

Le pont du chemin de fer sur l'Escaut à Audenarde [1861 – 1918 ?]

(Marc Braham ; juin 2021)

Localisation : Audenarde (prov. de Flandre-Orientale)

50°50'27.97" N ; 03°36'07.76" E.

Construction : 1860-1861.

Maître d'ouvrage : *la Compagnie* (de chemin de fer) *Hainaut et Flandres*.

Concepteur : Auguste Dallot, ingénieur de la *Compagnie Hainaut et Flandres*.

Fabricant : MM. *Cail, Halot et C^{ie}*, Molenbeek-Saint-Jean.

Direction du chantier : MM. *Cail, Halot et C^{ie}*.

Entrepreneur : De Drijver, de Gand.

Utilité : franchissement de l'Escaut par la ligne 86, De Pinte à Basècles.

Description en longueur : ouvrage métallique de 32,8 m, pour un franchissement oblique de 27,8 m.

Description en largeur : largeur totale 9,20 m, 2 voies.

Type de pont : pont *bow-string*.

Etat actuel : Disparu, détruit vraisemblablement par les Allemands en 1918.

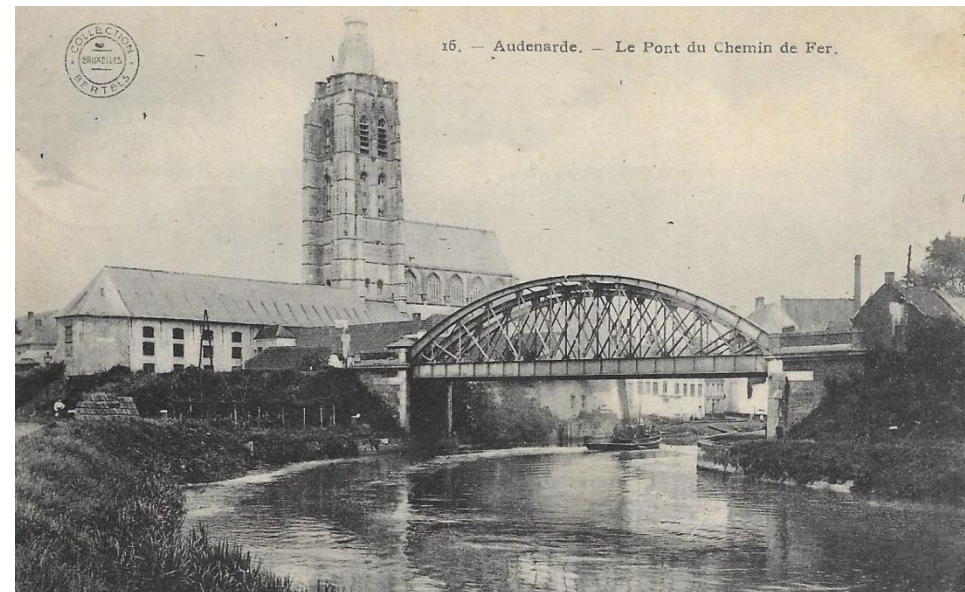


Fig. 1 : Le pont rail d'Audenarde vers 1910
(Carte postale collection Bertels, Bruxelles)

Ce que l'on sait de l'histoire du pont

Il y a des ponts qui, pour un peu, semblent n'avoir jamais existé : rien ou presque dans les journaux, du moins les journaux digitalisés, et pas plus dans la documentation locale. C'est souvent le cas des ponts du chemin de fer, et l'on peut peut-être expliquer cela par le fait que ceux-ci intéressent moins le public lorsqu'ils n'interfèrent pas avec la voie publique. Il en est ainsi de ce pont d'Audenarde, construit sur l'Escaut en 1861, qui a pourtant plusieurs raisons de faire parler de lui. Mais commençons par le commencement.

