

# L'apport d'Eiffel au développement de la construction métallique: à l'occasion du 100e anniversaire de la tour Eiffel

Autor(en): **Crisinel, Michel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **115 (1989)**

Heft 17

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76981>

## **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.

# L'apport d'Eiffel au développement de la construction métallique

## A l'occasion du 100<sup>e</sup> anniversaire de la tour Eiffel

Cet aperçu a pour but unique de montrer aux ingénieurs de Suisse romande quelques aspects peut-être méconnus, du moins oubliés, de l'abondance des travaux auxquels Eiffel a contribué en tant qu'ingénieur, constructeur métallique et chercheur. Cette œuvre immense est bien entendu éclipsée par la tour, qui est en fait le plus grand (et le dernier ?) chef-d'œuvre monumental de la construction métallique. Le XIX<sup>e</sup> siècle en effet a été non seulement le siècle de la révolution industrielle, mais aussi celui de l'apogée de la construction en fer.

En parcourant quelques-uns des très nombreux ouvrages publiés sur Gustave Eiffel, son œuvre, son entreprise, et surtout son chef-d'œuvre monumental, la tour de 300 mètres, on peut

PAR MICHEL CRISINEL,  
LAUSANNE

classer en trois parties l'apport d'Eiffel au développement de la construction métallique et des sciences techniques :

- la construction des ponts
- la construction des piles et pylônes
- les travaux scientifiques.

### La construction des ponts

Ce n'est qu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle que les premiers ponts en fonte ont été construits (pont de Coalbrookdale, Angleterre, 1779). Le XIX<sup>e</sup> siècle a vu la construction de nombreux ponts en fonte, dont la plupart ont eu une durée de vie relativement courte à cause de la fragilité de ce matériau (fréquentes ruptures dues aux chocs des bateaux, à la circulation et aux variations de température). Pour pallier les inconvénients de la fonte, l'utilisation du fer dans les ponts s'est rapidement développée, malgré le coût plus élevé de son élaboration. Dès le milieu du siècle, le fer, en particulier celui qu'on appelle *puddlé* (Schweisseisen), a été utilisé surtout en raison de sa bonne résistance aux efforts de traction et parce qu'il était livrable en longueurs et sections différentes. Il a ainsi largement contribué à la profonde révolution qui s'est produite dans la construction des ponts grâce au développement des lignes ferroviaires. Avec le fer, les constructeurs disposaient d'un matériau permettant de réaliser les trois principaux types de ponts, les ponts-poutres, les ponts en arc et les ponts suspendus, dont la portée n'était plus limitée par les caractéristiques des matériaux.

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, grâce à l'invention du convertisseur Bessemer (1857) et des procédés Siemens-Martin (1867), la fabrication de l'acier devenait industrielle. Ce nouveau matériau, analogue à celui que l'on utilise de nos

jours, allait petit à petit supplanter entièrement la fonte et le fer. On avait passé en un siècle de portées maximales de quelques dizaines de mètres (ponts en maçonnerie et en bois du Moyen Age) à des portées de plus de 500 m (pont suspendu de Brooklyn, 487 m, 1883 ; pont cantilever sur le Firth of Forth, 521 m, 1890).

La carrière d'Eiffel en tant que constructeur de ponts a débuté sur le chantier du pont de Bordeaux (1858-1860). Eiffel avait 26 ans et s'est occupé de l'ensemble du chantier avant de créer en 1866 sa propre société. Relevons d'emblée que Gustave Eiffel n'a pas joué un rôle de pionnier dans l'emploi du métal, mais qu'il l'a utilisé en virtuose - ce qui lui valut, de la part de l'un de ses biographes, l'épithète de « magicien du fer ».

Eiffel a d'abord été l'inventeur de différents systèmes de ponts démontables ou préfabriqués. Ces ponts étaient conçus de façon à se prêter, avec les mêmes pièces, à différentes ouvertures, afin de faciliter l'établissement de chemins vicinaux, de ponts militaires, de chemins de fer à voie étroite et de routes coloniales. Dès 1884, Eiffel les réalisa en acier. Ils étaient composés « de deux poutres formant garde-corps, réunies en leur partie inférieure par les pièces de pont ou entretoises

