

Le pont Maria Pia sur le Douro à Porto, précurseur du Viaduc de Garabit

Bruno GODART

Ancien Dir-adjoint du Département Matériaux et Structures de **l'Université Gustave Eiffel**
Président d'Honneur de l'Association Française de Génie Civil

A la rencontre du Viaduc de Garabit : Jeudi 17 octobre 2024

Gustave Eiffel : Constructeur de ponts au portugal

Constructeur de ponts au Portugal

Environ 80 ponts et viaducs métalliques ont été réalisés par Eiffel entre 1875 et 1893, dont 27 ponts et viaducs d'une longueur supérieure à 20 m (*).

Parmi ces 27 ponts, 4 sont encore en service : les ponts **Maria Pia** (352 m), **Viana do Castelo** (562 m) , **do Alviella-Salavem** (61 m), et de **Praia** (496 m).

A noter que les succès de la Compagnie Eiffel résident largement dans le talent des ingénieurs recrutés par Gustave Eiffel :

- **Théophile Seyrig**, Ingénieur de l'Ecole Centrale recruté en 1878, associé de Gustave Eiffel. Concepteur du pont Maria Pia ainsi que du grand viaduc de Viana do Castelo.
- **Emile Nougier**, Polytechnicien et ingénieur des Mines (vient de l'entreprise Gouin) : coordonnateur des travaux du pont Maria Pia, ainsi que l'un des concepteurs de la tour Eiffel
- **Jean Compagnon**, chef monteur sur le pont du Douro.

En avril 1876, Gustave Eiffel part pour le Portugal avec son épouse et leur fille Valentine. Gustave Eiffel s'attache au Portugal et il habite à Barcelinhos en 1877 lors de ses séjours sur les chantiers du pont de Porto et de ceux sur la ligne du Minho.

Au retour d'un voyage en avril 1877 il trouve son épouse dans un état alarmant ; elle décèdera le 8 septembre 1877.



(*) NunoManuel Aires Nunes. Reconhecimento de Padroes Estruturais. Construtivos e Materiais nas Pontes de Casa Eiffel em Portugal (109 p.). Lisbonne 2018



Gustave Eiffel a construit des ouvrages d'art sur les huit lignes de chemin de fer

- 1877. **La Linha do Minho** (140 km) poursuit la **Linha do Norte** au nord de Porto et elle mène à **Valença do Minho** à la frontière espagnole. **Ponts Eiffel** : CAVADO, **VIANA DO CASTELO**, NEIVA, ANCORA, Caminha, Vila Mea
- 1877. **La Linha do Douro** (192 km) joint la **Linha do Norte**, de Ermelinde à Barca d'Alva à la frontière espagnole. **Ponts Eiffel** : Viaduto VILA MEA, TAMEGA
- 1882. **La Linha do Beira Alta** (202 km) se pique sur la **Linha do Norte** à Pampilhosa et elle rejoint la frontière espagnole à Vilar-Formoso. Cette ligne est en région accidentée. **Ponts Eiffel** : VARZEAS, MILIJOSO, TREZOI, BREDAS, CRIZ, DAO, OLAS, NOEMI, COA, Frezse, Beira Beixa, Cazillas, Perala, Gouveia, Celerico
- 1893. **Linha do Beira Baixa**. Cette ligne longue de 212 km part de la **Linha de Leste** à Abrantes et elle va jusqu'à Guarda. **Pont Eiffel** : PRAIA
- 1880. **Ramal de Caceres**. Cette branche de 72 km relie la **Linha de Leste** à la frontière Espagnole. **Ponts Eiffel** : NIZA, CASTELO DE VIDE
- 1864. **Linha do Norte** : Lisbonne-Porto. C'est la ligne principale du pays (349 km). Au départ de Lisbonne, dessert d'abord Vila de Gaia près de Porto. Le pont sur le Douro en 1877 a permis l'accès à la gare de Sao Bento terminus de la ligne à Porto. **Ponts Eiffel** : Monte trigo, **ALVIELA**, Almond, Bleone, Ribeira, Modego, Cucuminho
- 1863. **Linha de Leste** : Abrantes-Elvas (141 km). Desserte de l'est du Portugal de la **Linha do Norte** à Badajoz. **Ponts Eiffel** : les mêmes que ceux de la **Linha do Norte** sur le trajet ancien Lisbonne-Abrantes-Badajoz.
- 1885. **Linha de Sintra** de Lisbonne à Sintra (28 km) 15 **ponts Eiffel** dont : PONTE NOVA, SANT'ANNA DE BAIXO, SANT'ANNA DE CIMA, Torres, Veotras, Ramal, Morianna, etc.

Carte issue de « *Gustave Eiffel Constructeur de ponts et viaducs au Portugal* » par **Georges PILOT** IESF, Comité Génie Civil et Bâtiment.