Les épreuves de résistance de l'ouvrage ont lieu le 12 août 1861, alors cependant qu'une seule des deux voies est terminée⁶. Cette dernière fait donc l'objet de diverses mises en charge au moyen de deux locomotives et de leur tender, tandis que l'autre ne reçoit que des charges fixes.

Le pont est du type *Bowstring*, nom réservé aux ponts dont la structure est composée d'arc(s) soutenu(s) par une corde, celle-ci étant constituée par un longeron du tablier du pont (voir plus bas la description de l'ouvrage). C'est un système de construction assez récent, appliqué ici en Belgique pour la première fois, de plus avec une particularité constructive expliquée plus bas dans la description du pont. Auguste Dallot, le concepteur du pont d'Audenarde, ne cache pas⁶ qu'il s'est inspiré des ponts *Bowstring* réalisés peu avant par l'anglais Isambard Brunel (1806-1859), le « *père de l'idée* »⁶, notamment le *pont de Windsor* (1849). Dallot entend nous convaincre que pour des travées simples le pont Bowstring doit être préféré aux ponts à poutres, notamment en treillis, car il est plus économique. Et pourtant le pont d'Audenarde n'est pas particulièrement léger. Mais Dallot se défend en arguant qu'il a utilisé, dans le but de réduire les vibrations du pont notamment (voir une autre raison plus bas), un tablier très lourd, comprenant des voûtes en brique, une chape en ciment, et un ballast particulièrement épais, le tout correspondant à un poids 4,5 fois plus important que le poids propre du pont. Cette charge a évidemment influencé le poids du pont lui-même.

Plus que vraisemblablement le pont disparaît en 1918, détruit par l'occupant en déroute (fig. 3), comme bien d'autres ponts sur l'Escaut⁵. Comme on l'a dit plus haut le redressement de l'Escaut (fig. 2) n'aurait été réalisé que bien plus tard. Il est donc vraisemblable que le pont Bowstring de Dallot a laissé la place à un autre pont à cet endroit, mais aucune trace d'un tel ouvrage n'a été trouvée.



Fig. 3 : Le pont détruit en 1918
(photo d'origine non déterminée)

Description technique du pont-rail d'Audenarde

Les dimensions : la distance entre les culées, mesurée normalement à celles-ci, est de 24,0 m. Le pont franchissant l'escaut en oblique, la distance oblique entre les culées est de 27,80 m (fig. 4). La longueur de la partie métallique du pont est de 32,80 m, et sa largeur totale est de 9,20 m, portant deux voies à *écartement standard* de 1,435 m (entr'axe 1,50 m), distantes de 3,00 m.

Le système : on l'a dit plus haut, la construction appartient au type connu sous le nom « *pont bow-string* », c'est-à-dire un pont dont la structure est composée d'arcs supérieurs longitudinaux parallèles (fig. 4), dont les extrémités sont, pour chaque arc, reliées entre elles par une poutre servant de corde. Le pont d'Audenarde comprend 3 fermes de ce type, deux aux bords du pont, la troisième au milieu. Les distances entre les

fermes sont, d'axe en axe, de 2 fois 4,425 m. La hauteur totale des fermes, *poutre-corde* et arc compris, est de 6,00 m. Le poids du plancher et des charges mobiles est directement transmis aux arcs par des suspentes, qui sont par ailleurs contreventés par des croix de Saint-André. Les arcs sont reliés entre eux à leur partie supérieure par un contreventement.