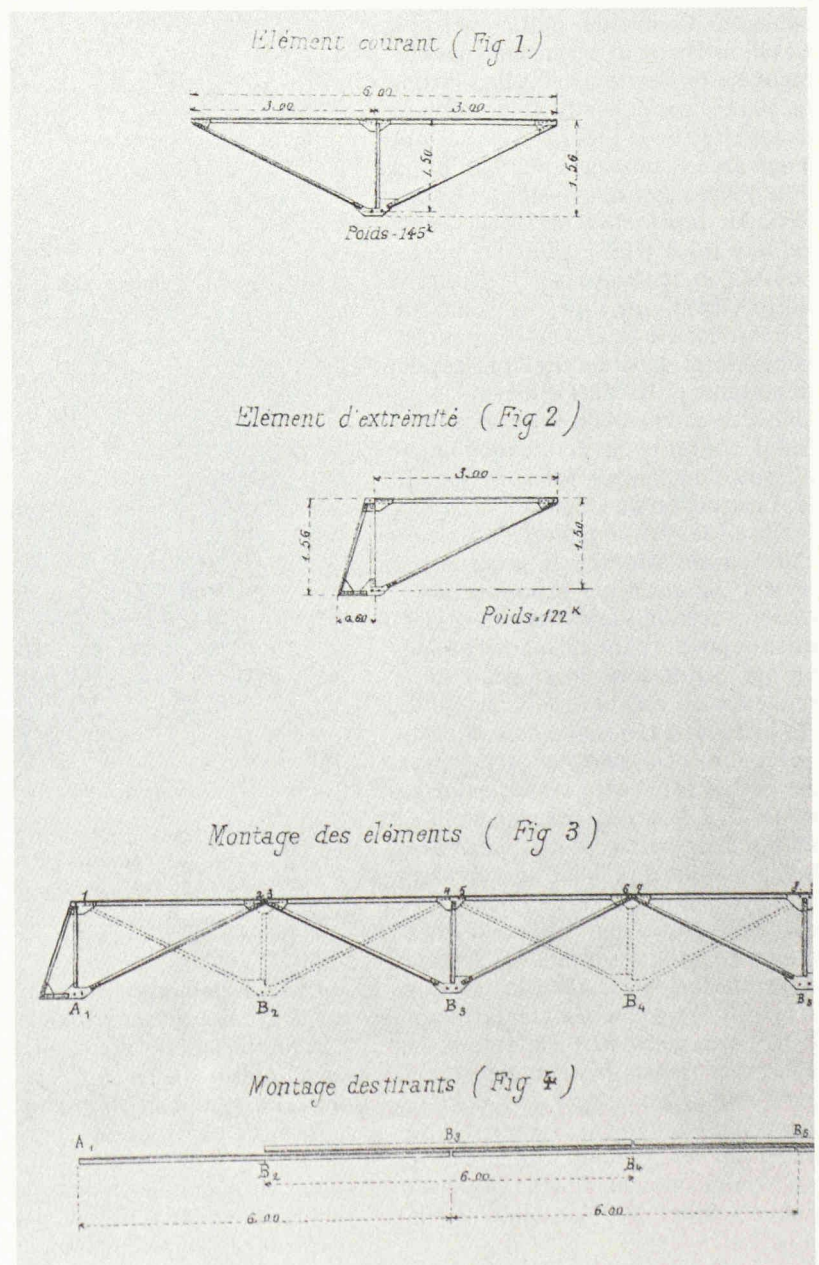


Fig. 1. - «Nouveaux ponts portatifs économiques, système Eiffel». (Tiré de Loyrette [5].)

porteuses. Ces pièces de pont sont à leur tour reliées par des files de longérons qui supportent les planchers. Un contreventement complète la structure du pont. La disposition fondamentale de notre système consiste à composer nos poutres d'un nombre d'éléments triangulaires, superficiels, identiques les uns aux autres, adossés et assemblés entre eux» [5]<sup>1</sup>. Une poutre est composée de trois sortes de pièces, assemblées par boulons et non par rivets, ce qui aurait nécessité un personnel qualifié. Les avantages d'un tel système sont évidents : plus d'études préliminaires, plus de projets spécialement conçus pour chaque client, montage sans ouvriers spécialisés, mise en place facile par lançage, constructions démontables. Ces ponts connurent un grand succès : la longueur construite des différents systèmes conçus par Eiffel dépasse 10 km !

Mais ce ne sont pas ces « ponts portatifs économiques » (fig. 1) qui firent la renommée d'Eiffel, bien qu'ils aient constitué l'ordinaire des ateliers de Levallois-Perret et permis une marche régulière de l'entreprise. A part la tour de 300 mètres et la structure porteuse de la statue de la Liberté, c'est surtout à ses grands ouvrages d'art qu'Eiffel doit d'être passé à la postérité. Citons le viaduc de la Sioule (1869) et le viaduc de la Tardes (1883), pour les ponts-poutres, et le viaduc sur le Douro à Porto (1887), ainsi que le viaduc de Garabit dans le Cantal (1884), pour les ponts en arc – pour ne citer que les plus importants et les plus célèbres.

Une des innovations introduites par Eiffel concerne le perfectionnement du mode de *lançage*. Inauguré lors de la construction du viaduc de la Sioule, le procédé fut largement employé. Eiffel, ayant adopté « le procédé par leviers, qui consiste à actionner directement les galets de roulement sur lesquels repose le pont, de manière à supprimer pendant la progression toute tendance au renversement des piles, [...] imagina les *châssis à bascule* destinés à porter ces galets et dont le type est entré depuis dans la pratique courante. Ces appareils, par leur mobilité autour d'axes horizontaux, permettent aux pressions du tablier de se répartir uniformément sur chacun des galets, de manière qu'aucun des points de la poutre ne porte des réactions supérieures à celles calculées. Cette disposition, représentée fig. 2, a une grande importance parce que la partie inférieure des poutres n'est pas horizontale et que, par l'emploi des châssis à bascule, les galets de roulement viennent s'appuyer sur les escaliers formés par les épaisseurs variables des tôles sur lesquels s'opèrent les roulements. » [5] (Fig. 2.)

Une autre innovation concerne le montage des ponts en arc *en porte à*

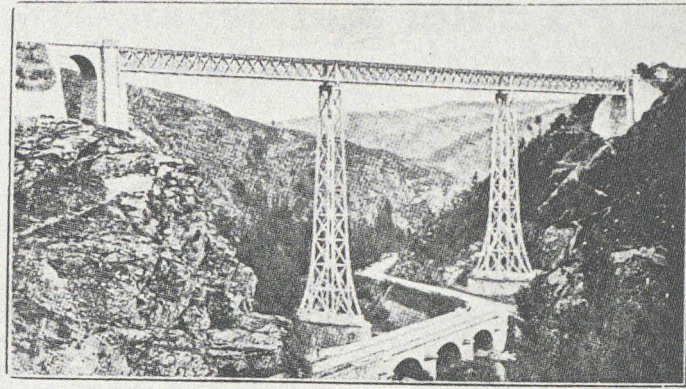


FIG. 1. — VIADUC DE LA SILOULE.