Pont Viana do Castelo

C'est un ouvrage mixte rail-route en fer à deux niveaux, La voie ferrée est au niveau inférieur et la route au niveau supérieur. Il se trouve sur la ligne ferroviaire du Minho, au nord du Portugal et franchit le fleuve Lima. **Il date de 1878.**

Il mesure 562 m de long avec 10 travées : deux travées d'extrémité de 46,98 m et 8 travées centrales de 58,46 m. La largeur de la route, initialement de 6,88 m, a été portée à 8 m en 2007.

Sa structure comporte deux poutres droites continues de 7,5 m de hauteur, à treillis multiple, formant des panneaux de 2,70 m de côté. Elle repose sur des piles en maçonnerie par l'intermédiaire d'appareils d'appui mobiles à l'exception de la pile 5 qui reçoit des appuis fixes. Les piles reposent sur des fondations profondes réalisées à l'air comprimé, à des profondeurs variant de 7 à 22 m.

Le pont a été mis en place par poussage, performance qui constitue un record à l'époque.

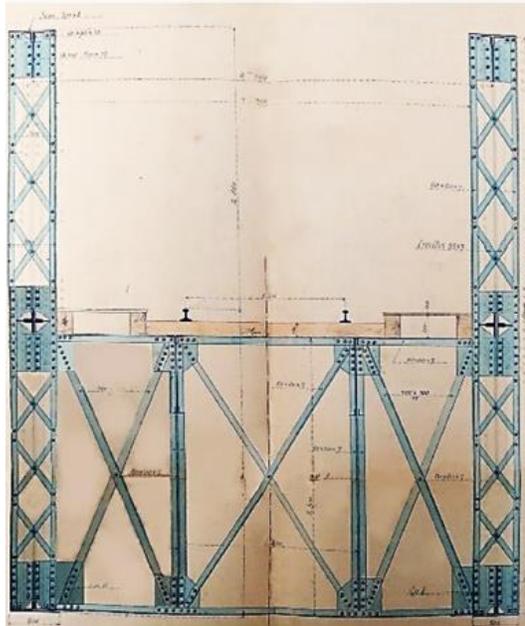


Ponts de Praia et de Alviela

Le pont de Praia, construit sur le Tage, est toujours en service. Il a été inauguré **en 1889** en tant que pont ferroviaire sur la ligne du Beira Baixa. Il mesure 497 m de long avec 8 travées continues et une travée indépendante.

Les poutres principales mesurent 6 m de haut et sont espacées de 4,9 m. Ce sont des poutres en fer à treillis en croix de Saint André.

En 1988, le tablier a reçu une dalle en béton pour la circulation routière sur une voie.



Pont de Praia : Vue générale et coupe

Le pont de Alviela est un ouvrage ferroviaire construit sur la ligne du Nord, réalisé sur la rivière Alviela. Il a été inauguré **en 1893**.

Il mesure 60 m de long. Il a été renforcé afin de faire face à l'accroissement du trafic.



Pont de Alviela

Gustave Eiffel : Le pont Maria Pia

Le pont Maria Pia

Ce pont ferroviaire sur le Douro a été construit par la Compagnie Eiffel entre le 5 janvier 1876 et le **28 octobre 1877**. Il a été classé Monument National en 1982.

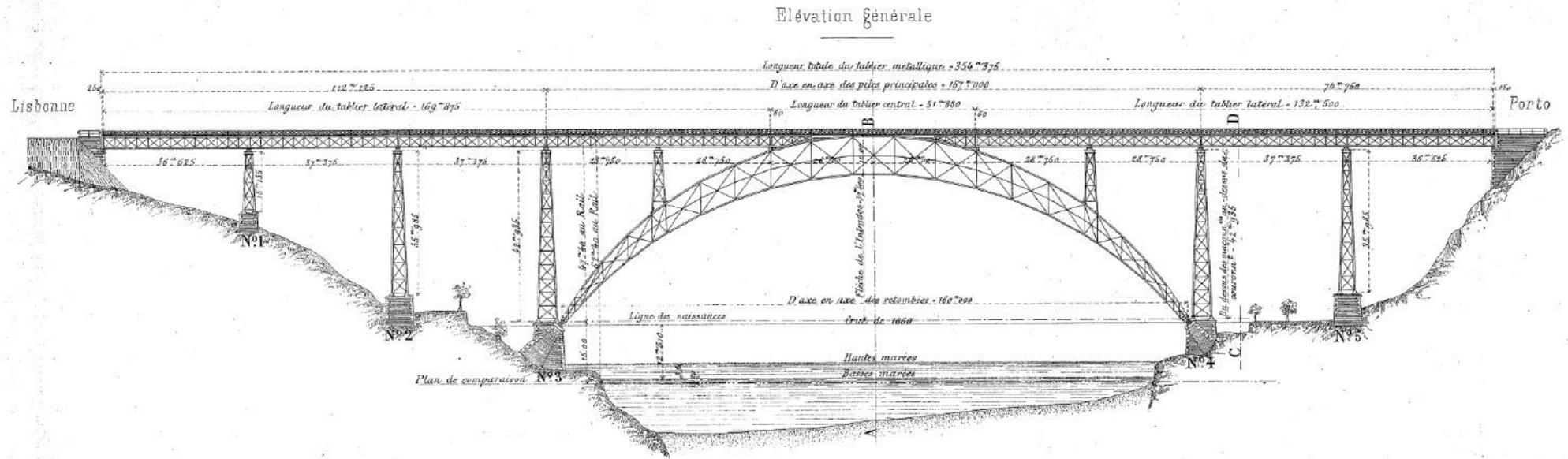
Il porte le nom de Maria Pia en l'honneur de la Reine Maria Pia de Savoie, épouse de Luis 1^{er} Roi du Portugal. Il est toujours en place sur le Douro, mais désaffecté depuis 1991.



