 m. au-dessous des fondations de la culée.

Le 8 juin 1877 on remarqua certaines déformations insolites: les diagonales voisines de l'autre culée, barres qui auraient dû être tendues, se ployaient visiblement; le 20 juin on y observa même quelques fissures et l'on put constater que l'ouverture avait diminué de 0^m12 et que le sommet de l'arc s'était relevé à peu près d'autant.

On se hâta de remettre l'arc sur cintres et de démolir la culée qui menaçait le tablier métallique, mais le 18 août, un gros bloc se détacha de derrière la culée et vint saper la base des cintres, qui tombèrent avec la moitié du pont.

La figure 5 montre le pont tel qu'il gisait après cette chute.

Comme on voit, la moitié de gauche du pont n'a pas beaucoup souffert, malgré les efforts qu'elle a subis: le 3^e nœud supérieur était cependant remonté de 0^m37 environ, un joint s'y était ouvert, les couvre-joints s'étant déchirés, et les treillis s'étaient faussés.

La moitié de droite avait probablement reçu un choc direct du rocher, ce qui explique sa déformation irrégulière et la courbure bizarre de la membrure supérieure.

La poutre bordure et le garde-corps pendaient dans le vide.

On eut recours à la dynamite pour détruire ces débris et mettre la moitié de gauche en sûreté; détail à noter, on redressa et réutilisa la plus grande partie des fers à la reconstruction du pont, qui s'est bien comporté dès lors.

Le n° 7 du tableau est un pont-route de 48 m. d'ouverture environ, construit en 1889 sur le torrent Platano, à Balvano, village des environs de Salerne.

La figure 6 est une vue d'ensemble prise deux jours après la chute: on y voit le pont du chemin de fer resté debout, et sur les culées double-voie duquel on avait établi le pont-route: il avait fallu pour cela en modifier un peu le couronnement; cette opération avait été confiée à un entrepreneur de l'endroit, qui y avait fait de fort mauvais ouvrage.

Au surplus, il avait gelé, chose rare dans ces parages, gelé

avec persistance, et le mortier n'avait pas fait prise : un des sommiers reposait en particulier sur un véritable éboulis et la charge d'essai, rompant l'équilibre, fit littéralement chavirer le pont, qui se tordit et tomba.

La figure indique clairement que le tablier a subi une torsion et est tombé tout d'abord du côté droit (rive gauche du torrent). Qu'on veuille bien, en passant, remarquer l'analogie de la position de ces débris avec ceux du pont de Mönchenstein.

La comparaison permet non seulement de présumer, mais de prétendre même que le premier est tombé ainsi, c'est-à-dire en se tordant sur sa culée rive gauche comme cela lui était arrivé dix ans plus tôt.

Revenant au pont de Balvano, on observera comme les fers se sont relativement bien comportés : ils étaient d'une bonne qualité courante, mais n'avaient pas été fabriqués avec tout le soin ni examinés avec toute la minutie qu'on y met de nos jours ; cependant leur défaite a été glorieuse : les assemblages, les rivures et les joints du treillis, dont on se méfie le plus, ont tous tenu bon, bien que disposés sans recherche. Les quelques déchirures que l'on a constatées étaient dues au choc d'autres pièces : les treillis n'étaient en général que faussés, mais tous ensemble, car il serait difficile de dire si les uns ont flambé avant les autres ; les rares déchirures des membrures se trouvaient, détail digne de remarque, aux changements brusques de profil, aux endroits où un tronçon relativement massif et raide succédait à une partie plus grêle.

Deux piétons se trouvaient sur le pont au moment de la rupture et n'ont eu aucun mal. Le pont a été reconstruit entièrement à neuf, mais sans la moindre modification du projet, sauf pour les culées où on a mis de la pierre de taille, et le nouveau tablier a bien résisté aux mêmes essais.

Le pont du Nagaragava (n° 8, fig. 7), est tombé en 1891, lors du grand tremblement de terre de la province de Kioto (Japon). Il est plus glorieux encore : les travées tombées n'ont pas faibli et il est à présumer qu'on les aura remontées telles quelles sur leurs appuis en fonte et en béton.

Nous ne savons pas exactement la portée de ces grandes travées, mais ce doit être 50 m. au moins.

Inclinons-nous ici devant les constructeurs anglais ; ils ne calculent pas à outrance, il sont prodigés du métal que dame Nature leur a donné si libéralement ; mais, et c'est beaucoup dire, leurs constructions métalliques sont à l'épreuve des tremblements de terre !

Il est temps de passer aux accidents où le fer seul a faibli, et non les maçonneries.