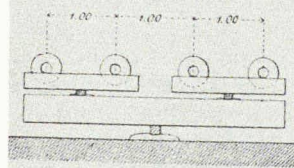


FIG. 2. — CHASSIS DE LANÇAGE A BASCULE A 4 GALETS.

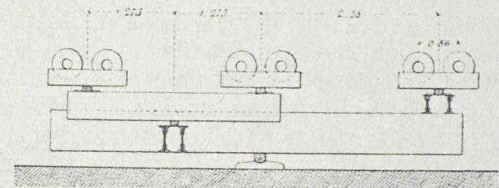


FIG. 3. — CHASSIS DE LANÇAGE A BASCULE A 6 PAIRES DE GALETS.

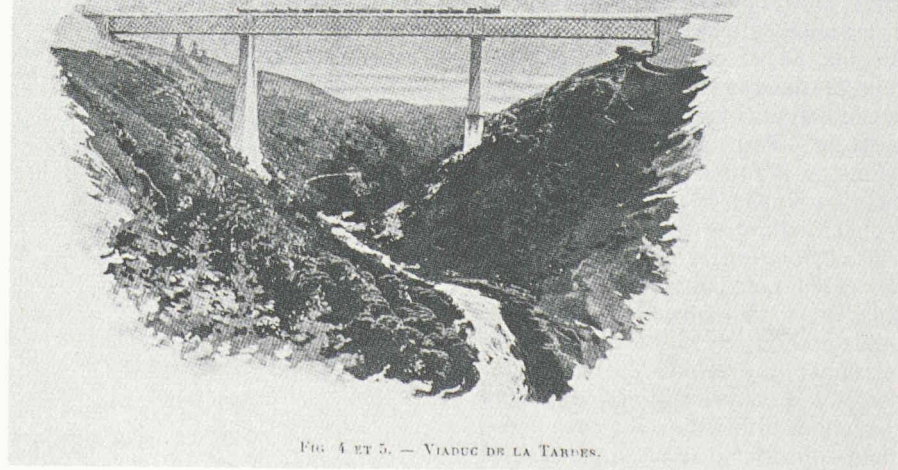
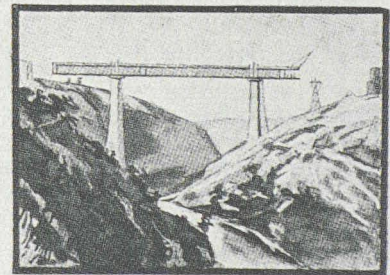


FIG. 4 ET 5. — VIADUC DE LA TARDÉS.

Fig. 2. – Viaduc de la Sioule : détails des châssis de lançage à bascule. Planche extraite de la Biographie industrielle et scientifique, tome I, Paris, Musée d'Orsay, fonds Eiffel.

(Tiré de Loyrette [5].)

*faux*. Lors de la construction du pont sur le Douro, la morphologie du terrain interdisait en effet tout échafaudage intermédiaire. Les arcs furent donc construits à partir de chacune des naissances et « soutenus, au fur et à mesure de leur construction, par des câbles en acier qui venaient se fixer au tablier supérieur. Chacune des parties construites servait de point d'appui pour l'établissement des parties suivantes. Les deux parties d'arc, par ces

cheminements successifs, s'avançaient l'une vers l'autre et venaient se rejoindre dans l'espace, où s'opérait la pose de la clef qui devait les réunir. » [5] (Fig. 3.) Cette opération difficile et nouvelle, dont la photographie montre la progression mathématique, fut menée avec une maîtrise sans faille par

