

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

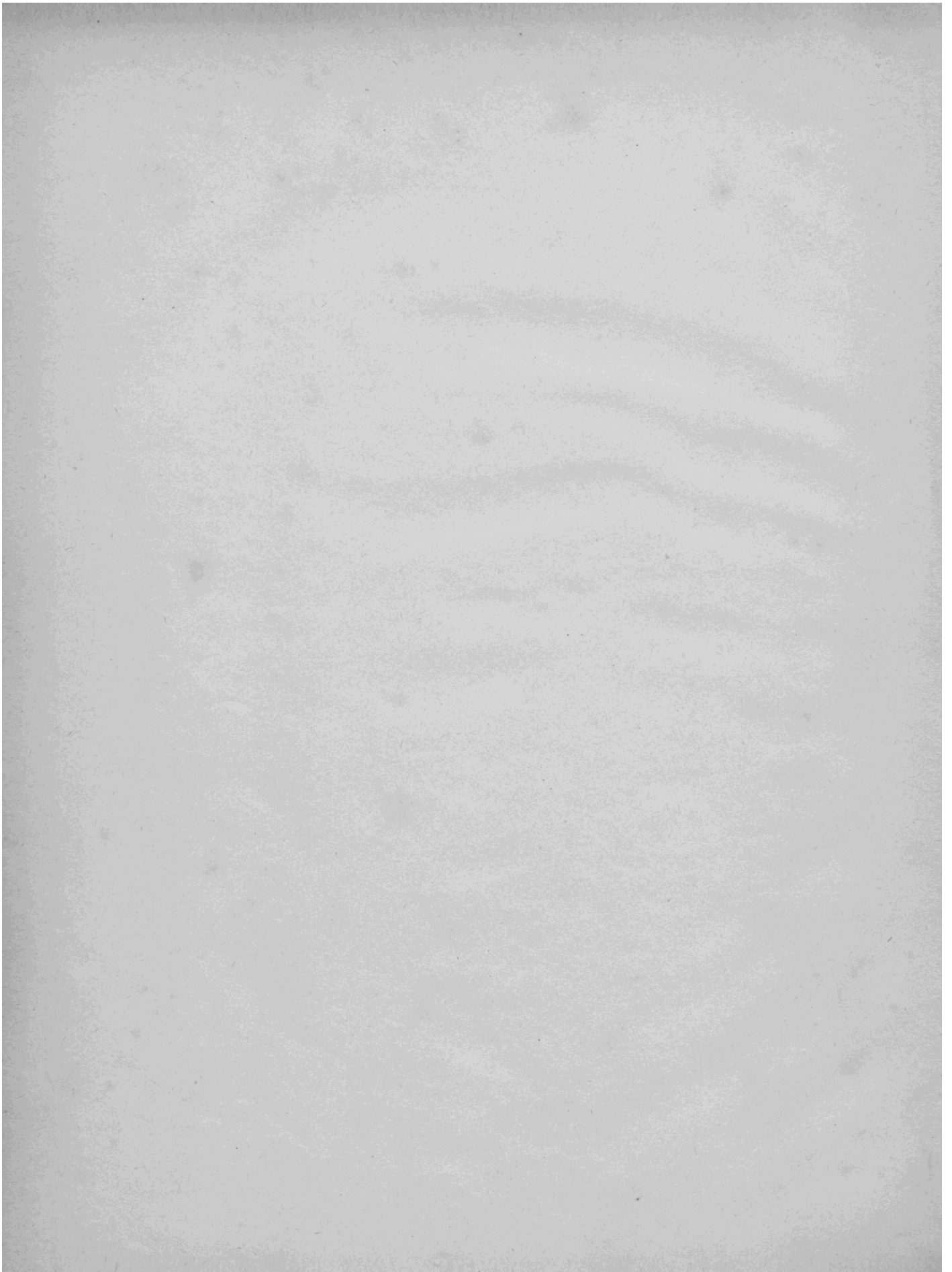
4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|----------------------------------|--|
| Auteur(s) | Dartein, Fernand de (1838-1912) # Boulard, J. |
| Adresse | [Lieu d'édition inconnu] : [Éditeur inconnu], [1893] |
| Collation | 1 vol. (188 p.) : ill. ; 32 cm. |
| Nombre de vues | 190 |
| Cote | CNAM-BIB 4 Le 228 |
| Sujet(s) | Charpentes métalliques -- 19e siècle Architecture -- Manuels d'enseignement -- 19e siècle |
| Thématique(s) | Construction |
| Typologie | Ouvrage |
| Note | Cours d'architecture. # Date donnée d'après le fascicule supplémentaire |
| Langue | Français |
| Date de mise en ligne | 11/06/2021 |
| Date de génération du PDF | 26/11/2021 |
| Permalien | http://cnum.cnam.fr/redir?4LE228 |



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

Documents
sur les fermes métalliques à grande ouverture

Ministère
des
Travaux publics.
École Nationale
des
Ponts et Chaussées.
—
Cours d'Architecture.

réunis et coordonnés

par

F. de Martein, Ingénieur en Chef,
Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,

avec le concours de

J. Boulard, Chef du bureau des dessinateurs
de l'École des Ponts et Chaussées.



Parmi les constructions métalliques, il n'en est point qui offre plus d'intérêt que les fermes des combles à grande ouverture, soit à raison de l'importance architectonique de ces ouvrages, soit à cause de la diversité des systèmes de construction et de la variété des procédés d'assemblage. C'est principalement dans les gares de chemin de fer et dans les palais d'Exposition qu'on a fait usage de ces grandes fermes (dépassant 30^m de portée), dont l'emploi, très rare avant 1860, s'est beaucoup accru depuis cette époque et tend à se répandre de plus en plus.

Il n'existe, à notre connaissance, qu'une publication se rapportant à l'étude des fermes de grande dimension. C'est un ouvrage anglais (A. Walmsley, Iron roofs), publié à Londres et réédité pour la dernière fois en 1888; ouvrage important, mais qui ne donne guère que des fermes anglaises et dont les dessins sont parfois incomplets. En France et dans les autres pays il n'y a point de travail d'ensemble sur ce sujet. Il faut, si l'on veut en entreprendre l'étude, réunir des matériaux épars dans des périodiques ou des monographies, travail presque impossible en France ailleurs qu'à Paris, et dont les lenteurs et les difficultés nous sont apparues l'année dernière lorsque, sur la demande de M. l'Inspecteur général Alf. Picard, rapporteur général de l'Exposition du Centenaire, nous l'avons entrepris, avec l'assistance de M. Boulard, Chef du bureau des dessinateurs de l'École des Ponts et Chaussées, en vue de rechercher les précédents des grands combles du Champ de Mars.

Ce but atteint, il restait peu de chose à faire pour compléter notre

Etude et la rendre utilisable pour l'enseignement de l'École sous forme de dessins et de notices. L'Administration ayant jugé qu'elle était de nature à rendre des services plus étendus a décidé qu'elle serait aussi distribuée aux Ingénieurs.

Les fermes reproduites sont au nombre de 33, mesurant de 110^m,60 à 30^m,48 de portée. 28 appartiennent à des salles rectangulaires ou tournantes, et 5 à des dômes. Chacune d'elles est représentée par une élévation d'ensemble à l'échelle de 0,002 ($\frac{1}{500}$) et, autant que possible, par les dessins de détail les plus intéressants, donnés à plus grande échelle. Ces dessins sont accompagnés d'une description de l'ouvrage contenant, outre le tableau des principales dimensions et les renseignements techniques propres à expliquer ou à compléter les indications fournies par les dessins, le poids des fers, quand on a pu l'obtenir, et une notice bibliographique faisant connaître les sources d'information.

A chaque ferme correspond une feuille distincte, double en général, quelquefois triple. La première page porte les désignations relatives au classement méthodique de la ferme, à son titre, à son ouverture, et à la date de sa construction; la seconde et, au besoin, la troisième page sont occupées par les dessins; le texte descriptif vient ensuite. En attribuant à chaque ferme une feuille distincte, on a voulu rendre l'ouvrage plus commode à consulter et faciliter les comparaisons entre les différents types: en outre, on s'est ainsi réservé la possibilité de compléter plus tard la collection par l'addition de nouvelles feuilles portant des numéros bis.

On a dressé trois tableaux donnant divers classements des fermes. Ce classement est fait, dans le premier tableau, par ordre de date, dans le second, par ordre décroissant d'ouverture et, dans le troisième, suivant un ordre méthodique déterminé par les caractères du système de construction. C'est à ce dernier classement que se rapporte le numérotage des fermes.

Celles-ci sont d'abord réparties en deux grandes divisions suivant qu'elles appartiennent à deux sortes de combles:

A, Combles formés d'une suite de travées couvrant un espace rectangulaire ou annulaire.

B, Combles en forme de dômes, couvrant un espace circulaire, ovale ou polygonal.

A

A.

La première division, de beaucoup la plus importante par le nombre des applications et la variété des systèmes, comprend deux groupes principaux ayant pour traits distinctifs l'emploi ou le non emploi de tirants sous les arbalétriers. Ce caractère offre une valeur considérable au point de vue, non seulement de l'aspect, mais encore de la construction. Quand on se passe de tirants ou du moins de tirants apparents, il faut que les arbalétriers fassent corps avec leurs soutiens et que l'ensemble ainsi constitué soit assez résistant et assez rigide pour se maintenir par soi-même sans déformations. Il en est tout autrement quand on use de tirants. La poussée est alors contenue au pied de la toiture proprement dite, et les fermes, au lieu de se continuer dans leurs supports, reposent simplement sur ceux-ci. En outre, la présence de liens sous les arbalétriers permet de construire ces derniers plus légèrement. Tout bien considéré, le fait de la présence ou de l'absence de tirants a plus de valeur, comme base d'une classification rationnelle qu'aucun des autres caractères de la structure. Ces autres caractères, moins essentiels, sont employés à établir des subdivisions; les principaux d'entre eux servant à définir des classes (désignées sur le tableau par des chiffres romains); les suivants, par ordre d'importance, à former des sections (marquées par des chiffres arabes) et les derniers, les moins significatifs, à scinder, s'il y a lieu, les sections en sous-sections (désignées par les premières lettres de l'alphabet grec).

a. Termes à tirants apparents sous les arbalétriers.

Ce sont les caractères fournis par la forme des arbalétriers, l'agencement des tirants et le mode de liaison de leurs différentes pièces qui déterminent les subdivisions de ce groupe. Nous y avons distingué cinq classes.

- I - Arbalétriers rectilignes avec tirant unique.
- II - Arbalétriers rectilignes avec armature à une ou plusieurs contrefiches (dite à la Polonceau).
- III - Arbalétriers rectilignes, avec ou sans paliers sous la lanterne, soutenus par un treillis riveté.
- IV - Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles (Bow-String).
- V - Arc à tirant rectiligne ou polygonal rattaché par des aiguilles.

Nous ne nommerons ici que ces subdivisions principales, en renvoyant au tableau pour la désignation des suivantes et pour la répartition des fermes entre les différents types.

b. Fermes sans tirants apparents ou sans tirants.

Les fermes de ce groupe sont réparties en trois classes distinguées l'une de l'autre, conformément au principe général de notre classification, par le système adopté pour contenir la poussée.

VI - Arce maintenu par un tirant placé sous le sol.

VII - Arce maintenu par des massifs de fondation.

VIII - Arce sur piliers contrebutés.

A ces deux principaux groupes a et b s'en ajoute un troisième, comprenant les fermes en forme de poutres droites employées dans quelques halles anglaises et devenues depuis un type courant pour les combles d'établissements industriels. On pourrait sans doute rattacher théoriquement ces poutres aux bow string; mais ce serait abuser de la théorie que d'associer ainsi deux sortes de fermes qui, dans la pratique, sont parfaitement distinctes l'une de l'autre.

C. Fermes en poutres droites.

Ce groupe ne contient qu'une classe.

IX - Poutres droites à barres articulées ou rivetées.

B.

La deuxième division, comprenant les combles en forme de dôme a été simplement partagée en trois classes caractérisées par la nature des surfaces limitant les coupôles. Il n'y avait pas lieu de prendre ici pour base de la classification le système employé pour résister à la poussée parceque tous les combles en forme de dôme sont maintenus par le même procédé, qui consiste dans l'usage d'une semelle continue ou ceinture inférieure.

X - Coupôles tronconiques.

XI - Coupôles sphériques.

XII - Coupôles ellipsoïdales.

On remarque, en examinant le tableau du classement méthodique, que plusieurs des types définis par ce classement sont dénués d'exemples représentés par des dessins. C'est qu'on n'a point établi la classification en

vue d'embrasser seulement les types exécutés avec de grandes ouvertures. On a voulu donner à cette classification une portée générale, d'où résulte que les exemples font défaut: s'il n'a pas encore été fait d'application d'un type, si les applications se limitent à des fermes d'une ouverture inférieure à 30 mètres; enfin, si, il d'ajouter si des exemples qu'on aurait pu citer ne sont point parvenus à la connaissance des auteurs. La collection de dessins distribués aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées permet de combler quelques-unes des lacunes à l'aide de fermes d'une portée inférieure à trente mètres.

Ainsi la ferme des Pavillons annexes du Génie Civil à l'Exposition universelle de 1878 et la ferme du Pavillon du Ministère des Travaux publics, à la même Exposition, la première de 18 mètres et la seconde de 15 mètres d'ouverture (7^e Série, Section D, pl. 14 et 18) répondent au cas des "Arbalétriers rectilignes, à double pente avec palier sous la lanterne, maintenus par un tirant unique" (A, a, I, 2), qui ne comporte point d'exemple dans nos dessins.

La ferme de la Halle de transbordement de la Gare de Belfort, de 24 mètres de portée (4^e Série, Section E, pl. 6) répond au cas des "Arbalétriers rectilignes avec ou sans palier sous la lanterne soutenus par un treillis riveté à semelle basse rectiligne" (A, a, III, 1), qui ne comporte pas non plus d'exemple dans notre Album.

Nous n'avons eu égard, en établissant la classification, qu'à ceux des caractères de la structure qui se rapportent aux différentes formes prises en elles-mêmes. Il n'a pas été tenu compte, par exemple, du mode de répartition de ces fermes, et notamment de leur couplage ou réunion par paires, qu'on observe dans plusieurs halles de chemins de fer allemands (Gares de Silésie et de la place Alexandre à Berlin, 1883; gare de Francfort sur le Mein, 1884) et dont le comble de Crystal Palace à Sydenham (1854) paraît offrir la plus ancienne application. Ce couplage qui augmente les garanties de stabilité et de sécurité pendant le levage, et qui exerce une notable influence sur le caractère architectural de la construction, reste à peu près sans effet sur le diagramme de la ferme.

On a donné le poids des ouvrages quand on a pu le faire; mais on s'est abstenu de jamais donner leur prix. L'extrême variation des prix élémentaires selon les époques, et dans un même temps, selon les lieux ou les circonstances du marché, s'opposait à ce que les chiffres de dépenses fussent comparables entre eux. Il aurait fallu, dès lors, pour les produire utilement

apporter des explications que, vu l'objet et la forme du recueil, il était impossible de fournir. On a donc laissé de côté le point de vue économique pour s'en tenir strictement à l'examen des conditions techniques.

Le tableau présentant les fermes par ordre de dates, fournit les éléments d'une étude rétrospective sur l'art de la construction en métal; et l'intérêt de cette étude augmente si l'on s'attache, en suivant le développement des méthodes, à fixer la part qu'ont prise à ce développement les différentes nations.

Celle de l'Angleterre est prépondérante. Sur les 33 fermes dont nous donnons les dessins, quinze, c'est-à-dire près de moitié sont anglaises. Presque tous les systèmes s'y trouvent représentés: fermes à la Polonceau, bow-string, fermes à tirant polygonal et aiguilles tirantes, ferme à semelle basse polygonale et treillis riveté, arcs en plein cintre ou en anse de panier sans tirants ou sans tirants apparents, fermes en poutre droite. Il n'y a pas moins de variété et d'originalité dans les procédés d'assemblage que dans les systèmes de construction. En étudiant, soit dans l'ensemble, soit dans le détail, ces ouvrages où l'esprit d'invention se manifeste si librement, on sent que le pays qui les a produits est le pays du fer par excellence.

C'est aussi le pays des combles à grande portée. Exécutée dès 1854, avec $64^m,62$ d'ouverture, la ferme de la gare de New-Street, à Birmingham, est restée jusqu'en 1866 la plus grande de toutes celles qu'on eut construites. Et c'est une autre ferme anglaise, celle de la gare de St Pancrace, à Londres, qui, prenant alors la tête avec $73^m,15$ d'ouverture, a conservé le premier rang (si on laisse les coupoles de côté) jusqu'à la construction de la halle du Palais des Machines de l'Exposition de 1889, halle dont les fermes procèdent d'ailleurs, dans leur système de construction, de celles-là même de St Pancrace.

Après l'Angleterre vient la France, où cependant on avait construit, dès 1809, le premier grand comble métallique, celui de la Halle aux Blés, tenu à juste titre, lors de sa construction, pour une merveille de hardiesse, et qui mérite encore aujourd'hui une grande part de sa réputation. Le comble du Palais de l'Industrie (1855) avec sa ferme en plein cintre franchissant sans tirant les 48 mètres d'ouverture de la nef centrale (c'est le premier exemple d'une très grande ferme sans tirant) a exercé aussi une action considérable sur les progrès de la construction des fermes à grande portée. Si la ferme de la Halle des Machines de l'Exposition de 1889 procède en principe de celle de St Pancrace à Londres (1866) et se rattache, par sa triple articulation, aux

formes allemandes de la gare de la place Alexandre à Berlin (1883) et de la gare de Francfort sur le Mein (1884), elle l'emporte de bien loin sur ces ouvrages et sur tous les autres du même genre par la grandeur de ses dimensions.

Parmi les douze formes françaises dont nous donnons les dessins, il y en a quatre du système Polonceau, cinq en arc sans tirant, et trois, appartenant à des coupôles, qui sont aussi simplement formées par des arcs. On s'est donc, en France, borné sensiblement à deux types, l'un articulé, n'admettant que des tiges rectilignes (qui passe à l'étranger pour le type français); l'autre rigide et courbe, sans organes rectilignes. Dans l'un et l'autre cas, le parti est très franc, l'organisme très simple, la disposition très rationnelle et très intelligible. On s'est évidemment préoccupé de l'effet artistique. Aussi bien, la forme articulée de la gare d'Orléans, les formes courbes du Palais de l'Industrie (Exposition de 1855), de la galerie des Machines de l'Exposition de 1878, de la galerie des Machines et du Palais des arts libéraux de l'Exposition de 1889, sont des constructions d'une remarquable élégance. Celle est sans doute la qualité caractéristique des ouvrages français.

Celle des ouvrages allemands paraît être le raffinement dans la recherche scientifique. Pour calculer plus exactement la ferme, pour avoir trois points par où passe sûrement la courbe des pressions, on rompt l'arc en deux pièces articulées aux naissances et au sommet. A chacune de ces pièces on donne le profil d'un croissant, effilé aux deux bouts, où sont les charnières, et mesurant au milieu sa plus grande épaisseur. Pour procurer aux fermes plus de stabilité pendant l'opération du levage — l'expérience ayant montré que cette période est très sujette à accidents — on rapproche ces bâtis deux par deux, et l'on obtient ainsi des fermes couplées capables de bien résister au vent et aux autres causes de renversement ou de déformation. Ni l'une ni l'autre de ces innovations n'est d'origine allemande. Les arches de ponts articulées datent de loin en France et, dès 1854, on avait en Angleterre, couplé les fermes du Palais de Cristal. Mais les ingénieurs allemands ont eu le mérite de perfectionner et de systématiser cette dernière disposition et ils ont été les premiers à appliquer aux fermes l'usage des articulations. Les trois fermes allemandes, dont nous donnons les dessins, sont tout à la fois articulées et couplées.

L'Autriche, l'Italie et les Etats-Unis ne sont représentés chacun dans notre Album que par une seule ferme à grande portée. Quelque soit

le mérite de ces ouvrages, on ne saurait apprécier, d'après un spécimen unique, les caractères et les tendances de l'art des constructions dans les trois pays qui les ont produits.

Paris, le 21 Décembre 1891.

Termes métalliques à grande ouverture.

Classement
par ordre de dates.

*N^o
d'ordre*

Ouvertures.

Dénominations *N^o*

Dates.

Fermes.

| | | | |
|----|---------------------|---|-------------|
| 1 | 34 ^m ,85 | Ancien marché du Château d'eau à Paris..... | 1853 |
| 6 | 39,76 | Halle de la gare S ^t -Lazare à Paris..... | 1853 - 1888 |
| 8 | 64,62 | Gare de New-street à Birmingham..... | 1854 |
| 24 | 31,70 | Crystal Palace à Sydenham..... | 1854 |
| 23 | 48,00 | Palais de l'Industrie à Paris..... | 1855 |
| 2 | 35,34 | Halle de la gare du Nord à Paris..... | 1863 |
| 12 | 40,50 | Halle de la gare de Milan..... | 1864 |
| 10 | 50,60 | Gare de Charing-cross à Londres..... | 1864 |
| 9 | 58,03 | Gare de Cannon-street à Londres..... | 1865 |
| 14 | 73,15 | Gare de S ^t -Pancrace à Londres..... | 1866 |
| 25 | 35,00 | Galerie des machines de l'Exposition à Paris..... | 1867 |
| 4 | 51,25 | Halle de la gare d'Orléans à Paris..... | 1867 |
| 5 | 40,24 | Gare de S ^t -David à Exeter..... | 1868 |
| 7 | 33,22 | Gare de Liverpool-street à Liverpool..... | 1870 |
| 16 | 60,35 | Gare de S ^t -Enoch à Glasgow..... | 1876 |
| 3 | 36,60 | Palais principal de l'Exposition de Philadelphie..... | 1876 |
| 21 | 33,50 | Galerie des machines de l'Exposition à Paris..... | 1878 |
| 27 | 64,31 | Gare centrale à Glasgow..... | 1878 |
| 17 | 64,00 | Gare centrale à Manchester..... | 1879 |
| 28 | 47,09 | Gare de la Citadelle à Carlisle..... | 1880 |
| 11 | 51,82 | Gare de Queen-street à Glasgow..... | 1882 |
| 18 | 37,50 | Gare de la place Alexandre à Berlin..... | 1883 |
| 13 | 54,35 | Gare de Silésie à Berlin..... | 1884 |
| 19 | 56,00 | Halle de la gare de Francfort sur le Mein..... | 1884 |
| 26 | 51,82 | Agricultural Hall à Kensington..... | 1886 |
| 22 | 30,48 | Exchange station à Bradford..... | 1888 |
| 15 | 49,80 | Palais des arts libéraux de l'Exposition à Paris..... | 1889 |
| 20 | 110,60 | Palais des machines de l'Exposition à Paris..... | 1889 |

Coupoles.

| | | | |
|----|---------------------|---|------|
| 30 | 39 ^m ,26 | Ancienne halle aux blés (Bourse du Commerce) à Paris..... | 1809 |
| 33 | 66,85 | Albert Hall à Londres..... | 1867 |
| 29 | 100,00 | Rotonde de l'Exposition à Vienne (Autriche)..... | 1873 |
| 31 | 50,00 | Rotonde de locomotives du T. L. M..... | 1884 |
| 32 | 59,70 | Arène du bois de Boulogne à Paris..... | 1890 |

- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à une contrefiche. (Polonceau).
- Arbalétriers rectilignes avec armature rivetée à trois contrefiches. (Polonceau).
- Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow-string).
- Arc sur piliers contrebuté par des bâtis métalliques.
- Arc sur piliers contrebuté par un bâtis métallique.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à une contrefiche. (Polonceau).
- Arc ogival d'une pièce à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.
- Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow-string).
- Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow-string).
- Arc d'une pièce, partant du sol, maintenu par un tirant placé sous le sol.
- Arc sur piliers contrebuté par des bâtis métalliques.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à trois contrefiches. (Polonceau).
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à trois contrefiches. (Polonceau).
- Arbalétriers rectilignes à semelle basse polygonale soutenue par un treillis riveté.
- Arc d'une pièce, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à une, deux et trois contrefiches. (Polonceau).
- Arc et piliers d'une seule pièce, maintenu par des massifs de fondation.
- Comble sur poutres droites à barres rivetées, avec égouts perpendiculaires aux poutres.
- Arc d'une pièce partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Comble sur poutres droites à barres rivetées, avec égouts entre les poutres.
- Arc d'une pièce à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.
- Arc en deux pièces articulées, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arc en deux pièces articulées, à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.
- Arc en deux pièces articulées, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arc sur piliers contrebuté par des culées mixtes.
- Arc sur piliers contrebuté par des murs en maçonnerie.
- Arc et piliers articulés maintenus par un tirant placé sous le sol.
- Arc en deux pièces articulées, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.

- Coupole sphérique. (en fonte).
- Coupole ellipsoïdale.
- Coupole tronconique.
- Coupole sphérique.
- Coupole sphérique.

Fermes métalliques à grande ouverture.

Classement
par ordre décroissant de portée.

Fermes.

| | | | |
|----|-----------|---|----------------------|
| 0 | 1889 | Palais des machines de l'Exposition à Paris..... | 110 ^m ,60 |
| 14 | 1866 | Gare de S ^t Pancrace à Londres..... | 73,15 |
| 8 | 1854 | Gare de New-street à Birmingham..... | 64,62 |
| 27 | 1878 | Gare centrale à Glasgow..... | 64,31 |
| 17 | 1879 | Gare centrale à Manchester..... | 64,00 |
| 16 | 1876 | Gare de S ^t Enoch à Glasgow..... | 60,35 |
| 9 | 1865 | Gare de Cannon-street à Londres..... | 58,03 |
| 19 | 1884 | Halle de la gare de Francfort sur le Mein..... | 56,00 |
| 13 | 1884 | Gare de Silésie à Berlin..... | 54,35 |
| 11 | 1882 | Gare de Queen-street à Glasgow..... | 51,82 |
| 26 | 1886 | Agricultural Hall à Kensington..... | 51,82 |
| 4 | 1867 | Halle de la gare d'Orléans à Paris..... | 51,25 |
| 10 | 1864 | Gare de Charing Cross à Londres..... | 50,60 |
| 15 | 1889 | Palais des arts libéraux de l'Exposition à Paris..... | 49,80 |
| 23 | 1855 | Palais de l'Industrie à Paris..... | 48,00 |
| 28 | 1880 | Gare de la Citadelle à Carlisle..... | 47,09 |
| 12 | 1864 | Halle de la gare de Milan..... | 40,50 |
| 5 | 1868 | Gare de S ^t David à Exeter..... | 40,24 |
| 6 | 1853-1888 | Halle de la gare S ^t Lazare à Paris..... | 39,76 |
| 18 | 1883 | Gare de la place Alexandre à Berlin..... | 37,50 |
| 3 | 1876 | Palais principal de l'Exposition à Philadelphie..... | 36,60 |
| 2 | 1863 | Halle de la gare du Nord à Paris..... | 35,34 |
| 25 | 1867 | Galerie des machines de l'Exposition à Paris..... | 35,00 |
| 1 | 1853 | Ancien marché du Château d'eau à Paris..... | 34,85 |
| 21 | 1878 | Galerie des machines de l'Exposition à Paris..... | 33,50 |
| 7 | 1870 | Gare de Liverpool-street à Liverpool..... | 33,22 |
| 24 | 1854 | Crystal Palace à Sydenham..... | 31,70 |
| 22 | 1888 | Exchange station à Bradford..... | 30,48 |

Coupoles.

| | | | |
|----|------|---|----------------------|
| 29 | 1873 | Rotonde de l'Exposition à Vienne (Autriche)..... | 100 ^m ,00 |
| 33 | 1867 | Albert Hall à Londres..... (Grand axe)..... | 66,85 |
| 32 | 1890 | Arc de bois de Boulogne..... | 59,70 |
| 31 | 1884 | Rotonde de locomotives du P. L. M..... | 50,00 |
| 30 | 1809 | Ancienne halle aux blés (Bourse du Commerce) à Paris..... | 39,26 |

- 15 -
Systèmes de Construction.

- Arc en deux pièces articulées, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arc d'une pièce, partant du sol, maintenu par un tirant placé sous le sol.
- Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow-String).
- Comble sur poutres droites à barres rivetées, avec égouts perpendiculaires aux poutres.
- Arc d'une pièce, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arc d'une pièce, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow-String).
- Arc en deux pièces articulées, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arc en deux pièces articulées, à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.
- Arc d'une pièce, à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.
- Arc sur piliers contrebuté par des culées mixtes.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à trois contrefiches. (Polonceau).
- Arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow-String).
- Arc et piliers articulés maintenus par un tirant placé sous le sol.
- Arc sur piliers contrebuté par un bâtis métallique.
- Comble sur poutres droites à barres rivetées, avec égouts entre les poutres.
- Arc ogival d'une pièce, à tirant polygonal, avec aiguilles tirantes.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à trois contrefiches. (Polonceau).
- Arbalétriers rectilignes avec armature rivetée à trois contrefiches. (Polonceau).
- Arc en deux pièces articulées, partant du sol, maintenu par des massifs de fondation.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à une, deux et trois contrefiches. (Polonceau).
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à une contrefiche. (Polonceau).
- Arc sur piliers contrebuté par un bâtis métallique.
- Arbalétriers rectilignes avec armature articulée à une contrefiche. (Polonceau).
- Arc et piliers d'une seule pièce, maintenu par des massifs de fondation.
- Arbalétriers rectilignes à semelle basse polygonale soutenue par un treillis riveté.
- Arc sur piliers contrebuté par des bâtis métalliques.
- Arc sur piliers contrebuté par des murs en maçonnerie.

- Coupole tronconique.
- Coupole ellipsoïdale.
- Coupole sphérique.
- Coupole sphérique.
- Coupole sphérique. (en fonte).

Termes métalliques à grande ouverture.

Classification méthodique
des Termes.

Fermes métalliques à grande ouverture.

A.

Combles formés d'une suite de travées couvrant un espace rectangulaire ou annulaire

a. Fermes à tirants apparents sous l'arbalétrier.

- I. Arbalétriers rectilignes avec tirant unique. { 1. à double pente.
2. à double pente avec palier sous la lanterne.
- II. Arbalétriers rectilignes avec armature à une ou plusieurs contrefiches. (dite à la Toloncean). { 1. Armature articulée... { α . à une contrefiche... { 1 Marché du Château d'eau, à Paris 1853
2 Halle de la gare du Nord, à Paris... 1863
3 Exposition de Philadelphie... 1876
 β . à plusieurs contrefiches { 4 Gare d'Orléans, à Paris... 1867
5 Gare de St David, à Exeter... 1868
3 Exposition de Philadelphie... 1876
2. Armature rivetée... { α . à une contrefiche... 6 Gare St Lazare, à Paris... 1888
 β . à plusieurs contrefiches... 6 Gare St Lazare, à Paris... 1853
- III. Arbalétriers rectilignes avec ou sans palier sous la lanterne, soutenus par un treillis riveté. { 1. à semelle basse rectiligne.
2. à semelle basse courbe ou polygonale... 7 Gare de Liverpool Street... 1870
- IV. Arc cintré ou polygonal soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. (Bow String)... { 8 Gare de New Street, à Birmingham... 1854
9 Gare de Cannon Street, à Londres... 1865
10 Gare de Charing Cross, à Londres... 1864
- V. Arc à tirant rectiligne ou polygonal, rattaché par des aiguilles... { 1. Tirant rectiligne avec aiguilles pendantes.
2. Tirant polygonal avec aiguilles tirantes... { α . arc d'une pièce... { 11 Gare de Queen Street, à Glasgow... 1882
12 Gare de Milan... 1864
 β . arc en deux pièces articulées... 13 Gare de Silésie, à Berlin... 1885

b. Fermes sans tirants apparents ou sans tirants.

| | | | | | |
|---|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| VI. Arc maintenu par un tirant placé sous le sol. | 1. Arc partant du sol..... | α. Arc d'une pièce..... | 14 | Gare de St Pancrace, à Londres..... | 1866 |
| | | β. Arc en 2 pièces articulées. | | | |
| | 2. Arc sur piliers..... | α. Arc et piliers d'une pièce. | | | |
| | | β. Arc et piliers articulés..... | 15 | Palais des arts libéraux, Exp ⁿ à Paris..... | 1839 |
| VII. Arc maintenu par des massifs de fondation. | 1. Arc partant du sol..... | α. Arc d'une pièce..... | 16 | Gare de St Enoch, à Glasgow..... | 1876 |
| | | | 17 | Gare centrale, à Manchester..... | 1879 |
| | | β. Arc en 2 pièces articulées..... | 18 | Gare de la place Alexandre, à Berlin..... | 1883 |
| | | | 19 | Gare de Francfort sur le Mein..... | 1884 |
| | | | 20 | Palais des machines, à Paris..... | 1889 |
| | | 2. Arc sur piliers..... | α. Arc et piliers d'une pièce..... | 21 | Galerie des machines, Exp ⁿ à Paris..... |
| | | β. Arc et piliers articulés. | | | |
| VIII. Arc sur piliers contrebutés par | 1. Mur en maçonnerie..... | | 22 | Exchange Station, à Bradford..... | 1888 |
| | | | 23 | Palais de l' Industrie, à Paris..... | 1855 |
| | 2. Bâti métallique..... | | 24 | Crystal Palace, à Sydenham..... | 1854 |
| | | | 25 | Galerie des machines, à Paris..... | 1867 |
| | 3. Culée mixte..... | | 26 | Agricultural Hall (Olympia) à Kensington..... | 1886 |

c. Fermes en poutres droites.

| | | | | | |
|--|---|-------------------------------|----|---------------------------------------|------|
| IX. Poutres droites à barres articulées ou rivetées. | 1. Combles à égouts perpendiculaires aux poutres..... | | 27 | Gare centrale, à Glasgow..... | 1878 |
| | | | | | |
| | 2. Comble à égouts parallèles aux poutres..... | α. égouts sur les poutres. | | | |
| | | β. égouts entre les poutres.. | 28 | Gare de la Citadelle, à Carlisle..... | 1880 |

B.

Combles en forme de dômes couvrant un espace circulaire, ovale ou polygonal.

| | | | |
|----------------------------------|----|---|------|
| X. Coupôles tronconiques..... | 29 | Rotonde de l'Exposition de Vienne..... | 1873 |
| XI. Coupôles sphériques..... | 30 | Ancienne halle aux blés de Paris..... | 1809 |
| | 31 | Rotonde de 90 ^m : L. L. M..... | 1884 |
| | 32 | Arène du bois de Boulogne..... | 1890 |
| XII. Coupôles ellipsoïdales..... | 33 | Albert Hall à Kensington..... | 1867 |

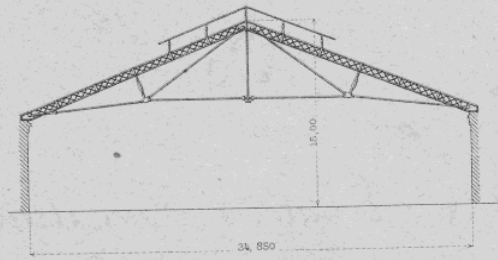
A. a.