Nous ne nous arrêterons pas longtemps à ceux qui s'expliquent par le choc extraordinaire d'un corps étranger.

La figure 8 représente la ruine du pont sur le Steinlauibach près de Lungern (chemin de fer du Brünig). Ce pont avait un débouché insuffisant ; il a été rompu en 1892 et entraîné en partie jusque dans le lac de Lungern, à 300 m. de distance environ et à 50 m. plus bas, par une avalanche de pierres (*Steinlawine*, d'où vient le nom du torrent) : la hauteur des pierres de chaque côté du chenal que l'eau s'y est creusé ensuite, dépasse 2 m. Des dix panneaux de chaque poutre, quatre ont été coupés net et emportés.

Un fait digne de remarque est que le tablier, n'étant pas ancré à ses culées autrement que par la bordure de ses plaques d'appui, a été retenu un instant par les éclissages de la voie : les rails résistèrent même si bien que les traverses furent arrachées du sol des deux côtés du pont sur 200 m. environ, les courbes du tracé s'y redressant suivant leur corde.

Ici encore on se servit de la dynamite pour enlever les débris du pont, qu'il eût été dangereux de démolir à la main, mais ce fut plus malaisé qu'on ne le croyait et pour rompre une seule membrure, il fallut s'y reprendre à quatre fois.

Nous appelons particulièrement l'attention du lecteur sur la cassure des membrures de la poutre amont aux changements brusques de section et sur celle de presque tous les montants, à l'endroit où finit le gousset en tôle. Nous retrouverons le même cas plus loin.

La voie a été rétablie en trois jours sur un pont de secours. Le tracé est maintenant dévié vers l'aval, en sorte que le nouveau pont, terminé en 1893, se trouve de plusieurs mètres au-dessus du lit du torrent.

Bien que le pont de Miramont, sur la Garonne, soit tombé pendant la construction, il faut en attribuer la chute au flambage des membrures supérieures des poutres, favorisé, il est vrai, par quelque imprudence commise auparavant, pendant le lançage du pont.

Nous ne saurions mieux faire que de citer ici ce qu'en ont dit MM. Collignon, inspecteur général, et Hausser, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dans leur rapport au Conseil fédéral, du 17 octobre 1892, pages 58 et 59 :

« Or, — il s'agit du flambage, — le témoignage de tous les ponts ruinés est invariable. Chaque fois que, par suite de la faiblesse des barres médianes de treillis, un pont cède, chaque fois, en d'autres termes, que ces barres médianes n'entrent plus en jeu, la membrure supérieure, vivement comprimée au point même où le moment fléchissant est maximum, flambe, se gondole et se brise. Or, rien n'est plus caractéristique que ces efforts de la compression. On ne peut que retourner la conclusion, et dire que, chaque fois que dans une membrure on ne trouve pas trace de ces compressions graves, c'est que les barres de treillis n'ont pas flambé ; elles sont restées en activité et ont rempli leur rôle. Toutes les considérations théoriques doivent ici échouer devant les faits ; on ne peut conclure contre la réalité. Nous sommes donc forcés d'admettre, par la vue du pont de Mönchenstein, que les barres médianes se sont bien comportées, comme nos calculs nous l'ont montré....

» Parmi les ouvrages ruinés qui montrent bien clairement le phénomène dont nous parlons, nous pouvons citer le pont de Miramont sur la Garonne. Cet ouvrage, de 54 m. de portée, donnait passage à une route. Les ingénieurs adoptèrent pour les poutres principales environ le dixième de la portée, et se trouvèrent dans l'impossibilité d'entretoiser les membrures supérieures, mais ils ne donnèrent pas aux treillis et aux montants verticaux la rigidité voulue pour assurer une déformation plane.

» Dès la mise en place par lançage, ce pont se déversa ; pour redresser les poutres principales et intercaler des montants verticaux, on se servit de vérins hydrauliques, et au cours du fonctionnement des vérins un craquement formidable se produisit. On examina le pont et on ne découvrit rien. Toutefois, on arrêta le travail de redressement et on crut pouvoir amener les matériaux pour la chaussée. Pendant le chargement, les deux poutres principales, déjà déversées vers l'intérieur, se cou-

chèrent l'une sur l'autre ; le pont subit une flexion grave et il tomba dans la Garonne en entraînant trois ouvriers ; les autres purent fuir vers les culées. En examinant le pont étendu dans la rivière, on découvrit que les extrémités avaient peu souffert, sauf un panneau cassé par frottement contre la culée de la rive gauche.