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

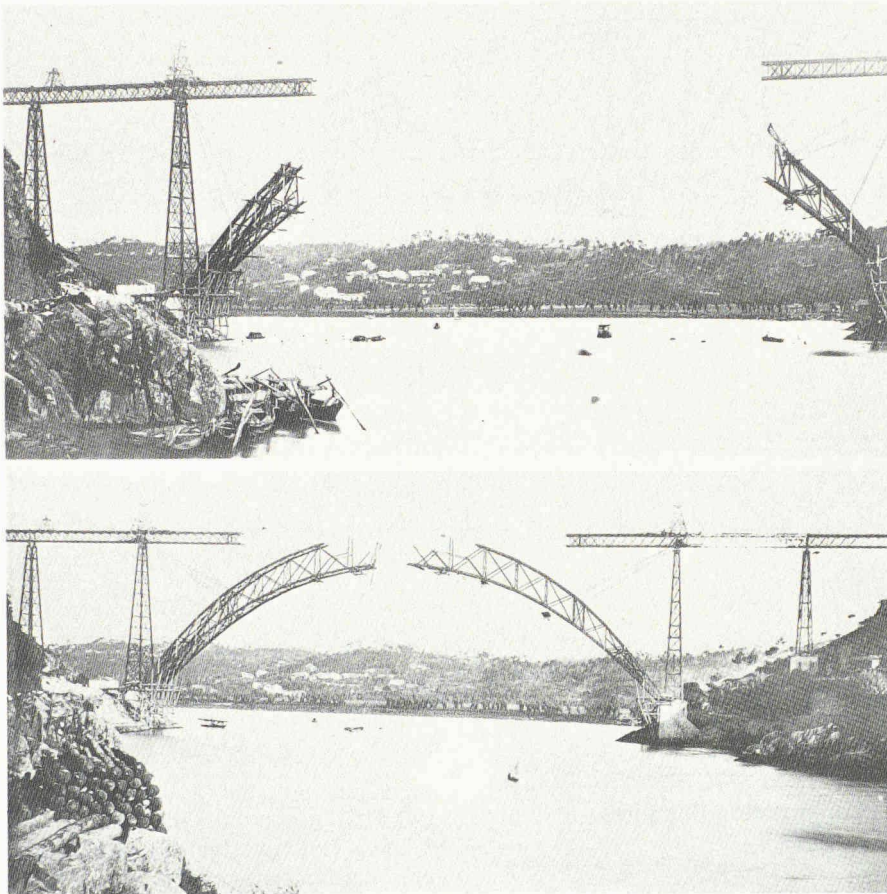


Fig. 3. – Montage du pont sur le Douro à Porto. Photographies, Paris, Musée d'Orsay, fonds Eiffel. (Tiré de Loyrette [5].)

Eiffel. Ainsi, lors de la rencontre à la clé, on put constater que, grâce à la rigueur du travail à l'atelier, à la précision du montage, la déviation entre les deux portions d'arc n'était, horizontalement, que d'un centimètre environ. Verticalement, une plus grande latitude avait été réservée: «L'élasticité des câbles, la flexion de l'arc pendant le montage en porte à faux, les variations de température et d'autres motifs encore faisaient désirer qu'au moment de la rencontre des pièces, on eût devant soi une certaine marge, et que la jonction définitive fût assurée par l'abaissement de l'une vers l'autre des deux portions qui se présentaient. Les amarrages des câbles étaient disposés de telle façon qu'on pût les descendre peu à peu et assurer ainsi l'assemblage du dernier joint. Cette opération se fit lentement mais facilement et avec régularité. On abaissa ainsi l'extrémité de l'arc de 350 mm environ.» [5]

La construction en encorbellement était née. Elle est appliquée avec succès de nos jours pour la construction des arcs aussi bien en métal qu'en béton.

Le viaduc de Garabit, «le plus gigantesque travail du monde» selon une gravure de l'époque, a été construit selon la technique éprouvée au viaduc sur le Douro, «c'est-à-dire en suspendant chacun des demi-arcs par des câbles en acier fixés au tablier, et en rattachant dans l'espace toutes les piè-

ces les unes aux autres par des montages successifs» [5]. Pour la réalisation de cet ouvrage, Gustave Eiffel s'entoure de plusieurs collaborateurs, dont Maurice Koechlin pour l'établissement des calculs et du projet. Maurice Koechlin est connu en Suisse, car il est l'auteur du projet de «Pylône de 300 m de hauteur pour la ville de Paris. 1889. Projet de MM. E. Nougier et M. Koechlin» du 6 juin 1884, dont l'original est déposé à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich. Fraîchement sorti du «Polytechnicum de Zurich», il n'a que 24 ans au début des travaux du viaduc de Garabit.

La différence de cet ouvrage par rapport au viaduc sur le Douro concerne la position de la voie de chemin de fer. Alors que jusque-là, cette voie était toujours placée à la partie supérieure du tablier, si bien qu'en cas de déraillement le train ne pouvait éviter la chute, elle est désormais 1 m 66 plus basse que la semelle supérieure des poutres, «celles-ci formant de part et d'autre une solide muraille capable de maintenir les véhicules dans le cas où ils sortiraient de la voie» [5]. Le vent avait provoqué un tel accident au viaduc de la Sioule.

Nous n'allons pas quitter ce chapitre consacré à Eiffel constructeur de ponts sans citer une réalisation de l'entreprise Eiffel & Comp. tristement célèbre: le pont de Münchenstein sur la Birse. En 1873, la direction de la com-

pagnie de chemin de fer Jura-Berne-Lucerne (qui deviendra la compagnie Jura-Simplon) projetait un nouveau pont en fer sur la Birse de Bâle en direction de Delémont-Bienne. La conception de l'ingénieur Bridel consistait en un pont formé de deux poutres maîtresses en treillis en forme d'arc de 43,6 m de portée et de 7,00 m de hauteur à la clé (fig. 4), d'un poids total devisé de 56,23 t (1,29 t/m).

L'exécution en fut confiée en 1874 à l'entreprise Eiffel & Comp. à Levallois-Perret, vraisemblablement en liaison avec la construction d'autres ponts de la même ligne. L'entreprise Eiffel modifia complètement le projet et réalisa un pont à treillis composé de deux poutres de 6,20 m de hauteur et de 42,96 m de longueur totale, à membrures parallèles (fig. 5). Le poids de l'ouvrage était de 1,20 t/m. En 1881, l'ouvrage subit des dégâts dus aux fortes crues de la Birse et dut faire l'objet de réparations. En 1890, suite à l'introduction de nouvelles locomotives, l'ouvrage fut renforcé. Le 14 juin 1891, le pont s'écroulait dans la Birse au passage d'un train voyageurs composé de deux locomotives, trois wagons postaux et dix voitures de voyageurs, provoquant la mort de 76 personnes. Cet accident constitue, encore à ce jour, la plus grande catastrophe ferroviaire des chemins de fer suisses. L'expertise fut confiée à deux professeurs du Poly de Zurich, W. Ritter et L. Tetmajer [6]. Les résultats en sont les suivants:

- Le pont comportait dès l'origine des éléments trop faibles ainsi que des défauts de construction.
- L'acier utilisé ne correspondait en grande partie pas aux exigences en ce qui concerne la résistance et la ténacité.
- Le pont a subi lors des hautes eaux de 1881 un affaiblissement durable de sa capacité portante.
- Les renforcements effectués en 1890 portaient uniquement sur certaines parties de l'ouvrage; des faiblesses essentielles sont restées.
- Aucun déraillement du train ne s'est produit avant l'effondrement du pont.
- Les causes principales de l'effondrement du pont résident dans la faiblesse des diagonales médianes; l'attache excentrée des diagonales ainsi que la faible qualité des fers ont contribué de façon essentielle à l'effondrement.

En conclusion, les experts ont admis que les diagonales comprimées étaient trop sollicitées et que leurs assemblages avec les membrures étaient trop excentrés. D'autre part, les fers utilisés n'étaient pas de qualité suffisante, aussi bien en ce qui concerne la résistance mécanique que la ténacité, c'est-à-dire la résistance aux chocs.

On peut imaginer, avec le recul, que la

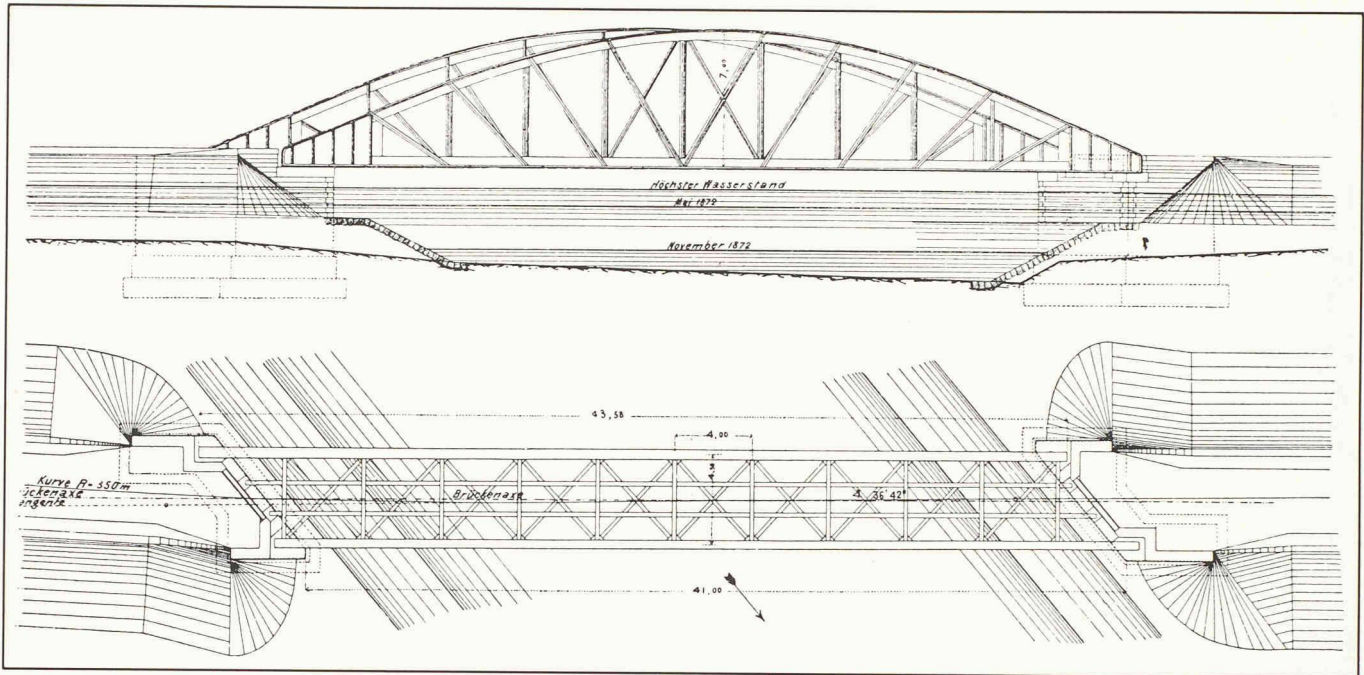


Fig. 4. – Projet de Bridel pour le pont sur la Birse à Münchenstein.

(Tiré de Ritter et Tetmajer [6].)

conception de l'ouvrage ainsi que son dimensionnement ont été à l'époque fortement influencés par des considérations économiques en vue de « décrocher l'affaire », preuve en soit la variante proposée. Cela s'est fait au détriment de la qualité et, dix-sept ans après sa construction, malgré des réparations et des renforcements, le pont s'effondrait. Cet accident n'a pas dû affecter de façon sensible l'entreprise Eiffel ni Eiffel lui-même puisqu'il n'en est fait mention dans aucune biographie connue. Il faut dire qu'à l'époque de la construction de ce pont, l'entreprise réalisait la construction du pont sur le Douro (1450 t) et que, lors de l'accident, Eiffel avait atteint la notoriété grâce à la construction de la tour. Les 50 t de fer du pont de Münchenstein ne représentaient pas grand-chose en regard de ces deux chefs-d'œuvre.