II. 1. α. *Arbalétriers rectilignes*
avec armature articulée à une contrefiche.
(dite à la Polonceau).

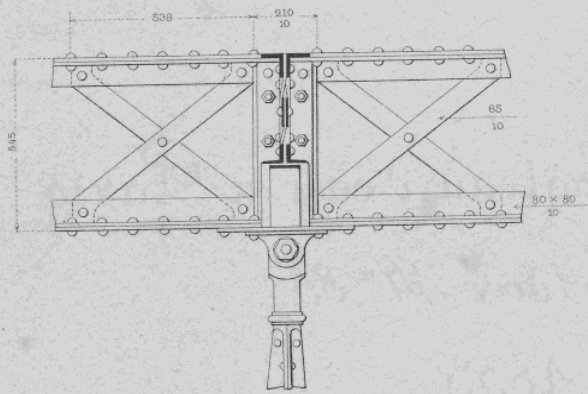
Marché du Château d'eau à Paris.

Ouverture 34^m 85.

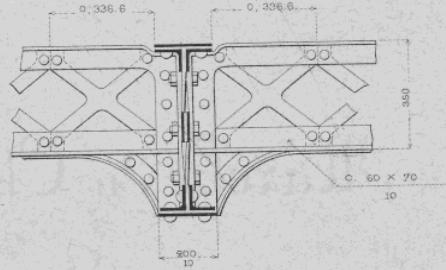
1853.



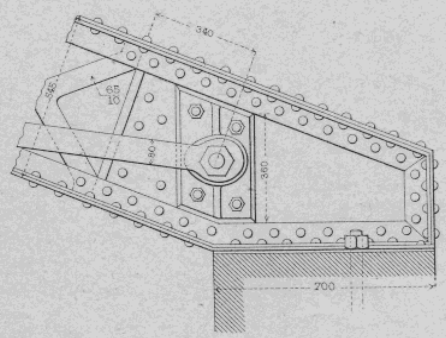
Elévation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



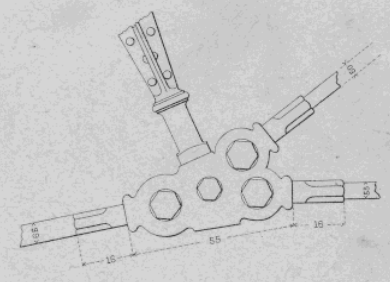
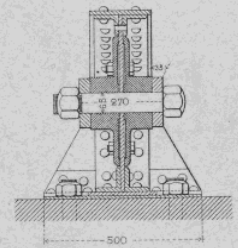
Elévation partielle d'un arbalétrier.
Coupe d'une panne. ($\frac{1}{20}$)



Coupe d'un arbalétrier.
Assemblage des pannes. ($\frac{1}{20}$)



Elévation et coupe tr¹o du pied d'un arbalétrier ($\frac{1}{20}$)



Assemblage de l'armature ($\frac{1}{20}$)

23
 Marché du Château d'eau, à Paris.
 1853.

| | Mètres. |
|------------------------------------|---------|
| Longueur du comble | 65.00 |
| Ouverture des fermes | 34.85 |
| Hauteur libre sous l'entrait | 9.00 |
| Espacement des fermes | 8.59 |

Les fermes étaient à arbalétriers rectilignes, avec armature articulée, à une contrefiche, du type Polonceau. Les arbalétriers étaient formés d'une poutre en I, à croisillons; les semelles avaient 210 millimètres sur 10; les cornières, $\frac{80 \times 80}{10}$; les barres des croisillons étaient en fer-plat de $\frac{65}{10}$, avec extrémités coudées à chaud. Les contrefiches étaient en fer; elles étaient formées de 4 cornières rivées, arrondies sur les bords de manière à présenter l'aspect d'un solide d'égale résistance. Les pièces de l'armature étaient en fer-rond; les tirants avaient 65^{mm} de diamètre; les sous-tendeurs, 50^{mm}; les entrants, 55^{mm} et l'aiguille pendante 20^{mm}. Les pannes étaient en treillis de 0,35 de hauteur. Leur espacement était de 3^m.13. La ferme de tête avait des arbalétriers à âme pleine. La couverture était en zinc.

Le poids d'une ferme était de 7180 kilogrammes.

Le comble du marché du Château d'eau s'est effondré pendant l'hiver de 1879, à la suite de froids excessifs et d'une abondante chute de neige. L'accident, autant qu'il a été possible d'en juger, n'est pas résulté de l'insuffisance des fermes métalliques, mais plutôt des actions cumulées du retrait sur les pannes dont la dernière travée était scellée dans un mur. Les fermes ont été faussées et renversées par suite des efforts transversaux s'exerçant en sens contraire aux pieds et aux sommets. (Voir la note sur l'effondrement du marché du Château d'eau. E. Trélat 1880. Brochure in 8° extraite des Annales des Travaux Publics).

24

A. a.

II. 1. α. *Arbalétriers rectilignés*
avec armature articulée à une contrefiche.
(dite à la Polonceau).

Halle de la gare du Nord, à Paris.

Ouverture 35^m 34.

1863.

Halle de la gare du Chemin de fer du Nord, à Paris. 1863.

| | Mètres. |
|--|---------|
| Longueur du comble..... | 180. 00 |
| Ouverture totale des fermes, pour les 3 travées..... | 70. 06 |
| Hauteur totale..... | 29. 92 |
| Hauteur libre sous l'entrait..... | 24. 80 |
| Espacement des fermes..... | 10. 00 |

Le comble est porté par deux cours d'arbalétriers qui sont soutenus au milieu de leur longueur par deux files de colonnes divisant la halle en trois travées, deux travées latérales dont la largeur est à très peu près égale au quart de celle du bâtiment et une travée centrale dont l'ouverture est double des précédentes. Les portées ont été diminuées de 6 mètres au moyen de larges consoles en fonte fixées sur les murs et sur les colonnes; en outre les portions d'arbalétriers au-dessus de la grande travée sont armées suivant le système Polonceau.

Les arbalétriers, de section uniforme, sont composés d'une âme en tôle pleine, de 10 millimètres d'épaisseur, bordée par 4 rangs de cornières de $\frac{90 \times 90}{12}$; la semelle supérieure est renforcée par une platobande de $\frac{200}{11}$; les tendeurs et les entrails sont en fer rond; les contrefiches sont en fonte.

Les pannes sont faites avec des fers en I assemblés à l'aide d'équerres sur l'âme des arbalétriers; leur espacement est de 3^m.016 au-dessus des travées latérales et de 3^m.097 au-dessus de la travée centrale.

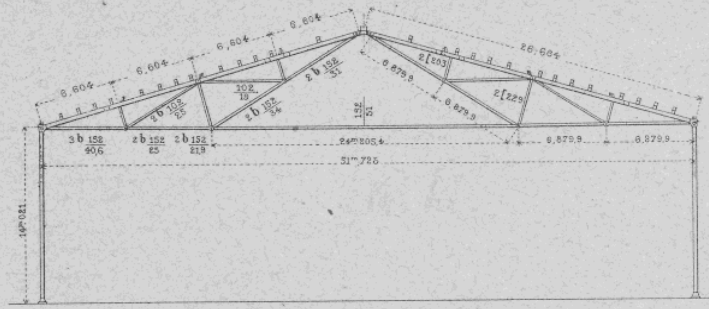
A. a.

*II. 1. β. Arbalétriers rectilignes
avec armature articulée à plusieurs contrefiches.
(dite à la Polonceau).*

Palais principal de l'Exposition de Philadelphie.

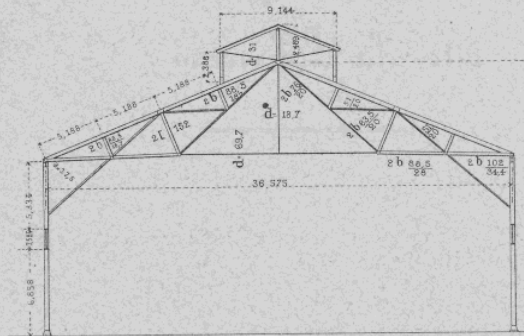
Ouvertures 51^m725, 36^m60, 27^m61.

1876.

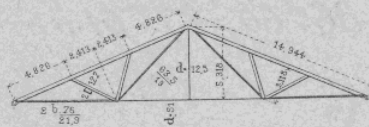


Elévation de l'une des fermes diagonales de la nef (AA.BB)

Ouverture 169 pieds 8 pouces 1/2 (51m725) (1/500)

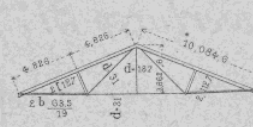


Elévation d'une ferme de 120 pieds (36m60) a. (1/500)



Elévation d'une ferme b de

90 pieds 7 pouces 1/8 (27m612) d'ouverture (1/500)



Elévation d'une ferme c de

61 pieds 2 pouces 1/4 (18m65) d'ouverture (1/500)

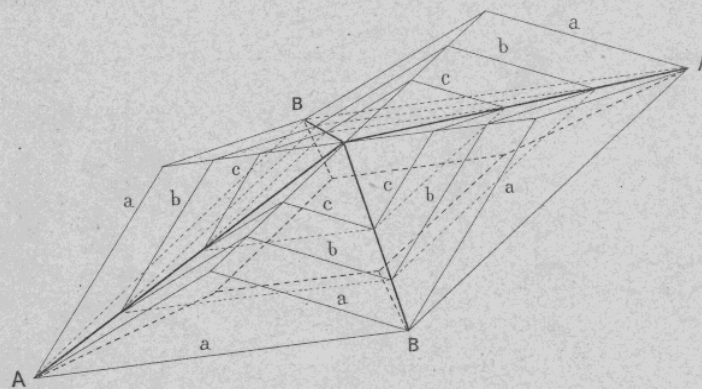


Diagramme de la charpente du comble de la nef centrale

pouce (0,01875) d'épaisseur. Le sommet de chaque pilier était muni d'un sabot en fonte pour l'assemblage des arbalétriers et des têtes de tirants.

Pour donner à la nef formée par le croisement des galeries centrales un aspect monumental, on avait relevé les fermes des trois dernières travées de chaque galerie de 46 pieds 6 pouces à 72 pieds; l'espace rectangulaire compris entre les parties surhaussées était traversé diagonalement par 2 grandes fermes dont les arbalétriers servaient d'appui aux fermes d'ouvertures décroissantes qui portaient les prolongements des combles jusqu'au centre.

L'ouverture des grandes fermes, AA, BB, était de 169 pieds 8 pouces $\frac{1}{2}$ (51^m725); leurs arbalétriers étaient constitués par 2 poutres juxtaposées formées chacune de 2 fers en U de 12 pouces (0,305) pesant 45 kilos le mètre et reliés à la partie supérieure par une semelle de 8 pouces (0,203) de largeur sur $\frac{3}{8}$ (0,0094) d'épaisseur. Ces deux poutres jumelles étaient réunies de distance en distance, en dessus par les plaques d'appui des petites fermes, par celles des pannes et par celles des pieds des montants du lanterneau; en dessous par des entretoises et par les plaques d'attache des bielles. Au sommet les abouts des arbalétriers étaient assemblés dans un chapeau en fonte; aux pieds ils étaient également encastés dans des sabots en fonte fixés au sommet des piliers.

Les grandes contrefiches étaient faites chacune avec 2 fers en U de 9 pouces (0,229) pesant 35 kilos le mètre; les petites contrefiches, avec des fers semblables de 8 pouces (0,203) pesant 24 kilos. Les tirants et les tendeurs étaient en fer-plat; les entrants, en fer de 6 pouces sur 2 (0,152 x 0,051) avaient été dédoublés et dirigés d'une ferme sur l'autre de façon à laisser au centre un vide rectangulaire correspondant au croisement des lanterneaux.

Les petites fermes (b etc) avaient respectivement 90 pieds 7 pouces $\frac{1}{8}$ (27^m612) et 61 pieds 2 pouces $\frac{1}{4}$ (18^m650) d'ouverture. Leurs arbalétriers étaient composés avec des fers en U de 9 pouces (0^m229), pesant 27 kilos le mètre, reliés par une semelle supérieure de 8 pouces (0,203) de largeur et de $\frac{3}{8}$ d'épaisseur (0,0094). La plus grande avait 2 contrefiches convergentes; la plus petite n'avait qu'une seule contrefiche.

Toutes les pannes du comble étaient en bois.

L'ensemble de la charpente de la nef était contrebuté par 4 tours rectangulaires, de 48 pieds (14^m63) de côté et de 123 pieds 4 pouces (37^m59) de hauteur; placées aux angles et correspondant aux croisements des passages intérieurs. Les piliers des grandes fermes et ceux des fermes de 120 pieds faisaient partie de l'ossature métallique de ces tours.

Palais principal de l'Exposition de Philadelphie.
1876.

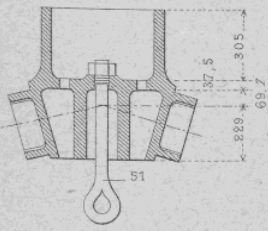
| | Pieds. | Mètres. |
|---|---------|---------|
| Longueur du Palais | 1180. 0 | 473. 00 |
| Largeur totale du Palais | 464. 0 | 141. 50 |
| Ouverture des fermes de la galerie centrale | 120. 0 | 36. 60 |
| Ouverture des fermes des galeries latérales | 100. 0 | 30. 48 |
| Hauteur libre sous les entrails | 45. 6 | 13. 87 |
| Espacement des fermes | 24. 0 | 7. 32 |

Le bâtiment principal de l'Exposition de Philadelphie avait 1180 pieds (473^m.00) de longueur; sur 464 pieds de largeur (141^m.50). Il était divisé en trois galeries longitudinales, une au centre de 120 pieds (36^m.60) d'ouverture et deux sur les côtés de 100 pieds (30^m.48). Entre ces galeries régnaient des passages de 48 pieds (14^m.63). Extérieurement se trouvaient des passages de 24 pieds (7^m.315). Vers le milieu du bâtiment les galeries longitudinales étaient recoupées par trois galeries transversales de mêmes dimensions.

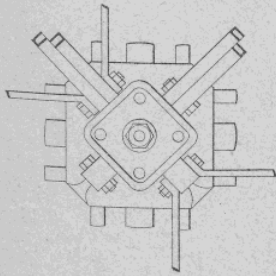
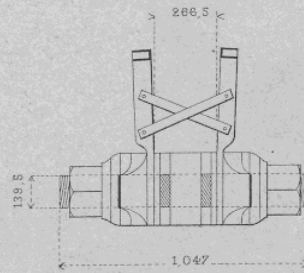
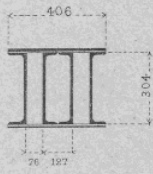
Toutes les grandes fermes des combles étaient à arbalétriers rectilignes, avec armature articulée à 1, 2 et 3 contrefiches (type Polonceau). Les figures ci-jointes représentent la ferme normale de 120 pieds et la composition du comble au centre du palais, au-dessous du point de croisement des galeries de 120 pieds.

La charpente métallique de ce palais était caractérisée par l'emploi de fers en U assemblés deux à deux à l'aide de platebandes en fer; les entretoisements étaient faits avec des poutres à treillis et l'ensemble était contreventé dans tous les sens avec des diagonales armées de tendeurs. La plupart des assemblages étaient facilités par l'emploi de pièces de fonte intercalées entre les fers.

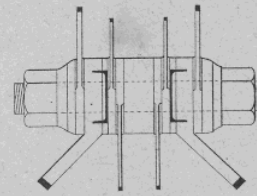
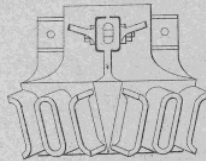
Dans les fermes de 120 pieds les arbalétriers étaient composés de 2 fers en U de 9 pouces (0.229) de hauteur, pesant 35 kilos le mètre; ces fers étaient juxtaposés, les ailes en dehors et réunis, à la partie supérieure, par une semelle de 8 pouces (0.203) de largeur et de $\frac{3}{8}$ (0.0094) d'épaisseur. En dessous l'assemblage était réalisé par les plaques d'attache des bielles et par des entretoises. Les tirants, les tendeurs et les sous-tendeurs étaient formés par des barres de fer plat accouplées par deux; les entrails étaient en fer rond de 70 millimètres; les aiguilles pendantes avaient 12,5^{mm} de diamètre. Les grandes contrefiches étaient formées par 2 fers en U de 6 pouces (0.152) pesant 13 kilos 50 le mètre, accouplés et renflés au milieu. Les petites contrefiches étaient composées de 2 fers plats de 3 $\frac{1}{2}$ pouces (0.0885) sur $\frac{3}{4}$ de pouce (0.0187) d'épaisseur. Ces fermes étaient portées par des piliers tubulaires composés de 2 fers en U de 8 pouces (0.205) pesant 24 kilos le mètre, réunis par 2 platebandes de 10 pouces (0.254) de large sur $\frac{3}{4}$ de



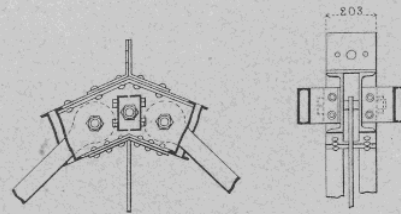
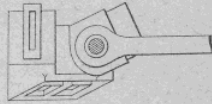
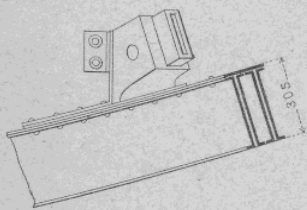
Coupe d'un arbalétrier des grandes fermes



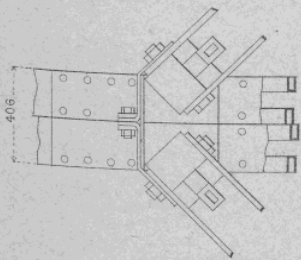
Coupe verticale, plan et élévation du chapeau d'assemblage des arbalétriers des grandes fermes



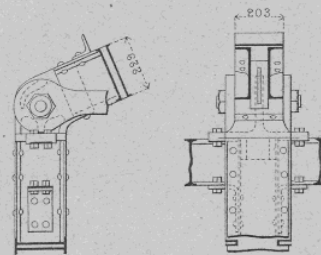
Elévation et plan de l'assemblage au pied des grandes bielles.



Assemblage au sommet des arbalétriers des petites fermes b. et c.



Elévation, plan et profil des sabots d'assemblage au pied des arbalétriers des grandes fermes de 169 pieds (51^m725)



Assemblage au pied des arbalétriers des petites fermes b. et c.

34

A. a.

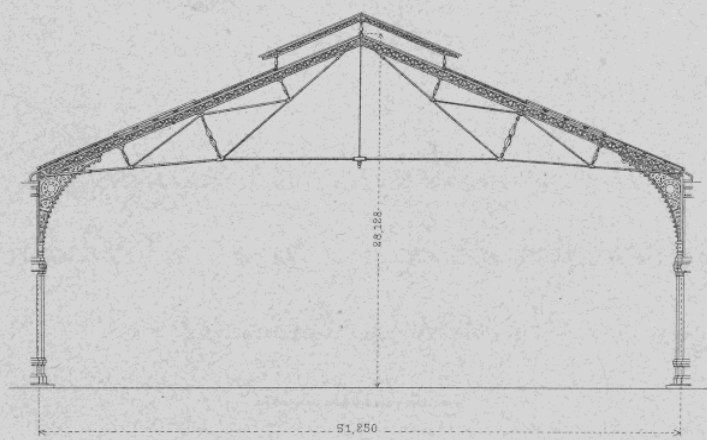
II. 1. β. - *Arbalétriers rectilignes*
avec armature articulée à trois contrefiches.
(dite à la Polonceau).

Halle de la gare d'Orléans, à Paris.

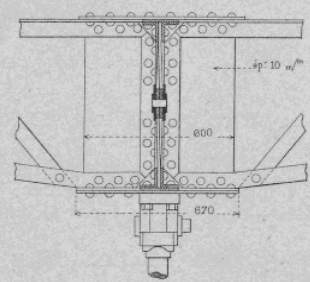
Ouverture 51^m 25.

1867.

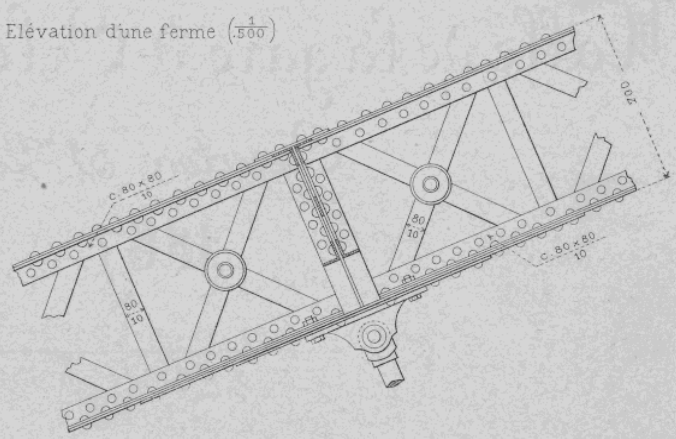
36



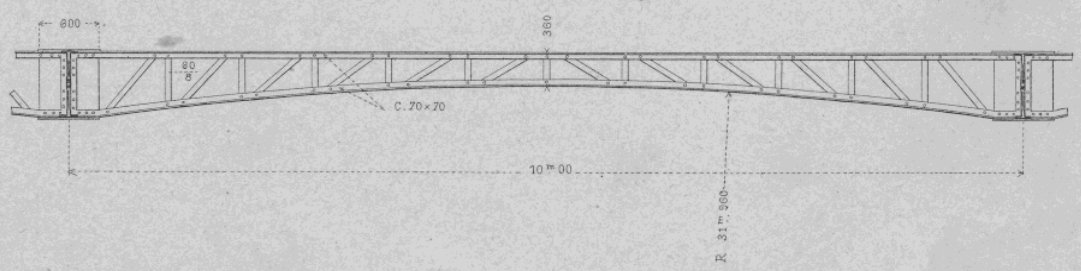
Elévation d'une ferme (1/500)



Coupe d'un arbalétrier et assemblage des pannes (1/25)



Elévation d'un tronçon d'arbalétrier et coupe d'une panne (1/25)



Elévation d'une panne (1/66,66)

Halle de la gare du chemin de fer d'Orléans, à Paris. 1867.

| | Mètres. |
|-----------------------------|---------|
| Longueur du comble | 280. 00 |
| Ouverture des fermes | 51. 25 |
| Hauteur libre | 18. 00 |
| Espacement des fermes | 10. 00 |

Le comble de la halle est porté par des fermes composées d'arbalétriers rectilignes, avec armature articulée à trois contrefiches, du système Polonceau. Les arbalétriers sont des poutres à croisillons de 0.70 de hauteur. Les pièces de l'armature sont en fer rond, sauf les contrefiches qui sont en fonte et au nombre de 3 pour chaque arbalétrier. Les tirants ont 100 et 95 millimètres de diamètre; les grands sous-tendeurs ont 63^{mm} et les petits, 45^{mm}; l'entrait est en deux pièces de 74^{mm}, l'aiguille pendante n'a que 11 millimètres de diamètre.

Les pannes sont à treillis; elles ont 0.36 de hauteur au centre et 0.70 aux extrémités; la semelle inférieure est courbée en arc de cercle de 31^m.96 de rayon. L'espacement des pannes est de 1^m.60. Au-dessous de la lanterne elles sont supprimées sur une largeur de 13^m.20, au milieu de laquelle il n'existe qu'une panne faîtière verticale de 0^m.70 de hauteur.

Les fermes s'appuient sur des piliers en maçonnerie par l'intermédiaire de plaques de glissement et sur de grandes consoles en fonte boulonnées à dilatation libre avec les arbalétriers. Les tirants des fermes sont entretoisés par des triangles d'écartement en fer rond de 45^{mm}. Le poids d'une ferme est de 14568 kilogrammes.

A. a.

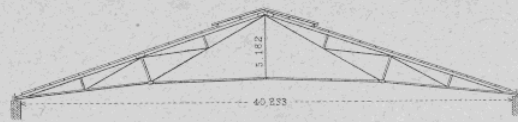
*II. 1. β. Arbalétriers rectilignes
avec armature articulée à trois contrefiches.
(dite à la Polonceau).*

Gare de Saint David, à Exeter.

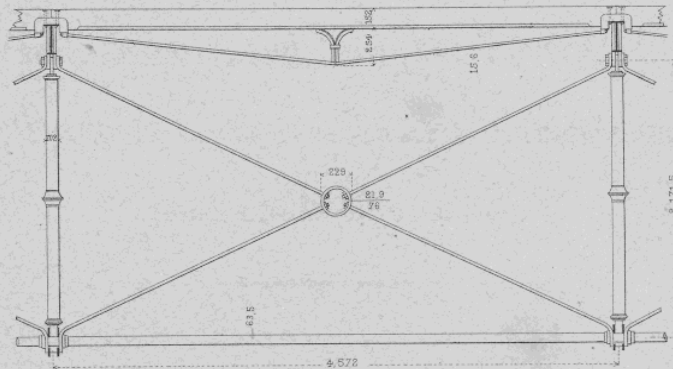
Ouverture 40^m 24.

1868.

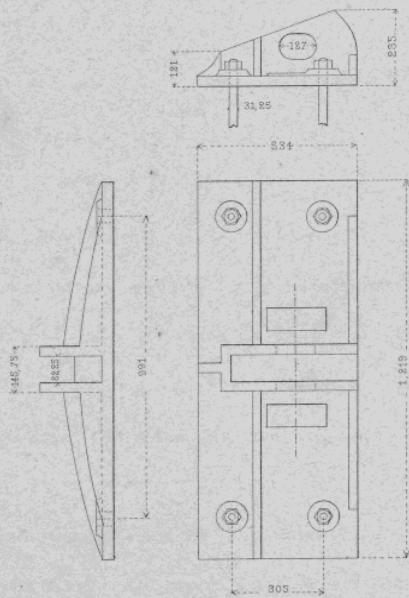
40



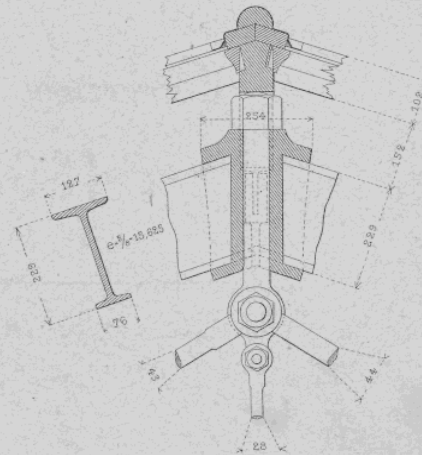
Elevation d'une ferme (1/500)



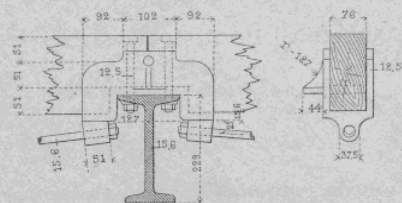
Panne et contreventement vertical au droit des contrefiches (1/50)



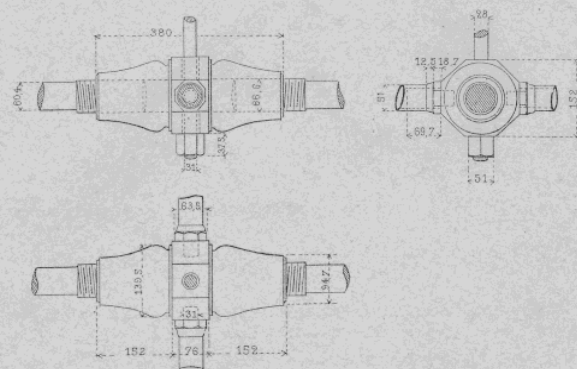
Plaque d'appui avec patin d'encastrement des pieds des arbalétriers (1/20)



Coupe d'un arbalétrier. Chapeau d'encastrement des sommets des arbalétriers



Selle d'appui des pannes sur les arbalétriers



Assemblage des entrails du poinçon et des barres d'écartement

41

Gare de Saint David, à Exeter. Great Western Railway. 1868.

| | Pieds. | Mètres. |
|--|--------|---------|
| Longueur du comble..... | 360. 0 | 109. 73 |
| Ouverture des fermes..... | 132. 0 | 40. 24 |
| Hauteur au-dessus des appuis..... | 22. 0 | 6. 71 |
| Relèvement de l'entrait au-dessous des appuis..... | 5. 0 | 1. 53 |
| Hauteur de la ferme..... | 17. 0 | 5. 18 |
| Espacement des fermes..... | 15. 0 | 4. 57 |

Le comble est porté par des fermes composées d'arbalétriers rectilignes avec armature articulée, à trois contrefiches, du système Polonceau; l'ouverture est de 132 pieds et la hauteur de 22 pieds ($\frac{1}{6}$ de l'ouverture). Les arbalétriers sont construits avec 4 barres de fer en **I** à ailes inégales, les plus larges formant la semelle supérieure. La longueur de ces barres est fixée de façon que les jonctions coïncident avec les têtes des contrefiches. Chaque jonction est obtenue à l'aide de 2 éclisses, de 0,76 de longueur et 22^{mm} d'épaisseur fixées par 4 boulons. Aux pieds les arbalétriers sont renforcés, sur 2^m44 de longueur, par deux fourures de 25^{mm} d'épaisseur ajustées entre les ailes du fer et rivées avec l'âme.

Les entrants sont en fer rond de 57^{mm}; les tendeurs ont 44^{mm} de diamètre; les sous-tendeurs 34^{mm} et l'aiguille pendante 28^{mm}. Les contrefiches sont faites avec des tubes en fer, de 102^{mm} de diamètre extérieur et 9^{mm} d'épaisseur pour les grandes, de 76^{mm} de diamètre et 8^{mm} d'épaisseur pour les petites; les bouts sont taraudés intérieurement pour recevoir les têtes d'articulation.

Au sommet les arbalétriers sont encastrés dans un chapeau en fonte; leurs pieds reposent également sur des plaques en fonte avec encastrement.

Il y a 28 cours de pannes espacées de 1^m32; ces pannes sont en bois et armées de tendeurs en fer rond de 16^{mm} de diamètre. Elles reposent bout à bout sur de petites selles en fonte posées à cheval sur les arbalétriers.

La couverture est faite avec des feuilles d'un feutre spécial, gondonné et ardoisé. Ce feutre est posé sur un voligeage en diagonale.

Pour suppléer au manque de rigidité latérale des fermes, on a dû multiplier les contreventements.

Outre les tirants diagonaux ordinaires placés sous la toiture et embrassant deux travées, les fermes sont reliées par deux cours de croix de Saint André régnant entre les grandes contrefiches. En outre des tiges tubulaires de 51^{mm} de diamètre, maintiennent l'écartement entre les écrous de tendage des entrants, dans l'axe du comble.

Dron roofs page 9 planches 14 à 18.

42

A. a.

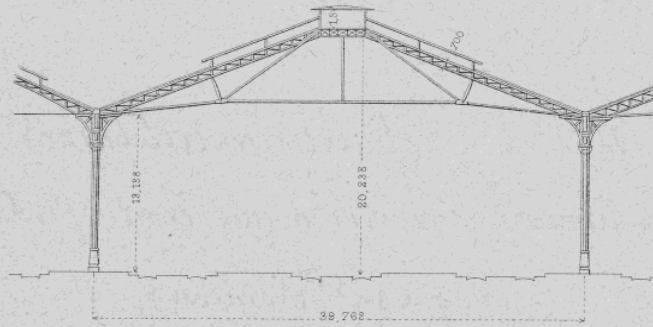
*II. 2. α. Arbalétriers rectilignes
avec armature rivetée à une contrefiche
(dite à la Polonceau).*

Gare Saint Lazare, à Paris.

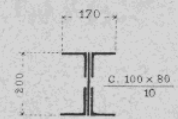
Ouverture 39^m.76.

1888.

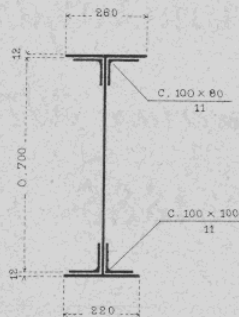
44



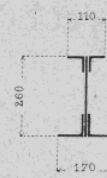
Elevation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



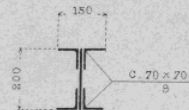
Coupe d'un tendeur



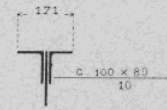
Coupe d'un arbalétrier



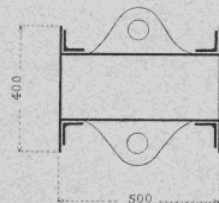
Coupe d'un entrait



Coupe d'une contrefiche



Coupe d'un sous-tendeur



Coupe horiz^{le} d'un pilier

Echelle des figures de détail ($\frac{1}{20}$)

45
Gare Saint Lazare à Paris. Chemin de fer de l'Ouest.
1888.

| | Mètres. |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Longueur du comble | 115. 00 |
| Ouverture des fermes | variable de 35 mètres à 39. 76 |
| Hauteur libre sous l'entrait | 13. 94 |
| Espacement moyen des fermes | 8. 00 |

On a employé pour couvrir les agrandissements de la halle de la gare Saint Lazare des fermes avec arbalétriers rectilignes soutenus par une armature rivetée, du système Polonceau modifié en 1853 par Flachet. Les anciennes fermes avaient des arbalétriers à âme pleine et 3 contrefiches. Dans les nouvelles les arbalétriers sont à treillis et il n'y a qu'une seule contrefiche.

Toutes les pièces de l'armature sont construites très simplement en tôle et cornières.

Bien que les espaces à couvrir soient de largeur différente, on est arrivé à conserver à l'ensemble des constructions un aspect uniforme en composant les fermes avec un type unique de demi-fermes de dimensions constantes (la moitié d'une ferme de 35 mètres d'ouverture), et en reliant ces demi-fermes au sommet par des parties horizontales de même type que les arbalétriers et de longueur variable; ces parties horizontales sont couvertes d'un lanterneau formant terrasson.

Les fermes sont portées par des piliers en tôle et cornières, en forme de caissons avec deux parois planes et deux parois à claire-voie. Les têtes des piliers sont armées de consoles sur lesquelles posent les arbalétriers. Les appuis de ces consoles et les garnitures de soubassement des piliers sont en fonte. D'une ferme à l'autre les têtes des piliers sont reliées par des sablières en I, à treillis qui portent les chénaux.

Les pannes sont des poutrelles à treillis, de section constante, espacées de 2^m 314. Les deux pannes du sommet, qui portent le terrasson, sont élargies aux extrémités, avec la semelle inférieure en arc de cercle.