» Au milieu du pont, au contraire, les désordres étaient graves ; la membrure supérieure surtout était comme mâchée au point où la compression est, d'après la théorie, la plus grande. Il n'était pas nécessaire de faire des investigations étendues pour découvrir que ce pont n'avait pas au milieu une rigidité suffisante. Toutefois, une intéressante discussion se produisit à cet égard. On découvrit dans la poutre amont, qui avait cédé la première, au ras des cornières de la membrure, et parfois dans l'intérieur des cornières, une longue déchirure de près de 14 m. de longueur. Il est probable que le craquement formidable qui s'était produit au cours du redressement avait été occasionné par cette déchirure d'abord imperceptible et cachée par les cornières. Au cours du chargement, cette déchirure augmenta, et quand elle fut assez grande pour permettre une flexion sensible, le pont se coucha. Mais on pouvait aussi admettre que les barres de treillis étaient incapables de résister, et qu'en l'absence de la déchirure le pont ne pouvait que tomber, la déchirure étant non la cause, mais la conséquence de l'accident. Quelle que soit, dans cet ordre d'idées, l'opinion que l'on doive croire fondée, une chose est certaine en ce qui concerne l'enseignement à tirer pour le pont de Mönchenstein. C'est que, si, par une raison quelconque, un pont est, dans ses parties centrales, trop faible, la position qu'il prend par la chute l'indique clairement.

» Si le pont de Mönchenstein avait cédé par la faiblesse des barres centrales, il aurait fléchi au milieu, les entretoises du milieu auraient cédé, le contreventement se fût rompu et les membrures supérieures devenant libres se seraient déformées, mâchées ou brisées.

» En comparant les photographies du pont de Miramont et celles de Mönchenstein, et en faisant toutes les corrections devant résulter pour le dernier de la présence d'un entretoisement supérieur, on ne peut que remarquer que ces photographies sont l'opposé les unes des autres. A Miramont, on a des désordres centraux graves et des désordres aux extrémités relativement secondaires ; à Mönchenstein, on a des désordres centraux relativement secondaires et des désordres aux extrémités graves. Par conséquent, les causes qui ont amené la chute à Miramont étaient différentes des causes qui ont amené la chute à Mönchenstein. Dans un cas, on devait accuser une faiblesse centrale préexistante ; dans l'autre cas, on doit écarter une semblable faiblesse centrale. »

La figure 9, extraite du rapport que nous venons de citer, indique d'une façon admirablement claire ce qu'est le gauchissement des poutres et le flambage de leurs membrures supérieures.

Nous retrouvons la même cause du flambage dans un bon tiers des ponts tombés pour défaut de résistance (voir entre autres les nos 24, 25, 26, 27, 28, 37, 39).

Les ingénieurs qui dirigeaient les travaux du pont de Miramont cherchèrent à faire endosser à l'entrepreneur la responsabilité de l'accident : néanmoins, l'entrepreneur en fut déclaré tout à fait innocent. Plus tard, à la suite d'un mémoire de M. l'ingénieur en chef Périssé, les auteurs du projet furent absous eux aussi, comme on pouvait s'y attendre. C'est alors qu'on commença en France à tenir compte du flambage dans le calcul des poutres métalliques.

De toutes les ruptures de ponts par faiblesse, celles qui ont lieu pendant les essais sont certainement les plus intéressantes, car elles ont pour témoins des ingénieurs, et l'on peut généralement en tirer quelque enseignement.

Ces essais ont du bon, et les nos 23 à 28 de notre tableau prouvent qu'on ferait mal de les abolir, en tous cas pour les ponts-routes.

Nous citerons encore quelques lignes d'un intéressant récit que le *Journal de Genève* a publié dernièrement en feuilleton. M. Lullin y raconte la chute du pont de Peney, dont il fut le témoin oculaire :

« Les ponts suspendus présentent d'immenses avantages comme économie et rapidité dans la construction, mais ils offrent aussi des inconvénients très sérieux, par le fait des trépidations et du balancement qu'y amène le passage des véhicules ou d'un grand nombre de piétons, et il y a eu de ce fait plusieurs accidents des plus graves, notamment l'écroulement du pont d'Angers sous le passage d'un petit corps de soldats marchant au pas. Un autre défaut sérieux de ce genre de constructions est de ne pas présenter au vent une résistance suffisante, et d'être exposées dans les cas d'ouragans à subir des torsions et des ruptures, si ce n'est dans leurs câbles, du moins dans leur tablier en bois. Enfin pendant longtemps l'on n'a point donné assez d'attention et de soins à l'établissement des points d'attache des câbles, qui sont nécessaires aux deux extrémités d'amarre du pont suspendu, au-delà des portiques, et qui sont constitués par des massifs de maçonnerie, des rouleaux de friction et des ancrages métalliques.