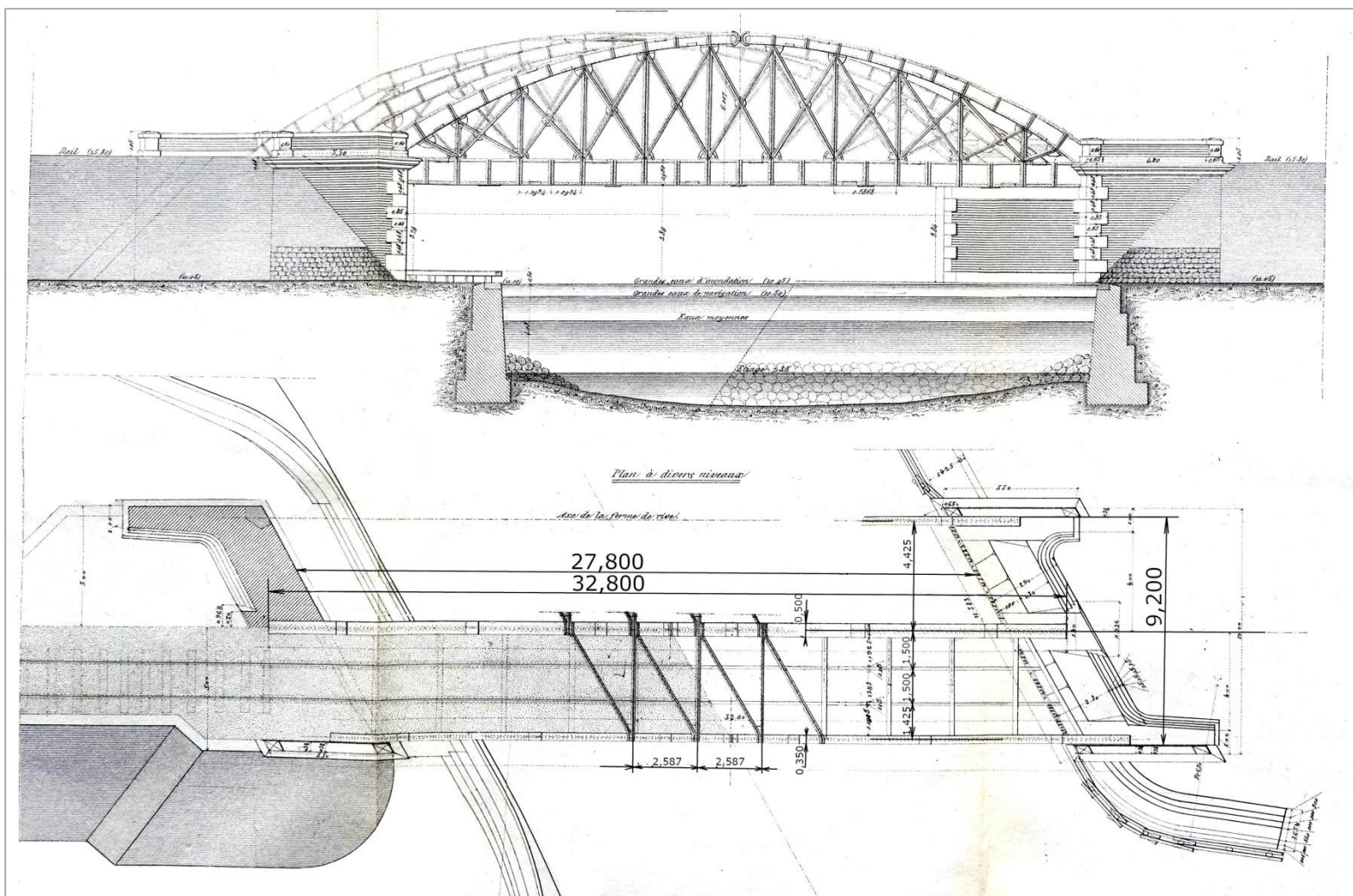


Fig. 4 : Vues en élévation et en plan du pont sur l'Escaut (extrait de Dallot⁶)

Les arcs : ils offrent, dans le cas du pont d'Audenarde, une particularité tout à fait singulière : ils présentent à la clé une rotule (fig 6) qui a pour effet d'en simplifier grandement le calcul (voir plus loin). A leurs bases, les arcs sont encastrés dans les *poutres-cordes* moyennant interpénétration de leurs semelles (fig. 7). La longueur de cette pénétration est de 1,55 m, constituant ainsi un encastrement des pièces l'une dans l'autre.