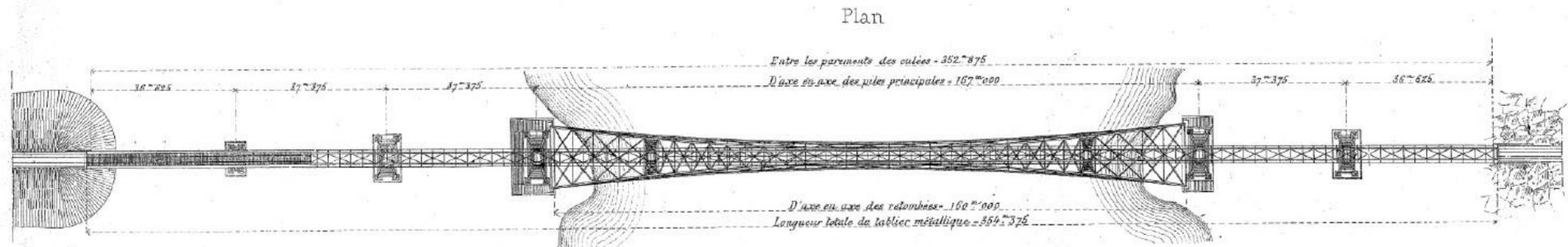
Le pont Maria Pia

1875 : Gustave Eiffel remporte un concours international pour construire le pont Maria Pia sur le fleuve Douro (Portugal), face à deux grandes entreprises françaises et une anglaise et le retrait de deux autres entreprises, avec un projet innovant imaginé par son associé Th Seyrig.

Ce projet prévoit un arc métallique de 160 m de portée, et Gustave Eiffel apportera des améliorations pour en faciliter l'exécution.



Au mètre courant de pont, les prix en Francs de ces 4 projets étaient respectivement de : 8350, 4890, 4270 et 2930 Francs pour le projet Eiffel...



Le pont Maria Pia

Arc en croissant, en treillis (croix de Saint-André) à deux articulations avec tablier supérieur.

Principales caractéristiques :

Longueur totale	563 m
Nombre de voies ferroviaires	1
Portée de l'arc	160 m
Flèche d'intrados de l'arc	37,50 m
Tablier (largeur de la poutre)	6.0 m
Poids de la structure métallique Dont Arc	1450 t 750 t
Maçonnerie	4000 m ³

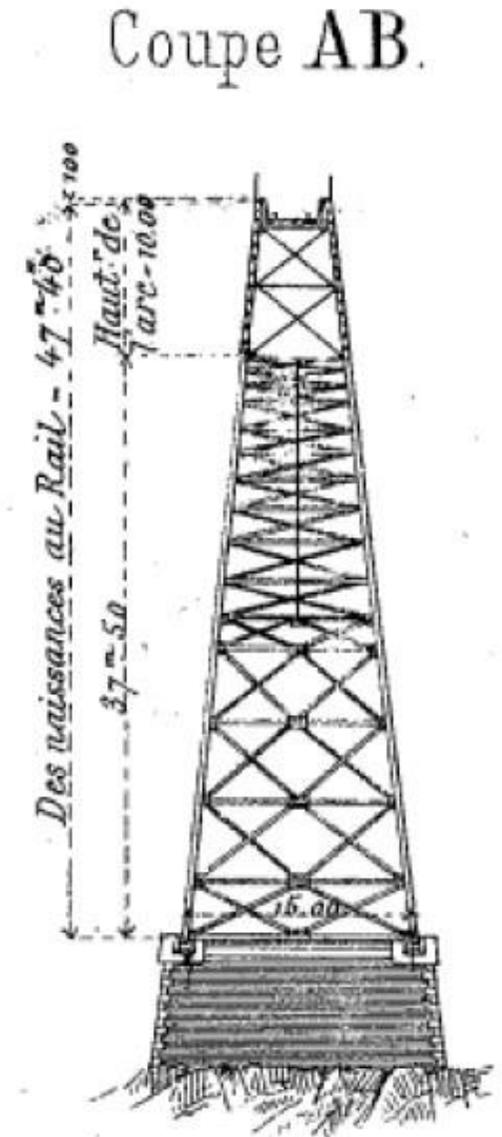
Le choix d'une arche ayant été décidé pour éviter d'avoir à fonder dans le fleuve une pile soumise à la marée et aux affouillements, l'effet des moments de flexion étant le plus grand dans la moitié de l'arche située symétriquement à droite et à gauche de la clef, cette zone devait avoir une plus grande hauteur, ce qui explique la forme en croissant de l'arche.