### La construction des piles et pylônes

C'est en construisant ses grands ponts ferroviaires qu'Eiffel fut confronté au problème de l'effet du vent sur les ouvrages, en particulier sur les piles. Les piles en maçonnerie ont le désavantage d'offrir une très grande prise au vent. Pour les grands ouvrages métalliques, on leur substitua des piles évidées plus légères, composées de colonnes en fonte (résistant à la rouille) reliées par des entretoisements en fer. C'est le cas en particulier du pont de chemin de fer de Grandfey sur la Sarine à Fribourg, construit en 1862 par l'ingénieur L. Blotnitzki et transformé en 1926 en pont Melan par création d'arches et enrobage complet de béton.

Reprenant les projets de W. Nordling,

ingénieur en chef à la Compagnie d'Orléans, des ponts sur la Sioule et de Nieuval (1868), Eiffel les améliora. Les colonnes en fonte en effet ne permettaient pas un bon assemblage avec les pièces en fer formant l'entretoisement puisque celui-ci était tenu par des boulons d'articulation au lieu de rivets. Pour pallier cette faiblesse, Eiffel « décida d'employer avec la fonte des assemblages analogues à ceux du fer comportant des goussets rivés. A cet effet, il proposa d'insérer au moment de la coulée, et en les suspendant dans le moule, les goussets dans lesquels on avait pratiqué des fenêtres de communication pour assurer l'assemblage au moyen de tenons faisant corps avec la partie en fonte. » [5] Eiffel avait ainsi eu l'intuition de ce qui allait devenir l'assemblage par soudure. Une autre amélioration, que l'on ne peut imputer à Eiffel lui-même puisqu'elle est appa-

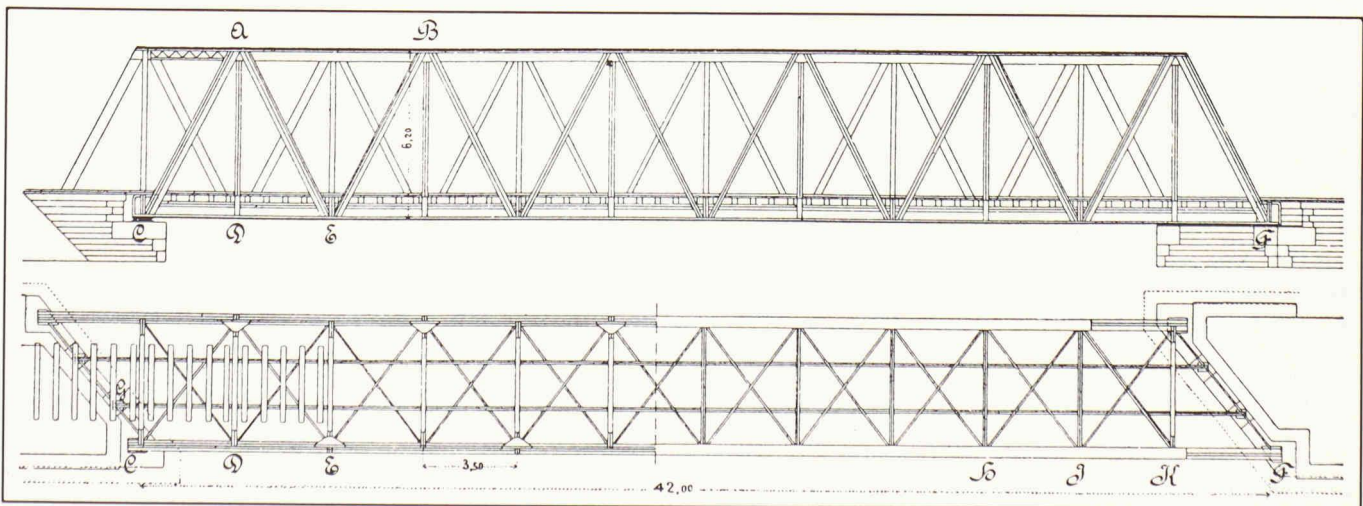


Fig. 5. – Variante de l'entreprise Eiffel & Comp. pour le pont sur la Birse à Münchenstein (variante exécutée en 1874-1875).

(Tiré de Ritter et Tetmajer [6].)

rue lors de la réalisation du viaduc de la Bouble par les entreprises Cail et Fives-Lilles sous la direction de F. Moreau, concerne la base des piles : on l'élargit par des jambes de force circulaire pour assurer la stabilité de l'ouvrage sous vent transversal ; ainsi, il n'est pas nécessaire d'écarter beaucoup les quatre colonnes, ce qui permet au contreventement d'être efficace malgré sa légèreté. Ce viaduc servit de prototype aux autres viaducs de la ligne Paris-Orléans, en particulier au viaduc de la Sioule construit par Eiffel (fig. 2).