Sur chaque versant, la moitié supérieure du comble est vitrée, l'autre moitié est couverte en zinc posé sur double voligeage.

A. a.

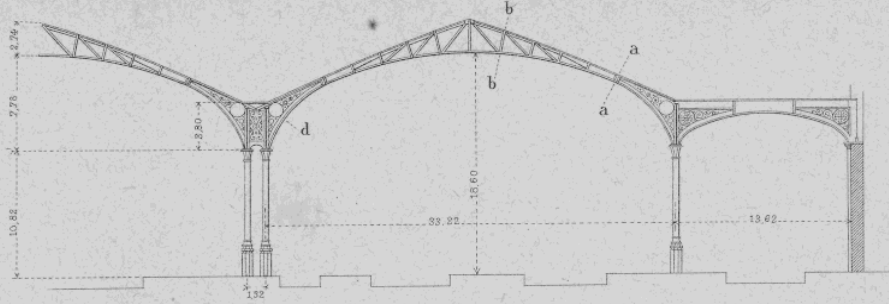
III. 2. Arbalétriers rectilignes
soutenus par un treillis riveté, à semelle basse polygonale.

Gare de Liverpool street, à Londres.

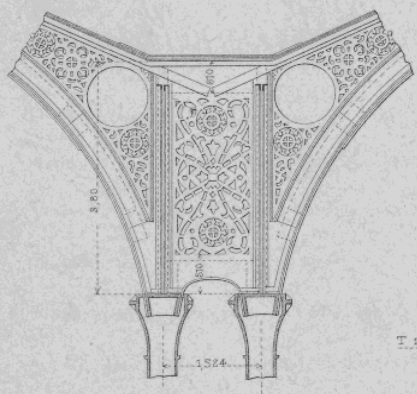
Ouverture 33^m.22.

1870.

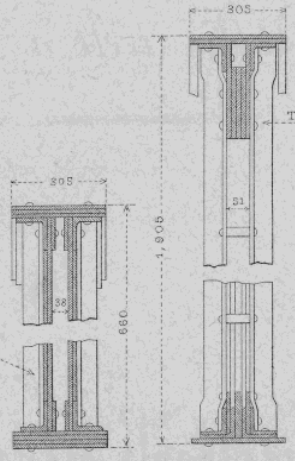
48



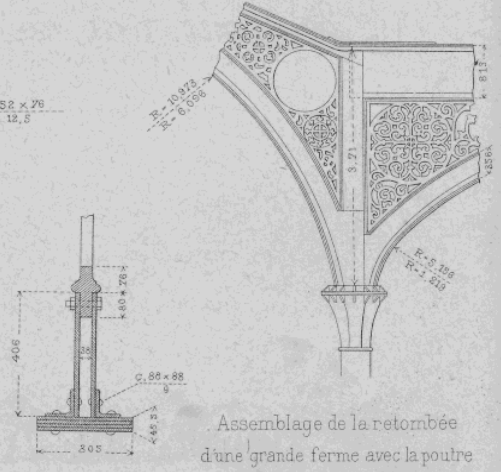
Coupe transversale d'une moitié de la Halle (1/500)



Assemblage des retombées des deux grandes fermes au-dessus des Colonnes (1/100)

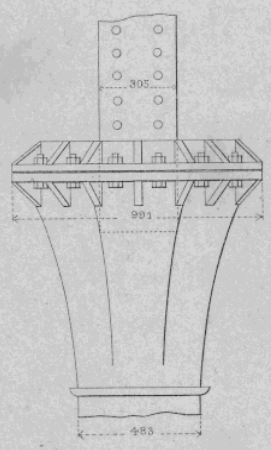


Coupes transversales de la ferme en aa et bb (1/20)

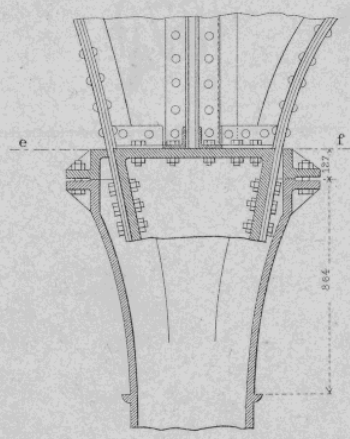


Assemblage de la retombée d'une grande ferme avec la poutre du comble de la galerie (1/100)

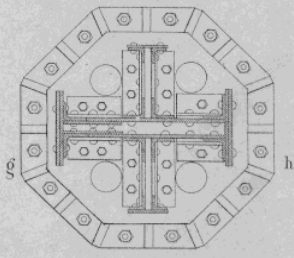
Coupe de la Semelle basse en d (1/20)



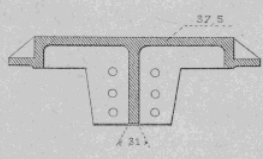
Élévation d'un chapiteau (1/25)



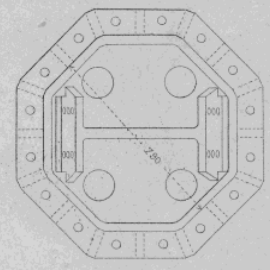
Coupe verticale du sommet de la Colonne suivant GH (1/25)



Coupe hor^{le} e f et plan du chapiteau (1/25)



Coupe tr^{le} du plateau d'assemblage



Plan par dessous du plateau d'assemblage (1/25)

49
Gare de Liverpool street, à Londres Great Eastern Railway.
1870.

| | Pieds. | Mètres. |
|------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble..... | 624, 0 | 190. 20 |
| Ouverture des fermes..... | 109, 0 | 33. 22 |
| Hauteur libre au centre..... | 61, 0 | 18. 60 |
| Espacement des fermes..... | 30, 0 | 9. 15 |

La halle de la gare de Liverpool street a 624 pieds (190^m.20) de longueur sur 309 pieds (94^m.18) de largeur; elle est divisée en quatre travées, deux centrales de 109 pieds (33^m.22) d'ouverture et deux latérales ayant l'une 46. pieds 4 pouces (14^m.12) et l'autre 44. pieds 9 pouces (13^m.64) d'ouverture. Le comble de chacune des grandes travées est porté par des fermes à arbalétriers rectilignes soutenus par une armature rivetée à semelle basse polygonale au milieu et terminée de chaque côté par un arc d'anse de panier. Il n'y a pas de tirants; les fermes sont disposées en cantilever (consolés équilibrés) de la façon suivante: les moitiés intérieures des grandes fermes reposent sur une file de colonnes doubles et sont reliées l'une avec l'autre de telle sorte qu'elles s'équilibrent mutuellement; les moitiés extérieures sont, de leur côté, solidaires des poutres du comble de chaque travée latérale correspondante, de façon que celles-ci leur font équilibre, tant par leur poids que parceque leurs extrémités sont fortement ancrées dans les murs de la halle, à l'aide de boulons noyés dans la maçonnerie.

Les arbalétriers sont rectilignes sur la moitié de leur longueur, puis infléchis vers le sommet de 0^m.534; les semelles basses sont formées jusqu'au milieu de chaque arbalétrier par des arcs d'anse de panier dont les rayons successifs sont, à partir des naissances, 6^m.096, 10^m.973, 17^m.069 et 20^m.726; l'autre moitié se continue en forme d'arc polygonal dont le sommet se trouve à 25 pieds 6 pouces (7^m.78) au dessus de la ligne des naissances. La hauteur de la ferme, sur l'axe est de 9 pieds (2^m.743) et la hauteur libre au centre de chaque travée est de 61 pieds (18^m.60).

Les fermes sont composées de façon à leur assurer la rigidité correspondant à leur rôle de consolés équilibrés; l'arbalétrier et la semelle sont formés de deux âmes verticales reliées par des cornières de $\frac{114,5 \times 102}{12,5}$ avec des platebandes d'épaisseur variable. A partir des naissances les âmes des arbalétriers sont de $\frac{152}{8}$ et celles des semelles de $\frac{356}{8}$; elles sont espacées de 38 mm et les tympons sont remplis avec des panneaux de fonte ajourés, boulonnés avec les âmes. Plus loin la ferme est divisée en 5 panneaux par les montants qui relient l'arbalétrier et la semelle. Le premier panneau est garni

avec 2 âmes pleines de 8^m/m d'épaisseur. Pour le panneau suivant, les âmes verticales de l'arbalétrier ont $\frac{127}{8}$ et celles de la semelle $\frac{102}{8}$; pour les trois derniers panneaux elles ont $\frac{102}{9}$ et sont espacées de 51^m/m.

Les montants des quatre premiers panneaux sont en fer à T de $\frac{127 \times 64}{9,4}$ et ceux du dernier panneau en T de $\frac{152 \times 76}{12,5}$. Dans les trois derniers panneaux, l'arbalétrier et la semelle sont reliés par des écharpes pointant vers le sommet de la ferme et formées de quatre barres en fer plat juxtaposées dont les sections totales sont: dans les panneaux du sommet $\frac{145}{51}$; dans les seconds $\frac{102}{51}$ et dans les troisièmes $\frac{88}{51}$.

La jonction des moitiés de fermes au-dessus des colonnes est faite d'une façon très rigide; les platebandes des arbalétriers sont prolongées et renforcées par un couvre joint de 3^m48 de longueur en fer de $\frac{305}{11}$. Les montants extrêmes sont de plus reliés par quatre platebandes verticales en tôle de $\frac{610}{8}$, entre lesquelles sont encastrés des panneaux de fonte ajourés.

Les colonnes sont en fonte, avec chapiteau et base de forme octogonale; elles ont 11^m28 de hauteur dont 0^m864 pour le chapiteau et 2^m610 pour la base. Le diamètre du fût est de 0^m508 et celui du cercle inscrit dans la base de 0^m900; l'épaisseur moyenne est de 28^m/m. Le fût et la base sont en deux pièces réunies par un joint tourné et boulonné. Le fût est fixé sur le bloc de fondation par quatre boulons à scellement de 0^m229 de longueur sur 18^m75 de diamètre. Les bases des colonnes jumelles sont reliées par une entretoise en fonte boulonnée. Le chapiteau et la base sont ornés d'appliques en fonte rapportées.

Les retombées des fermes sont boulonnées sur un plateau spécial en fonte, fixé lui-même sur le chapiteau. Les fermes sont reliées longitudinalement au-dessus des colonnes par des arceaux en fonte encadrés dans des semelles en cornières; ces arceaux portent les chevrons qui partagent l'intervalle entre deux fermes en trois travées, couvertes chacune par un lanterneau incliné d'environ 7^m30 de longueur. Ces lanterneaux sont portés par quatre cours de fermettes formant pannes, sur lesquelles reposent les fers à vitrage. Le surplus du comble est couvert en zinc ainsi que le lanterneau longitudinal établi au faitage.

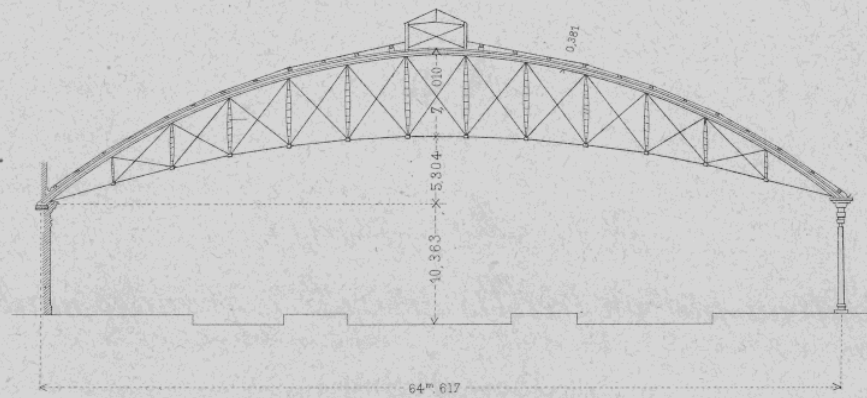
A. a.

IV.1. *Arc cintré*
soutenu par un treillis articulé à grandes mailles.
(Bow String).

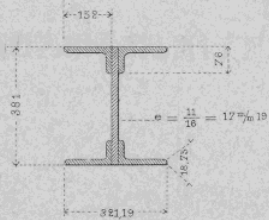
Gare de New-Street à Birmingham.

Ouverture 64^m62.

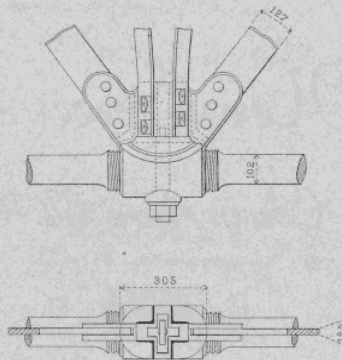
1854.



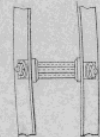
Elévation d'une Ferme (1/500)



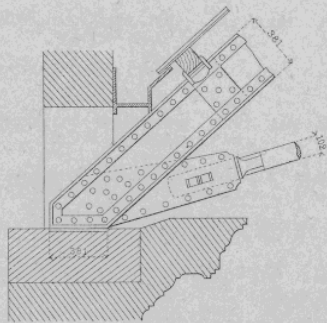
Coupe d'un arc (1/20)



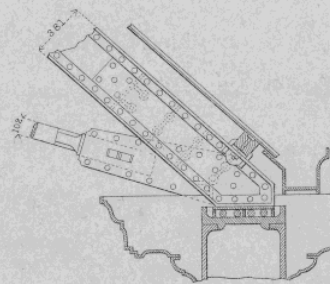
Manchons d'assemblage des entrants, des bielles et des diagonales (1/22)



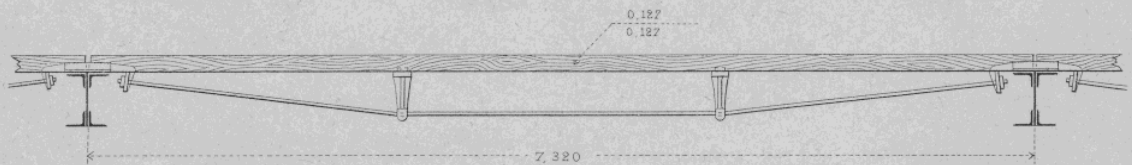
Croisillons pour l'assemblage des bielles (1/22)



Retombée d'arc sur appui fixe (1/40)



Retombée d'arc sur appui mobile (1/40)



Elévation d'une panne (1/50)

Gare de New-Street à Birmingham Joint-line Station 1854.

| | Pieds. | Mètres. |
|---------------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble | 840. 0 | 256. 03 |
| Ouverture des fermes | 212. 0 | 64. 62 |
| Hauteur totale sans la lanterne | 74. 6 | 22. 71 |
| Espacement des fermes | 24. 0 | 7. 32 |
| Hauteur de la ferme, au sommet | 23. 0 | 7. 01 |

La gare de la ligne de raccordement à New-Street est divisée en 35 travées par des fermes dont l'espacement est de 24 pieds et dont l'ouverture varie, par suite de l'irrégularité du terrain, de 212 pieds à 190 pieds 9 pouces, avec une montée d'environ $\frac{1}{5}$ de l'ouverture. La portée de ces fermes a été extraordinaire pour l'époque (1854). La plus grande portée réalisée jusque-là n'était que de 150 pieds (45^m.72), à la gare de Lime Street, Liverpool.

Les fermes sont construites sur le principe des bow-string; chacune d'elle est formée d'un arc de 155 pieds 2 pouces et demi (47^m.31) de rayon à l'intrados, tendu par un entrain brisé relevé en arc de cercle d'environ 360 pieds (109^m.7) de rayon. La ferme est divisée en 13 panneaux par 12 bielles verticales qui relient l'arc aux entrains et chaque panneau est contreventé par des diagonales croisées, sauf les panneaux extrêmes. Chacun des arcs est formé par une poutre en **I**, à âme pleine, bordée par des cornières à ailes inégales et assemblée à l'aide de rivets de 19^{mm} de diamètre, espacés de 152^{mm}.

Aux retombées les arcs se divisent en deux branches entre lesquelles est fixée une pièce en fonte qui sert à loger 2 flasques, de 57^{mm} d'épaisseur, pour l'assemblage et le clavetage des entrains. Ceux-ci sont en fer rond de 4 pouces (102^{mm}) de diamètre, à bouts renflés pour le filetage et assemblés à l'aide de manchons en fer; chacun de ces manchons porte une petite selle en fonte, munie d'oreilles pour l'assemblage des bielles et des diagonales. Les bielles sont formées de 4 cornières cintrées, dont l'écartement est maintenu par des croisillons en fonte. Ces cornières ont $\frac{57 \times 57}{8}$ pour les 6 bielles du milieu et $\frac{51 \times 51}{8}$ pour les autres. Les diagonales sont en fer plat de $\frac{127}{12,5}$ ^{mm}.

Les fermes sont portées: d'un côté par des piliers en briques encastrés dans le mur d'un édifice voisin; de l'autre par des colonnes en fonte de 2 pieds (0.610) de diamètre et de 30 (9^m.15) à 35 pieds (10^m.67) de hauteur. Du côté du mur, l'appui est

fièce. L'autre extrémité est mobile et repose sur un chariot à dilatation installé au sommet de la colonne.

Les pannes sont en bois, de 24 pieds (7^m32) de longueur et de 5 pouces de côté (0.127×0.127) et armées de tendeurs. Leur espacement est de 8 pieds (2^m44); elles reposent bout à bout sur les semelles supérieures des arcs au moyen de selles en fonte boulonnées et munies d'oreilles pour les tendeurs; celles-ci sont en fer rond de 22^m de diamètre. On a employé le bois pour éviter les effets de dilatation sur une aussi grande longueur.

L'ensemble du comble est contreventé longitudinalement par 6 cours de croix de Saint André qui embrassent chacune 6 travées et dont les diagonales ont 28^m de diamètre.

La partie pleine de la couverture est en tôle ondulée galvanisée N° 16 (jauge de Birmingham).

Le poids d'une ferme est de 25 tonnes.

Iron Roofs page 13.

Proceedings of civil engineers Vol. XIV (1854-1855) page 251 pl. 3.

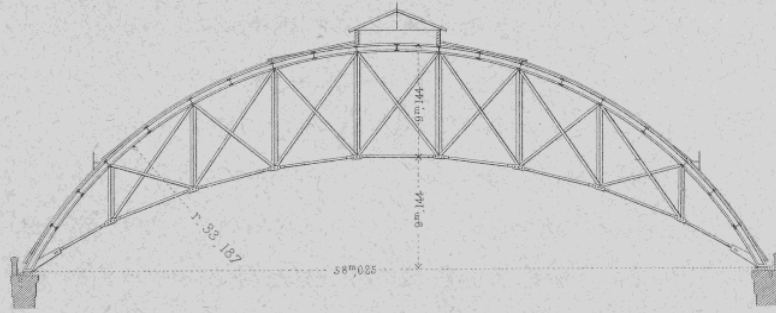
A. a.

IV. 1. *Arc cintré*
soutenu par un treillis à grandes mailles
(Bow String).

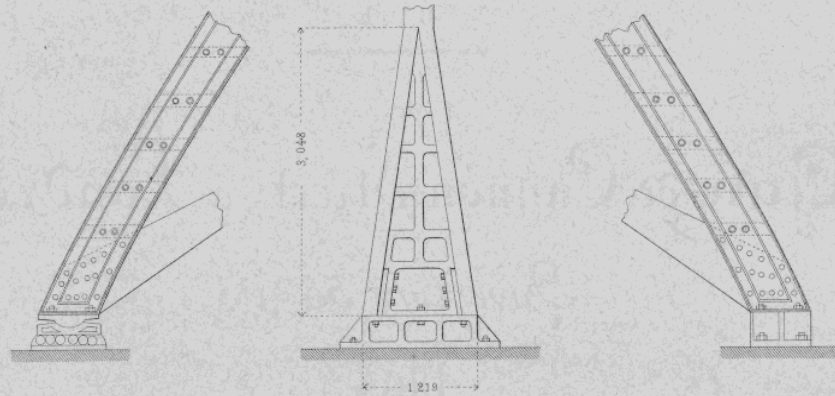
Gare de Cannon-Street, à Londres.

Ouverture 58^m 03.

1865.



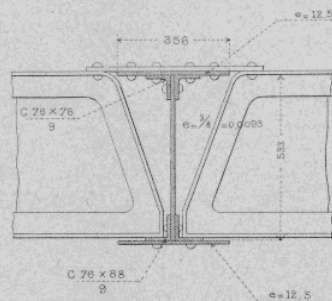
Elevation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



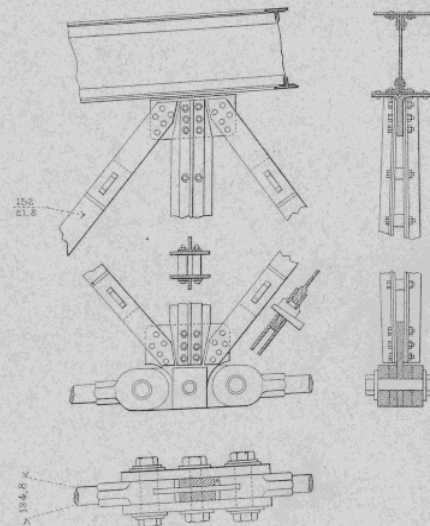
Retombée de l'arc sur appui mobile ($\frac{1}{66.6}$)

Profil du pied de l'arc sur appui fixe ($\frac{1}{66.6}$)

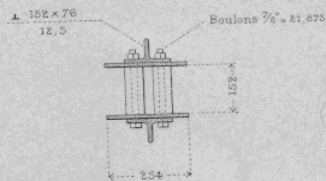
Retombée de l'arc sur appui fixe ($\frac{1}{66.6}$)



Coupe de l'arc et assemblage des pannes ($\frac{1}{20}$)



Assemblage des bielles, des croisillons et des entrails ($\frac{1}{40}$)



Coupe d'une bielle ($\frac{1}{20}$)

57
Gare de Cannon Street, à Londres.
South Eastern Railway
1865.

| | Pieds. | Mètres. |
|--|---------|---------|
| Longueur du comble | 638. 1½ | 194. 50 |
| Ouverture des fermes | 190. 4½ | 58. 03 |
| Hauteur totale, sans la lanterne | 60. 0 | 18. 29 |
| Espacement des fermes | 33. 6 | 10. 21 |
| Hauteur de la ferme, sur l'axe | 30. 0 | 9. 15 |

Chaque ferme est constituée par un arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. L'arc est composé de deux semelles et d'une âme, reliées par 4 cornières. Les retombées sont évasées et assemblées sur une pièce pyramidale en fonte, pour donner un appui suffisant sur les supports, dont l'un est fixe et l'autre mobile sur rouleaux.

Les bielles sont formées de deux platebandes renforcées par des fers à T extérieurs. Pour les raidir on les a renflées au milieu en portant l'écartement des platebandes à 6^e (132^{mm}) tandis que les extrémités sont rivées sur des goussets de 1¼^e (0,025).

Les croisillons sont en fer plat de 6^e (0,132) de large avec des épaisseurs croissantes des naissances au sommet; 1" (0,025) pour les premiers panneaux, 7/8^e (0,022) pour les deux panneaux suivants, et 3/4^e (0,019) pour le panneau du milieu.

Les entrails sont en fer rond de 5 5/16^e (0,133) de diamètre.

Les pannes sont à âmes pleines, encadrées de cornières. Leur espacement est de 11^e (3,353); elles sont fixées avec des boulons dont les trous sont allongés pour permettre la dilatation. Les pannes sont reliées par des entretoises formant un arc intermédiaire au milieu de chaque travée.

Le poids d'une ferme est de 37 tonnes.

Iron Roofs, page 14 planche 28.

Proceedings of Civil Engineers Vol. XVII page 421, planche 17.

A. a.

IV. *Arc cintré*

soutenu par un treillis articulé à grandes mailles.

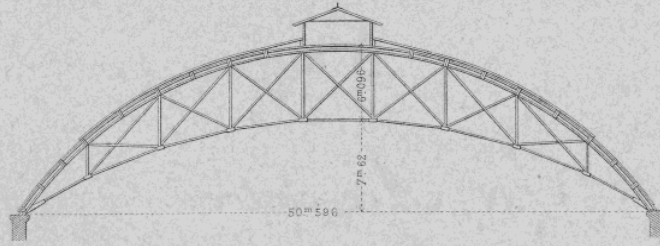
(Bow-String).

Gare de Charing Cross, à Londres.

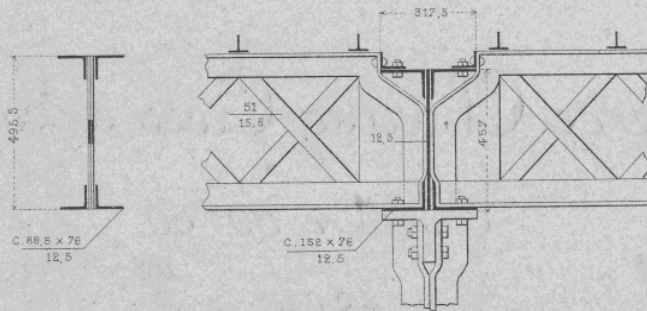
Ouverture 50^m 60.

1864.

60

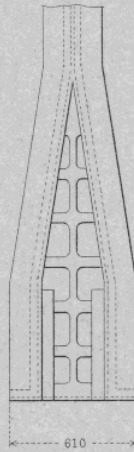


Élévation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



Coupe d'une panne ($\frac{1}{20}$)

Coupe de l'arc et assemblage des pannes ($\frac{1}{20}$)



Profil du pied de l'arc ($\frac{1}{30}$)

61
Gare de Charing Cross, à Londres.
South Eastern Railway.
1864.

| | Pieds. | Mètres. |
|--|--------|---------|
| Longueur du comble..... | 490.0 | 149.35 |
| Ouverture des fermes..... | 166.0 | 50.60 |
| Hauteur totale au-dessous du sol..... | 85.0 | 25.91 |
| Hauteur des naissances au sommet de l'arc..... | 45.0 | 13.72 |
| Espacement des fermes..... | 35.0 | 10.67 |
| Hauteur de la ferme au milieu..... | 20.0 | 6.10 |

Chaque ferme est constituée par un arc cintré soutenu par un treillis articulé à grandes mailles. L'arc est composé d'une âme verticale pleine bordée par quatre cornières à ailes inégales. Les retombées sont évasées et assemblées sur une pièce pyramidale en fonte pour augmenter la surface d'appui. L'une des retombées est fixe; l'autre est articulée dans un support en fonte en forme de selle.

Chaque ferme est divisée en neuf panneaux. Les bielles sont formées de deux fers à T accolés, les croisillons sont en fer plat; les entrants sont en fer rond de diamètres décroissants depuis les naissances jusqu'au sommet: aux naissances $4\frac{3}{4}$ " (0,121); au deuxième panneau, $4\frac{5}{8}$ " (0,118); au 3^{me} panneau $4\frac{1}{2}$ " (0,115); au 4^e panneau $4\frac{3}{8}$ " (0,111); au panneau central $4\frac{1}{4}$ " (0,108).

Il n'y a pas de contreventement transversal. Les pannes sont des poutres à treillis fortement assemblées sur les arcs; elles sont au nombre de 16, espacées, les 3 premières à partir des naissances de 3 pieds (0,914); les autres de 4'6" (1^m 371). Elles sont reliées dans l'intervalle de chaque travée par deux cours d'entretoises en arc.

Le poids d'une ferme est de 27 tonnes.

Iron roofs, page 13 planche 29.

Proceedings of civil Engineers Vol. XVII (1869-70) planche 17.

A. a.

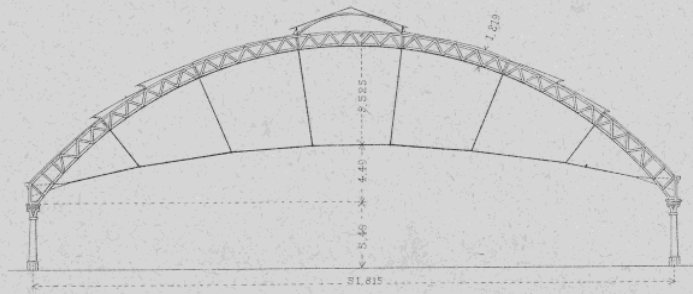
V.2.α. Arc d'une pièce
à tirant polygonal, avec aiguilles tirantes.

Gare de Queen Street, à Glasgow.

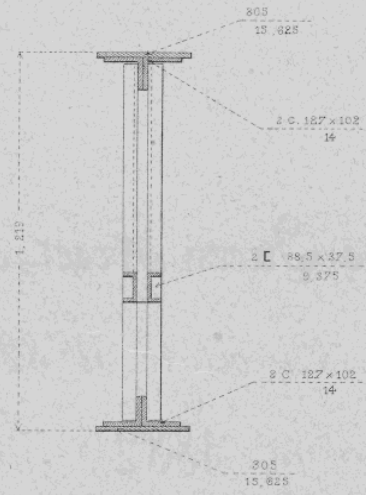
Ouverture 51^m82.

1882.

64



Elevation d'une ferme ($\frac{1}{500}$)



Coupe de l'arc ($\frac{1}{20}$)

Gare de Queen Street, à Glasgow.
Nord British Railway.
1882.

| | Pieds. | Mètres. |
|-------------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble..... | 415,0 | 126,49 |
| Ouverture des fermes..... | 170,0 | 51,82 |
| Hauteur libre, au centre..... | 30,9 | 9,98 |
| Espacement des fermes..... | 41,6 | 12,65 |
| Hauteur de la ferme, sur l'axe..... | 31,3 | 9,53 |

Le comble de la gare de Queen Street est porté par des fermes composées d'un arc de cercle d'une seule pièce, maintenu par un tirant polygonal avec aiguilles tirantes. Il y a 9 fermes courantes et 2 fermes de tête avec masques. Ces fermes sont espacées de 12^m,65 (41 pieds 6 pouces) et leurs extrémités reposent sur des colonnes en fonte, de 5^m,49 de hauteur, reliées longitudinalement à la partie supérieure par des poutres à treillis, à semelles parallèles, de 1^m,65 de hauteur, portant les chéneaux. Les arcs ont 1^m,219 (4 pieds) de hauteur, et 32 mètres (105 pieds) de rayon à l'intrados; ils sont composés de deux semelles concentriques, formées chacune de deux cornières accolées de $\frac{127 \times 102}{14}$ et d'une platebande de 305 ^m/_m de largeur et d'épaisseur décroissante des naissances au sommet, soit $\frac{5}{8}$ de pouce (15 ^m/_m 625) de la naissance au premier rang de pannes; $\frac{1}{2}$ pouce (12 ^m/_m 5) du premier au deuxième rang; $\frac{7}{16}$ (10 ^m/_m 94) du deuxième au troisième rang; et $\frac{3}{8}$ (9 ^m/_m 375) au sommet. Ces semelles sont reliées par des écharpes doubles, en fer à U de $\frac{88,5 \times 37,5}{9,375}$. Les tirants sont relevés suivant un arc polygonal de 314 pieds (95^m,705) de rayon; ils sont en acier de 3 pouces $\frac{1}{4}$ (82 ^m/_m 25) de diamètre; les aiguilles sont également en acier de 1 pouce $\frac{3}{4}$ (43 ^m/_m 75) de diamètre.

Les fermes sont reliées par six cours de pannes en treillis, espacées de 8^m,472; celles-ci supportent dans chaque travée quatre chevrons intermédiaires, de même courbure que les arcs des fermes. Ce sont des fers en U de $\frac{203 \times 127}{11}$ sur lesquels sont fixés les petites pannes qui supportent la couverture et le vitrage. Dans la partie haute, la couverture est en plomb; vers les naissances, elle est en ardoises.

Le comble est contreventé, d'une ferme à l'autre, par des tirants obliques en fer plat de $\frac{76}{9}$.

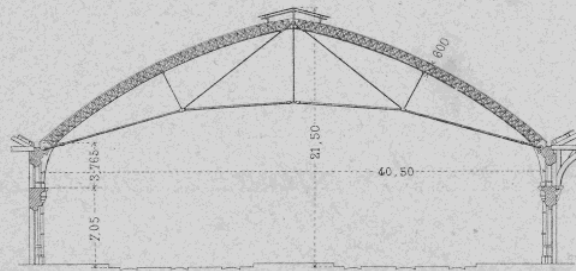
A.a.

V.2.α. Arc ogival, d'une pièce
à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.

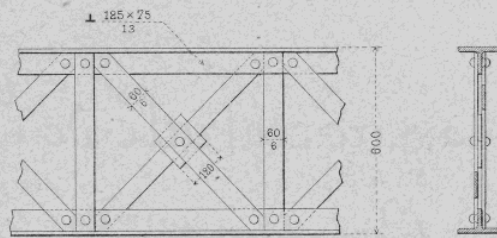
Halle de la gare centrale de Milan.

Ouverture 40^m50.

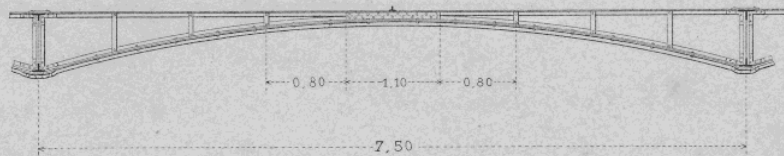
1864.



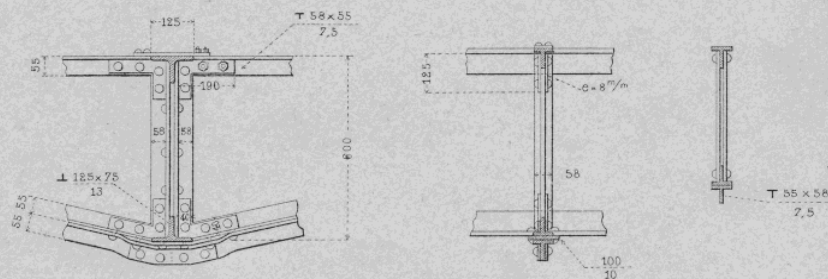
Elevation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



Elevation partielle et coupe d'un arbalétrier ($\frac{1}{20}$)



Elevation d'une panne ($\frac{1}{66.6}$)



Assemblage des pannes sur les arbalétriers ($\frac{1}{20}$)

Coupes transversales d'une panne ($\frac{1}{20}$)

69
Halle de la gare centrale de Milan.
1864.

| | Mètres. |
|---|---------|
| Longueur du comble..... | 233. 50 |
| Ouverture des fermes..... | 40. 50 |
| Hauteur libre au centre sous l'entrait..... | 13. 25 |
| Espacement des fermes..... | 7. 50 |

Le comble de la halle de Milan est porté par des fermes en arc ogival, composées de 2 arbalétriers courbes qui sont reliés par un tirant polygonal avec aiguilles tirantes. Les arbalétriers sont des poutres en I à treillis dont les semelles sont réunies par des croisillons en fer plat et par des montants intermédiaires ; ces derniers sont en fer plat de $\frac{60}{6}$ sauf vers le bas et vis à vis des pannes où ils sont en cornières de $\frac{60 \times 60}{6}$. Les tirants sont en fer rond de 65, 58 et 35 millimètres ; les aiguilles ont 34 et 18 millimètres de diamètre. Les pieds des arbalétriers sont portés par des piliers adossés aux parois de la halle ; l'un d'eux est fixe ; l'autre repose sur un chariot de dilatation encastré dans la maçonnerie. En outre des plaques d'ancrage et des boulons relient les retombées aux murs contre lesquels elles sont appuyées.