Cette forme en croissant permettait de faire reposer les extrémités de l'arche sur des rotules. Ces dernières permettent de canaliser les réactions d'appui résultant des surcharges et des effets thermiques en des points précis et de faciliter le calcul de l'arche.

Le pont Maria Pia

L'arche est constituée de deux fermes inclinées dont l'écart au niveau des rotules est de 15 m et au niveau de la clef de 3,95 m.

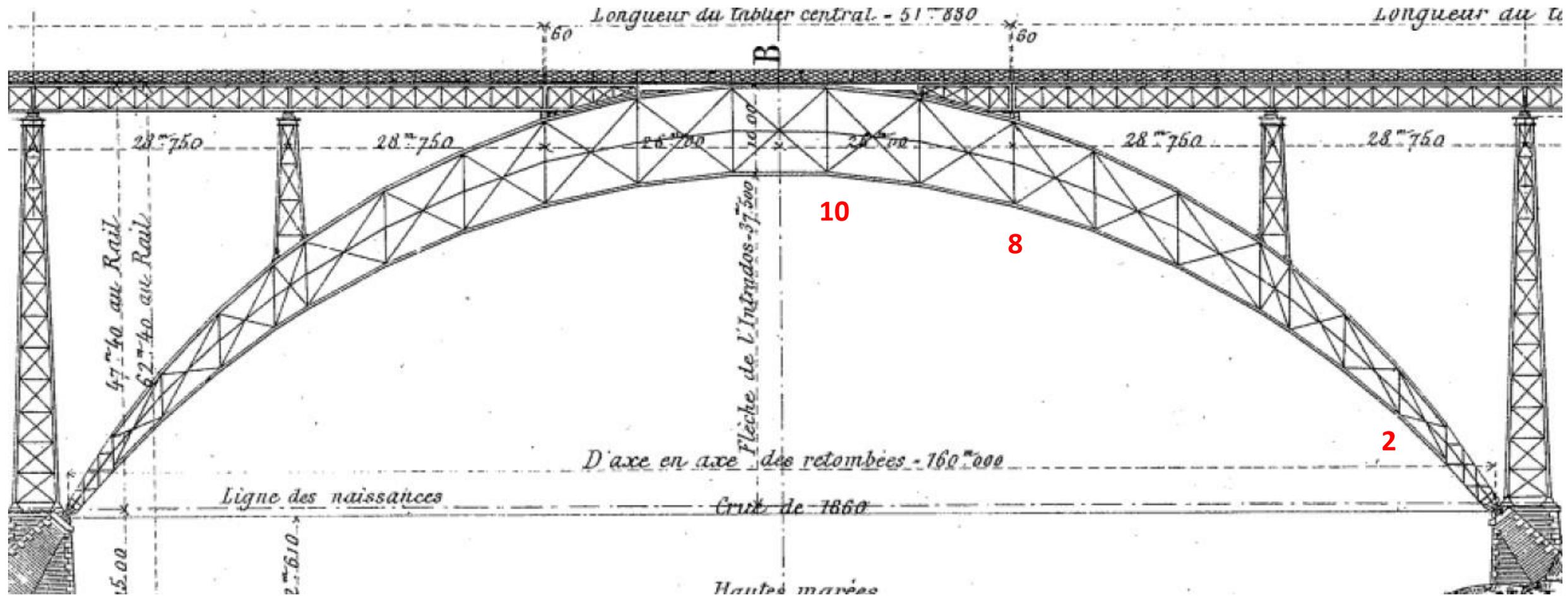
Une telle inclinaison est justifiée par la stabilité au renversement de l'arche vis-à-vis du vent latéral et surtout pour éviter d'introduire des tractions dans la maçonnerie.



Coupe transversale à la clé.