Lors de la conception de la tour de 300 m, Eiffel se souvient de ses travaux sur les piles et poursuit ses réflexions sur la façon de lutter contre les effets du vent : « Les piles de ces viaducs, dont la partie métallique a une hauteur maxima de 51 mètres au-dessus du soubassement en maçonnerie, étaient constituées de colonnes en fonte, réunies par des entretoises en fer. Je me suis attaché depuis à ce genre de construction, mais en remplaçant la fonte par le fer afin d'augmenter les garanties de solidité. Le type de piles que j'y ai substitué consiste à former celles-ci par quatre grands caissons quadrangulaires, ouverts du côté de l'intérieur de la pile, et dans lesquels viennent s'insérer de longues barres de contreventement de section carrée, susceptibles de travailler aussi bien à la compression qu'à l'extension sous les efforts du vent. [...] La rigidité des piles ainsi constituées est très grande, leur entretien très facile et leur ensemble a un réel caractère de force et d'élégance. Mais si l'on veut aborder des hauteurs encore plus grandes et dépasser 100 mètres, par exemple, il devient nécessaire de modifier le mode de construction. - En effet, si les pieds de la pile atteignent une largeur de 25 à 30 mètres nécessaire pour ces hauteurs, les diagonales d'entretoisement qui les réunissent prennent une telle longueur que, même établies en forme de caissons, elles deviennent d'une efficacité à peu près illusoire et en même temps leur poids devient relativement très élevé. Il y a donc grand avantage à se débarrasser complètement de ces pièces accessoires et à donner à la pile une forme telle que tous les efforts tranchants viennent se concentrer dans ses arêtes. A cet effet, il y a intérêt à la réduire à quatre grands montants dégagés de tout treillis de contreventement et réunis simplement par quelques ceintures horizontales très espacées. S'il s'agit d'une pile supportant un tablier métallique, et si l'on ne tient compte que de l'effet du vent sur le tablier lui-même, lequel est toujours considérable par rapport à celui qui s'exerce sur la pile, il suffira, pour pouvoir supprimer les barres de contreventement des faces verticales,

de faire passer les deux axes des arbalétriers par un point unique placé sur le sommet de cette pile. Il est évident, dans ce cas, que l'effort horizontal du vent pourra se décomposer directement suivant les axes de ces arbalétriers, et que ceux-ci ne seront soumis à aucun effort tranchant. Si, au contraire, il s'agit d'une très grande pile, telle que la Tour actuelle, dans laquelle il n'y a plus au sommet la réaction horizontale du vent sur le tablier, mais simplement l'action du vent sur la pile elle-même, les choses se passent différemment et il convient, pour supprimer l'emploi de barres de treillis, de donner aux montants une courbure telle que les tangentes à ces montants, menées en des points situés à la même hauteur, viennent toujours se rencontrer au passage de la résultante des actions que le vent exerce sur la partie qui se trouve au-dessus des points considérés. Enfin, dans le cas où l'on veut tenir compte à la fois de l'action du vent sur le tablier supérieur du viaduc et de celle que subit la pile elle-même, la courbe extérieure de la pile est moins infléchie et se rapproche de la ligne droite. Ce nouveau système de piles sans entretoisements et à arêtes courbes fournit pour la première fois la solution complète des piles d'une hauteur quelconque. » [1]

C'est donc par des réflexions sur les conditions d'équilibre qu'Eiffel en vint à considérer que le projet de pylône de 300 m élaboré par ses ingénieurs était réalisable. Ce sont ces mêmes considérations, combinées avec des réflexions nouvelles sur les conditions de l'intensité du vent, qui ont donné à la tour sa forme géométrique définitive et sa beauté propre.

Lorsque Eiffel entreprend de construire sa tour, il est au sommet de son art en ce qui concerne la construction des ponts, qu'il a fait passer de l'âge de la fonte à l'âge du fer. Va-t-il passer à l'âge de l'acier, matériau nouveau dont les procédés d'élaboration sont au point mais dont le coût est encore très élevé ? Au moment du projet, il hésite. Si c'est sûrement le métal (fer ou acier) qui sera utilisé - il présente l'avantage d'être démontable après l'exposition ! -, le fer a pour l'heure la préférence de l'ingénieur, qui réserve toutefois sa réponse définitive. Son unique certitude est que l'usage de la seule maçonnerie rend l'exécution impossible.

Finalement c'est le fer, pour des raisons de coût, qui fut retenu. Ayant déjà réussi à imposer son projet face à la solution en maçonnerie, Eiffel ne jugea pas opportun de le réaliser en un matériau nouveau, cher et mal connu. Il ne pouvait concevoir sa tour qu'en fer, l'ingénieur et son matériau formant un tout indissociable. L'acier sera le matériau du XX<sup>e</sup> siècle.

## Les travaux scientifiques

On ne peut terminer ce bref aperçu des travaux d'Eiffel dans le domaine de la technique sans parler de ses travaux de recherche scientifique. Mais, contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, ce n'est pas dans le domaine de la statique ou de la stabilité des pylônes qu'Eiffel a produit des résultats de recherche, mais dans les domaines liés au vent et à ses actions sur les structures. En effet, comme il l'explique lui-même, « pendant le cours de ma carrière d'ingénieur, et en raison des ouvrages d'art de dimensions exceptionnelles qui l'ont remplie, le vent a toujours été pour moi un sujet de préoccupation ; il était un ennemi contre lequel j'avais à prévoir une lutte constante, soit pendant la construction, soit après. La connaissance de son effort, que l'on déduisait de celle de sa vitesse, impliquait donc l'étude de celle-ci. » [5]

De l'étude de la forme des piles de ponts et des pylônes, il passe donc à l'étude de la résistance de l'air, puis à la « détermination des autres éléments météorologiques ». Il installe sur la tour une station de mesure et, en tant que mécène, trois autres stations météorologiques dans des propriétés familiales qu'il possède en des endroits distincts de France.

Ces mesures météorologiques concernaient la pression atmosphérique, la température de l'air, l'humidité atmosphérique, la vitesse et la direction du vent. On étudia sur la tour Eiffel d'autres phénomènes physiques tels que l'électricité atmosphérique, et en particulier la façon de faire jouer à la tour « le rôle d'un immense paratonnerre protégeant un très large espace autour d'elle » [1]. On réalisa des mesures du déplacement du sommet de la tour dû au vent et à la température ainsi que des études sur les effets physiologiques et thérapeutiques de l'ascension de la tour.