Il y a 22 cours de pannes espacées de 1^m 86 ; ce sont des poutrelles à claire voie dont la semelle inférieure, cintrée en arc de cercle, est formée de 2 fers à T adossés, de façon à présenter une grande rigidité. Les assemblages des pannes sur les arbalétriers sont établis de façon à faire contribuer les pannes au contreventement ; celui-ci est de plus assuré par 8 cours de croix de Saint André placées immédiatement sous la toiture et embrassant chacune deux travées ; les diagonales sont en fer plat de $\frac{40}{12}$.

La couverture est en zinc, pour la partie non vitrée.

Un dossier de dessins photographiés d'après les originaux communiqués par M. l'Ingénieur en chef Daigremont (Bibliothèque de l'École).

A. a.

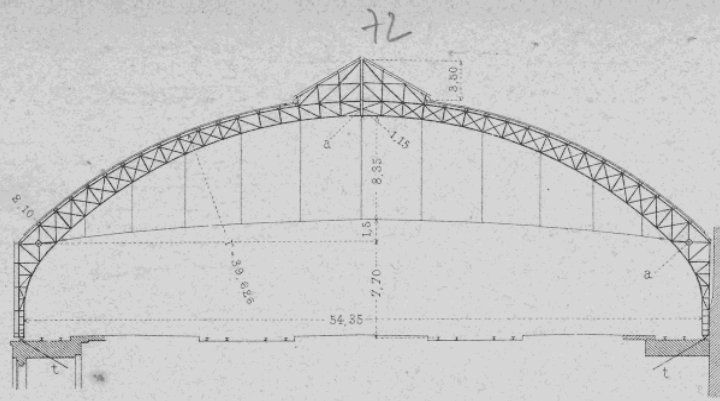
V. 2. Arc à tirant polygonal avec aiguilles tirantes.

B. Arc en deux pièces articulées.

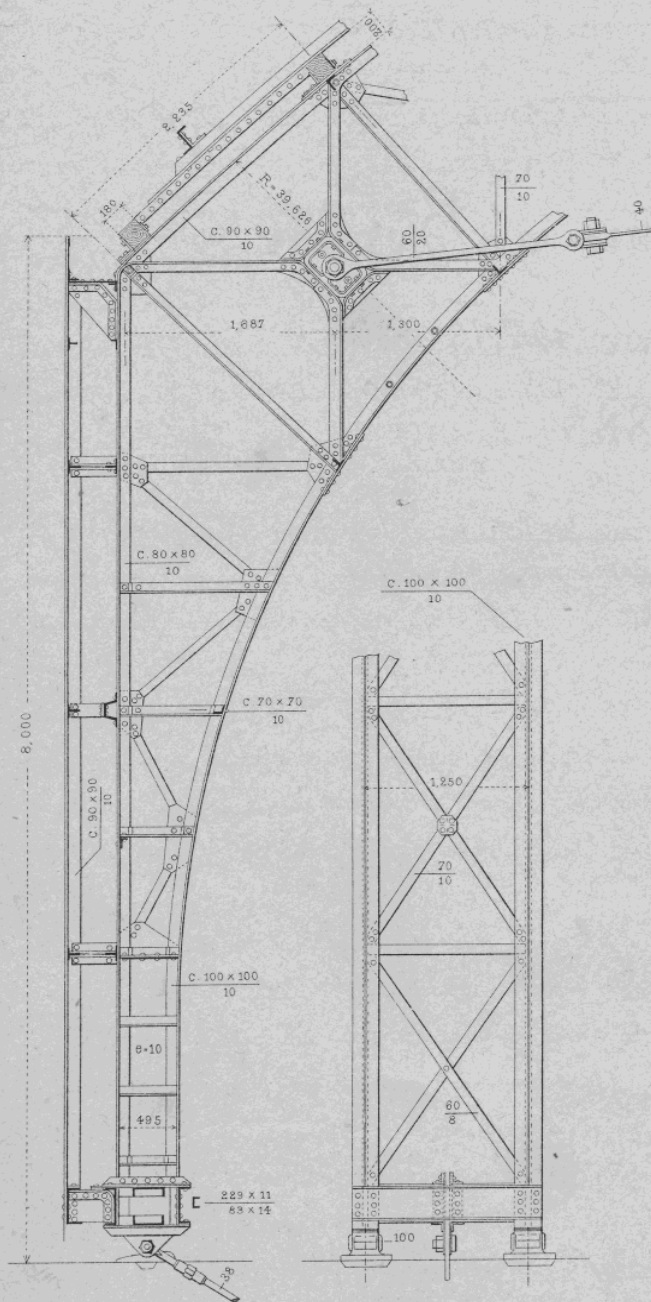
Gare de Silésie, à Berlin.

Ouverture 54^m 35.

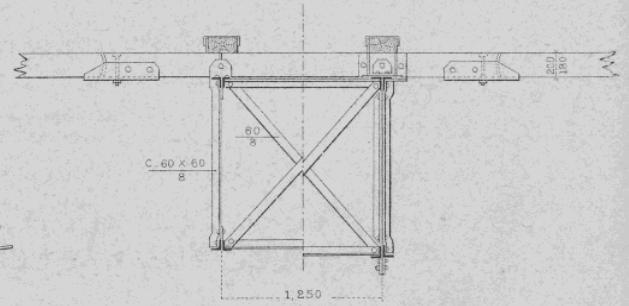
1883.



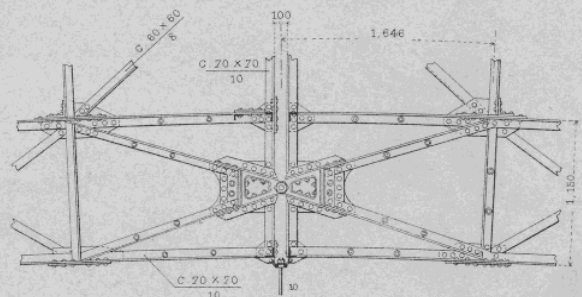
Elevation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



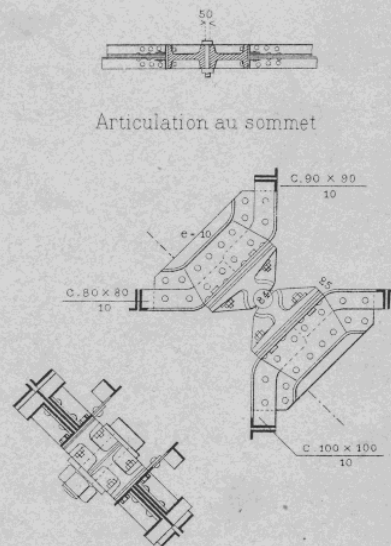
Profil et Elevation du Pilier fixe. Paliers de retombée. Attache du tirant.



Demi-coupes transversales des fermes Assemblage des pannes



Articulation au sommet



Articulation sur la tête du pilier oscillant.

Gare de Silésie, à Berlin, Chemin de fer Métropolitain. 1883-1884.

| | Mètres |
|---|---------|
| Longueur du comble..... | 207. 00 |
| Ouverture des fermes..... | 54. 35 |
| Hauteur libre au centre..... | 17. 55 |
| Espacement des fermes jumelles, dans chaque groupe..... | 1. 25 |
| Espacement des groupes, d'axe en axe..... | 7. 53 |

Le comble de la nouvelle halle de la gare de Silésie est porté par des fermes en arc, partagées chacune en 2 tronçons de longueurs inégales; ces tronçons sont articulés au sommet et tendus par un tirant relevé au milieu. L'un des tronçons (côté Nord) comprend une moitié d'arc et son piedroit, qui sont solidaires. Le pied repose sur un palier-à rotule qui forme une première articulation. L'autre tronçon (côté Sud) est composé seulement d'une moitié d'arc, indépendante du piedroit qui la prolonge et sur la tête duquel elle s'appuie au moyen d'une deuxième articulation (2) placée à la hauteur du point d'attache du tirant. La troisième articulation est placée au sommet, entre les deux moitiés de l'arc. Quant au piedroit indépendant du second tronçon, il repose également sur un palier-à rotule, de façon qu'il constitue, grâce à cette articulation, la quatrième du système, un pilier oscillant destiné à faciliter les mouvements d'expansion et de contraction de la ferme.

Par suite de l'élévation des rails du chemin de fer métropolitain au-dessus du sol, la plateforme des halles est généralement établie au-dessus de viaducs en maçonnerie traversés par des tunnels d'accès aux quais et aux divers services de la gare. Pour conserver à ces passages la largeur nécessaire et assurer aux piliers de fondation des fermes des dimensions suffisantes, on a groupé les fermes deux à deux, à 1^m.25 d'écartement et on les a reliées, sur les faces intérieure et extérieure par des entretoisements de façon que chaque groupe constitue une véritable poutre courbe à treillis. Les paliers qui portent les pieds des fermes jumelles sont également reliés par un bâti en fer de sorte qu'un seul boulon; placé dans l'intervalle suffit pour les ancrer dans la maçonnerie du pilier.

Les arcs des fermes sont des poutres à treillis dont les semelles sont établies avec 2 cornières dont les dimensions varient: pour la semelle extérieure de $\frac{90 \times 90}{10}$ à $\frac{70 \times 70}{10}$; pour la semelle intérieure de $\frac{100 \times 100}{10}$ à $\frac{80 \times 80}{10}$. La semelle extérieure est en arc de cercle de 39^m.626 de rayon. La semelle intérieure est tracée suivant une anse de panier à 3 centres. Cette halle abrite six voies séparées par 3 quais intermédiaires; il n'y a pas de quais latéraux et les voies extrêmes longent les parois; aussi l'anse de panier est tracée avec des retombées presque verticales, laissant au point le plus rapproché 10 centimètres de jeu entre l'intrados des fermes et le gabarit des voitures. Les deux semelles sont reliées par des montants normaux à l'extrados et par des croisillons; les montants sont faits avec 2 cornières de $\frac{70 \times 70}{10}$ à $\frac{60 \times 60}{8}$; les

74

croisillons sont en fer plat de $\frac{70}{10}$ à $\frac{60}{8}$; dans les piedsroits il n'y a qu'une écharpe par panneau et au pied les cornières sont reliées par une âme en tôle pleine de 10^{mm} d'épaisseur.

Le tirant est composé de 12 triangles en acier, de 40^{mm} de diamètre, munies de tendeurs. Les triangles sont relevés en forme d'arc polygonal à l'aide d'aiguilles légèrement inclinées qui sont également munies de tendeurs. Les articulations sont faites avec des pièces en fonte boulonnées et garnies de rotules en acier.

Le pilier oscillant est identique comme construction au pilier fixe; les semelles de la ferme et celles du pilier sont prolongées et forment des recouvrements assemblés à l'aide de boulons à trous ovalisés de telle sorte que l'on n'aperçoit aucune solution de continuité entre l'arc et le pilier.

Les boulons d'ancrage des paliers jumelés qui supportent les pieds des fermes sont en acier de 28^{mm} de diamètre; ils traversent toute la maçonnerie des piliers de fondation suivant une inclinaison réglée d'après celle de la résultante des pressions qui agissent sur ces mêmes pieds. Les paliers et leurs chapeaux sont en fonte; du côté du pilier oscillant les faces entre lesquelles roulent les rotules sont horizontales; du côté opposé où la résultante des pressions est exposée à varier sous l'action du vent, on a incliné les surfaces de roulement en les relevant vers l'intérieur de la halle. La pente est réglée suivant les normales aux directions de la résultante.

Les groupes de fermes sont reliés, sur chaque versant, par 17 cours de pannes en bois de 20/18 cm. Les pannes sont de deux sortes: les unes, de 3^m.10 de longueur, sont placées au dessous des groupes de fermes, en dehors desquels elles sont saillies de 0^m.92; les autres, de 4^m.42 de long, sont portées par les précédentes. Les pannes courtes sont boulonnées sur des équerres en cornière rivées sur les arcs; et pourvues, aux extrémités de sabots en fer, en forme d'U, sur lesquels les abouts des grandes pannes reposent librement; une petite feuille de plomb, de 2,5^{mm} d'épaisseur, est intercalée entre les abouts.

Au sommet, en dessous de la lanterne, les groupes de fermes sont reliés par 6 cours de pannes formées par des poutres à treillis; enfin le contreventement longitudinal est complété par des croix de Saint-André dont les diagonales, en fer de 10^{mm} de diamètre, sont munies de tendeurs aux points de croisement.

La couverture est faite en tôle ondulée galvanisée de 0^m.84 d'épaisseur, dont les ondulations ont 87^{mm} de longueur et 28^{mm} de creux; ces dimensions ont été reconnues trop faibles et il a fallu remplacer une partie des tôles qui avaient fléchi sous les pieds des ouvriers pendant l'exécution de la couverture. Au droit des arcs et par dessous les pannes, on a placé des arcs en bois couverts en zinc, formant nervures à l'extérieur; ces nervures servent à rompre l'uniformité de la toiture et sont utilisées pour appuyer les passerelles volantes que l'on emploie en cas de réparation à la couverture.

A. b.

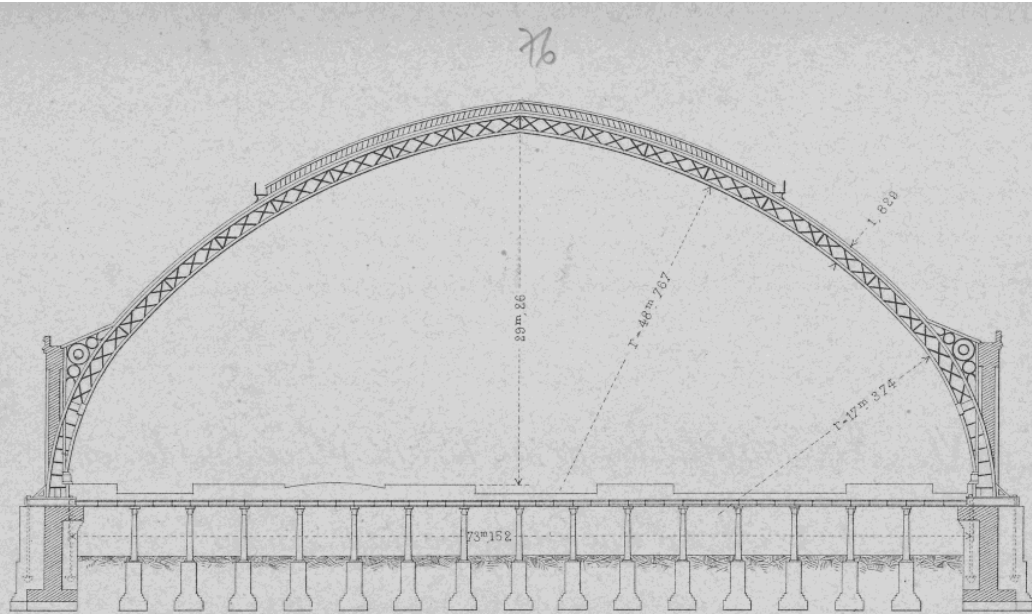
VI. *Arc maintenu par un tirant placé sous le sol.*

1. α. *Arc d'une pièce, partant du sol.*

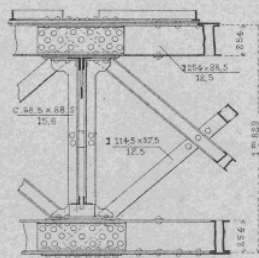
Gare de Saint Pancrace à Londres.

Ouverture 73^m15.

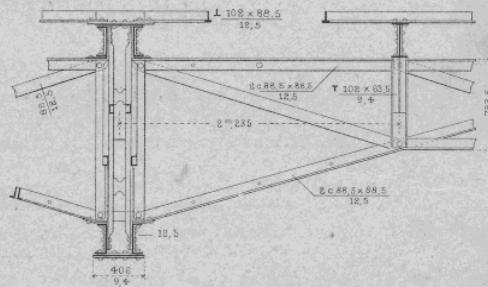
1866.



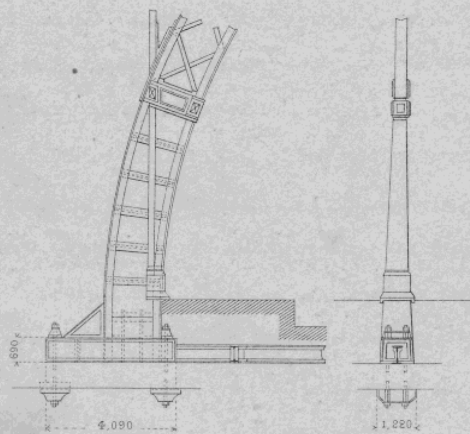
Élévation d'une Ferme ($\frac{1}{500}$)



Élévation d'un tronçon d'arc et
coupe d'une panne ($\frac{1}{50}$)



Coupe de l'arc et assemblage des
pannes ($\frac{1}{50}$)



Assemblages au pied des arcs ($\frac{1}{800}$)

77

Gare de Saint Pancrace, à Londres, Midland Railway.
1866.

| | Pieds. | Mètres. |
|------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble..... | 690.0 | 210.31 |
| Ouverture des fermes..... | 240.0 | 73.15 |
| Hauteur libre au centre..... | 96.0 | 29.26 |
| Espacement des fermes..... | 29.4 | 8.94 |

La toiture est supportée par 25 fermes en arc brisé; chaque ferme est constituée par 2 arcs à 2 centres, de 57 pieds (17^m.37) et 160 pieds (48^m.77) de rayon, se rencontrant au sommet en formant un angle assez obtus; la hauteur libre, sous clé, est de 96 pieds (29^m.26). Chacun des arcs est composé d'une poutre tubulaire ayant une hauteur uniforme de 6 pieds (1^m.829) dans toute son étendue, mais dont l'épaisseur augmente à partir d'environ 5 mètres au-dessus des naissances jusqu'au pied, de façon à élargir la base d'appui. Les pieds sont fixés sur des caissons plats, en tôle et cornières, qui sont eux-mêmes reliés aux piliers de fondation par 4 boulons en fer, de 3 pouces (76^{mm}) de diamètre, avec plaques d'ancrage noyées à 20 pieds (6^m.096) de profondeur dans la maçonnerie. Ces mêmes caissons sont en outre reliés horizontalement par les poutres en fer qui traversent la Halle et supportent le plancher; ces poutres sont par conséquent office de tirants; elles ont la forme d'un I à âme pleine, de 1 pied 9 pouces (0^m.534) de hauteur; celles qui servent de tirants ont leur semelle inférieure renforcée par une platebande de 5/8 de pouce (15^{mm}.6) d'épaisseur.

Les arcs sont formés de 4 fers en U, reliés par 2 semelles et par 2 rangs de montants et de croisillons; les montants, au droit des pannes sont en cornières; les diagonales des croisillons sont des fers en U accouplés dos à dos. Sur une hauteur de 8^m.50 environ à partir du pied, les croisillons sont remplacés par des tôles pleines.

Les fermes sont reliées par 15 cours de pannes en treillis, espacées de 18 pieds 6 pouces (5^m.64) et contreventées par des diagonales embrassant 2 travées. Les pannes soutiennent 3 chevrons intermédiaires dans chaque travée.

La couverture de la partie non vitrée est en ardoises.

Le poids d'une ferme est de 54 tonnes dont 35 pour les arcs proprement dits.

Iron Roofs. page 24, planches 52 à 56.

Proceedings of civil Engineers. Vol. XXX (1869-70) page 78, planches 8 et 9.

Annales des Ponts et Chaussées 1876. 1^{er} Semestre. page 17, planche 3.

A. b.

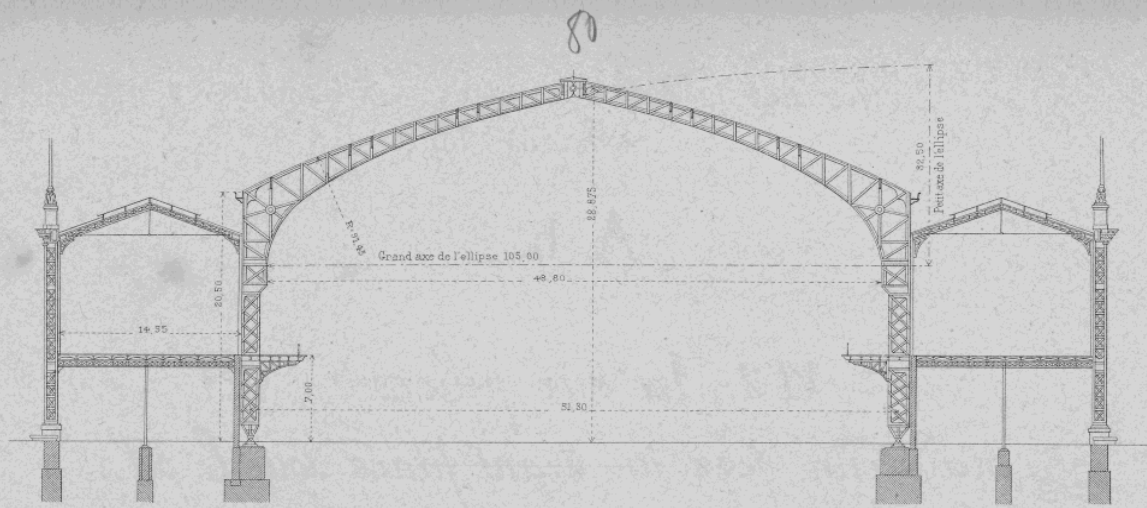
VI. 2. Arc sur piliers
maintenu par un tirant placé sous le sol.
β. Arc et piliers articulés.

Palais des arts libéraux.

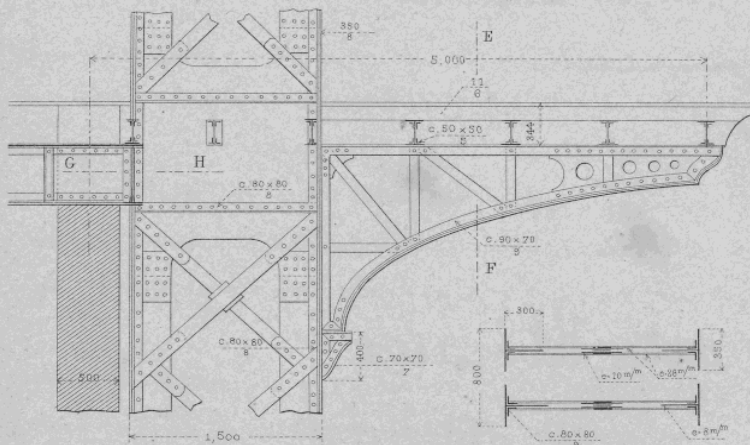
Exposition universelle à Paris.

Ouverture 49^m.80.

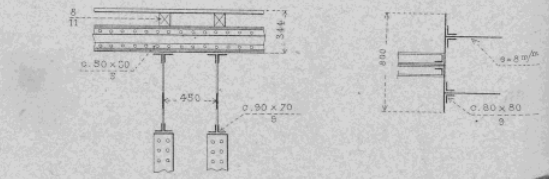
1889.



Coupe transversale du palais ($\frac{1}{500}$)

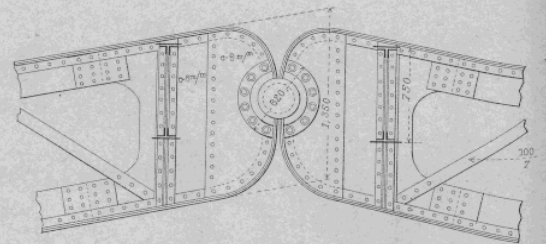


Elévation d'un pilier au droit du balcon ($\frac{1}{50}$)

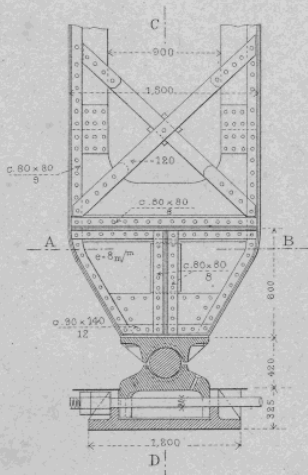


Coupe tr^{le} des consoles suiv^t EF ($\frac{1}{50}$)

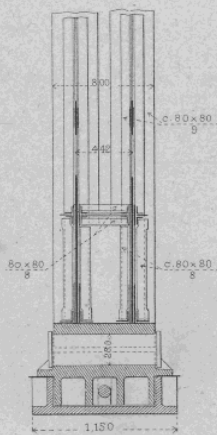
Coupe hor^{le} GH



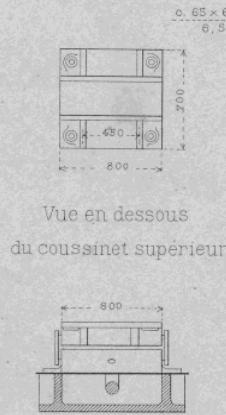
Elévation de l'articulation au sommet ($\frac{1}{50}$)



Coupe V^{le} de l'articulation inférieure ($\frac{1}{50}$)

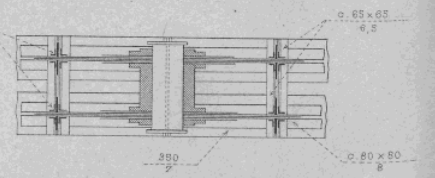


Coupe V^{le} tr^{le} du pilier

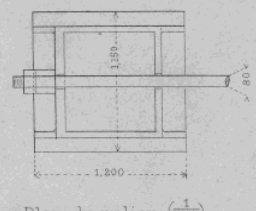


Vue en dessous
du coussinet supérieur

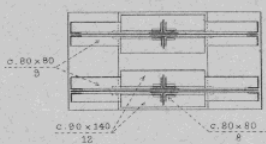
Elévation du palier ($\frac{1}{50}$)



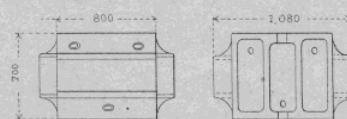
Coupe hor^{le} de l'articulation au sommet ($\frac{1}{50}$)



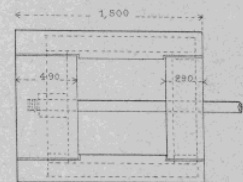
Plan du palier ($\frac{1}{50}$)



Coupe hor^{le} d'un pilier suivant AB ($\frac{1}{50}$)



Vues en dessus et en dessous du coussinet inférieur ($\frac{1}{50}$)



Plan du palier avec les plaques de tôle

81

Palais des Arts libéraux à l'Exposition universelle. Paris 1889.

| | Mètres. |
|--|---------|
| Longueur du comble..... | 165. 00 |
| Ouverture des fermes..... | 49. 80 |
| Hauteur libre au centre..... | 28. 20 |
| Espacement des fermes jumelles dans chaque groupe..... | 0. 45 |
| Espacement des groupes, d'axe en axe..... | 18. 10 |

Le palais des Arts libéraux est composé de deux nefs de $87^m.50$ de longueur sur $52^m.80$ de largeur, séparées par une travée de 34 mètres de largeur dans laquelle s'élève un dôme de 56 mètres de hauteur; il est bordé sur les côtés par deux galeries de 15 mètres de largeur; l'une des extrémités est reliée à la galerie de 30 mètres et l'autre est terminée par deux pavillons d'angle et une galerie transversale de 15 mètres.

Le comble est porté par des fermes en arc brisé maintenues par un tirant placé sous le sol; ces fermes sont à trois articulations, 2 aux pieds des piliers et une au sommet. Elles sont établies en forme de caissons composés de deux fermes jumelles espacées de $0^m.45$, et entretoisées par des montants au droit de chaque panne.

Chaque demi-ferme est constituée par un pilier vertical de 13 mètres de hauteur sur $1^m.50$ de largeur, surmonté d'un évasement formant chapiteau de $2^m.80$ de hauteur sur $2^m.00$ de largeur, auquel fait suite un arbalétrier courbe de $13^m.50$ de flèche, solidaire du pilier. L'extrados de l'arbalétrier est en arc de cercle de $91^m.45$ de rayon; la courbe de l'intrados est une portion d'ellipse dont le demi-grand axe a $52^m.50$ et le demi-petit axe, $16^m.25$, de façon que les deux courbes d'intrados forment au sommet un arc brisé. Les piliers sont formés de montants en T, composés d'une âme de $\frac{300}{8}$, d'une semelle de $\frac{350}{7}$ et de deux cornières de $\frac{100 \times 100}{9}$, réunies par des treillis en fer plat de $\frac{120}{9}$. L'entretoisement est complété par des parties pleines aux points d'attache des consoles du balcon et à l'évasement du chapiteau. En ces mêmes points, les semelles sont remplacées par des plaques de 0,80 de largeur qui relient les montants sur les faces intérieure et extérieure du pilier. Le pied forme un caisson trapézoïdal, à parois pleines, sur la pointe duquel est fixé le coussinet supérieur de l'articulation. Les arbalétriers sont composés de 2 semelles, de mêmes sections que les montants des piliers, renforcés aux naissances et reliés par des montants verticaux et des écharpes. Les montants sont en fer à T, décroissants depuis $\frac{170 \times 90}{10}$ aux reins jusqu'à $\frac{125 \times 60}{8}$ au sommet. Les écharpes sont en fer à T de $\frac{170 \times 80}{10}$ aux reins et pour le surplus en fer plat variant de $\frac{150}{9}$ à $\frac{100}{7}$. Au sommet les abouts sont renforcés par des tôles de $9^m/m$ d'épaisseur sur lesquelles les brides des coussinets d'articulation sont fixées avec des boulons de $30^m/m$. Les montants intermédiaires qui relient les arbalétriers jumelés, au droit des pannes, sont en tôle

évidée pincée entre deux cornières rivées sur les fers à T.

Les articulations ne comportent qu'un seul tourillon pour les deux fermes jumelles; celles des pieds des piliers reposent sur une espèce de boîte à sable, en fonte, composée d'un palier fixé sur la maçonnerie de fondation et d'un coussinet en forme de boîte renversée, encastrée dans le palier. Les deux pièces sont évidées sur deux faces parallèles pour le passage des tirants dont les écrous sont serrés sur le côté du palier, de sorte que le coussinet resté libre dans le sens vertical peut être élevé ou abaissé à la demande, au moyen de sable introduit entre les deux fonds par des orifices ménagés dans le coussinet et fermés à l'aide de bouchons à vis. Cette disposition permet de régler exactement le niveau des articulations, en cas de tassements dans les fondations, sans avoir à se préoccuper des tirants. L'ensemble est fermé par une plaque en tôle et facile à visiter; l'articulation seule reste apparente. Les tirants qui relient les pieds des fermes à travers la nef sont en fer rond de 80^{mm} de diamètre; ils sont filetés aux extrémités et munis d'écrous avec contreécrous ronds percés de trous pour le serrage au levier. Les tourillons des articulations sont des cylindres en acier de 250^{mm} de diamètre.

Il y a dans chaque nef 4 fermes jumelles, espacées de 18^m,10 d'axe en axe, et une ferme de tête. Elles sont reliées par 12 cours de pannes; celles du sommet sont placées à 0^m,85 de chaque côté de l'axe et supportent un chemin de faitage. Les quatre pannes suivantes sont disposées par groupes de deux, espacées entre elles de 1^m,70, avec 6^m,80 d'écartement entre les pannes latérales des deux groupes du milieu et 6^m,25 entre le deuxième groupe et la dernière panne inférieure. Ces pannes sont à treillis, à semelles parallèles espacées de 0^m,80, élargies aux extrémités pour les attaches sur les fermes avec raccordement en quart de cercle. Elles sont elles-mêmes entretoisées par des chevrons qui soutiennent les petites pannes sur lesquelles sont fixés les fers à vitrages.

Les piliers sont reliés au sommet par une série d'arcades à treillis et, à la hauteur de l'étage des galeries, à 7 mètres au dessus du sol, par des poutres à treillis qui supportent les abouts des poutrelles du plancher. Ce dernier est continué dans la nef par un balcon de 5 mètres de saillie porté par des couples de consoles fixées sur les piliers. Le comble des galeries latérales est porté par des fermes de 15 mètres d'ouverture, espacées seulement de 9^m,05; les fermes intermédiaires sont portées par des piliers de 0^m,60 sur 0^m,80, montant jusqu'au chéneau; ceux de ces piliers qui sont à l'intérieur portent également deux consoles de balcon.

A. b.

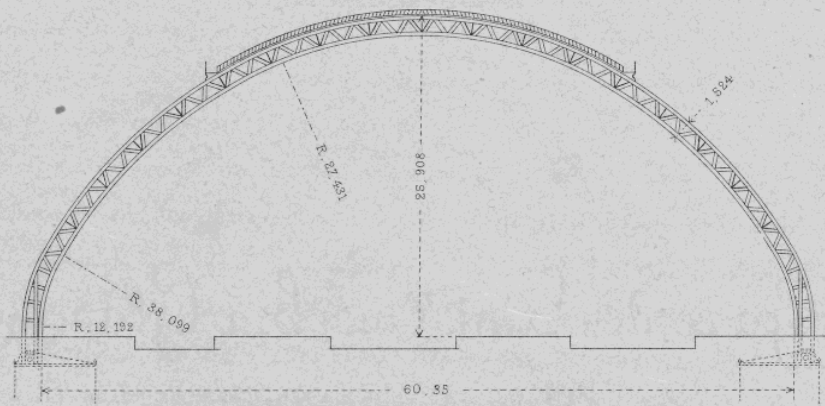
VII. 1. α . Arc d'une pièce, partant du sol,
maintenu par des massifs de fondation.

Gare de Saint Enoch, à Glasgow.

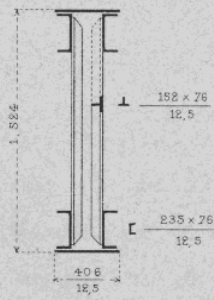
Ouverture 60^m 35

1876.