Le pont Maria Pia

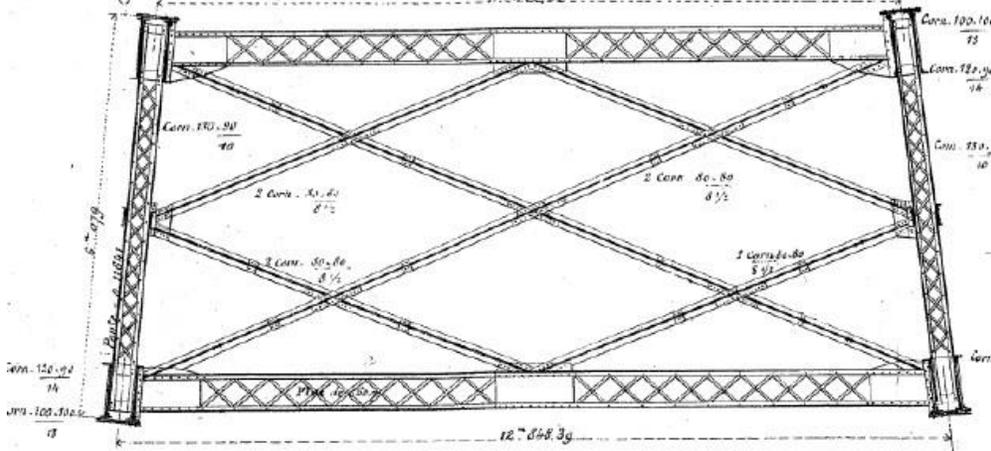
L'arche est partagée en 21 panneaux par des montants verticaux, les 5 panneaux de la clef ayant une longueur de 10,40 m, les panneaux des piles une longueur de 3 m, et les autres panneaux des longueurs variables. Tous ces panneaux sont raidis par des croix de Saint-André, à l'exception des panneaux d'extrémité contigus à la rotule qui sont en tôle pleine renforcée par des cornières.



Le pont Maria Pia

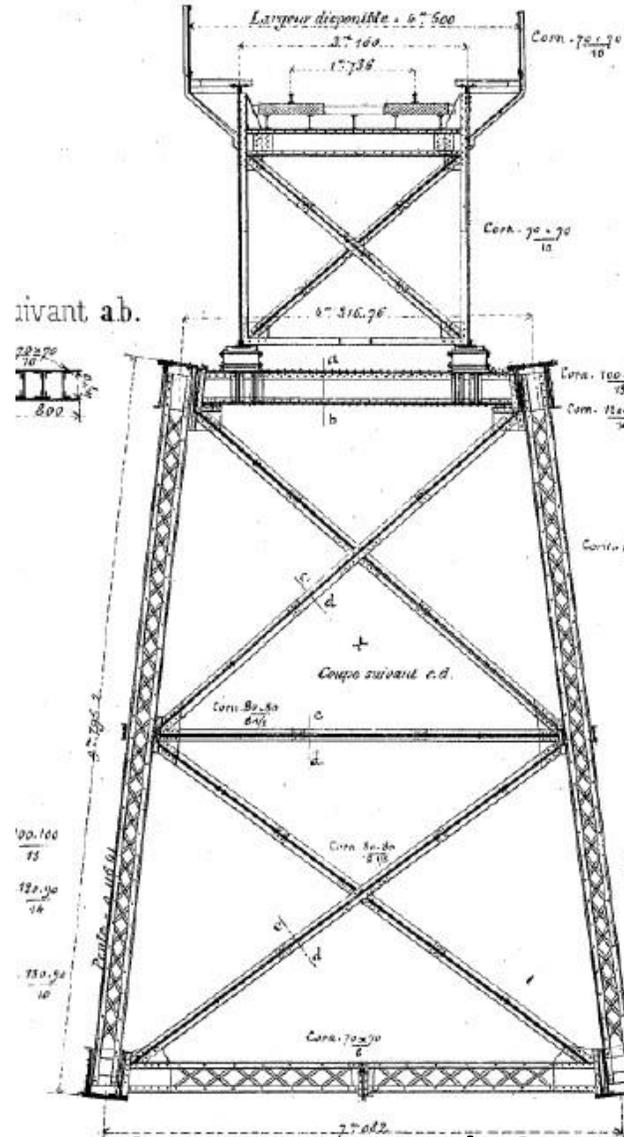
Les membrures supérieures et inférieures des arcs ont une section de caisson ouvert vers l'intérieur et sont constituées par deux âmes de largeur 600 mm et d'épaisseur 12 mm et par une semelle de 650 mm de largeur et au moins 30 mm d'épaisseur (60 mm près des retombées).