Les tympans : les montants verticaux (les suspentes) ainsi que les diagonales des croix de Saint-André des tympans sont chacun formés de 2 fers à T accolés par leurs semelles et rivés entre eux. Leur connection avec les arcs et les *poutres-cordes* des arcs se fait par l'intermédiaire de goussets.

Les appuis des fermes sur les culées : à chaque extrémité le pont est posé sur des appuis à rouleaux, fixes d'un côté et libres de l'autre (fig. 7).

Le poids du pont : Le poids total du pont, partie métallique, est de 84,5 tonnes, ce qui pour la longueur totale de 32,8 m correspond à 2580 kg/m. Le poids du plancher (voûtes en briques, ballast, poutres en bois, etc.) correspond à 11800 kg/m, soit 4,6 fois le poids de la partie métallique. Dallot justifie cette caractéristique par la simplification et la précision qu'elle apporte au calcul des efforts intérieurs et des contraintes, notamment dans les arcs (voir en fin de document).

Caractéristiques du pont : ce pont présente quelques caractéristiques inédites pour l'époque, ou presque, en Belgique ; il n'est pas inutile de les rappeler :

- C'est le premier pont *bow-string*,
- C'est un des premiers ponts, voire le premier, à être construit en rive puis mis en place par tirage au dessus de l'obstacle,
- Les arcs présentent une rotule en clé,
- Les rails reposent sur un ballast, ce qui n'était pas le cas pour les ponts à poutres (en treillis) à cette époque

A propos du calcul du pont

Le calcul d'un pont bow-string n'était certainement pas une sinécure alors que les ordinateurs n'existaient pas. Il est clair que le concepteur du pont d'Audenarde, Auguste Dallot, a voulu se simplifier la tâche en introduisant une rotule en clé des arcs. La justification de Dallot en est qu'ainsi un point de passage de la ligne des pressions est connu puisqu'il est imposé ; c'est une autre manière d'exprimer la même chose. Et cela simplifie grandement le calcul. Dallot en expose d'ailleurs le détail dans son manifeste de 1865⁶. Nous n'en reprendrons ici que les grandes lignes.

C'est l'arc qui fait l'objet des préoccupations. Il est supposé encastré à ses deux pieds dans la *poutre-corde*, et on peut aussi supposer qu'il se réduit à une ligne supportant les centre de gravité des sections successives. Si l'on analyse alors un demi-arc (fig. 8), et que la charge à laquelle le pont est soumis est symétrique par rapport à l'axe vertical passant par la clé, on dispose évidemment de 3 équations d'équilibre, mais de 4 inconnues : les 3 efforts agissant aux encastremets (2 forces et un moment de flexion), et une réaction horizontale à la clé. Nous allons traiter le cas où cette charge est composée du poids mort du pont, supposé distribué uniformément, et d'une surcharge uniforme également.

La quatrième équation, nécessaire pour résoudre le problème, est appelée « *équation d'élasticité* » par Dallot, et en effet elle exprime une condition de déformation de la structure. En l'occurrence Dallot pose que l'angle φ entre la section de la clé et celle de l'encastrement ne varie pas sous l'effet de la mise en charge (ou des efforts intérieurs ce qui revient au même), et ensuite il exprime que l'allongement horizontal total de l'arc, qui peut s'exprimer en fonction des efforts intérieurs à celui-ci, est égal à l'allongement de la *poutre-corde* sous son effort axial, qui est évidemment T . On obtient ainsi les 4 équations suivantes, dans lesquelles les notations de Dallot sont simplement reprises (la 4^{ème} équation nécessite évidemment quelque développement) :

$$T = T'$$

$$S = pa$$

$$M + Tf - Sa + \frac{p a^2}{2} = 0$$

$$\int_0^a \frac{N dx}{\Omega} + \int_0^a \frac{\mu y ds}{I} = \frac{T a}{\Omega}$$