84



Elévation d'une ferme (3/50)



Coupe transv^{le} de l'arc (1/40)

85
Gare de Saint Enoch à Glasgow.
Glasgow et South Eastern Railways.
1876.

| | Pieds. | Mètres. |
|-------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble | 518, 3 | 157, 96 |
| Ouverture des fermes | 198, 0 | 60, 35 |
| Hauteur libre au centre | 80, 0 | 24, 39 |
| Espacement des fermes | 36, 10 | 11, 23 |

La gare de Saint Enoch est couverte par un comble en arc, du même genre que celui de Saint Pancrace; seulement l'ouverture des fermes est un peu moins grande (198 pieds au lieu de 240) ainsi que la hauteur (80 pieds au lieu de 96). En outre les arcs, au lieu d'être brisés, sont des anses de paniers à 5 centres, avec des rayons de 40 pieds (12^m20) aux naissances, de 125 pieds (38^m10) aux reins et de 90 pieds (27^m43) pour le sommet. Leur forme est celle d'une poutre tubulaire, d'une hauteur uniforme de 5 pieds (1^m524), constituée par 4 fers en \sqcup reliés par des semelles et par des montants et des écharpes en fer à T. Les parties inférieures sont à parois pleines.

Il n'y a pas de tirants; les pieds des arcs sont fixés sur des plaques de fondation descendues à environ 13 pieds (3^m96) au-dessous de la plateforme et solidement ancrées dans la maçonnerie à l'aide de boulons de 2½ pouces (57¼^m1m) de diamètre.

Le comble est divisé en 15 travées, 13 de 36 pieds 10 pouces (11^m23) une de 24 pieds 9 pouces (10^m59) et une de 14 pieds 8 pouces (4^m47). Les fermes sont reliées par 17 cours de pannes en treillis qui supportent, dans chaque travée 4 chevrons intermédiaires. L'ensemble est contreventé par des tirants en diagonales.

A. b.

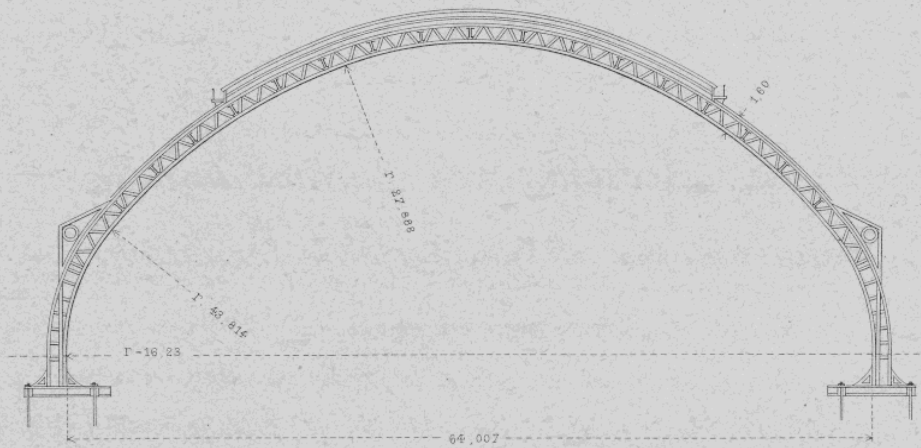
VII. 1. α. *Arc d'une pièce, partant du sol,
maintenu par des massifs de fondation.*

Gare centrale de Manchester.

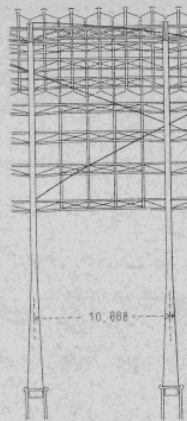
Ouverture 64^m00.

1879.

88



Elévation d'une ferme ($\frac{1}{500}$)



Elévation d'une travée ($\frac{1}{300}$)

Central Station à Manchester.
Midland, Great Northern, Manchester et Sheffield et Lincolnshire Railways.
1879.

| | Pieds. | Mètres. |
|---|--------|---------|
| Longueur du comble | 550. 0 | 167. 64 |
| Ouverture des fermes | 210. 0 | 64. 00 |
| Hauteur libre au centre, à partir des naissances. | 84. 10 | 25. 86 |
| Espacement des fermes | 35. 0 | 10. 67 |

Le comble de la gare centrale de Manchester est du même type que celui de Saint Enoch, mais avec des dimensions un peu plus grandes, 210 pieds d'ouverture au lieu de 198 et 84 pieds 10 pouces de hauteur au lieu de 80. Les arcs sont des arcs de panier à 5 centres, avec des rayons de 53 pieds 3 pouces ($16^m 23$) 143 pieds 9 pouces ($43^m 82$) et 91 pieds 6 pouces ($27^m 89$).

Leur forme est, comme à Saint Enoch, celles de poutres tubulaires à treillis dont la hauteur uniforme est de 5 pieds 3 pouces ($1^m 60$) et dont l'épaisseur augmente vers le pied pour élargir la base.

Il n'y a pas de tirants transversaux ; les pieds sont ancrés solidement sur de forts massifs en maçonnerie.

Le comble est divisé en 16 travées ; les fermes sont reliées par 17 cours de pannes en treillis supportant dans chaque travée 4 chevrons intermédiaires. Le comble est en outre contreventé dans la longueur par des diagonales embrassant 2 travées.

L'éclairage est fourni par une série de lanterneaux, à 2 versants, couchés sur le comble en forme de selle, perpendiculairement à l'axe de la gare ; le reste du comble, à droite et à gauche des lanterneaux, est couvert en ardoises posées sur voliges.

A. b.

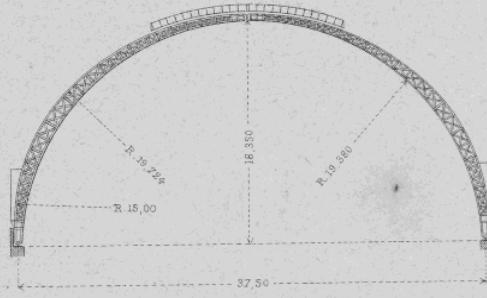
VII. 1. β. *Arc en deux pièces articulées, partant du sol
maintenu par des massifs de fondation.*

Gare de la place Alexandre à Berlin.

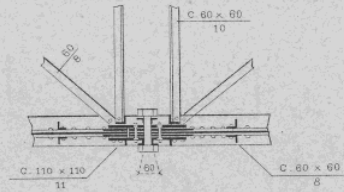
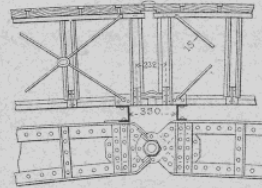
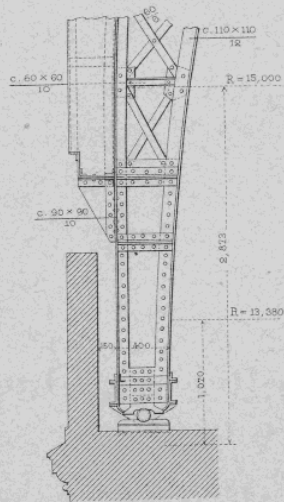
Ouverture 37^m 50.

1883.

92

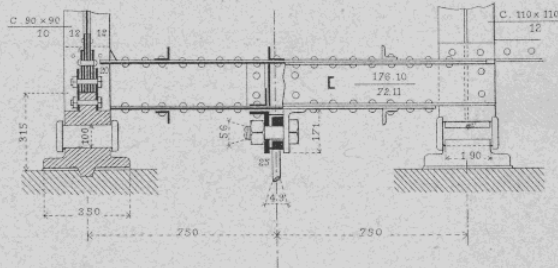
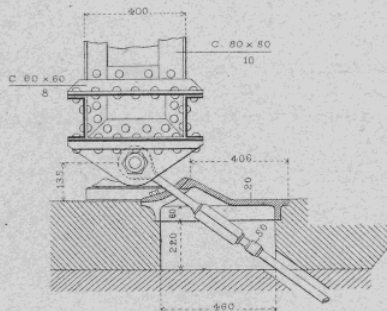


Elevation d'une ferme ($\frac{1}{50}$)

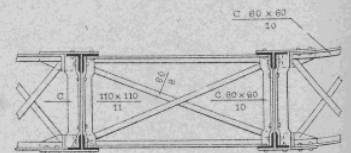
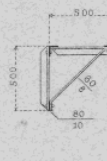
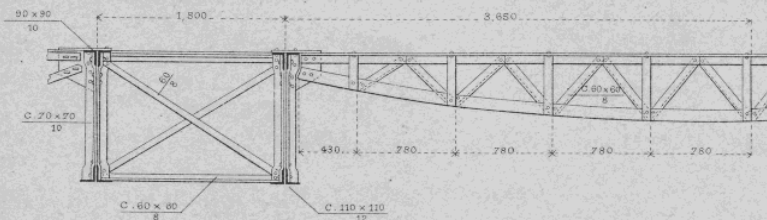


Retombée d'un arc. Articulation du pied ($\frac{1}{50}$)

Elevation et demi-coupe horiz^{le} de l'articulation des arcs au sommet ($\frac{1}{50}$)



Coupes tr^{le} et long^{le} des articulations et de l'arrage d'un groupe de fermes jumelles ($\frac{1}{25}$)



Coupe tr^{le} d'un groupe de fermes. Elevation d'une moitié de panne ($\frac{1}{50}$)

Coupe tr^{le} d'une panne ($\frac{1}{50}$)

Coupe tr^{le} au sommet. Assemblage des pannes faitières ($\frac{1}{50}$)

Gare de la place Alexandre à Berlin.
Chemin de fer métropolitain.
1883.

| | Mètres. |
|---|---------|
| Longueur du comble | 164. 10 |
| Ouverture des fermes | 37. 50 |
| Hauteur libre au centre | 18. 35 |
| Espacement des fermes jumelles dans chaque groupe | 1. 50 |
| Espacement des groupes d'axe en axe | 8. 80 |

Le comble est porté par des fermes en arc brisé très rapproché du plein cintre, avec 3 articulations, 2 aux retombées et une au sommet. Les deux moitiés de la ferme sont symétriques, la semelle intérieure de chacune d'elles est cintrée suivant un arc de cercle dont le rayon est de 19^m.88 et dont le centre est placé à 1 mètre en contrebas du niveau des rails et sur le côté de l'axe de façon que l'angle au sommet est très obtus. La semelle extérieure est composée d'une partie verticale de 2^m.538 de hauteur et d'une anse de panier à 2 centres dont les rayons sont de 15^m.00 et de 19^m.724. Au sommet les deux courbes se raccordent suivant une tangente commune horizontale.

Les semelles sont faites chacune avec 2 cornières; les cornières de la semelle extérieure ont $\frac{90 \times 90}{10}$ vers les extrémités de l'arc et $\frac{100 \times 100}{10}$ aux reins; celles de la semelle intérieure ont $\frac{110 \times 110}{12}$. Ces cornières sont reliées par des traverses normales à l'extrados et par des croisillons qui divisent la ferme en panneaux correspondants à l'écartement des pannes. Chaque traverse est composée de 2 cornières dont les dimensions varient, des reins aux extrémités, de $\frac{70 \times 70}{10}$ à $\frac{60 \times 60}{8}$; les diagonales des croisillons sont en fer plat de $\frac{70}{10}$ à $\frac{60}{8}$; le tout est assemblé sur des goussets en tôle, de 10^{mm} d'épaisseur rivés entre les cornières des semelles. Aux retombées et au sommet les croisillons sont remplacés par des âmes en tôle pleine de même épaisseur que les goussets.

Comme à la gare de Silésie, les fermes sont groupées par deux, à 1^m.50 d'écartement et reliées, sur les faces intérieure et extérieure, par des traverses en cornières et des croisillons en fer plat qui font de l'ensemble une poutre tubulaire courbe à treillis. Les retombées s'appuient également sur des paliers à rotules, jumelés et fixés sur les piliers en maçonnerie par un boulon d'ancrage incliné, en acier de 40^{mm} de diamètre. Les surfaces de roulement des rotules sont légèrement relevées vers l'intérieur de la halle. L'articulation au sommet est constituée par une charnière complètement fermée que traverse un boulon en acier de 60^{mm} de diamètre.

Au droit de chaque groupe de fermes la couverture est portée directement par les traverses en cornières d'extrados qui servent de pannes. Dans les travées entre les groupes les pannes ont une section triangulaire spéciale destinée à leur permettre de résister dans 2 directions, l'une tangente, l'autre normale à la surface extérieure du comble. Elles sont composées de 2 poutres à treillis assemblées d'équerre l'une sur l'autre, par une même cornière qui leur sert de semelle commune; les deux autres semelles sont cintrées en arc de cercle et leur donnent la forme d'un solide d'égale résistance; les semelles cintrées et les écharpes sont en fer plat; les traverses sont en cornières. L'écartement des pannes varie de 2^m 336 aux naissances à 1^m 183 au sommet.

L'entretoisement longitudinal est complété par des croix de Saint André en fer de 20^{mm} de diamètre établies dans les travées de rang impair en partant de la tête Ouest.

La couverture est en tôle ondulée galvanisée. Au-dessus des groupes ces tôles ont 0^{mm} 85 d'épaisseur et $\frac{87}{27}$ d'ondulation; dans les travées elles ont 1^{mm} d'épaisseur et $\frac{150}{45}$ d'ondulation. Les fermes sont accusées à l'extérieur par des nervures formées d'arcs en bois de $\frac{160}{210}$, couverts en zinc. Sur ces nervures sont fixées des agrafes en forme de Z servant d'appuis à des échelons en fer rond.

L'éclairage et la ventilation sont obtenus par des lanterneaux cintrés et couchés sur le comble perpendiculairement à l'axe de la halle; il y a trois de ces lanterneaux dans chaque travée.

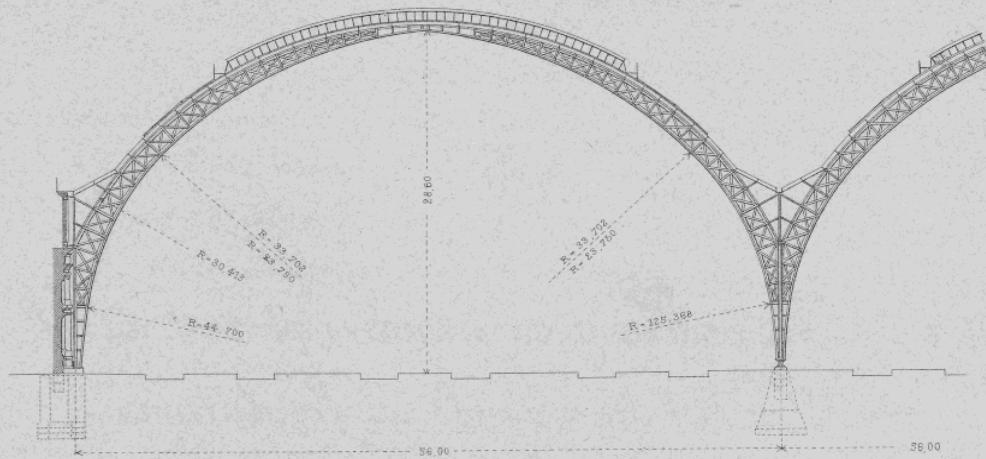
A. b.

VII. 1. β. Arc en deux pièces articulées, partant du sol
maintenu par des massifs de fondation.

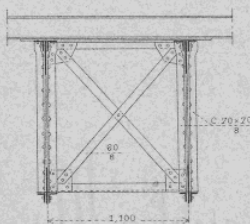
Halle de la nouvelle gare de Francfort sur le Mein.

Ouverture 56^m 00.

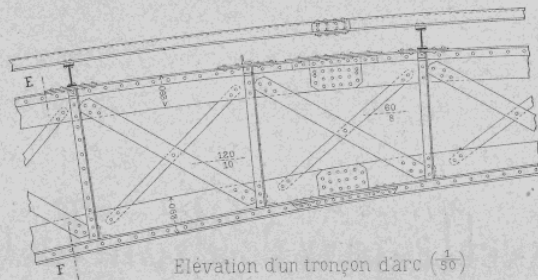
1884.



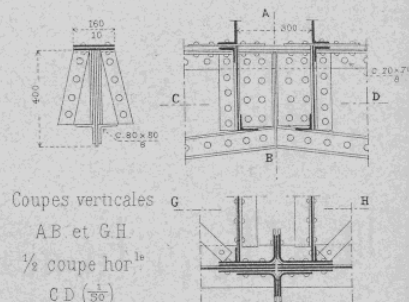
Elevation d'une ferme (1/500)



Coupe h^{ie} d'une ferme suivant E.F

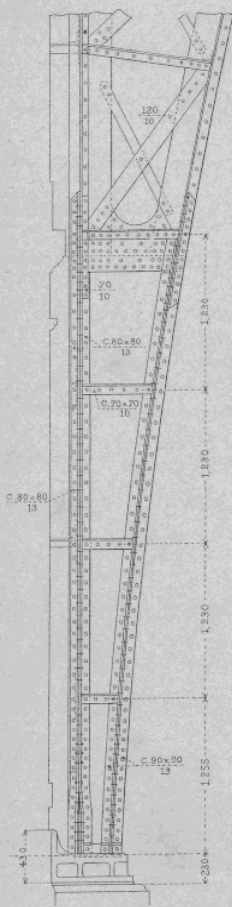


Elevation d'un tronçon d'arc (1/50)

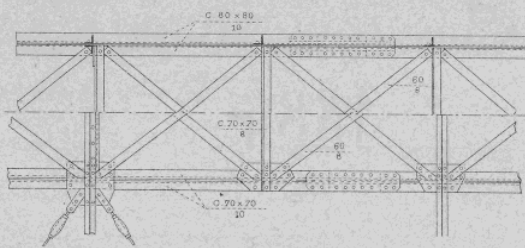


Coupes verticales
AB et GH
1/2 coupe hor^{le}
CD (1/50)

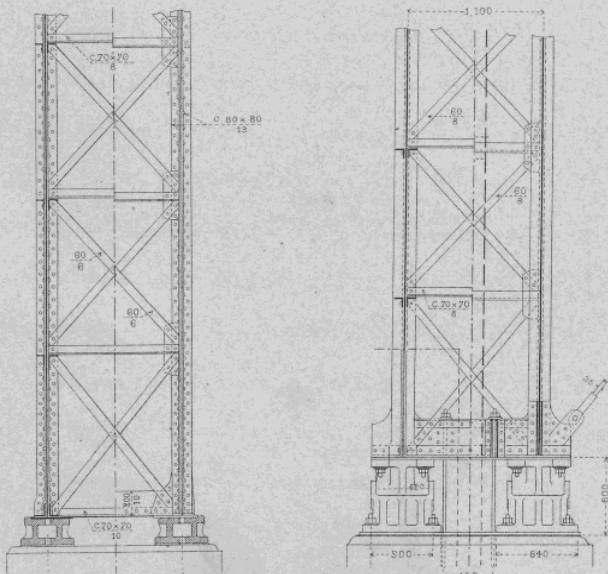
Assemblage élastique du sommet des fermes



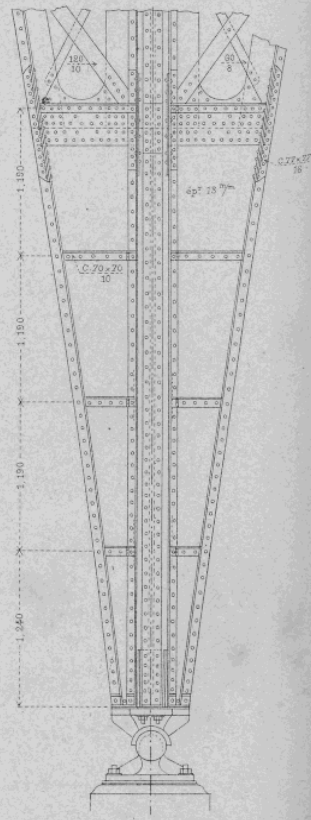
Elevation et demi coupes verticales d'un pilier adossé (1/50)



Assemblage des arcs jumelés à l'intrados et à l'extrados (1/50)



Demi-coupes verticales et élévation d'un pilier intermédiaire (1/50)



97

Halle de la nouvelle gare de Francfort sur le Mein.

1884.

| | Mètres. |
|--|---------|
| Longueur du comble..... | 186. 00 |
| Largeur de la halle..... | 168. 00 |
| Ouverture des fermes de chaque travée..... | 56. 00 |
| Hauteur libre sous clé..... | 28. 60 |
| Espacement des fermes jumelles dans chaque groupe..... | 1. 10 |
| Espacement des groupes d'axe en axe..... | 9. 30 |

La gare de Francfort sur le Mein est divisée en trois travées d'égale ouverture dont les combles sont supportés par des fermes en arc brisé; il n'y a pas de tirants; les fermes des travées latérales sont maintenues par des massifs de fondation et par les murs des constructions adjacentes ou par des piliers massifs en maçonnerie. Par suite les pieds des piliers adossés reposent sans articulation, sur des socles en fonte posés sur un contrefort en maçonnerie. Les pieds des piliers intermédiaires sont munis d'articulations à rotule dont le coussinet inférieur est boulonné sur un massif de fondation. Au sommet des fermes il n'y a pas d'articulation proprement dite; les deux arcs sont réunis par un assemblage spécial; les semelles supérieures sont assemblées à l'aide de couvre-joints en acier; les semelles inférieures sont reliées par des espèces de soufflets coniques, en tôle d'acier, disposés pour laisser au joint une certaine élasticité.

Les fermes sont groupées par deux, à 1^m.10 d'écartement, de façon à constituer des poutres tubulaires courbes, espacées elles-mêmes de 9^m.30 d'axe en axe, sauf dans la première travée (côté du masque) où l'espacement est de 9^m.50. Pour la 19^e travée, qui couvre un quai transversal, l'espacement est de 18^m.80. L'extrados des fermes se compose d'une partie verticale de 10^m.20 de hauteur et d'un arc de cercle de 30^m.413 de rayon. La courbe d'intrados est tracée suivant une anse de panier à 3 centres, dont les rayons sont de 33^m.702, 23^m.75 et 44^m.70 pour les piliers adossés; pour les piliers intermédiaires le dernier rayon est de 125^m.325.

Les arcs sont formés de 2 semelles, composées chacune d'une âme de $\frac{260}{10}$ et de 2 cornières de $\frac{70 \times 70}{8}$. Les semelles sont reliées par des montants, normaux à la courbe d'extrados et formés par 2 cornières accolées de $\frac{70 \times 70}{8}$; l'arc est ainsi divisé en 30 panneaux dont 3 au sommet et 4 au pied sont à âme pleine en tôle d'acier de 10^{mm} d'épaisseur; les autres panneaux sont garnis de croisillons dont les diagonales sont en fer plat de dimensions variables. Pour les panneaux 5 à 11, en partant du sommet, les bracons (diagonales comprimées) ont $\frac{120}{10}$ et les écharpes (diagonales tirées) $\frac{60}{10}$; pour les

panneaux 12 à 15 $\frac{100}{10}$ et $\frac{60}{8}$; pour le 16^e panneau, $\frac{90}{10}$ et $\frac{60}{8}$; pour les panneaux 17 à 23, $\frac{80}{10}$ et $\frac{60}{8}$; 24 et 25, $\frac{120}{13}$ et $\frac{60}{8}$ et pour le 26^e panneau $\frac{120}{10}$ et $\frac{60}{8}$. À l'intrados et à l'extrados, les arcs sont reliés par des traverses doubles en cornières de $\frac{70 \times 70}{8}$ et par des croisillons en fer-plat de $\frac{60}{8}$ à l'extrados et de $\frac{60}{6}$ à l'intrados. Les coissons ainsi constitués sont consolidés par des croisillons transversaux, en fer-plat de $\frac{60}{8}$ établis au droit des panneaux 4. 8. 12. 15. 19. 23. 24 et 25.

De deux en deux travées les fermes sont contreventées longitudinalement par des croix de Saint-André, en fer rond de 28^{mm} de diamètre, armées de tendeurs. Entre les piliers intermédiaires le contreventement est complet, jusqu'au sol, par une grande croix en fer rond de 35^{mm}, dont les diagonales sont assemblées à vis sur un croisillon central en acier fondu. Enfin les piliers adossés des fermes latérales sont reliés par les deux cours de poutres longitudinales qui supportent la clôture et dont l'une est ancrée dans les maçonneries par des boulons verticaux de 30^{mm} de diamètre. Au-dessus des fermes règnent 20 cours de pannes fixés sur l'extrados; les pannes du sommet sont des fers en U de $\frac{160}{7,5} \times \frac{65}{10,5}$; les 11 suivantes sont en fer à I de $\frac{190}{7,2} \times \frac{86}{10,8}$; les 8 dernières sont des fers en Γ , de $\frac{180}{9,5} \times \frac{75}{12}$. Au-dessus des 10 fermes jumelles, les pannes sont d'une seule pièce de 4^m.04 de longueur, faisant de chaque côté une saillie de 1^m.47; elles sont complétées dans les intervalles par des morceaux de 5^m.26 de longueur assemblés à éclisses sur les précédents.

L'éclairage est fourni: sur les faces latérales par des fenêtres demi-circulaires ménagées dans les clôtures, au droit des tympans; au sommet par des lanterneaux à deux versants, couchés, en forme de selle, sur les 24 premières pannes. Il y a trois de ces lanterneaux au-dessus de chaque travée. Le surplus du comble, et l'extrados des fermes sont couverts en tôle ondulée.

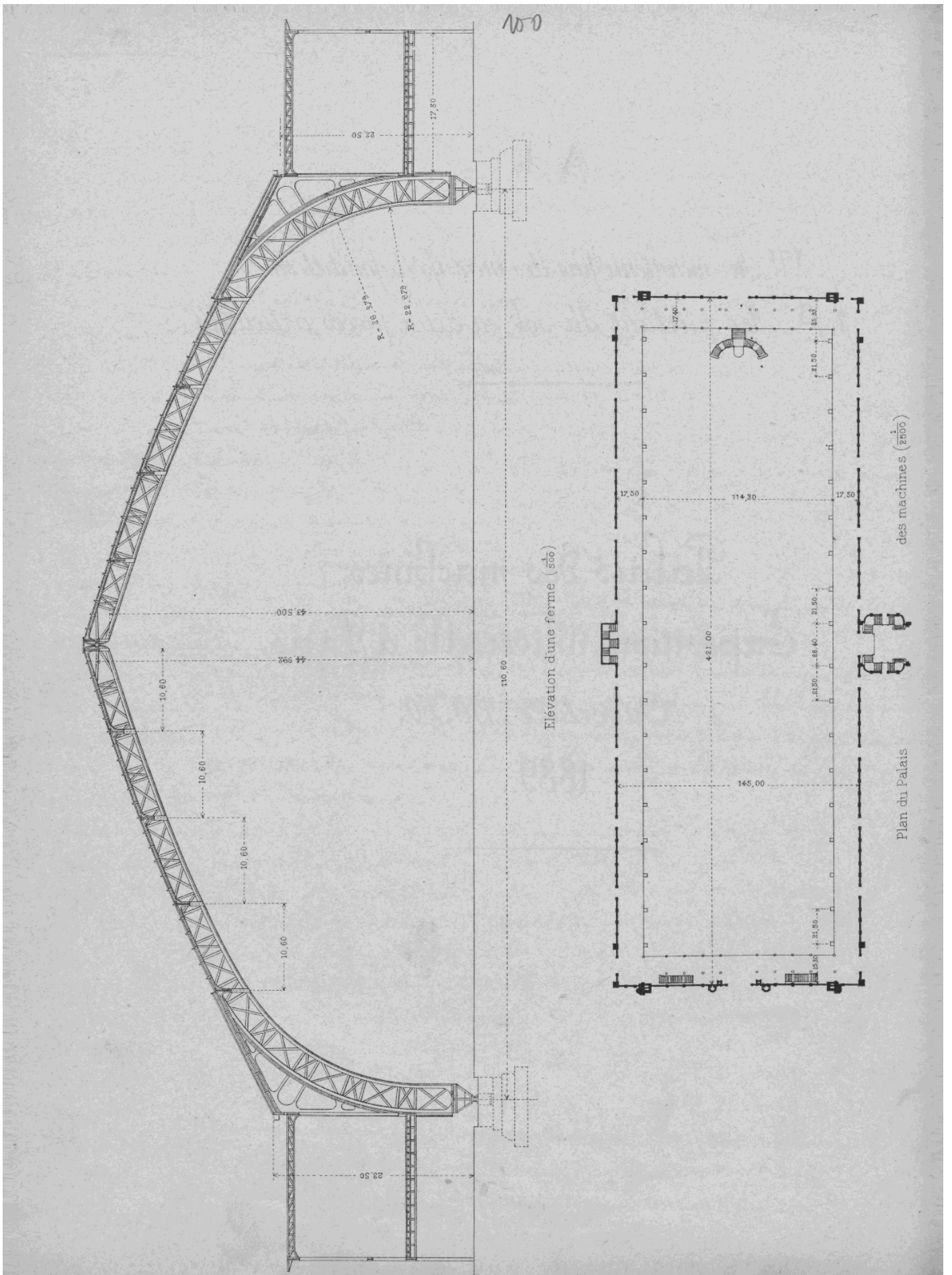
Collection de dessins appartenant à la Bibliothèque du Chemin de fer de l'Est (Mission en Allemagne de M. M. Fetsche, Connesson et Gouray 1884).

Collection de dessins distribués aux Elèves. Série 4. Section E. Planches 15, 16, 17. Tome 3, fascicule 24.

A. b.

VII. *Arc maintenu par des massifs de fondation.*
1. *β.* - *Arc partant du sol, en deux pièces articulées.*

Palais des machines.
Exposition universelle à Paris.
Ouverture 110^m,60.
1889.



panneau à partir duquel elle reste constante à 8^m jusqu'au sommet. Les âmes sont renforcées dans la partie correspondante au tympan, à l'intérieur par des cornières de $\frac{100 \times 70}{10}$ et à l'extérieur par des platebandes de $\frac{100}{10}$.

Les tympans sont composés de 2 âmes évidées de 8^m d'épaisseur et d'une semelle de 0,770.

Les poutres sont formées de montants et de croisillons; les montants, normaux à l'intrados, sont des poutres en I de 0,540 de hauteur et de longueur variable occupant toute la section du caisson. L'âme pleine de 7^m d'épaisseur est assemblée sur les parois par des cornières de $\frac{80 \times 60}{7}$. Un trou d'homme percé dans l'âme permet de circuler sur une échelle en fer placée à l'intérieur de la ferme. Au pied les piliers ont la forme d'un caisson trapézoïdal, à parois pleines, sur la petite base duquel est boulonné le coussinet supérieur (en fonte) de l'articulation. La rotule est en fonte. Le coussinet inférieur est claveté sur une plaque de 70^m d'épaisseur, fixé avec 6 boulons d'ancrage de 60^m de diamètre et 2,27 de longueur. Les poutres d'ancrage noyées dans la maçonnerie sont composées de fers en I jumelés de $\frac{108 \times 55}{8}$. Dans la partie verticale les fermes sont reliées par une poutre en treillis de 2 mètres de hauteur, à laquelle sont fixées les poutrelles du plancher des galeries; par des arcades métalliques et par une poutre chêneau. Dans la partie rampante, elles sont reliées par 10 cours de pannes espacées de 10^m,72 (5 de chaque côté de l'axe). Ces pannes ont 1^m,80 de hauteur au centre, et 2^m,122 aux extrémités où elles sont évasées pour l'assemblage sur les fermes. Les semelles sont formées d'une âme de $\frac{350}{7}$ et de 2 cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$ avec platebande de $\frac{300}{7}$; ces âmes sont reliées par des montants verticaux formés de 2 fers à T adossés de $\frac{125}{65}$ et par des écharpes doubles en fer plat de $\frac{120}{7}$. Les pannes sont elles-mêmes reliées par 3 cours de chevrons, assemblés avec elles de façon que l'ensemble forme un croisillement suffisamment rigide. Les chevrons sont à âme pleine de $\frac{400}{6}$ avec bordures en cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$. Des trous de boulons ovalisés sont ménagés dans chaque travée pour permettre la dilatation des files de pannes. Les deux pannes voisines du faitage sont réunies par 3 petits arceaux dans le prolongement des chevrons; ces arceaux portent des solives soutenant le terrasson.

Les trois travées du milieu et les travées extrêmes sont contreventées à l'aide de tirants en fer rond de 70^m de diamètre, armés de tendeurs. Au sommet des fermes les attaches des tirants sont faites sur des rondelles en acier, munies d'oreilles et serrées contre les coussinets des articulations à l'aide de boulons qui passent au centre de la rotule, de façon à laisser le jeu de chaque ferme dans son plan vertical. La couverture est faite, partie en zinc N° 12, partie en feuilles de verre strié, de 2^m,00 x 0^m,506 et de 5 millimètres d'épaisseur.

Le poids d'une ferme courante est d'environ 196 tonnes; celui d'une demi travée de pannes et de chevrons et fers à vitrage de 62 tonnes.

Collection de dessins distribués aux Elèves, série 7, section D, planches 24 à 26, tome 3, 24^e livraison.
Rapport général sur l'exposition de 1889 par M. A. Picard, tome 2.
Notice sur le palais des machines par E. Bénard.

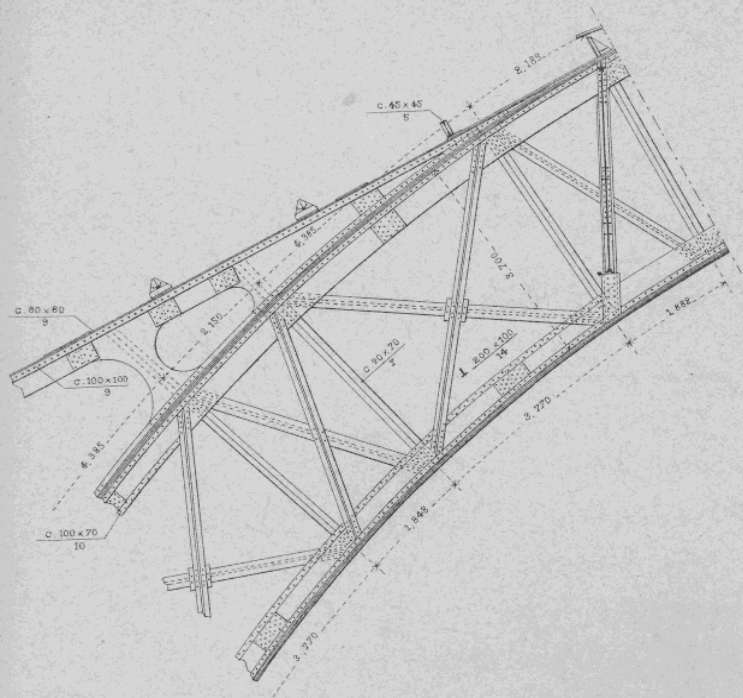
Palais des Machines à l'Exposition universelle, à Paris.
1889.

| | Mètres. |
|---|-----------------------|
| Longueur du comble..... | 421. 00 |
| Ouverture des fermes, d'axe en axe des rotules..... | 110. 60 |
| Hauteur libre au centre..... | 43. 50 |
| Espacement des fermes..... | 26.40, 25.30 & 21. 50 |

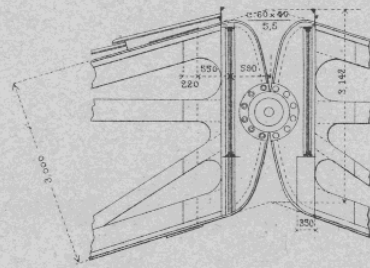
Le palais des machines a la forme d'un rectangle de 421^m de long sur 119^m,30 de large; il se compose: d'une grande nef centrale de 114^m,30 de largeur sur 46^m,50 de hauteur et de deux galeries latérales de 17^m,50 de large sur 22^m,50 de hauteur. Ces dernières ont, à 8 m. du sol, un étage, continué par deux tribunes, de 17^m,40 de largeur, intérieurement adossées aux pignons.