Fig. 6. Coupe transversale au montant 2 - Echelle de 0^m01 pour 1^m00



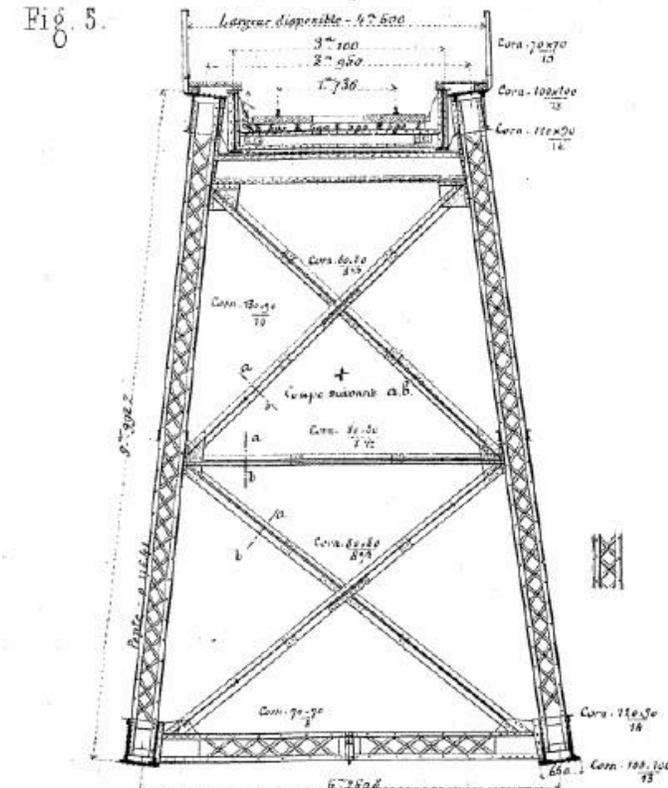
Coupe transversale 2

Fig. 7.
Coupe transversale au montant 8
Echelle de 0^m01 pour 1^m00



Coupe transversale 8

Coupe transversale au montant 10
Echelle de 0^m01 pour 1^m00



Coupe transversale 10

Le pont Maria Pia : les études

Dans son mémoire, Th Seyrig mentionne qu'au niveau de l'avant-projet, « *les calculs exacts étant longs et fastidieux pour une structure en arc aussi complexe, cette exactitude a été négligée en compensant par des additions de métal dans les endroits connus par expérience pour exiger un surcroît de précautions* ».

« *Il a été considéré que la ligne de l'axe neutre de la structure se rapprochait de celle d'un arc de forme circulaire de section constante, ce qui a permis d'appliquer **les résultats de l'étude de Bresse sur les arcs circulaires.*** »

Pour le **dimensionnement de l'arc**, celui-ci a été dédoublé en deux systèmes : un premier système composé des membrures, des montants verticaux et des barres de treillis inclinés dans la même direction, le second composé des mêmes membrures et mêmes montants, mais avec des barres de treillis inclinés dans l'autre direction. Une méthode de statique graphique de type Cremona a ensuite été appliquée à chacun des 2 systèmes pour évaluer les efforts dans chacune des barres, puis par superposition des deux systèmes, les efforts définitifs dans l'ensemble des éléments de l'arc ont été obtenus.

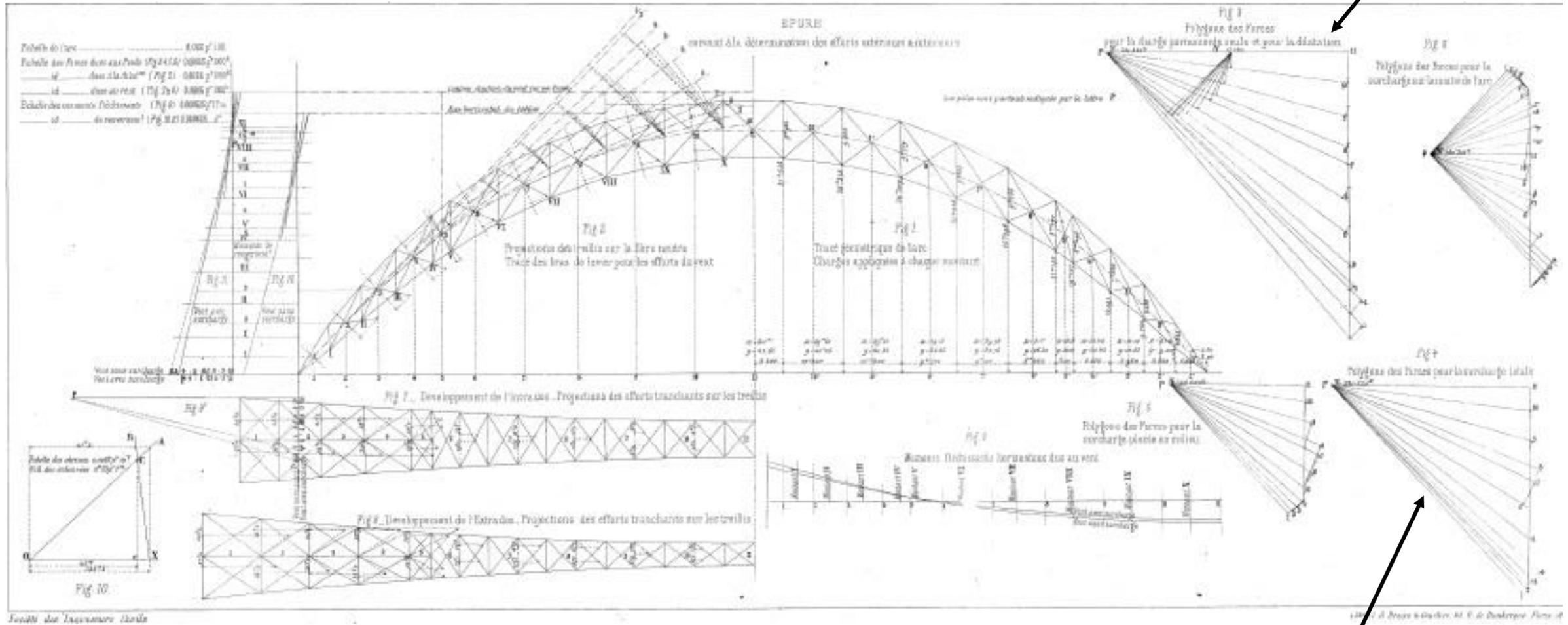
Pour la **vérification de l'arc**, Th Seyrig s'appuie sur **la méthode nouvelle de calcul établie par Henri De Dion** pour la vérification de l'arc du pont Maria Pia. Il rend hommage à la fin de son mémoire à H. de Dion en précisant :