Dans lesquelles, hors ce qui est représenté à la figure 8 :
 p est la charge répartie totale, poids mort plus surcharge,
 a est la demi portée de l'arc,
 f est la flèche de la clé,
 N est l'effort axial courant dans l'arc,
 Ω est la section courante de l'arc,
 μ est le moment de flexion courant dans l'arc,

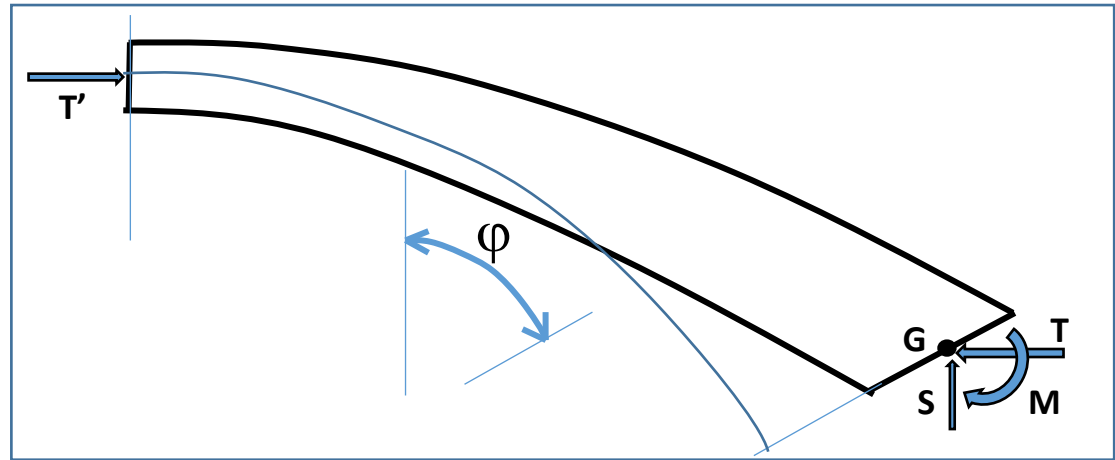


Fig. 8 : Schéma d'équilibre d'un demi-arc, lorsque le pont est chargé de manière uniforme.

y est l'équation de la ligne neutre de l'arc,
 I est l'inertie courante de l'arc,
 Ω est la section (constante d'après Dallot) de la poutre-corde.

On remplace alors, dans la 4^{ième} équation, l'effort axial N et le moment de flexion μ chacun par son expression fonction des inconnues T , S et M , puis on exprime M en fonction de T et S au moyen des premières équations. L'équation résultante ne contiendra alors plus que l'inconnue T , mais pour la résoudre il reste à connaître l'équation de la ligne neutre y . Dallot prend ici un arc de cercle, arguant du fait que cette courbe diffère peu d'une parabole qui est « la courbe d'équilibre dans le cas où la surcharge occupe toute l'étendue de la corde ». Il trouve alors une expression de T qui ne pose pas de problème, si ce n'est qu'elle contient diverses intégrales et évidemment l'inertie et la section de l'arc, ainsi que la section de la poutre-corde.

$$T = pr \frac{\frac{1}{2} r^2 \int_0^{\varphi} \frac{1}{I} (1 - \cos \alpha) \sin^2 \alpha d\alpha - \int_0^{\varphi} \frac{1}{\Omega} \sin^2 \alpha \cos \alpha d\alpha}{r^2 \int_0^{\varphi} \frac{1}{I} (1 - \cos \alpha)^2 d\alpha + \int_0^{\varphi} \frac{1}{\Omega} \cos^2 \alpha d\alpha + \frac{1}{\Omega} \sin \varphi}$$

Remarque : cette expression n'a pas été vérifiée ; elle contient peut-être des erreurs car le manifeste de Dallot n'en est pas exempt.