Le comble est supporté par 20 fermes, formant 19 travées, une travée centrale de 26^m,40, 16 travées courantes de 21^m,50 et deux extrêmes de 25^m,30. Les 18 fermes intermédiaires sont à treillis; les deux fermes de tête sont à âme pleine. Chaque ferme est constituée par deux arcs partant du sol et articulés de façon que les deux demi-fermes reposent sur leurs fondations par l'intermédiaire de rotules et s'appuient l'une sur l'autre au sommet par une troisième rotule. L'intrados des arcs est composé d'une partie verticale qui s'élève à 7 mètres au dessus du sol, d'un arc de cercle de 22^m,679 de rayon (sur $\frac{1}{6}$ de la circonférence) et d'une tangente à cet arc de cercle, inclinée à 25 degrés en moyenne sur l'horizontale et légèrement curviligne, jusqu'au sommet où les deux demi-fermes se rencontrent sous un angle de 145 degrés, à 43^m,50 au dessus du sol. L'extrados est parallèle à l'intrados dans la partie verticale et la courbure des reins; seule la tangente extérieure est un peu abaissée de façon à réduire la distance des semelles de 3^m,70 à 3^m,00. Chaque ferme est en outre munie d'un tympan formé d'une partie verticale qui s'élève à 23^m,50 de hauteur, au dessus du sol et d'une partie inclinée raccordée avec l'extrados. La face verticale des tympans sert de support aux parois verticales du palais et la face inclinée soutient le prolongement de la toiture.

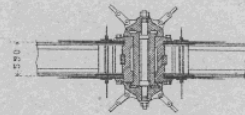
Chaque ferme est divisée en 24 panneaux, 12 grands et 12 petits, répartis de façon que les croisillons des petits panneaux sur lesquels les pannes sont fixées soient dirigés verticalement. La structure des fermes est celle d'un caisson dont les parois latérales, espacées de 0^m,55, sont formées par deux âmes, de 9^{mm} d'épaisseur, sur lesquelles sont assemblés les montants et les diagonales des panneaux, et dont les parois, intérieure et extérieure, sont pleines et constituées par des tôles de 0,900 et de 0,770 de largeur. L'assemblage est fait à l'aide de cornières de $\frac{100 \times 100}{12}$, réduites progressivement à $\frac{100 \times 100}{9}$ au sommet. Les parois pleines sont d'épaisseur variable, obtenue en superposant plusieurs tôles; à l'intrados, l'épaisseur totale mesurant 23^{mm} à la base, 34 au 2^{ème} panneau, 46 au 3^{ème}, s'élève à 71^{mm} aux reins pour descendre à 34 au 12^{ème} panneau, à 23 au 13^{ème}, puis à 17, à 10 et à 8 au sommet. À l'extrados, l'épaisseur commence par 8^{mm} à la base, atteint 16^{mm} au 3^{ème} panneau, 24 au 4^{ème}, 32 aux reins, revient à 16 au 20^{ème}



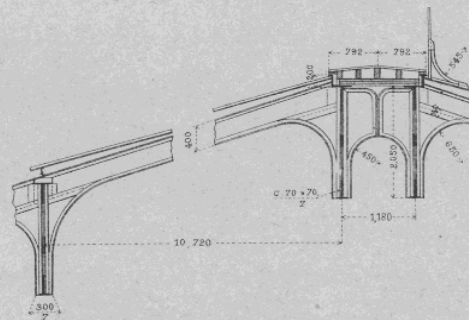
Elevation de la ferme du 7^e au 10^e panneau (1/100)



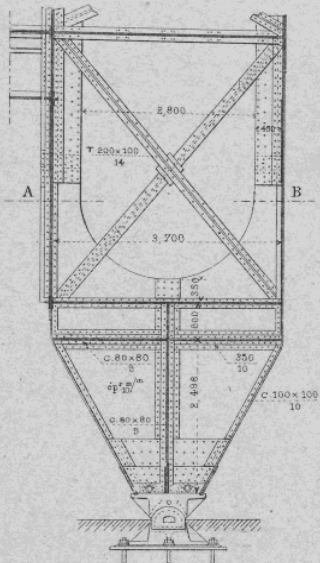
Articulation au sommet (1/100)



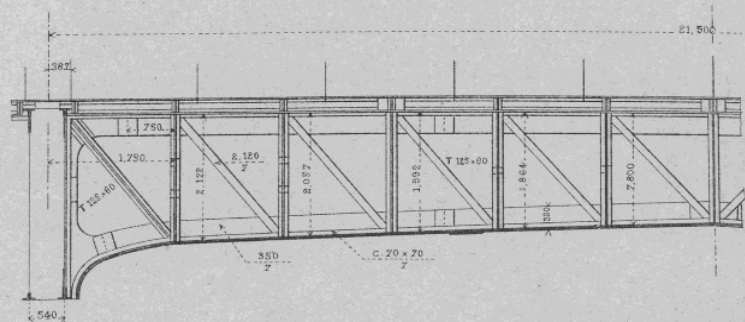
Coupe hor^{le} de l'articulation et attache des tirants de contreventement



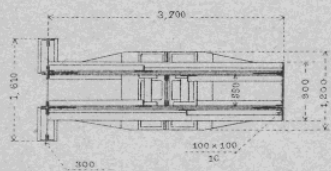
Assemblages des pannes et des chevrons (1/100)



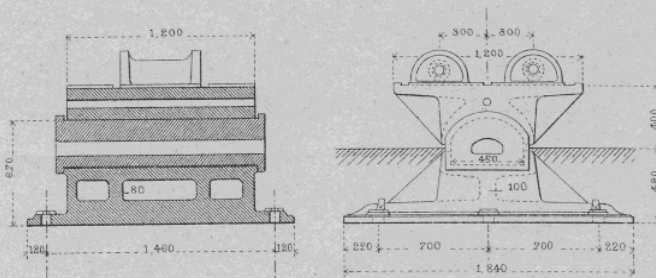
Elevation d'un pied de ferme (1/100)



Elevation d'une moitié de panne (1/100)



Coupe hor^{le} suivant A B. (1/100)



Coupe et Elevation d'un sabot d'articulation inferieure

104

105
A. b.

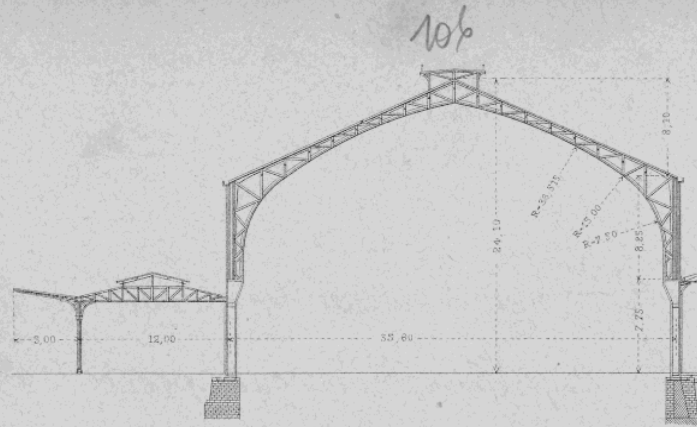
VII. 2. *Arc sur piliers, maintenu par des massifs de fondation.*

α. Arc et piliers d'une seule pièce.

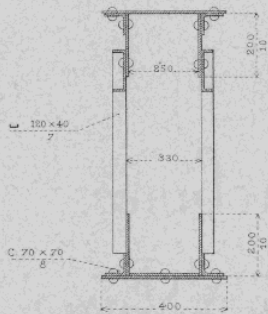
*Galerie des Machines.
Exposition universelle à Paris.*

Ouverture 33^m50.

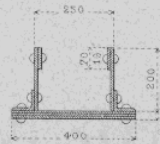
1878.



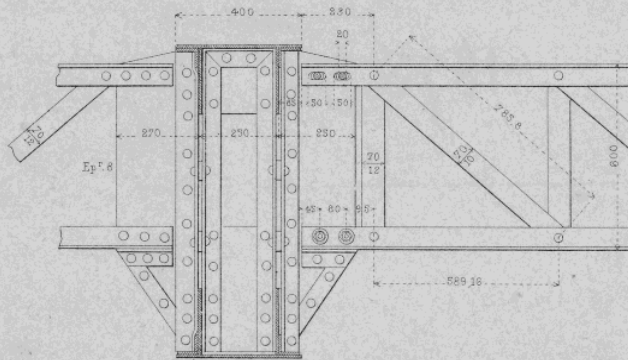
Elevation d'une ferme ($\frac{1}{500}$)



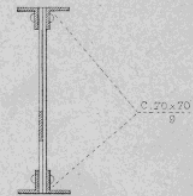
Coupe de la poutre au milieu d'un versant ($\frac{1}{20}$)



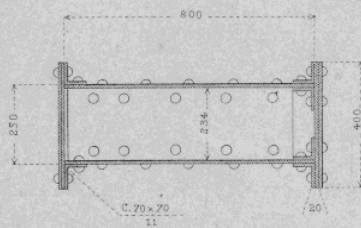
Coupe de la semelle inférieure aux reins de l'arc ($\frac{1}{20}$)



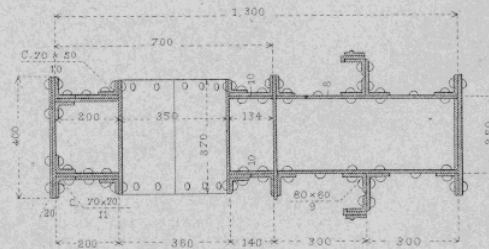
Assemblage des pannes ($\frac{1}{20}$)



Coupe d'une panne ($\frac{1}{20}$)



Coupe hor^le d'un pilier dans la partie inférieure ($\frac{1}{20}$)



Coupe hor^le d'un pilier, aux retombées de l'arc ($\frac{1}{20}$)

107
Galerie des Machines de l'Exposition universelle, à Paris.
1878.

| | Mètres. |
|-------------------------------|---------|
| Longueur du comble | 645. 00 |
| Ouverture des fermes | 33. 50 |
| Hauteur libre au centre | 22. 00 |
| Espacement des fermes | 15. 00 |

Les fermes étaient du type de Dion, caractérisé par la solidarité établie entre l'arc et les piliers de façon que l'ensemble constitue une poutre courbe dont les extrémités sont encastrées dans le sol.

Le profil intérieur formait un arc brisé; la poutre était à claire voie et les semelles, dont l'épaisseur variait de 10 à 30 millimètres étaient reliées par des écharpes et des montants en fer en \sqcup . Les piliers avaient la forme de caissons rectangulaires, à parois pleines, contreventées par 11 cloisons intérieures et renforcées par des plaques et des cornières, au sommet, sur la face intérieure et, à la base, sur la face extérieure. Les pieds des piliers étaient reliés par 4 boulons et 2 cornières avec les dés en maçonnerie qui leur servaient de fondations.

Les pannes étaient des poutres à treillis de section constante et de 0,60 de hauteur; elles étaient espacées de 1^m.92. De 4 en 4 travées, c'est-à-dire de 60 en 60 mètres, les assemblages des pannes sur les arcs étaient faits avec des boulons à trous ovalisés, afin de permettre les mouvements dus à la dilatation. Les 3 pannes supérieures qui supportaient le lanternon avaient été renforcées.

La couverture était en ardoises de tôle galvanisée, clouées sur un voligeage en sapin de 14^mm; ce dernier était lui-même fixé sur un plafond en sapin de 38^mm, cloué sur les fourrages en bois qui surmontaient les fermes et les pannes.

Outre les 17 cours de pannes, les fermes et leurs piliers étaient reliés par deux sablières portant chéneaux et par des frises en tôle pleine, de 1^m.855 de hauteur fixées à la base des cloisons vitrées. Ces frises servaient en même temps aux retombées des fermes des galeries voisines.

Le poids d'une ferme avec ses piliers était de 25260 kilogrammes.

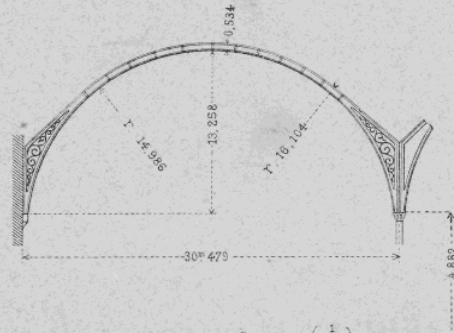
108

A. b.

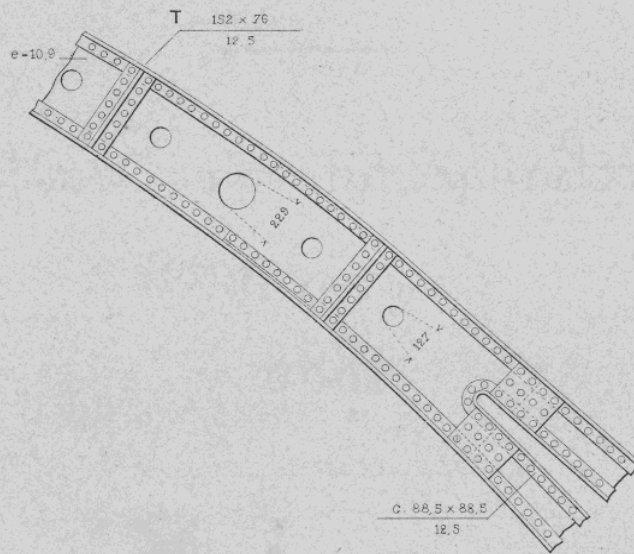
VIII.1. *Arc sur piliers
contrebutés par des murs en maçonnerie.*

*Exchange station à Bradford.
Ouverture 30^m48.
1888.*

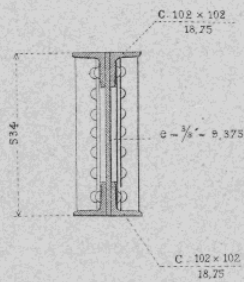
110



Elévation d'une ferme ($\frac{1}{500}$)



Elévation partielle d'un arc ($\frac{1}{40}$)



Coupe transversale d'un arc ($\frac{1}{20}$)

-11-

Exchange Station à Bradford.

Lancashire et Yorkshire et Great Northern Railways.
1888.

| | Pieds. | Mètres. |
|-------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble | 430. 0 | 131. 06 |
| Ouverture des fermes | 100. 0 | 30. 48 |
| Hauteur libre au centre | 59. 6 | 18. 14 |
| Espacement des fermes | 25. 0 | 7. 62 |

La gare est partagée en deux travées, de 100 pieds d'ouverture, dont les toitures sont portées par des fermes en arc, de 49 pieds 2 pouces (14^m.99) de rayon à l'intrados et de 43 pieds 6 pouces (13^m.26) de flèche. Les retombées extérieures des arcs reposent sur des consoles encastrées dans les murs de la gare; les retombées intérieures, juxtaposées, s'appuient sur une file de colonnes en fonte, de 16 pieds (4^m.877) de hauteur, espacées de 25 pieds (7^m.62).

Les arcs ont la forme de I, à section décroissante, dont la hauteur est de 0,534 au sommet et de 0,686 aux reins; ils sont établis avec des panneaux en tôle ajourée dont les épaisseurs sont de 11^{mm} de la base aux reins et de 9,4^{mm} des reins au sommet. Ces tôles sont assemblées avec 4 rangs de fortes cornières reliées par des montants en fer à T. A partir des reins l'arc se divise en deux branches dont l'une, dirigée tangentiellement à l'extrados, se raccorde avec un montant vertical de 18 pieds (5^m.49) de hauteur, de façon à constituer un tympan très rigide. Ces tympanes sont ajourés dans les fermes courantes et à âme pleine dans les fermes de tête. Suivant l'axe de la gare, les tympanes accolés sont entretoisés par des poutres en I, à âme pleine, fixées au sommet des montants et soutenus par de grandes consoles en fer ajourées.

De chaque côté des fermes règnent 6 cours de pannes; les pannes extrêmes sont des poutrelles en I, à âme pleine, dont la hauteur est la même que celle de l'arc à leurs points d'attache.

Les 4 pannes intermédiaires qui portent le vitrage, sont à claire voie, en forme de poutre armée.

La partie pleine de la couverture commence à la panne inférieure et se prolonge jusqu'à l'extrémité des tympanes. Pour la soutenir on a placé, dans chaque travée, 2 chevrons intermédiaires en I.

Cette couverture est en zinc N°16, posée sur un voligeage jointif, à rainure et languette.

Iron Roofs page 72, planche 69.

112

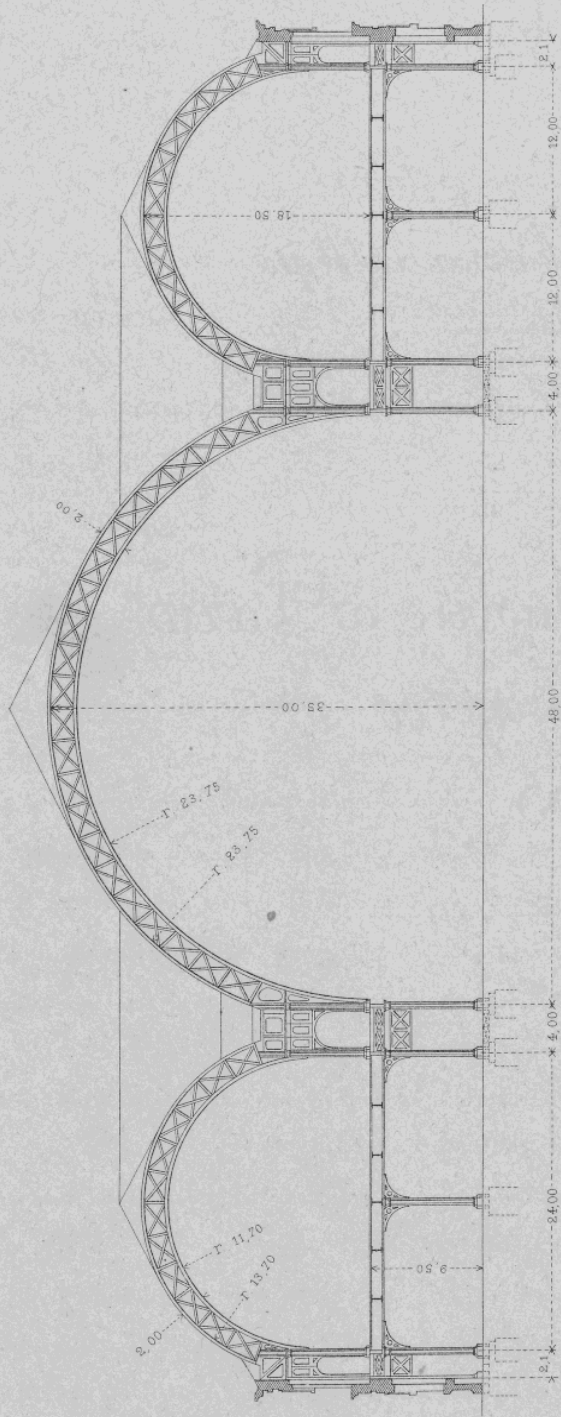
A. b.

VIII. 2. *Arc sur piliers
contrebuté par un bâtis métallique.*

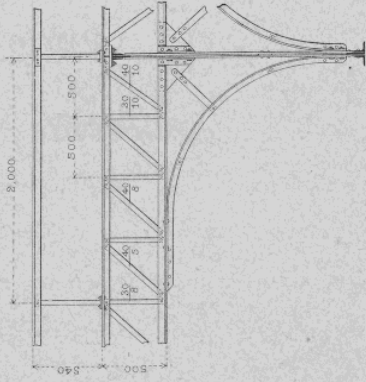
Palais de l'Industrie à Paris.

Ouverture 48^m00.

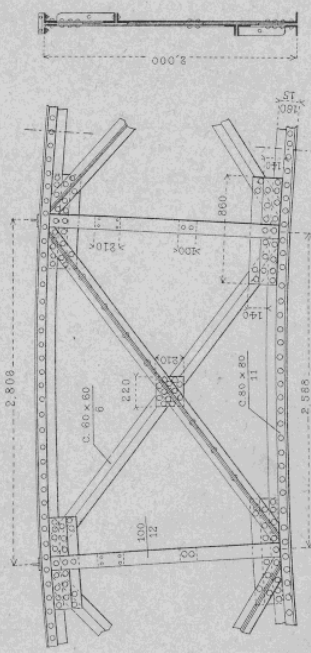
1855.



Coupe transversale du Palais (500)



Elevation et assemblage des pannes (50)



Elevation et coupe d'un tronçon de ferme de 48 mètres (50)

115

Palais de l'Industrie à Paris. Exposition universelle de 1855.

| | Mètres. |
|-----------------------------------|---------|
| Longueur de la nef..... | 192. 00 |
| Ouverture des grandes fermes..... | 48. 00 |
| Hauteur libre au centre..... | 33. 00 |
| Espacement des fermes..... | 8. 00 |

Le palais est divisé dans le sens de la longueur en 3 travées, une travée centrale de 48 mètres d'ouverture et 2 travées latérales de 24 mètres. La construction est entièrement en fonte et en fer; les façades en pierre qui l'enveloppent sont juxtaposées à la charpente contre laquelle elles sont appliquées et même maintenues par des boulons. Les combles sont vitrés et portés par des fermes en fer, en plein cintre, en comprenant les consoles d'appui, dont les retombées reposent sur 4 files de bâtis à colonnes en fonte.

Les fermes de la grande travée sont composées de 2 arcs concentriques espacés de 2 mètres et reliés entre eux par des entretoises normales et des croisillons. Les arcs sont formés d'un fer plat de $\frac{160}{15}$ et de 2 cornières de $\frac{80 \times 80}{12}$ assemblés par des rivets de 20^m espacés de 10 centimètres. Les entretoises sont faites de 2 fers plats de $\frac{100}{12}$, entretoisés au milieu de leur longueur par une fourrure de 10 centimètres de longueur sur 15^m d'épaisseur fixée par 2 rivets; deux autres fourrures sont intercalées aux points d'attache des pannes pour permettre le serrage des boulons. Les diagonales des croisillons sont faites chacune avec 2 cornières de $\frac{60 \times 60}{6}$ assemblées par des rivets espacés de 0,30, formant ainsi des fers en T qui sont adossés et dont les extrémités sont rivées sur des goussets. Aux retombées, les patins des fermes sont formés par un fer plat de $\frac{160}{15}$ armé de 2 cornières de $\frac{90 \times 90}{13}$. Les couvre-joints ont été faits avec des cornières de 60^m et de 60 centimètres de long dont l'arête avait été ajustée à la meule dans le congé des grandes cornières; les couvre-joints de chaque côté de l'âme sont en fer plat de $\frac{175}{8}$ et de 50 centimètres de long.

Les patins des fermes sont fixés sur des consoles en fonte qui font partie des bâtis à colonnes et qui forment le prolongement des arcs intérieurs jusqu'aux naissances.

Les pannes ont 8 mètres de long et sont espacées de 2^m 80; ce sont des poutrelles à diagonales simples de 0^m 50 de hauteur; les semelles sont faites avec 2 cornières de $\frac{45 \times 45}{6}$, sauf pour la panne faitière où elles ont $\frac{50 \times 50}{8}$; les montants extrêmes ont $\frac{30}{10}$; les intermédiaires, $\frac{30}{8}$; les diagonales extrêmes ont $\frac{40}{10}$, les 4 suivantes $\frac{40}{8}$, et les 10 du milieu $\frac{40}{5}$; les rivets ont 14^m de diamètre. Les pannes supportent les chevrons en fer à vitrage par l'intermédiaire de petits sabots en fonte fixés à l'aide de boulons de 8^m. Ces chevrons ont 60^m de hauteur et sont coupés par tronçons d'environ 8^m 40 de longueur; ils sont goupillés sur les sabots. Près du faitage les pannes sont surmontées d'une hausse en fer à T, afin de relever l'inclinaison des chevrons et du vitrage à 18 degrés sur l'horizon.

Le 5 Juillet 1854, après le montage de la dernière ferme, un ouragan violent avait incliné les fermes de près de 3 mètres et démontré la nécessité d'un contreventement énergique. A l'extérieur on a établi une série de haubans, en fer rond de 30^m, partant des retombées près des appuis des petites fermes et amarqués, à l'autre extrémité à des sabots en fonte fixés sur le dos des arcs, alternativement à la troisième et à la quatrième panne, à partir du pied. Un cours de diagonales entre la quatrième et la cinquième panne complète le contreventement extérieur. A l'intérieur les deux premiers intervalles de panne sont entretoisés, d'une ferme à l'autre, par des croisillons en fer rond de 30^m. Enfin aux extrémités où l'espacement des 2 dernières fermes est réduit à 4 mètres, les traverses ont reçu un croisillonnement supplémentaire en fer plat de $\frac{80}{12}$, boulonné sur le dos des fermes.

Du chéneau à la première panne, la couverture est en zinc; le reste du comble est couvert en verre dépoli de 3^m d'épaisseur, avec recouvrement croissant de 5 à 9 centimètres, à mesure que la pente diminue. Des agrafes en plomb noyées dans le mastic empêchent le glissement des feuilles de verre. En outre 6 arrêtés sont établis dans le développement de chaque chevron, au moyen de goupilles qui traversent la lame du fer à vitrage et servent d'attaches à des agrafes supplémentaires en plomb épais. Les joints sont garnis de tringles spéciales destinées à recueillir la buée.

Les petites fermes, de 24 mètres d'ouverture, sont construites sur le même type que les grandes, avec quelques réductions dans les sections des fers. Les arcs sont en fer plat de $\frac{135}{15}$ et en cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$, assemblés avec des rivets de 19^m espacés de 10 centimètres. Aux patins les cornières ont $\frac{80 \times 80}{12}$. Les couvre-joints ont 8^m d'épaisseur. Les montants et les croisillons sont les mêmes qu'aux grandes fermes. Les cornières des pannes courantes ont $\frac{50 \times 50}{6\frac{1}{2}}$ et celles des pannes faitières $\frac{50 \times 50}{8}$. Les rivets n'ont que 14^m.

Le poids d'une ferme de 48 mètres est de 9875 kilogrammes; celui d'une ferme de 24 mètres est de 4481 kilos. Les pannes courantes pèsent de 222 à 225 kilos; les pannes faitières, 282 kg.

Le système de construction des fermes leur assure une grande résistance à s'ouvrir ou se fermer et par suite elles n'exercent sur leurs appuis qu'une poussée insignifiante. En les construisant, on les avait légèrement tendues, en raccourcissant la corde de 12 centimètres pour les grandes fermes et de 7 centimètres pour les petites. Lors du montage il a été impossible de les ouvrir suffisamment sans les gauchir et il a fallu racheter la différence par des cales entre les patins et les consoles des retombées.

A. b.

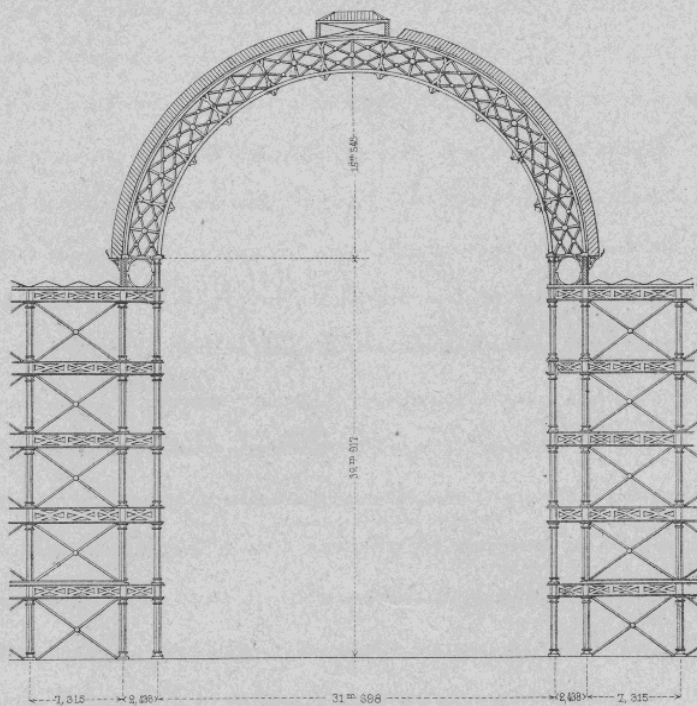
VIII. 2. Arc sur piliers
contrebutés par un bâtis métallique.

Crystal Palace à Sydenham
près de Londres.

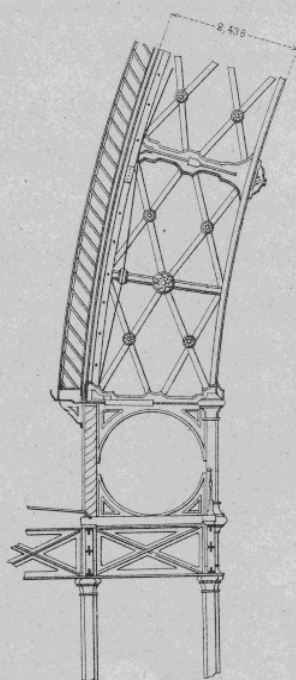
Ouverture 31^m 70.

1854.

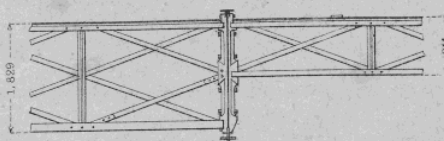
118



Élévation d'une ferme (500).



Retombée d'une ferme.



Attaches des pannes.

Crystal Palace à Sydenham, près de Londres. 1854.

| | Pieds. | Mètres. |
|---|--------|---------|
| Longueur du comble du transept central..... | 384. 0 | 117. 04 |
| Ouverture des fermes..... | 104. 0 | 31. 70 |
| Hauteur libre sous clé..... | 160. 0 | 48. 77 |
| Écartement des fermes dans chaque groupe..... | 24. 0 | 7. 32 |
| Écartement des groupes..... | 72. 0 | 21. 90 |

Le palais de cristal de Sydenham a été construit en 1853-1854 avec une grande partie des pièces du palais du même nom qui avait servi à l'exposition universelle de 1851, à Londres. Il se compose d'un bâtiment de 1366 pieds (410^m,35) de long sur 264 pieds (74^m,46) de large, recoupé par trois transepts espacés de 624 pieds (190^m,18) d'axe en axe; celui du milieu a 384 pieds (117^m,04) de longueur sur 360 pieds (103^m,72) de largeur; il forme une saillie de 72 pieds (21^m,90) sur la façade principale et de 48 pieds (14^m,64) sur la façade postérieure. Ceux des extrémités ont 336 pieds (102^m,49) de longueur sur 216 pieds (65^m,84) de largeur et forment des saillies de 48 pieds (14^m,64) sur la façade principale et de 24 pieds (7^m,30) sur la façade postérieure. Dans l'axe de chaque bâtiment règne une galerie vitrée, en plein cintre, dont la largeur est de 72 pieds (21^m,90) pour le bâtiment principal et pour les transepts extrêmes et de 104 pieds (31^m,70) pour le transept central; c'est le comble de cette dernière galerie qui est représenté sur la planche ci-jointe. Il est porté par des fermes constituées par un arc en treillis à grandes mailles dont la hauteur uniforme est de 8 pieds (2^m,438). Les retombées des arcs sont à 108 pieds (32^m,92) au dessus du sol; elles reposent sur un bâtis à claire voie dont les colonnes et les traverses sont entrecroisées à l'aide de croix de Saint André. Les colonnes et les traverses sont en fonte; les diagonales des croix de Saint André sont en fer; leurs extrémités sont assemblées à l'aide de clavettes. Transversalement les bases des colonnes sont reliées, au dessous du sol, par des poutres en fonte fixées sur des murs de fondation. Longitudinalement ces murs sont reliés par des voûtes en briques sur lesquelles est établi un dallage.

Les fermes sont groupées par deux à 24 pieds (7^m,32) d'écartement; les groupes sont écartés de 72 pieds (21^m,90). Les fermes sont reliées par dix cours de pannes à treillis; ces pannes sont de deux sortes: entre les fermes groupées, elles ont 24 pieds (7^m,32) de longueur sur 6 pieds (1^m,829) de hauteur; entre les

groupes, elles ont 72 pieds (21^m.90) de long et la hauteur est réduite à 3 pieds (0^m.914).

La couverture est composée d'une suite de lanterneaux vitrés, à deux versants et de même courbure que les fermes; il y a trois de ces lanterneaux par chaque travée de 24 pieds, et les chevrons qui les soutiennent sont liés aux pannes par un assemblage spécial. Le lanterneau du sommet est vitré de la même façon; ses deux parois verticales sont consacrées à la ventilation qui est complétée par deux files de jalousies métalliques mobiles qui sont placées au dessous des redoublées de l'extrados des fermes. Un passage de service ménagé entre les cadres d'appui des fermes permet de manœuvrer ces châssis et facilite l'entretien de la couverture.

Les fermes groupées sont en outre contreventées par des Croix de Saint André établies entre les pannes et fixées sur les semelles d'extrados.

Les combles des galeries de 72 pieds sont portés par des fermes et des pannes de même construction que les précédentes; mais la hauteur de ces galeries est réglée de façon que le sommet du comble est au niveau des naissances des grandes fermes du transept central. Les espaces régnant de chaque côté des galeries sont couverts par des lanterneaux horizontaux portés sur des poutres droites, avec égouts perpendiculaires aux poutres.

Iron roofs, page 20.

Documents communiqués par M. R. S. Spiers, architecte à Londres, déposés à la Bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées.