« *Les calculs qui ont été présentés sont, à notre connaissance, le seul exemple d'application complète de la méthode qu'il avait imaginée pour le calcul des pièces courbes.* »

Pour en savoir plus sur les études, voir : J.F. Coste et B. Godart - IESF, Comité Génie Civil et Bâtiment, 2023.
https://www.iesf.fr/offres/file_inline_src/752/752_P_36771_655dd746377a3_6.pdf

Le pont Maria Pia : les études

Polygone des forces pour la charge permanente



Epure servant à la détermination des efforts extérieurs et intérieurs (*)

Polygone pour la surcharge totale

Le pont Maria Pia : la construction

En raison de l'impossibilité d'établir une pile provisoire en rivière, le montage de l'arche centrale fut exceptionnellement difficile. Celle-ci a donc été construite par encorbellement et par haubanage en utilisant la partie déjà construite comme point d'appui. Les 16 haubans de retenue par demi-arche étaient constitués de 6 torons de 19 fils de diamètre 2,7 mm et étaient attachés au sommet de la grande pile situé sur la naissance de l'arc. Leur contrainte à rupture était de 120 kg/mm².



1



2



3

1. Construction des piles sur les versants, pose des appuis à rotule, et poutre supérieure construite en porte à faux
2. Construction à l'avancement des naissances de l'arche à partir des articulations sur rives, soutenues par des câbles fixés aux pylones principaux.
3. Construction à l'avancement du reste de l'arche soutenue par des câbles fixés aux pylones principaux, puis à l'extrémité du tablier supérieur, jusqu'à la fermeture de l'arche.

Pour conclure...



La vallée du Douro à Porto vers 1840, et le pont suspendu construit par Stanislas Bigot.

Sa construction a été confiée à la société française Claranges Lucotte & Cie, propriété du Comte Claranges Lucotte, dans le cadre du plan de construction de la future route qui relierait Porto et Lisbonne.

Le projet a été conçu par l'ingénieur Stanislas Bigot avec la collaboration de l'ingénieur José Vitorino Damásio. Le Pont D. Maria II (ou Pont Pênsil) fut inauguré sans aucune cérémonie le 17 février 1843.

En 1887, après l'inauguration du [pont Dom-Luís](#), le pont suspendu fut démantelé.



Le pont Maria Pia en service.