Dallot pose alors constantes les grandeurs géométriques Ω , Ω' et I , ce qui les fait sortir des intégrales, et permet le calcul de ces dernières une fois pour toutes. Il semble donc acquis que l'arc et la poutre-corde ont, dans la structure construite à Audenarde, des sections constantes. L'ensemble des hypothèses ainsi formulées permet alors le calcul des efforts intérieurs à l'arc, et une détermination de sa section. Un nouveau calcul peut alors être effectué avec des nouvelles valeurs de Ω , Ω' et I , et Dallot précise qu'une seule itération lui suffit. Nous n'irons pas plus loin dans ces développements.

Mentionnons quand même que le cas de charge où seule une moitié du pont serait chargé est aussi résolu par Dallot, mais il lui correspond évidemment un plus grand nombre d'inconnues, 6 exactement. Il ne nous a pas paru nécessaire d'entrer dans le détail de ces calculs puisque la méthode utilisée se base sur les mêmes hypothèses simplificatrices et les mêmes caractéristiques que dans le cas de la surcharge répartie sur tout le pont.

Il reste à expliquer pourquoi Dallot choisit de construire ses arcs avec une articulation en clé et pourquoi il utilise un ballast très lourd, qui conduit forcément à une structure plus lourde aussi. On a vu que la rotule en clé simplifie le calcul des arcs et des leurs efforts intérieurs. Mais ce n'est pas tout. Dallot rappelle que le calcul des arcs, structures hyperstatiques s'il en est, s'effectue en général à son époque au prix d'hypothèses simplificatrices très contestables, qu'en définitive le tracé de la courbe des pressions est mal connu, et qu'il peut même, principalement sous l'effet de chargements non symétriques, sortir de l'arc. Avec une articulation en clé, dit-il, on s'assure au moins du passage de cette courbe des pressions

par ce point, et l'on maîtrise donc d'autant mieux son tracé ; ceci dit sachant qu'il déconseille les articulations en pieds car elles sont cause de vibrations. De plus, l'hyperstaticité de la structure est résolue en s'appuyant sur des considérations de déformation élastique, théorie dont les bases ont été posées par Navier. Tout cela conduit à une excellente maîtrise de la courbe des pressions.

Il reste que la rotule en clé est construite au moyen de coins, et que Dallot veut se prémunir contre l'existence d'un effort tranchant trop important à cet endroit, qui pourrait désolidariser ces coins. En d'autres termes Dallot veut que l'inclinaison de la courbe des pressions à la clé reste très faible dans le cas de chargements non symétriques, et cela sera évidemment obtenu si le poids mort uniformément réparti est important puisque pour ce chargement la courbe des pressions est tangente à l'horizontale en clé ; d'où ce poids mort additionnel important.

Références

1. Site internet de Infrabel, ligne 86 : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_86_\(Infrabel\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_86_(Infrabel))
2. *Le Bien Public* ; édition du 4 janvier 1861.
3. *Le Courrier de l'Escaut* ; édition du 9 janvier 1861.
4. *Le Journal de Bruxelles* ; édition du 27 janvier 1861.
5. Vanmelkebeke J. ; *Le Petit Bruges. De roemruchte geschiedenis van de oude stad Oudenaarde vanaf de prehistorie tot en met de Eerste Wereldoorlog.* 2019.
6. Dallot A. ; *Description du Pont de l'Escaut à Audenarde (Chemin de fer Hainaut et Flandres).* Mémoires et compte-rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils (de France). Librairie Eugène Lacroix, éditeur à Paris. 1865.
7. *Bridge over the Scheldt at Andenarde (sic).* The Mechanics Magazine. July 7, 1865.
8. Catalogue général de la Librairie française pendant 25 ans (1840-1865), dirigé par Otto Lorenz, libraire à Paris. 1868.
9. Heizerling F. ; *Die Brücken in Eisen. Baumaterial, technische Entwicklung, Konstruktion und statische Berechnung der eisernen Brücken.* Leipzig, Verlag von Otto Spamer. 1870.
10. Broos Marius ; site internet <https://www.mariusbroos.nl>