A. b.

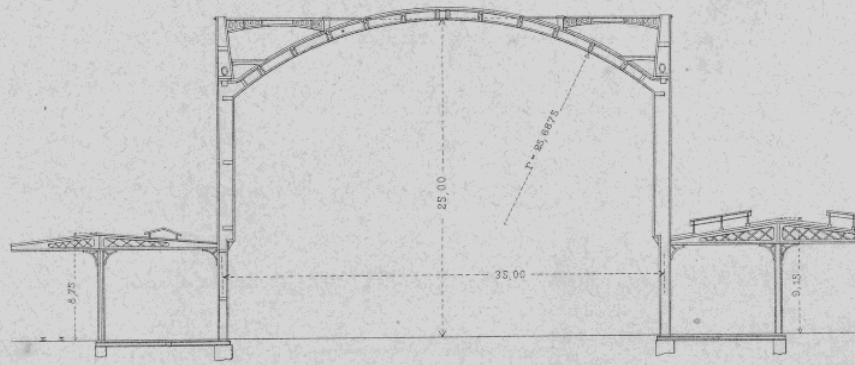
VIII. 2. *Arc sur piliers
contrebuté par un bâtis métallique.*

*Galerie des Machines.
Exposition universelle à Paris.*

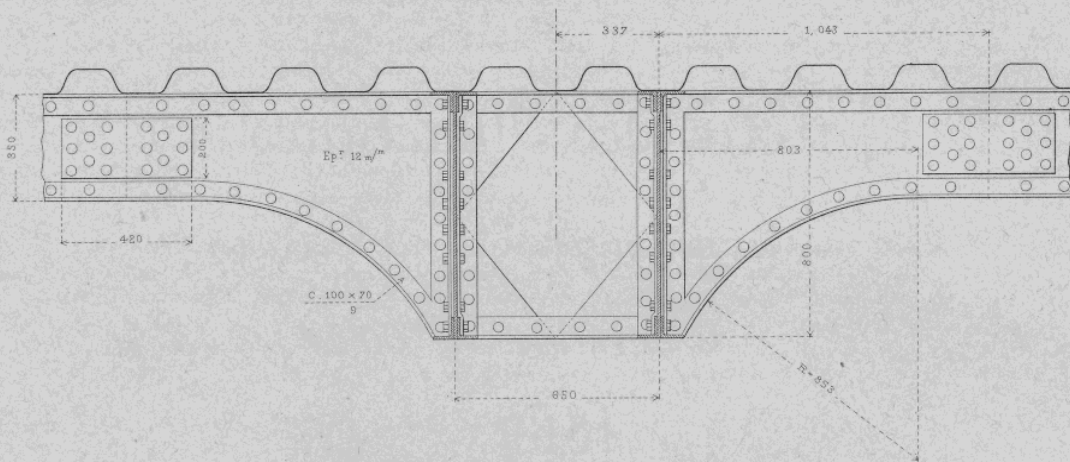
Ouverture 35^m00.

1867.

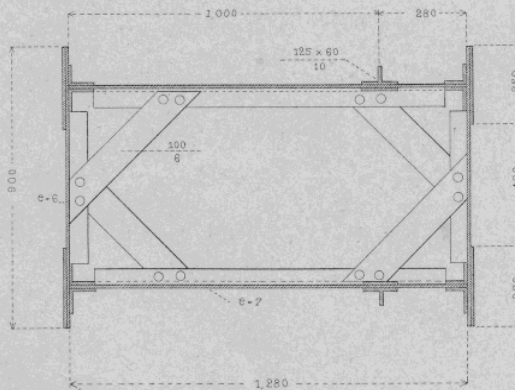
122



Elevation d'une ferme ($\frac{1}{500}$)



Coupe de l'arc et assemblage des pannes ($\frac{1}{20}$)



Coupe hor¹e d'un pilier auprès des naissances ($\frac{1}{20}$)

123
Galerie des machines de l'Exposition universelle à Paris.
1867.

| | Mètres. |
|---------------------------------|---------|
| Longueur du comble (Annulaire). | |
| Ouverture des fermes | 35. 00 |
| Hauteur libre au centre | 25. 00 |
| Espacement des fermes | 15. 00 |

Chaque ferme se composait d'un arc doubleau de 33 mètres de corde, de 6 mètres de flèche et de 0,80 de hauteur, porté par 2 piliers de 25^m45 de hauteur. La naissance des arcs était à 19^m15 au-dessus du sol; la poussée des arcs sur les piliers était combattue à la base par la liaison avec les fondations; au sommet par des tirants en fer rond placés au-dessus de la toiture et fixés sur le prolongement des piliers. Par suite cette poussée n'exerçait sur les piliers qu'un effort de flexion et on avait donné à ceux-ci la forme d'un solide d'égale résistance, ce qui avait permis de diminuer la section à la base pour élargir la galerie.

Les arcs étaient formés de 2 âmes jumelles, écartées de 0^m65, entretoisées au droit de chaque panne, en deux points intermédiaires aux pannes et au sommet. Les piliers avaient la forme de caissons rectangulaires de sections variables.

Les fermes étaient reliées: par 10 cours de pannes en I, à âme pleine, de 0,35 de hauteur, élargies aux extrémités à 0,80 pour l'assemblage sur les arcs; par une panne faitière, en I, à âme pleine de 0,80 de hauteur; par une sablière formant chéneau et par un cours d'entretoises entre les piliers, à 7^m65 au-dessus du sol. La couverture était en tôle ondulée, fixée directement sur les pannes.

Les arcatures figurées entre les sommets des piliers et les reins des arcs n'existaient que sur les fermes de tête et comme ornement.

Le poids d'une ferme était de 12700 kilogrammes, et celui d'un pilier de 5575 kilogrammes, l'ensemble d'une ferme avec ses piliers et les châssis servant de base aux piliers pesait 25260 kilogrammes.

124

A. b.

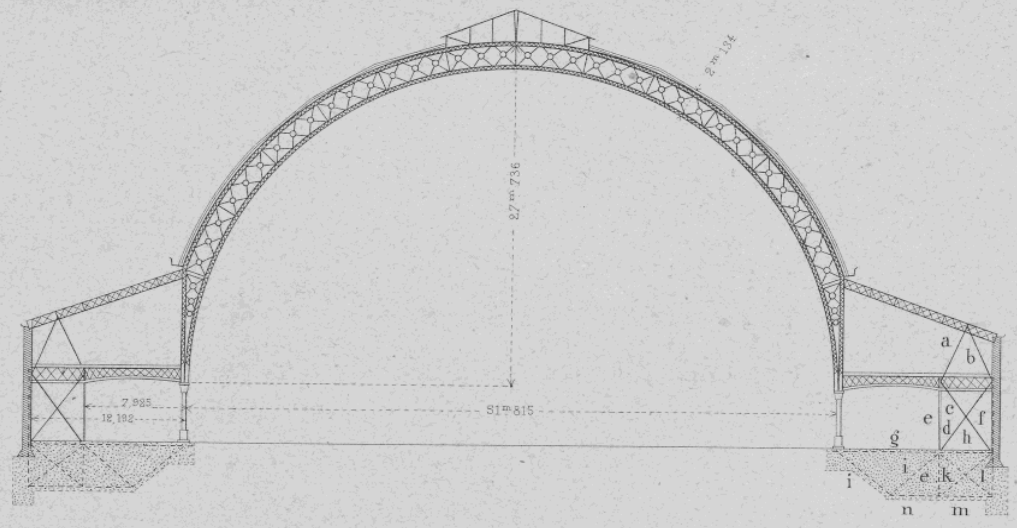
VIII. 3. *Arc sur piliers
contrebuté par des culées mixtes.*

*National Agricultural hall,
Olympia, à Kensington.*

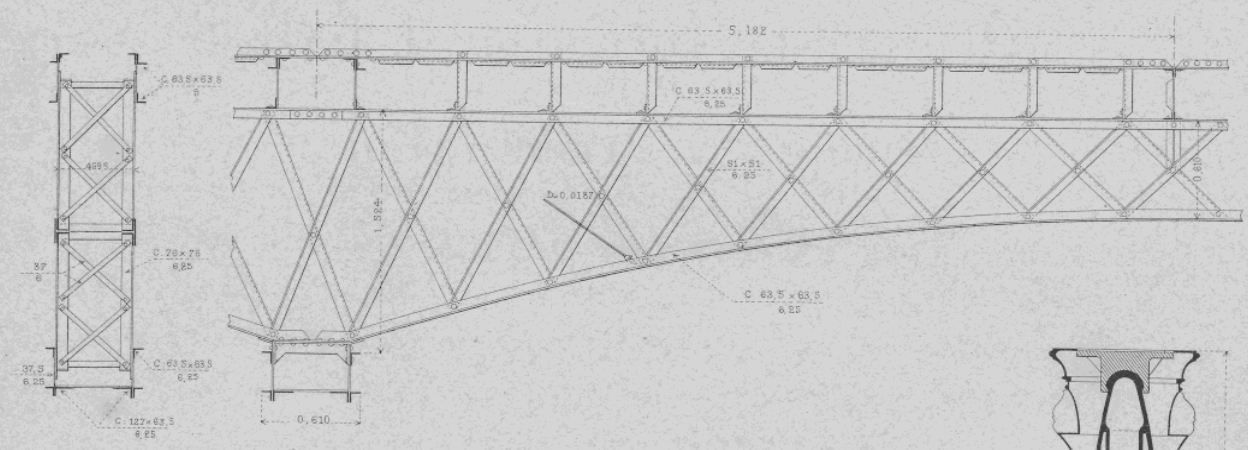
Ouverture 51^m 82.

1886.

126

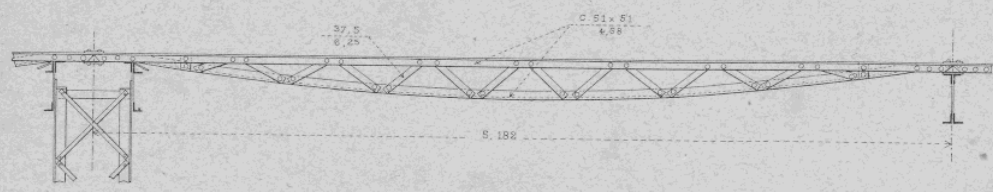


Coupe transversale du Hall (1/500)

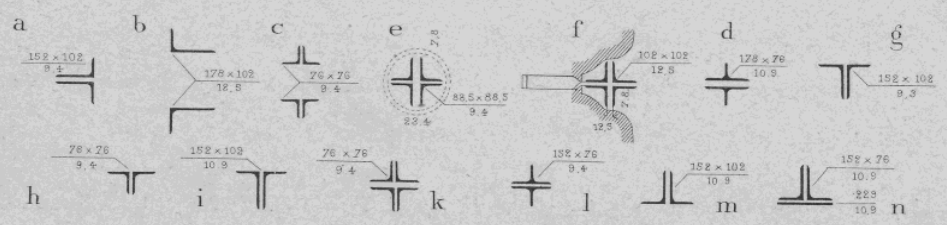


Coupe d'une ferme

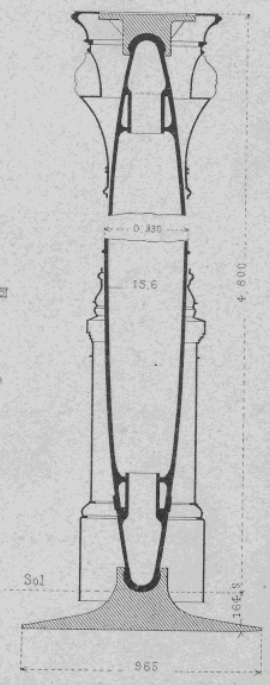
Elévation d'une moitié de grande panne



Elévation d'une panne intermédiaire et coupe tr'de un chevron



Sections des fers composant les bâtis-culées des fermes



Coupe d'une Colonne (1/25)

127

Olympia National Agricultural Hall Kensington. 1886.

| | Pieds. | Mètres. |
|-------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble | 374. 0 | 114. 00 |
| Ouverture des fermes | 170. 0 | 51. 82 |
| Hauteur libre au centre | 100. 9 | 30. 71 |
| Espacement des fermes | 34. 0 | 10. 36 |

Le hall se compose d'une travée centrale de 170 pieds (51^m 815) et de 2 travées latérales de 40 pieds (12^m 192) chacune. La grande travée est couverte par un comble en plein cintre; les petites travées sont couvertes par des toits en appentis.

Les fermes de la grande travée sont constituées par des poutres courbes de 7 pieds (2^m 134) de hauteur, espacées de 34 pieds (10^m 36) et formées chacune de 4 arcs de cercle reliés par des semelles et des croisillons en treillis. Ces arcs sont espacés de 18 pouces $\frac{1}{2}$ (0.470); ils ont 12 pouces (0.305) de hauteur et sont composés chacun de 4 cornières réunies par des écharpes; dans l'arc extérieur, les cornières ont $\frac{63 \times 63}{9}$ et les écharpes $\frac{37}{6}$; dans l'arc intérieur les cornières ont $\frac{63 \times 63}{6}$ et les écharpes sont semblables aux précédentes; les cornières du bas sont renforcées intérieurement par 2 autres cornières de $\frac{127 \times 63}{6}$ dont la grande aile sert d'attaches aux diagonales qui forment le treillis de la semelle inférieure de la poutre. Les arcs sont entretoisés par des croisillons jumelés, formés chacun de 2 cornières de $\frac{76 \times 76}{6}$, ployées en forme de V et assemblées au milieu sur des goussets. Ces croisillons sont reliés transversalement par des entretoises et des croisillons en fer de $\frac{37}{6}$.

Les fermes sont reliées par 12 cours de grandes pannes à treillis, de 34 pieds (10^m 36) de longueur, 2 pieds (0^m 610) de hauteur au milieu et 5 pieds (1^m 524) de hauteur aux extrémités, avec semelle inférieure en arc de cercle. Les semelles et les croisillons sont en cornières de $\frac{63 \times 63}{6}$. Dans chaque travée ces pannes supportent un chevron intermédiaire, constitué par un arc en I à treillis, de 12 pouces (0.305) de hauteur. Dans l'espace compris entre les grandes pannes règnent deux cours de petites pannes, de 17 pieds (5^m 18) de longueur, qui s'appuient par une extrémité sur les fermes et par l'autre sur les chevrons. Ces petites pannes sont à treillis, avec la semelle inférieure cintrée suivant la forme d'un solide d'égale résistance.

Les pieds des fermes reposent sur deux files de colonnes en fonte qui supportent la pression verticale due au poids du comble, aux surcharges et à l'action du vent; quant à la poussée horizontale, on l'a reportée, dans les travées collatérales, sur des bâtis-culées établis le long des parois extérieures de l'édifice. Ces bâtis, fortement contreventés, ont une partie horizontale, en retour d'équerre, noyée dans un massif de béton au-dessous du sol. L'effort

leur est transmis par une poutre à treillis, inclinée, logée sous le toit en appentis des travées latérales et par les poutres horizontales qui supportent le plancher de l'étage. Pour faciliter cette transmission, les colonnes renferment un noyau en forme de fuseau dont les extrémités forment pivot et reposent sur des crapaudines; elles peuvent ainsi prendre un léger mouvement d'oscillation.

Indépendamment des pannes, les fermes sont contreventées par 12 cours de croix de Saint-André, placées sous le comble, entre les grandes pannes et formées de tirants en fer rond de 19^{mm} de diamètre.

Le comble est vitré sur toute sa longueur, entre la 3^e et la 6^e grande panne; le surplus est couvert en zinc ainsi que le lanterneau qui ne sert qu'à la ventilation.

Dron noos page 71. planches 65, 66, 67.

Engineering. 1888. pages 632 et 640.

A. c.

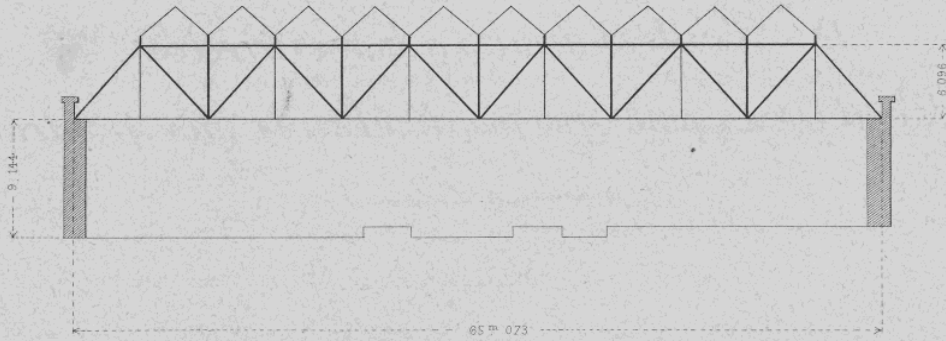
IX. Poutres droites à barres rivetées.

1. Combles à égouts perpendiculaires aux poutres.

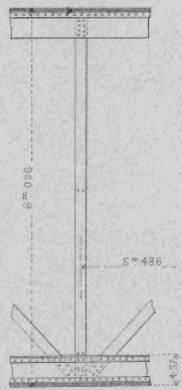
Gare Centrale à Glasgow.

Ouverture 64^m 31.

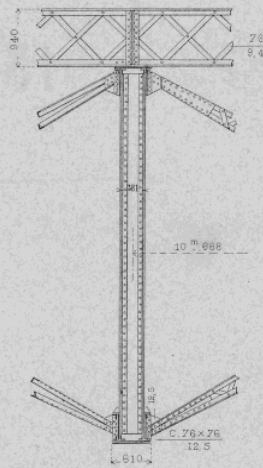
1878.



Coupe transversale de la gare. Elevation d'une poutre (1/500)



Elevation d'un tronçon de poutre au droit d'un montant (1/100)



Coupe de la poutre. Elevation des sablières et assemblage des diagonales (1/100)

Gare Centrale à Glasgow.
Caledonian Railway.
1878.

| | Pieds. | Mètres. |
|---------------------------------|--------|---------|
| Longueur du comble | 500. 0 | 152. 40 |
| Ouverture entre les murs | 211. 0 | 64. 31 |
| Hauteur libre sous poutre | 30. 0 | 9. 15 |
| Hauteur des poutres | 20. 0 | 6. 10 |
| Espacement des poutres | 35. 0 | 10. 67 |

Pour abriter de larges espaces, on divise ordinairement l'ouverture en plusieurs travées de façon à rester dans les limites de portée habituelles, et on couvre ces travées à l'aide de fermes portées par des files de colonnes. Le défaut de ce système est que les piliers produisent une obstruction souvent gênante. Lorsque l'on a voulu éviter cet inconvénient sans recourir à des fermes à grande portée proprement dites, on a imaginé de multiplier les travées en réduisant leur ouverture et de faire porter les files de petites fermes ainsi obtenues par des poutres droites transversales qui franchissent l'espace à couvrir sans supports intermédiaires. Ce genre de comble a été employé pour quelques gares de chemins de fer anglais et pour les bâtiments de l'exposition de 1851 à Londres. Le comble de la gare centrale de Glasgow en est une application sur une plus grande échelle.

Il se compose de 10 travées de fermes de 18 pieds (5^m.486) d'ouverture, courant longitudinalement et portées par 17 poutres transversales dont la portée est de 211 pieds (64^m.31), ces poutres ont 20 pieds (6^m.096) de hauteur et sont formées de deux semelles parallèles reliées par des montants, des tirants et des écharpes. Les semelles, en forme d'U sont faites avec 4 cornières de $\frac{102 \times 102}{12,5}$, une bande horizontale de 0^m.407 de large et 2 bandes verticales de 0.457 de hauteur. Les rivets ont 25^{mm} de diamètre et 0.102 d'écartement. Les montants et les écharpes ont la forme de I de 1 pied 3 pouces (0.381) de largeur, établis avec des cornières de $\frac{76 \times 76}{12,5}$ et une âme de 9^{mm}.4 d'épaisseur, le tout assemblé à l'aide de rivets de 22^{mm}. Les tirants verticaux sont composés de 2 barres plates de $\frac{152}{12,5}$.

Les poutres sont espacées de 35 pieds (10^m.67) et entretoisées par 11 sablières à treillis, de 3 pieds (0,914) de hauteur, qui reposent sur les semelles supérieures et courent sur toute la longueur de la gare; ces sablières servent d'appui aux arbalétriers des fermes et supportent les chénaux. L'entretoisement est complété par 4 cours de croix de Saint-André verticales, dont les diagonales sont des poutrelles à treillis renflées au milieu.

Les fermes sont simplement formées de 2 arbalétriers, assemblés au sommet sur un large gousset.

Iron roofs. page 6. planches 7 et 8.

A. c.

IX. Poutres droites à barres rivetées.

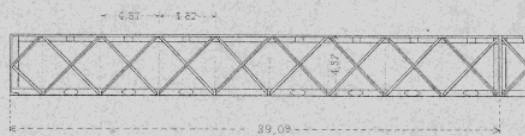
2. α. Combles à égouts, entre les poutres.

Gare de la Citadelle à Carlisle.

Ouverture 47^m09.

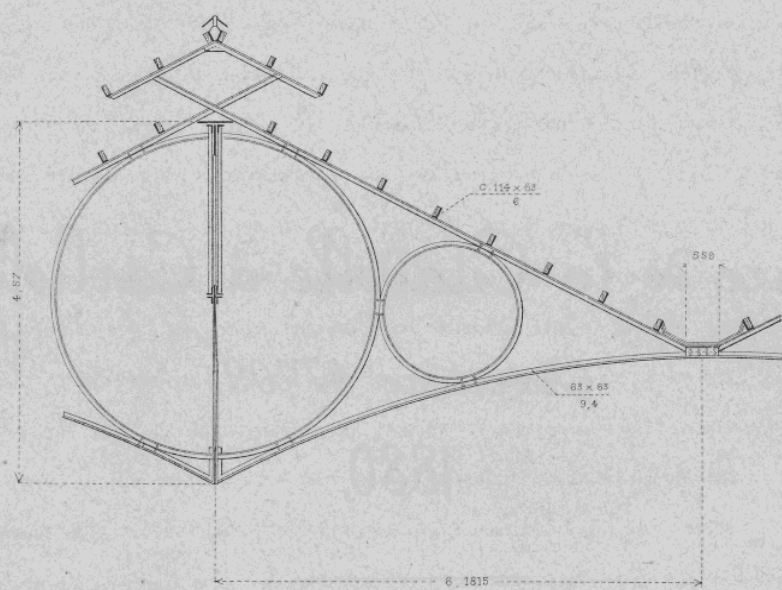
1880.

134



Elévation d'une poutre ($\frac{1}{500}$)

Coupe transversale du comble ($\frac{1}{500}$)



Coupe d'une poutre. Elévation d'une console d'entretoise ($\frac{1}{80}$)

Gare de la Citadelle à Carlisle. 1880.

| | Pieds. | Mètres. |
|---|---------|---------|
| Longueur du comble..... | 1029.5½ | 313.77 |
| Largeur de la halle..... | 279.0 | 85.04 |
| Longueur des poutres d'une travée..... | 128.3 | 39.09 |
| Longueur des poutres de l'autre travée..... | 154.6 | 47.09 |
| Hauteur des poutres..... | 15.0 | 4.57 |
| Espacement des poutres..... | 40.6¼ | 12.36 |

Le comble de la gare de la Citadelle, à Carlisle, est établi sur le type des fermes en poutres droites comme celui de la gare centrale de Glasgow; il en diffère en ce que l'on a disposé l'entretroisement des poutres pour supporter les toitures, ce qui a permis de supprimer les petites fermes hautes. L'entretroisement consiste en consoles qui se joignent bout à bout au milieu de l'intervalle qui sépare les poutres; les chéneaux sont placés sur les jonctions des consoles et courent parallèlement aux poutres, au lieu d'être placés au dessus et perpendiculairement comme à Glasgow. Les jonctions n'ont pas à offrir une grande résistance parceque les demi-travées placées, deux à deux, de chaque côté de la même poutre se font équilibre. Les poutres de tête qui ne soutiennent qu'une demi-travée sont maintenues par la charpente des masques.

Les poutres transversales sont au nombre de 26, y compris les poutres de tête, de sorte que la longueur du comble est divisée en 25 travées de 12^m36 d'ouverture. Les poutres ne franchissent pas d'une seule pièce toute la largeur de la gare, celle-ci est partagée par une file de colonnes en 2 grandes travées, de largeurs inégales et les poutres sont faites en 2 tronçons de 128 pieds 3 pouces (39^m09) et 154 pieds 6 pouces (47^m09) de longueur. Leurs abouts intérieurs sont assemblés au dessus des colonnes qui les supportent; les abouts extérieurs reposent sur les murs.

Les poutres ont 4^m57 de hauteur; elles sont composées de croisillons réunis dans le haut par une poutrelle en T formée de 2 platebandes de $\frac{457}{12,5}$ assemblées avec des cornières de $\frac{102 \times 102}{12,5}$ et dans le bas par une simple platebande verticale de mêmes dimensions. Les bracons (diagonales comprimées) sont faits avec 4 cornières de $\frac{76 \times 76}{9,4}$; les écharpes (diagonales tirées) sont faites avec 2 barres plates de $\frac{152}{15,6}$. Les montants extrêmes, au dessus des murs, ont $\frac{686}{15,6}$; les montants d'assemblage au dessus des colonnes, ont $\frac{457}{12,5}$.

Les 2 consoles qui composent chaque entretroise se composent de 2 arbalétriers et

d'un arc de cercle, reliés par des anneaux et des demi-anneaux; le tout est établi avec des cornières accouplées de $\frac{63 \times 63}{9,4}$, réunies à la jonction par des plaques de $\frac{560 \times 127}{9,4}$. L'espacement des consoles est de $4^m 57$.

Il y a 8 cours de pannes sur chaque arbalétrier; comme elles ont à franchir l'intervalle de $4^m 57$ entre les consoles, on les a établies avec des cornières de $\frac{114 \times 63}{6}$, sur lesquels sont fixés des chevrons de $\frac{127}{57}$. Les prolongements des arbalétriers, au dessus des poutres, supportent un petit lanterneau de ventilation.

La couverture est entièrement vitrée.

Fron roofs page 7, planches 9 et 10.

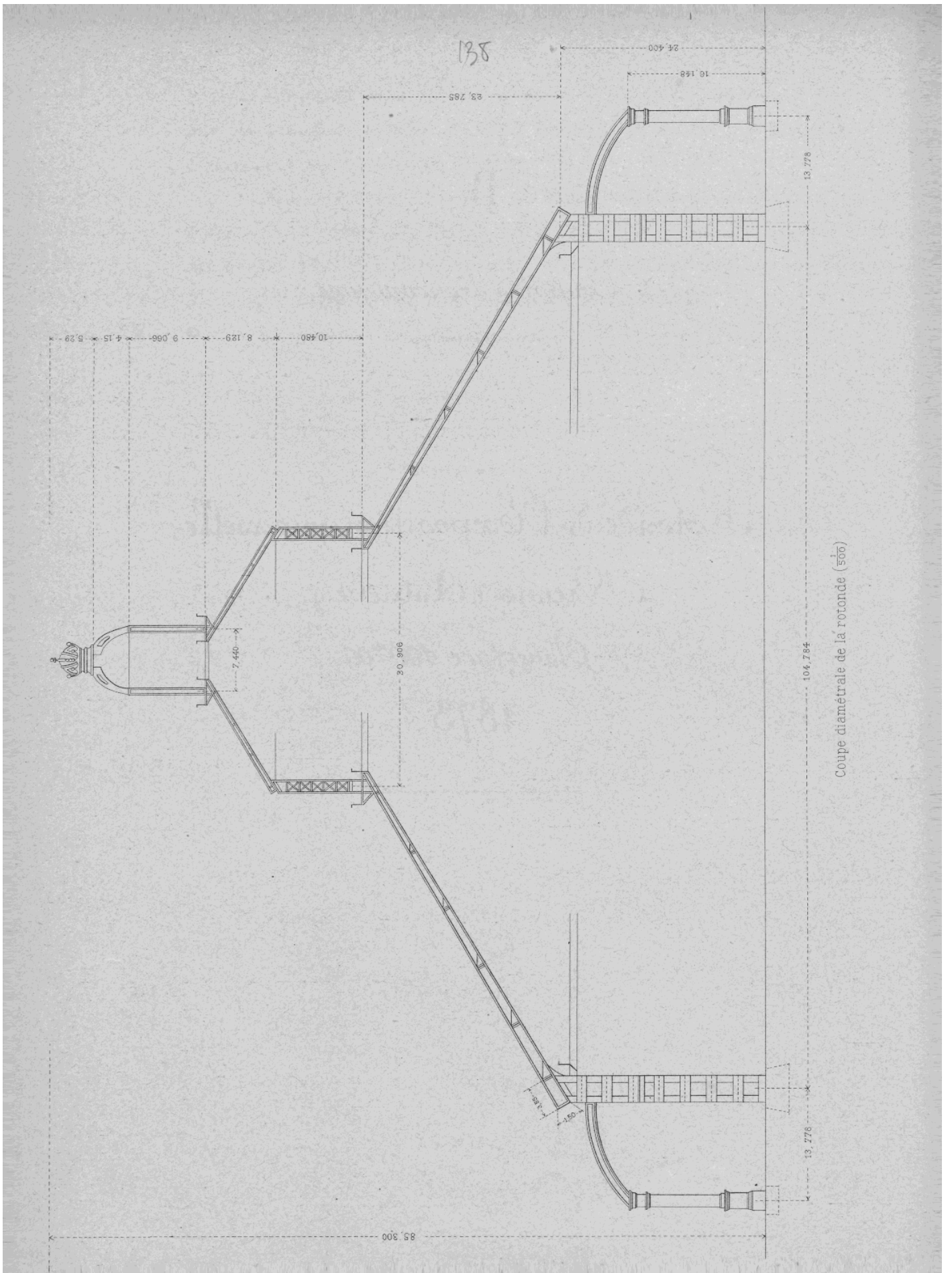
B.

X. Coupôles tronconiques.

*Rotonde de l'Exposition universelle
à Vienne (Autriche).*

Ouverture 100^m.00.

1873.



et de 18^{mm} pour les montants verticaux ; l'espacement des rivets est de 160^{mm}. Les 30 piliers sont reliés intérieurement par une ceinture circulaire placée à 23 mètres du sol et formant balcon. Ils sont revêtus de maçonnerie.

La lanterne est construite d'une façon identique ; mais il n'y a que deux cours de pannes circulaires et la couverture est fixée sur la semelle supérieure des arbalétriers et des pannes, de sorte que le relief de la charpente est à l'intérieur. Le dôme de cette lanterne est porté par 10 piliers principaux en forme de **I** à larges ailes, de 1^m.524 sur 0^m.610 et par 20 piliers intermédiaires en **I** de section moindre ; l'âme de tous ces piliers est en treillis.

10 petits piliers en **I** supportent le lanternon dont la couverture est hémisphérique ; les piliers sont portés par une plateforme circulaire formant également double balcon.

Collection de dessins déposés à la Bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées.

140

Ronde de l'Exposition universelle à Vienne (Autriche). 1873.

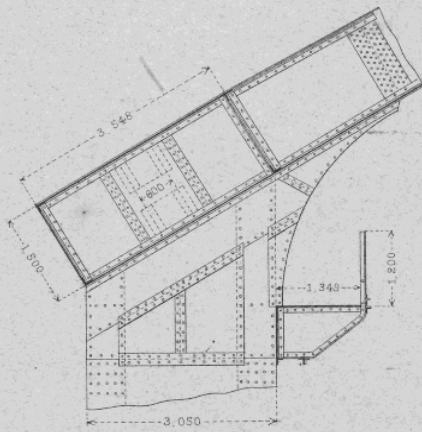
| | Mètres. |
|---|---------|
| Diamètre intérieur de la rotonde | 100. 00 |
| Hauteur du sol au pied de la lanterne | 48. 19 |
| Diamètre intérieur de la lanterne | 30. 00 |
| Hauteur totale au sommet de la couronne | 85. 30 |

La rotonde de l'exposition de Vienne est couverte par un dôme tronconique de 100 mètres d'ouverture, surmonté d'une lanterne de 30 mètres de diamètre intérieur et d'un lanternon de 7 mètres. L'ossature du dôme est composée de 30 arbalétriers, reliés : au pied, par un caisson annulaire; sur la longueur par cinq cours de pannes circulaires concentriques et au sommet par un anneau vertical. À l'intérieur de cette ossature et par conséquent sous les arbalétriers est fixé un plafond en tôle, de façon que l'ensemble de la couverture forme un immense tronc de cône très rigide qui n'exerce aucune poussée sur les 30 piliers tubulaires qui le soutiennent. Le plafond sert en même temps de couverture et les caissons formés par la charpente du dôme sont creux vers l'extérieur.

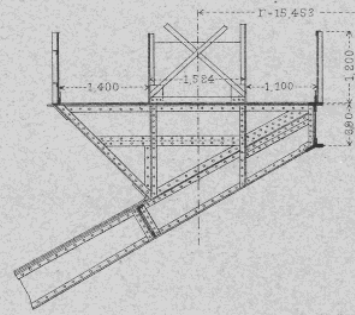
Les arbalétriers ont la forme d'un I de dimensions décroissantes; l'âme verticale est en tôle de 13^{mm}; la semelle supérieure, en tôle de 10^{mm}; les cornières ont $\frac{100 \times 100}{13}$. Au pied de l'arbalétrier la hauteur de l'âme est de 1^m.50 et la largeur de la semelle de 0,60; au sommet ces dimensions sont réduites à 0,60 et 0,40. La semelle inférieure est faite avec une bande de tôle d'une largeur uniforme de 0,90 sur laquelle sont rivées les tôles du plafond.

Le caisson qui relie les pieds des arbalétriers à la section d'un rectangle de 3^m.55 sur 1^m.50. Les quatre premières pannes circulaires ont la forme d'un I dont l'âme a 12,5^{mm} d'épaisseur; la semelle supérieure 10^{mm}, et la semelle inférieure 13^{mm}; les cornières ont $\frac{100 \times 100}{13}$ pour la première et $\frac{80 \times 80}{10}$ pour les trois autres. La panne 5 est en forme de L; les épaisseurs de l'âme et des semelles sont également de 12,5, 10 et 13^{mm}; les cornières ont $\frac{100 \times 100}{13}$. L'anneau supérieur a la forme d'un I à âme verticale, il est en outre relié avec la plateforme, de 4 mètres de largeur, qui supporte les piliers de la lanterne et qui constitue un double balcon, intérieur et extérieur; cette plateforme est de plus soutenue par 30 consoles fixées sur les arbalétriers.

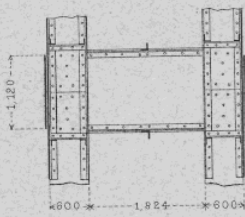
Les piliers de la rotonde sont de forme rectangulaire, de 3^m.076 sur 1^m.240. Ils sont établis avec des tôles de 13^{mm} d'épaisseur et des cornières de $\frac{100 \times 100}{13}$ assemblées à l'aide de rivets de 26^{mm} de diamètre pour les traverses horizontales et les contreventements,



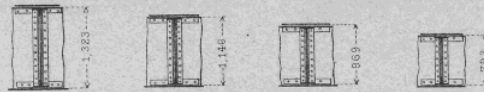
Coupe V¹^e au pied des arbalétriers : Sommet des piliers et ceinture intérieure formant balcon.