Le pont Dom-Luís

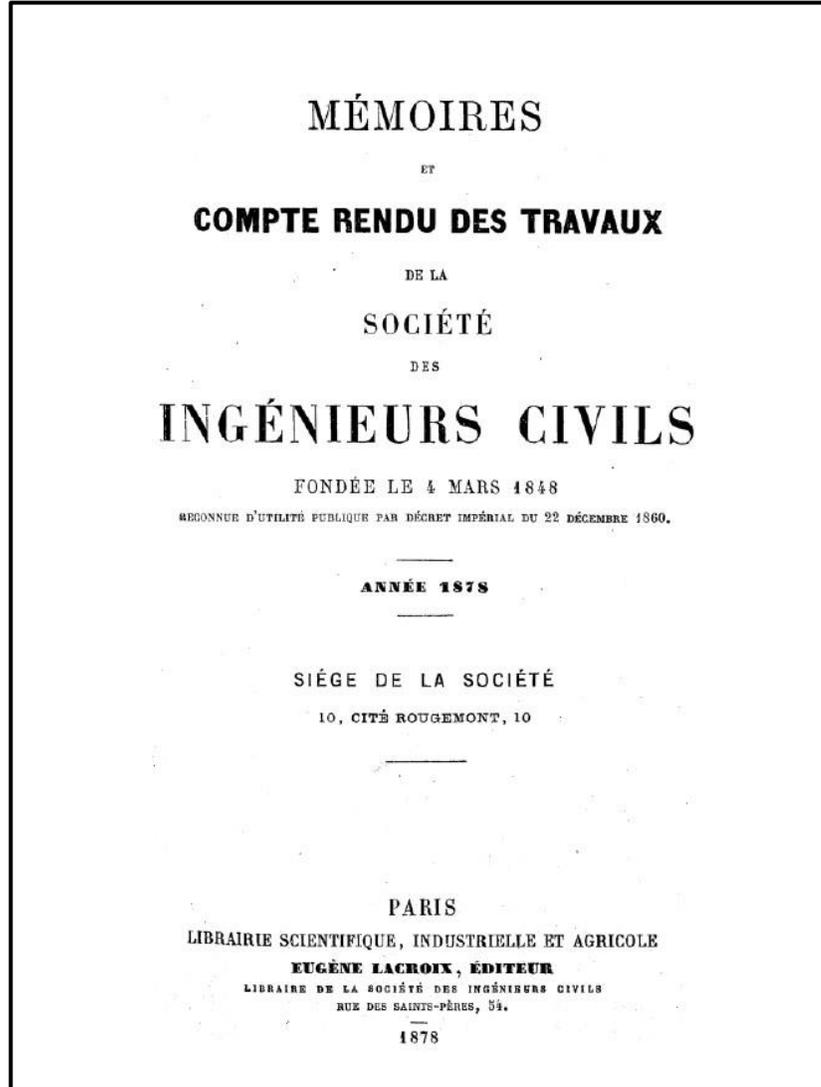
Construit entre 1881 et 1886 par [Théophile Seyrig](#) de la Société

Anonyme de

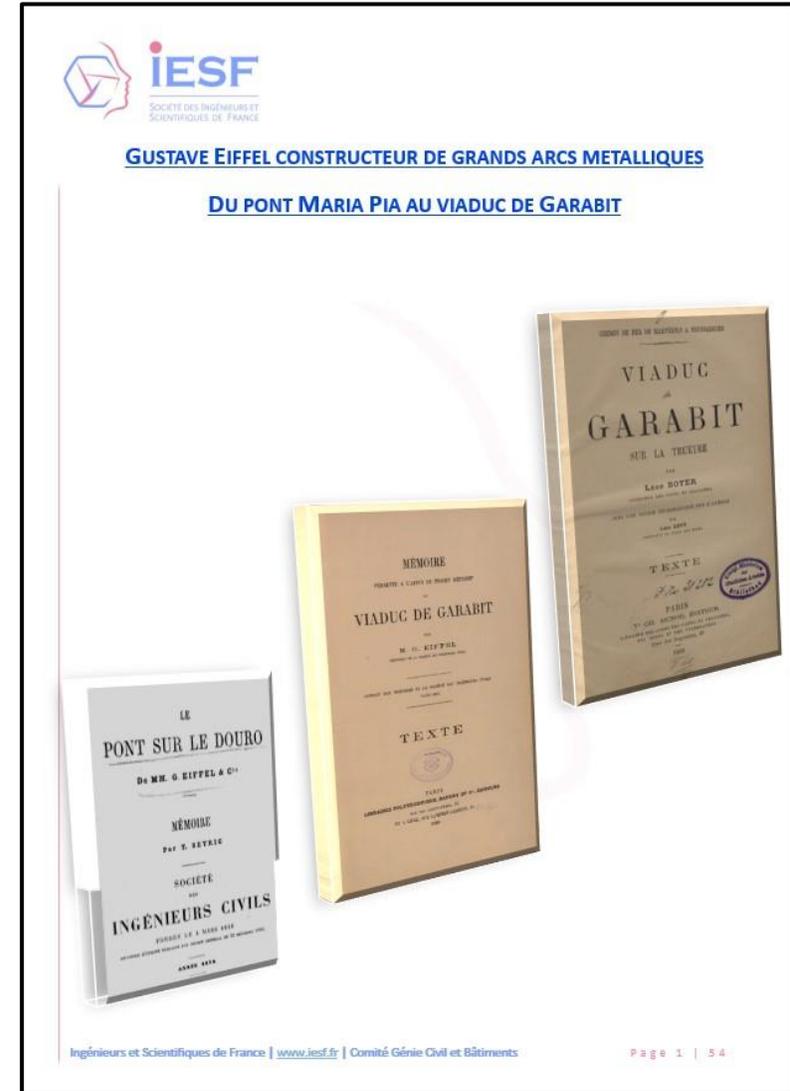
Construction des

Ateliers de Willebroeck

Bibliographie



Mémoire par T. Seyrig : Pages 741-816



J.F. Coste et B. Godart - IESF, Comité Génie Civil et Bâtiment, 2023.