» Les rouleaux de friction, par exemple, sur lesquels passent les câbles descendant des portiques pour pénétrer dans les puits de maçonnerie d'amarre, ont été faits pendant longtemps, non pas en gros fer rond massif comme aujourd'hui, mais en cylindres de fonte creux à l'intérieur, et ce vice de construction a été la cause de plusieurs accidents, dont le plus terrible est survenu, en 1852, au pont suspendu lancé sur le Rhône entre Peney et Aire-la-Ville, non loin de Genève. Ce désastre a eu lieu au milieu même des essais officiels du pont, et comme nous assistions à ceux-ci sur l'invitation d'un des experts, le regretté professeur Colladon, dont nous suivions alors comme étudiant le cours de mécanique à l'Académie de Genève, il nous sera permis peut-être d'en retracer ici en quelques lignes les péripéties peu connues, mais encore toutes vivantes devant nos yeux ; nous sommes aujourd'hui du reste un des rares survivants de cette catastrophe.

» Le pont suspendu de Peney comportait une longueur d'une centaine de mètres entre les deux portiques, mais son élévation au-dessus du Rhône n'en comportait guère qu'une douzaine, et son tablier était entièrement en bois, ainsi que les garde-corps latéraux, suivant l'usage de cette époque. Le chargement d'essai avait lieu au moyen de sacs de sable roulés à la brouette et déposés en lignes successives le long de ce tablier, et, chose singulière, l'opération avait plutôt le caractère d'une fête que d'un essai bien sérieux ; le général Dufour, qui portait le bras en écharpe par suite d'une récente chute de voiture, ne pouvait prendre de notes et les dictait à ses collègues experts, MM. Rochat, ingénieur municipal de Genève, Imperatori, ingénieur sarde de la province du Faucigny, et H. Darier, mécanicien, tandis que M. Colladon s'était chargé de l'observation des appareils spéciaux installés dans un des puits d'amarre sur la rive gauche du Rhône.

» Le charriage des sacs, activement fait avant midi, avait été interrompu pour le repas organisé à Aire-la-Ville pour les experts, les maires des communes riveraines, l'ingénieur-

constructeur du pont, M. Hug, et ses entrepreneurs, etc. ; puis il avait été repris de nouveau, et tous nous étions en causerie sur le pont, lorsque, vers 3 heures, le général Dufour, par une sorte de providentielle intuition qui a sauvé peut-être bon nombre de vies et la sienne, conseille en souriant de ne pas rester sur le tablier en compagnie des sacs, mais d'aller causer sur terre ferme ; et c'est ce que font lentement et sans aucun souci les deux groupes entre lesquels la réunion s'était répartie.

» Notre groupe, le premier et heureusement le plus nombreux, avait à peine franchi le seuil du portique de la rive d'Aire-la-Ville, lorsqu'un sifflement strident retentit dans les puits d'amarre de gauche, et les câbles qui y étaient ancrés, coupés les uns après les autres, s'en échappent bruyamment pour bondir sur le portique. En nous retournant, et au milieu d'un bruit terrible de ferrailles, de bois déchirés, de cris d'angoisse et de douleur, nous voyons le pont tout entier se tordre dans les airs en y lançant, avec des morceaux de son tablier brisé et tous les sacs de sable, les ouvriers eux-mêmes et le groupe qui était resté de quelques pas en arrière de nous. Puis, sauf les câbles tordus auxquels pendent encore de grandes loques de bois, tout retombe, et l'on voit dans le Rhône quelques hommes surnageant et s'efforçant de gagner la rive, tandis qu'on court au pied du portique et de sa culée relever les blessés et les morts. Parmi ceux-ci, qui furent au nombre de dix, figuraient deux des entrepreneurs et le maire de Satigny, M. Turrettini.

» La cause directe de ce désastre avait été la cassure d'un des cylindres de friction dans le puits d'amarre, les angles aigus des morceaux de fonte brisés ayant coupé successivement les fils de fer des câbles de gauche, et parmi les causes indirectes l'on peut mentionner une très courte pluie qui était tombée pendant le repas de midi, et qui avait pour ainsi dire clandestinement augmenté le poids de chaque sac.

» A la suite d'accidents aussi terribles que ceux d'Angers et de Peney et d'autres encore moins graves, les ponts suspendus perdirent leur vogue en Europe, tandis que les Américains les perfectionnèrent énormément, surtout depuis l'année 1855. »

Il y a 20 ou 25 ans qu'on construisit à Payerne une passerelle sur la Broye, dont les essais se firent avec des fûts qu'on remplit d'eau, pour les vider ensuite.