Eiffel étendit ses examens météorologiques à la France entière, recueillant jusqu'en 1912 les résultats de 25 stations françaises. Mais la carrière scientifique à laquelle Eiffel consacra la fin de sa vie concerne essentiellement les problèmes de la résistance de l'air. Ce sujet prenait en effet de l'importance par suite de la naissance de l'aviation. Ces recherches permirent d'établir, sur la base de mesures effectuées à la tour, les lois fondamentales de la résistance de l'air, vérifiant qu'elle est « proportionnelle au carré de la vitesse ». Eiffel installa un laboratoire au Champ-de-Mars, puis à Auteuil, dans lesquels il créa des souffleries. Il y entreprit les premières recherches sur « les meilleurs profils d'ailes d'aéroplanes ». Il suscita également des recherches dans

**Bibliographie**

- [1] EIFFEL, GUSTAVE: *Travaux scientifiques exécutés à la tour de trois cents mètres de 1889 à 1900*, Paris, 1900.
- [2] EIFFEL, GUSTAVE: *Recherches expérimentales sur la résistance de l'air exécutées à la tour Eiffel*, Paris, 1907.
- [3] BRAIBANT, CHARLES: *Histoire de la tour Eiffel*, Plon, Paris, 1964.
- [4] *Ponts de France*, Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris, 1982.
- [5] LOYRETTE, HENRI: *Gustave Eiffel*, Office du livre, Fribourg, 1986.
- [6] RITTER, W. ; TETMAJER L. : « Bericht über die Mönchensteiner Brücken-Katastrophe », *Schweizerische Bauzeitung*, 1891, Band XVIII.

son vivant et qu'il regretta souvent lui-même que son œuvre personnelle fût masquée par sa tour.

**Conclusions**

Si le nom d'Eiffel reste donc gravé dans l'histoire grâce à la tour, justifiant l'adage « il n'y a que le provisoire qui dure », c'est malgré tout l'essor que ce grand constructeur et entrepreneur a apporté à la construction métallique qui est l'aspect le plus significatif de son œuvre. Eiffel tira parti du développement du chemin de fer au XIX<sup>e</sup> siècle pour donner à la construction métallique ses plus grandes lettres de noblesse. C'est dans la construction des ponts surtout qu'il innova par ses méthodes de montage audacieuses et par la création d'ouvrages démontables, précurseurs des constructions préfabriquées d'aujourd'hui. Il n'a en

revanche que peu ou pas contribué à l'essor de la statique graphique qu'il a su au contraire utiliser en maître. Une fois renommée et fortune faites, ce génial entrepreneur devint mécène et savant dans les domaines de la météorologie, de l'aérodynamique et de la radiodiffusion. A cet égard, il peut donc être considéré comme le premier protecteur de la recherche, alors même que n'existait encore, en France, aucun centre national dédié à ce but.

**Adresse de l'auteur :**

Michel Crisinel  
 Chef de section  
 Construction métallique (ICOM)  
 Département de génie civil - EPFL  
 1015 Lausanne

d'autres domaines, tels ceux liés à la télégraphie sans fil. Il faut noter qu'Eiffel fut honoré pour ses travaux d'ingénieur, d'entrepreneur et de savant de

**Actualité****Notre Ville fédérale soigne son paysage urbain**

Les ponts sont des agents de liaison. Ils franchissent vallées et dépressions pour établir des voies de communication plus rapides, créant des contacts qui rapprochent les gens - à l'instar de l'un des éléments du paysage urbain de notre Ville fédérale, le pont du Kirchenfeld qui, depuis plus d'un siècle, relie deux quartiers de Berne fort animés. Un pont qui, grâce au fait qu'il est fait d'acier, est aujourd'hui en cours de rénovation.

Les bâtisseurs du pont du Kirchenfeld ont jadis fait preuve de clairvoyance en optant pour une construction en acier. Leur œuvre, en dépit d'un trafic toujours plus intense, a parfaitement tenu son rôle pendant des dizaines d'années. La force de résistance et l'élasticité nécessaires, c'est à son ossature en acier, noyau de l'ouvrage, qu'on les doit. Et sa haute résistance à la corrosion, caractéristique bien connue de l'acier, a permis à ce pont de subir sans

dommages irréversibles les continuelles attaques des gaz d'échappement et autres pollutions diverses.

Conservé et rénové sont à l'ordre du jour. Il faut aujourd'hui faire du neuf avec du vieux. Et quand on s'y emploie, c'est toujours l'acier qu'on retrouve. Ainsi pour le pont du Kirchenfeld : d'une part, son ossature en acier a assumé une fonction porteuse pour des milliers et des milliers d'usagers de chaque jour et, d'autre part, c'est grâce à l'acier qu'on peut aujourd'hui le conserver et le rénover. Les démontages nécessaires, l'indispensable remplacement de certains éléments, les adaptations et réorganisations exigées par l'exploitation, ainsi que les éléments et renforcements à ajouter après coup, seul l'acier permet de le faire, sans que se posent de gros problèmes d'ordre technique et financier.

Les ouvrages en acier satisfont également des exigences légitimes en ce qui concerne l'environnement et le paysage. De volume réduit, plus « sveltes » que les ouvrages en dur, ils s'insèrent mieux dans l'image d'un site, urbain ou autre.