L'épreuve avait bien réussi, et il ne restait plus que la formalité du banquet, lorsque, pour aller plus vite, on eut la malencontreuse idée de décharger la passerelle en vidant les fûts par-dessus bord : on heurta le milieu des membrures supérieures, qui flambèrent et la passerelle s'effondra, tuant deux hommes.

A Rykon-Zell, en 1883, un pont-route de 21 m., également à voie inférieure, du type appelé quelquefois « pont ouvert, » s'effondra sous une charge d'essai de 11'500 consistant en trois chariots de balles de coton de 4 t. environ chacun, qu'on venait d'y placer ; il y eut un mort (le maire de la commune) et cinq blessés, dont deux très grièvement. Bien que ces trois chariots, et ce coton, semblent peu de chose, c'était à peu près le double de ce qu'on avait prévu au contrat, aussi le constructeur, un entrepreneur de l'endroit, venait-il de se retirer en maugréant.

Voici ce qu'il vit : « Lorsque le troisième chariot, dit-il, fut poussé vers le milieu du pont, la membrure supérieure de la poutre sud commença à vaciller, puis s'infléchit tout à coup vers l'extérieur et s'abattit ; un instant après, l'autre poutre suivit et tout le pont s'effondra. »

Un ingénieur qui observait les flèches de la poutre nord remarqua que celle-ci flamba vers l'intérieur au moment même où le pont tomba. Il perdit connaissance, mais s'en tira sans aucun mal.

La figure 10, d'après la *Bauzeitung* (vol. II, p. 73) représente la ruine vue du sud ; digne de remarque est le fait que la poutre sud a flambé vers l'extérieur : cela tient très probablement à quelque gros défaut de montage de cette poutre ; non moins digne de remarque est la rupture de presque tous les montants à la même place, exactement comme nous venons de l'observer au pont du Brünig détruit par une avalanche. La rupture de tous ces montants a été une conséquence du flambage des membrures.

(A suivre.)

NÉCROLOGIE

A trois jours d'intervalle, la Suisse vient de perdre deux ingénieurs parmi les plus méritants dont l'activité s'est exercée non seulement dans leurs cantons d'origine, mais s'est portée plusieurs fois et avec succès sur des objets d'intérêt public vaudois, MM. *Bürkli-Ziegler* et *E. Ganquillet*.

Nous désirons par les lignes qui vont suivre rendre un pieux témoignage à leur mémoire et surtout à l'amitié sincère et dévouée que nous avons constamment trouvée auprès d'eux.

1^o D^r ARNOLD BÜRKLI-ZIEGLER

Petit-fils en ligne maternelle de l'illustre Escher de la Linth, le bienfaiteur de la plaine baignée par les lacs de Zurich et de Wallenstadt, ARNOLD BÜRKLI était destiné lui-même à vouer principalement à l'hydraulique sa féconde carrière.

Appelé de bonne heure aux fonctions d'ingénieur municipal de Zurich, sa ville natale, ce fut d'abord dans l'assainissement de cette vieille cité visitée si cruellement par l'épidémie de 1867 et dans l'alimentation de cette ville en eau potable, puisée dans le lac de Zurich qu'il déploya ses talents et son activité.

Après avoir parcouru plusieurs grandes villes du continent et d'Angleterre par mission de la ville de Zurich, il consigna ses observations dans des écrits détaillés et remplis de renseignements pratiques sur l'assainissement des villes et des habitations. Aujourd'hui ces questions ont sans doute progressé, mais Bürkli en fut l'un des plus vaillants pionniers.

L'introduction des tramways dans la ville de Zurich fut aussi l'objet d'une étude attentive et consciencieuse de la part de notre regretté collègue et l'on consultera, aujourd'hui encore, avec le plus grand intérêt, le rapport qu'il publia en 1878 en collaboration avec M. P.-E. Huber, directeur du Musée industriel de Zurich sur cette question pleine d'actualité.

C'est à la construction des grands quais qui circonscrivent le lac aux approches de la ville de Zurich et à celle du grand pont qui réunit les deux rives de la Limmat que Bürkli a voué les dernières années de sa carrière active dans la ville de Zurich.

Mais là ne se bornait pas l'activité de cet ingénieur infatigable.

Aussitôt après avoir reçu, le 2 juin 1871, du Grand Conseil la concession des eaux de Bret et du chemin de fer pneuma-