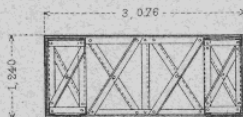
Coupe verticale au sommet des arbalétriers
5^{me} panne circulaire, anneau supérieur et plateforme de la grande lanterne



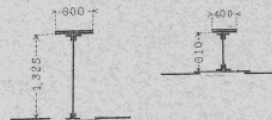
Coupe V¹^e d'un tronçon de pilier



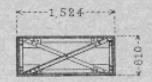
Coupes transversales des 4 premières pannes circulaires



Coupe hor¹^e d'un pilier



Coupes tr¹^{es} d'un arbalétrier
Assemblage des tôles du plafond



Coupe hor¹^e d'un pilier de la grande lanterne

Echelle des figures de détail (1/100)

142

B.

XI.. *Coupoles sphériques.*

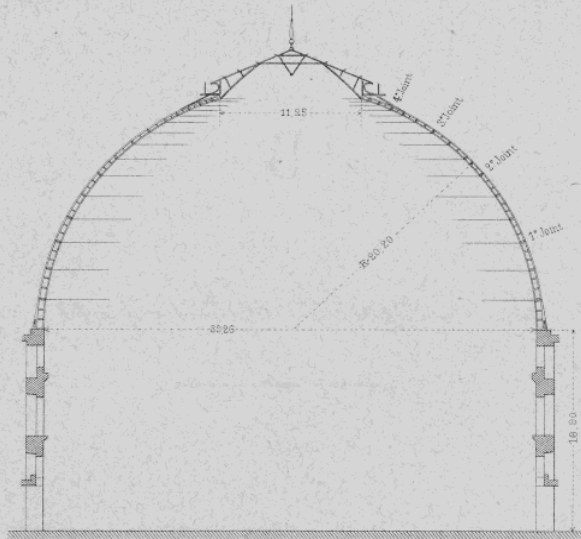
Bourse du Commerce à Paris.

Ancienne halle aux blés.

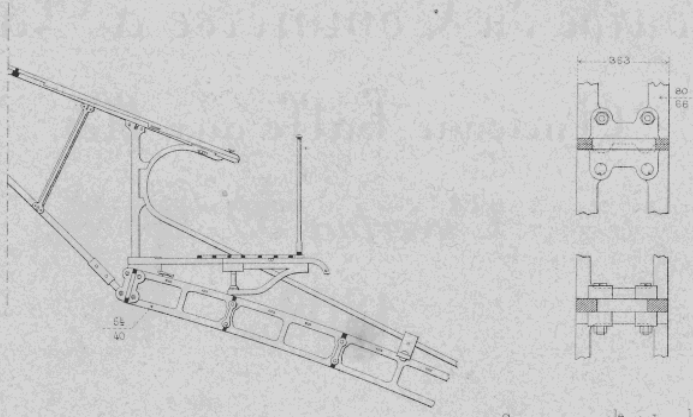
Ouverture 39^m 26.

1809.

144

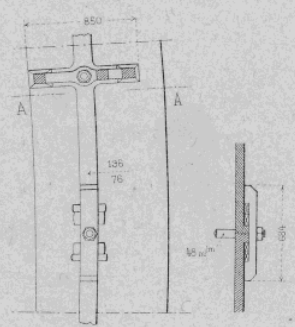


Coupe transversale du Dôme ($\frac{1}{500}$)

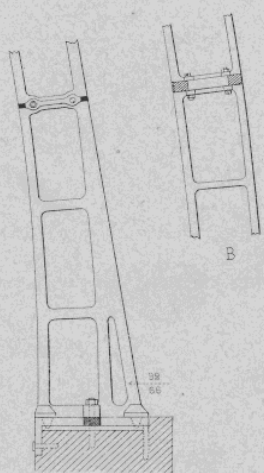


Détail du lanterneau ($\frac{1}{50}$)

Coupes vert^{le} et hor^{le} de l'assemblage au 2^e joint ($\frac{1}{25}$)



Plan de la sablière et coupe sur l'axe de l'assemblage des segments ($\frac{1}{50}$)



(AA) : Élévation du pied d'un arc

(B) : Assemblage sur l'arc des pannes-circulaires ($\frac{1}{50}$)

Bourse du Commerce (Ancienne halle aux blés) à Paris. 1809.

| | Mètres. |
|--|---------|
| Ouverture de la coupole | 39. 26 |
| Hauteur du sol au sommet du lanterneau | 40. 00 |
| Espacement des arbalétriers à la base | 2. 42 |

L'ancienne rotonde de la Halle aux blés, qui sert aujourd'hui de hall à la Bourse du Commerce, est recouverte par une coupole hémisphérique dont l'ossature en fonte a été coulée en 1809 par le Creusot. Cette ossature se compose de 51 arbalétriers, en arc de cercle, espacés de 2^m 42 et assemblés au pied sur une sablière annulaire de $\frac{136}{76}$; à la partie supérieure ces arcs s'appuient sur un cercle en fer forgé de 11^m 25 de diamètre qui sert de base au lanterneau. Ils sont divisés sur la hauteur en 5 tronçons de longueurs inégales; cette division a pour but de faire coïncider les assemblages des pannes avec ceux des tronçons. Les pannes, circulaires concentriques, sont elles mêmes au nombre de 15 et leur espacement diminue progressivement de la base au sommet; proportionnellement à la convergence des arbalétriers, dans le but de régulariser les dimensions des caissons formés par l'ossature à l'intérieur de la coupole.

L'ancienne couverture était en feuilles de cuivre, de 6 à 8 dixièmes de millimètre d'épaisseur, portées par un treillis en barres de fer de $\frac{13}{13}$ mm agrafées sur les pièces en fonte.

L'éclairage se faisait par le lanterneau et par des baies vitrées, comprises entre la 3^e et la 5^e panne, laissant vide un intervalle de ferme sur trois. Dans la disposition actuelle les fermes sont entièrement cachées sur 14 mètres de hauteur, jusqu'à la 7^e panne, par un hourdis en briques creuses de 0,11, qui ont reçu un plafond décoré; la partie supérieure est entièrement vitrée, comme le lanterneau. Lors du remplissage en briques, l'ancienne couverture a été enlevée jusqu'à la première panne; le surplus, quoique non utilisé, est resté en place et caché par la nouvelle couverture en ardoises.

On a trouvé l'une des pannes du premier rang brisée à l'intérieur et la cassure présentait un intervalle de 5 millimètres; on peut en conclure que les arbalétriers ne sont pas assez rigides et que les pannes inférieures sont très tendues.

B

XI. Coupôles sphériques.

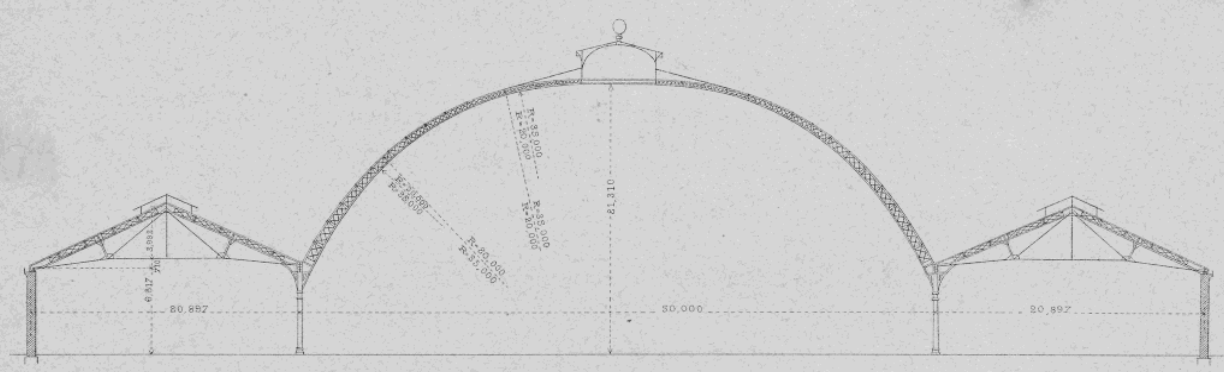
*Coupole de 50 mètres
des rotondes pour 54 machines.*

P. L. M.

Ouverture 50^m00.

1884.

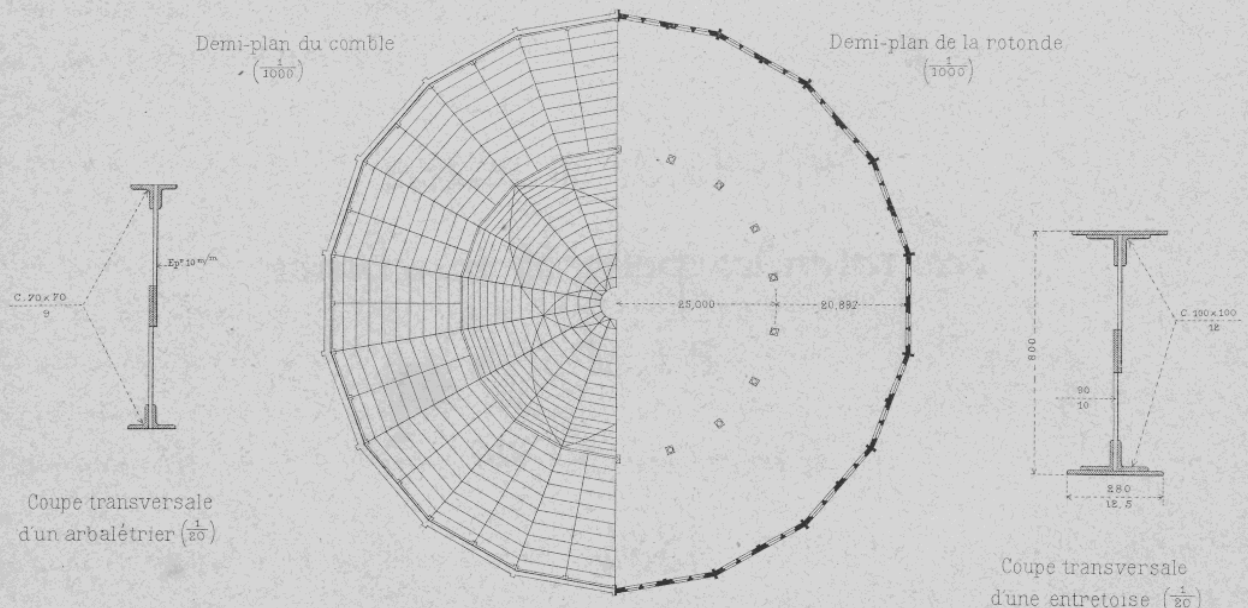
148



Coupe transversale de la rotonde ($\frac{1}{300}$)

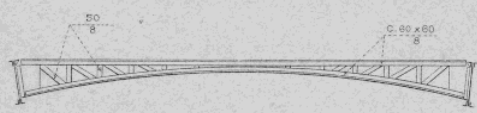
Demi-plan du comble ($\frac{1}{1000}$)

Demi-plan de la rotonde ($\frac{1}{1000}$)

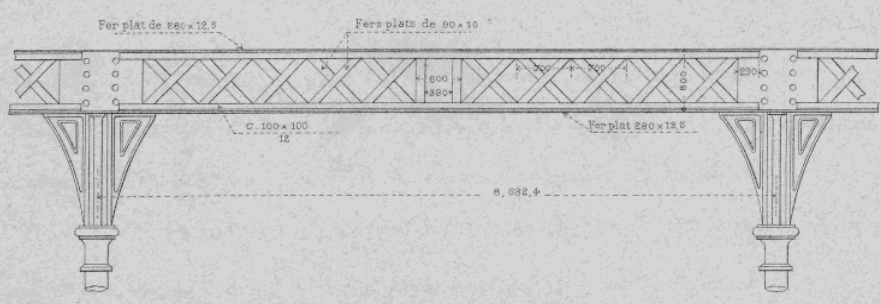


Coupe transversale d'un arbalétrier ($\frac{1}{20}$)

Coupe transversale d'une entretoise ($\frac{1}{20}$)



Elévation d'une panne ($\frac{1}{20}$)



Elévation d'une entretoise reliant les colonnes ($\frac{1}{30}$)

Ronde pour 54 machines-locomotives P.L.M. 1884.

| | Mètres. |
|--|---------|
| Ouverture de la coupole..... | 50.00 |
| Hauteur du sol au sommet du lanterneau..... | 24.96 |
| Espacement des arbalétriers aux retombées..... | 8.68 |

La ronde se compose d'une coupole centrale, de 50 mètres de diamètre, soutenue par 36 colonnes en fonte et d'une galerie annulaire, de 20 mètres de largeur, dont les fermes sont supportées: à l'extérieur par un mur polygonal, et à l'intérieur par les mêmes colonnes que la coupole. Ces colonnes sont reliées par des entretoises en treillis de 80 centimètres de hauteur, réunies au sommet des colonnes, à l'aide d'une platebande en fer, de 1^m,567 de longueur sur 0^m,775 de hauteur, de façon que l'ensemble forme une ceinture continue capable de résister à la poussée des fermes de la coupole.

Les fermes de la coupole, tracées suivant une courbe à cinq centres, sont composées de 2 arbalétriers en forme de I formés de 2 couples de cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$, reliés par un treillis en barres de $\frac{80}{10}$ mm. La hauteur est de 0^m,80 à la retombée et de 0^m,30 au sommet. Chaque arbalétrier repose sur une console venue de fonte avec la colonne et s'appuie verticalement sur un sommier en fonte boulonné au gousset des entretoises. Le pied de l'arbalétrier est boulonné sur la console et sur le sommier. À la partie supérieure, les arbalétriers s'appuient sur une couronne de 6 mètres de diamètre, composée d'un fer plat de $\frac{320}{10}$ mm, bordé par 2 cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$; cette couronne supporte en même temps le lanterneau.

Les fermes sont entretoisées par 14 cours de pannes à croisillons; elles sont de plus contreventées par 6 cours de barres de $\frac{100}{10}$ mm, disposées en spirale et fixées par des goussets en regard des pannes N^{os} 2, 3, 4, 5, 7, 10 et à la partie inférieure des fermes.

Les fermes de la galerie annulaire sont du type Polonceau, avec armature rivetée, à une contrefiche.

La couverture de la coupole est en ardoises, supportées par deux rangs de voliges clouées transversalement les unes sur les autres; la galerie annulaire est couverte en tuiles posées sur voliges.

Le poids de la charpente en fer de la ronde est de 301 800 kilogrammes, dont 89 200 pour la coupole et 24 000 pour les entretoises des colonnes.

Collection de dessins distribués aux élèves. Série 4. Section E. Planches 13 et 14 Tome III. page 450.

Revue générale des Chemins de fer (Janvier et Septembre 1885).

150

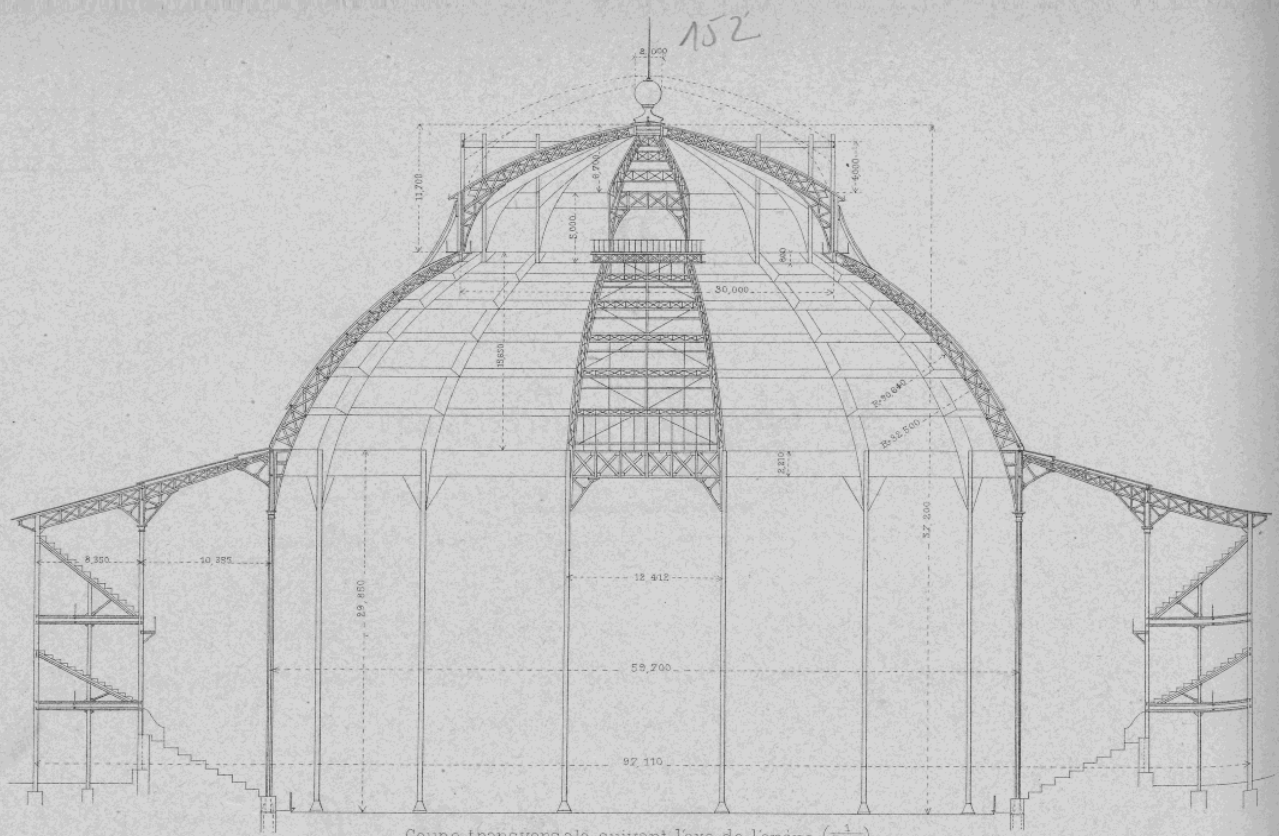
B.

XI. Coupôles sphériques.

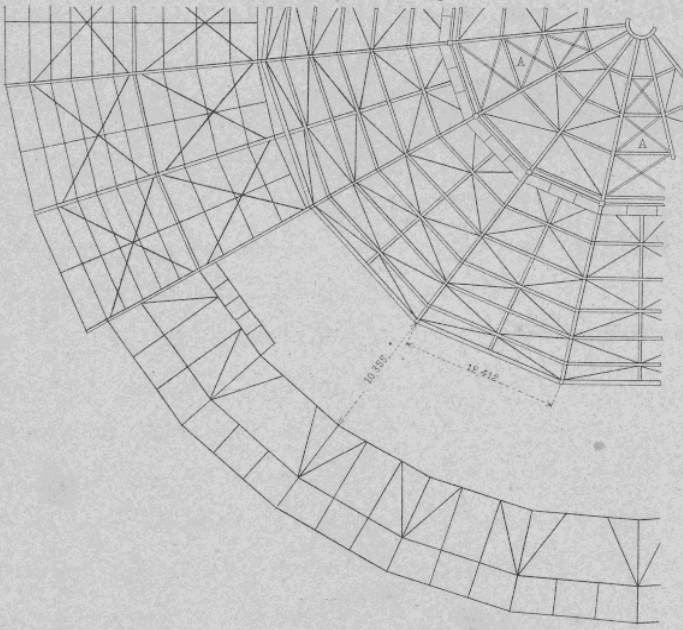
Arène du Bois de Boulogne.

Ouverture 59^m.70.

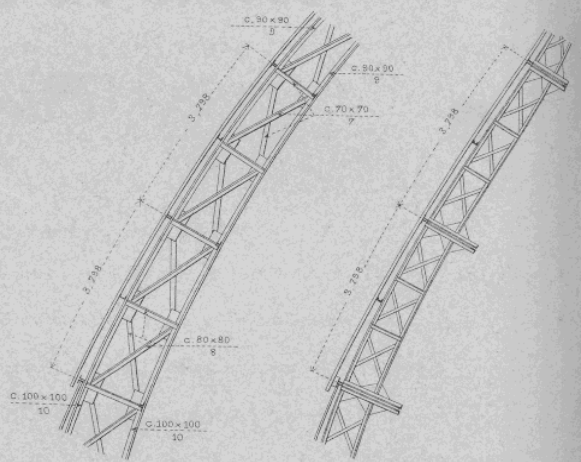
1890.



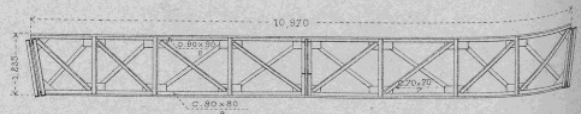
Coupe transversale suivant axe de la lanterne (1/500)



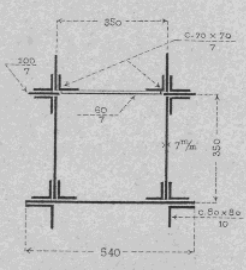
Plan partiel à diverses hauteurs (1/500)



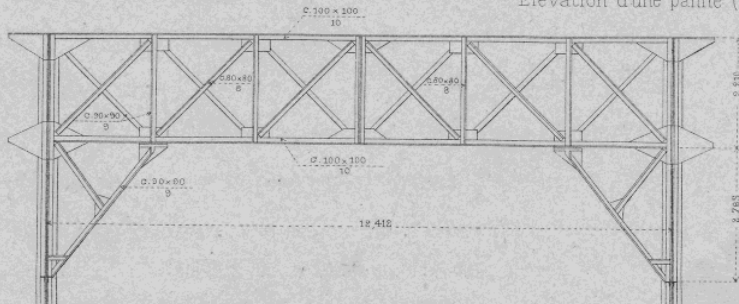
Élévation d'un tronçon d'un arbalétrier et d'un chevron (1/135)



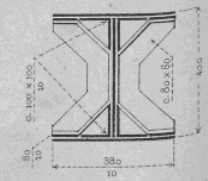
Élévation d'une panne (N° 2) de la coupole (1/125)



Coupe h^{le} d'un poteau de lanterne (1/20)



Élévation de la sablière entre les poteaux (1/125)



Coupe h^{le} d'un poteau de Coupole (1/20)

153
Arène du Bois de Boulogne, à Paris.
1890.

| | Mètres. |
|--|---------|
| Diamètre de la coupole..... | 59. 70 |
| Hauteur du sol à la naissance de la coupole..... | 29. 85 |
| Diamètre de la lanterne..... | 30. 00 |
| Hauteur du sol au pied de la lanterne..... | 45. 50 |

L'arène du Bois de Boulogne (Gran plaza de toros) a été construite en 1889 pour donner des représentations à ciel ouvert; elle était formée d'une galerie circulaire, de 97^m.110 de diamètre extérieur et de 18^m.705 de largeur, couverte par une marquise. Afin de pouvoir l'utiliser en toute saison, on a couvert, en 1890, la partie centrale à l'aide d'une coupole sphérique de 59^m.70 de diamètre, percée au sommet d'une ouverture de 30 mètres de diamètre. Cette ouverture est surmontée d'une lanterne dont les parois verticales ont 5 mètres de hauteur et qui est fermée par une calotte qui un dispositif à eau comprimée permet de soulever de 4 mètres pour assurer la ventilation.

La toiture de la galerie est portée par le mur d'enceinte et par des poteaux placés à l'intérieur. Le mur présente la forme d'un polygone de 30 côtés, constitué par 30 poteaux que relie quatre cours de traverses formant ceintures; deux de ces ceintures supportent les planchers et les deux autres soutiennent les limons des gradins d'amphithéâtre. Deux montants verticaux, intercalés entre les poteaux, complètent ces pans de fer dont le remplissage est en briques. Les poteaux ont la forme de I, formé d'une âme de $\frac{350}{9}$ et de deux semelles de $\frac{300}{10}$ assemblées avec 4 cornières de $\frac{30 \times 30}{9}$; ils sont munis au pied de patins de 60 x 70 fixés sur le mur de fondation par des boulons à scellement. Les traverses sont également en I; celles des planchers ont une âme de $\frac{500}{6}$ et 4 cornières de $\frac{70 \times 70}{8}$; celles des limons ont une âme de $\frac{600}{8}$ et 4 cornières de $\frac{120 \times 80}{11}$. Les poteaux intérieurs sont placés à 8^m.35 des précédents et ont la même section; ils sont reliés par deux cours de traverses portant à la fois les planchers et les extrémités inférieures des limons. Ce sont des I à âme pleine de $\frac{600}{7}$ avec 4 cornières de $\frac{100 \times 70}{9}$. Les poutres transversales, entre les deux rangs de colonnes ont $\frac{500}{6}$ avec cornières de $\frac{70 \times 70}{8}$; les limons des gradins ont $\frac{330}{8}$ avec cornières de $\frac{30 \times 30}{8}$; ils sont consolidés par deux étais qui reportent la charge sur les poutres. Les têtes des poteaux extérieurs sont en outre reliées par deux cours de cornières; celles des poteaux intérieurs, par des traverses à croisillons formant sablière, de 1^m.20 de hauteur. Les arbalétriers sont rectilignes et à treillis; ils ont une hauteur de 1^m.20, réduite à 0^m.35 à l'extrémité de la marquise. Tous les assemblages sont renforcés par des consoles qui assurent, avec les diagonales d'entretoisement, une rigidité suffisante à cette construction annulaire qui entoure la coupole.

La coupole est portée par 15 poteaux de 29^m.85 de hauteur, espacés de 12^m.412; ils ont

la forme de **I** composés d'une âme et de 2 semelles de $\frac{380}{10}$ assemblées avec des cornières de $\frac{100 \times 100}{10}$; les bords des semelles sont doublés par des platebandes de $\frac{80}{10}$, et l'ensemble est raidi par des nervures horizontales en cornières de $\frac{80 \times 80}{5}$. Les patins ont 1 mètre de côté sur 15^m d'épaisseur et sont ancrés sur le mur de fondation par 4 boulons de scellement de 40^m de diamètre et de 1^m.50 de longueur. Les têtes sont reliées par une sablière polygonale à treillis de 2^m.21 de hauteur; les assemblages sont consolidés par des consoles de 2^m.765 de hauteur. Chaque tête est de plus solidement assemblée avec l'extrémité de l'arbalétrier correspondant de la galerie. Les arbalétriers sont des poutres courbes, en **I** à croisillons, de 1^m.40 de hauteur à la base et de 0^m.83 au sommet; le rayon de courbure est de 32^m.50 pour l'extrados et de 30^m.64 pour l'intrados; les semelles ont $\frac{100 \times 100}{12}$ à la base, $\frac{100 \times 100}{10}$ au milieu et $\frac{90 \times 90}{9}$ au sommet; les montants et les diagonales varient de $\frac{80 \times 80}{3}$ à $\frac{70 \times 70}{7}$. Au pied les arbalétriers s'appuient sur les poteaux et sont prolongés par une console de 4^m.975 de hauteur fixée sur la face intérieure du poteau; au sommet ils sont assemblés sur une ceinture en **Γ** dont l'aile verticale est une poutrelle à treillis de 0^m.80 de hauteur et l'aile horizontale, un plancher en tôle striée de 0^m.90 fixés sur des consoles. Ce plancher, muni d'un garde-corps, forme balcon intérieur. Entre les arbalétriers règnent 6 cours de pannes à treillis, qui sont elles-mêmes reliées, dans l'axe de chaque secteur, par une suite d'entretoises dont l'ensemble constitue un chevron de même courbure que l'arbalétrier, mais moitié moins épais.

Sur la ceinture supérieure sont fixés 15 poteaux de 10^m.789 de hauteur, en forme de **U** dont les parois en tôle de $\frac{350}{7}$ sont assemblées par 6 cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$. Les presses hydrauliques destinées à soulever la calotte de la lanterne seront logées dans la partie inférieure de ces poteaux, la partie supérieure servant de guide; aussi les a-t-on rattachés aux arbalétriers de la coupole par des arcs-boutants. Les poteaux sont reliés par 2 cours d'entretoises formant ceintures, l'un à 5 mètres de hauteur et l'autre au sommet; au dessous de la première ceinture règne une paroi verticale formée par des lames de persiennes en fer, mobiles à axe horizontal.

La calotte mobile se compose de 15 arbalétriers courbes, à treillis, de 1^m.50 de hauteur à la base et de 0^m.630 au sommet, avec un rayon de 40 mètres à l'intrados et à l'extrados; les semelles sont en cornières de $\frac{90 \times 90}{9}$; les montants ont $\frac{80 \times 80}{8}$ et les diagonales $\frac{70 \times 70}{7}$; au sommet les arbalétriers sont assemblés sur un anneau de 2 mètres de diamètre et de 0^m.66 de hauteur; cet anneau est formé d'une âme de 10^m d'épaisseur bordée par 4 cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$. A la retombée les arbalétriers sont reliés par une ceinture de traverses à croisillons de 1^m.30 de hauteur et prolongés chacun par une console de 3^m.80 de saillie et de 4^m.98 de hauteur, dont la partie verticale est pourvue de galets qui roulent dans les poteaux guides.

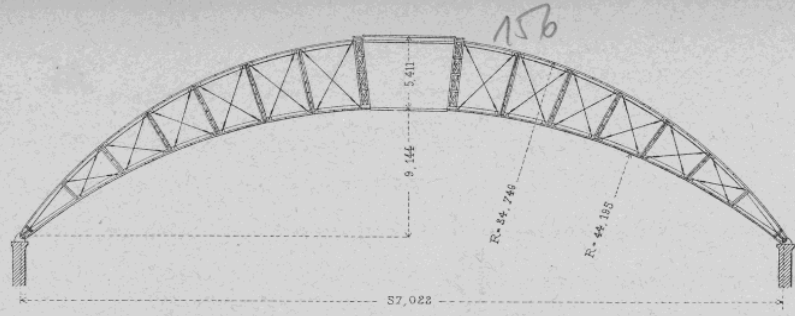
Les 15 presses hydrauliques sont reliées à un accumulateur dont le piston est maintenu en haut de sa course par le poids de la calotte; il suffit, pour soulever celle-ci, d'introduire dans la caisse de charge de ce piston un lest d'eau supplémentaire qui force le piston à descendre. Le mouvement de la calotte est utilisé pour ouvrir ou fermer: 1^o les jalousies des parois verticales de la lanterne; 2^o cinq des secteurs de la calotte dont les panneaux sont montés sur des galets et glissent horizontalement comme les branches d'un éventail. (AA sur le plan).

Documents fournis par M.M. Moisant, Laurent et Savy, Constructeurs.

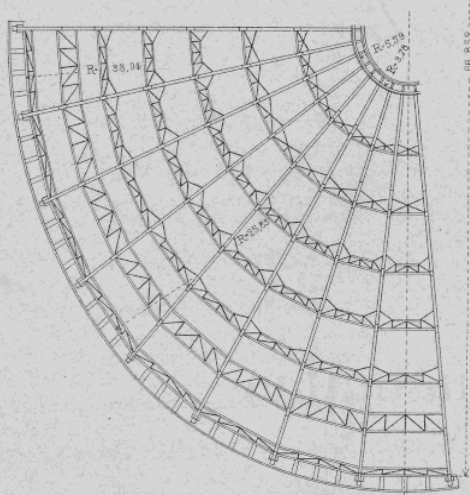
B.

XII. Coupoles ellipsoïdales.

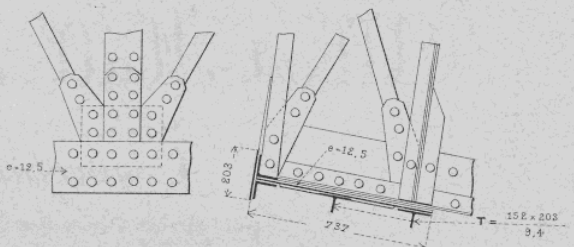
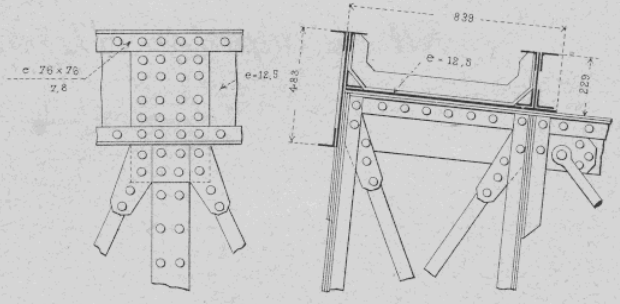
*Albert Hall. Kensington.**Ouvertures :**Grand axe..... 66^m 85.**Petit axe..... 56^m 49.**1867 - 1871.*



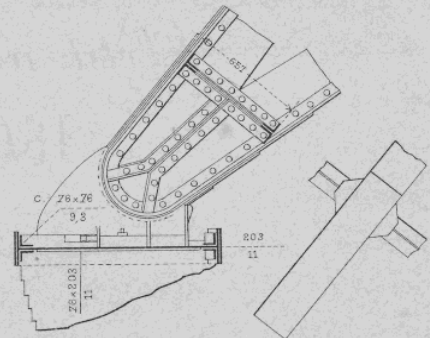
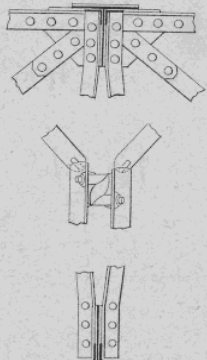
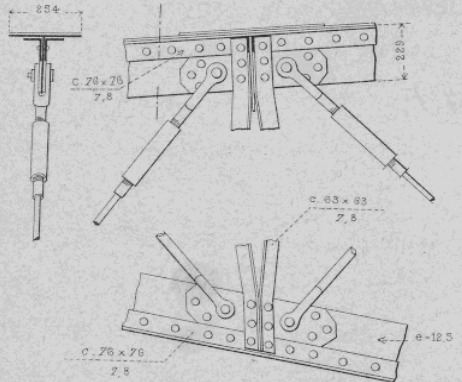
Coupe du comble sur le petit axe de l'ellipse ($\frac{1}{500}$)



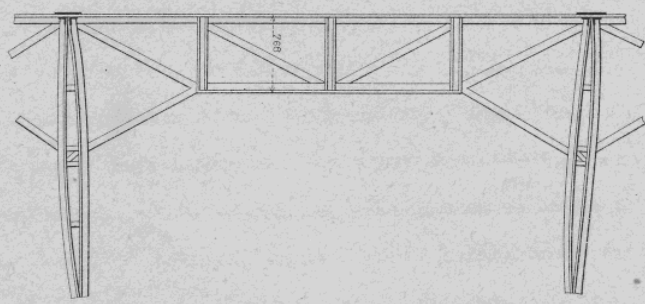
Plan d'un quart du comble ($\frac{1}{500}$)



Elevation et coupes des anneaux d'assemblage au sommet ($\frac{1}{25}$)



Détails des assemblages des bielles et des diagonales sur les arcs ($\frac{1}{25}$) Coupe de la sablière. Sabots d'appui des retombées ($\frac{1}{40}$)




Elevation d'une panne intermédiaire


157
Albert Hall. Kensington.
1867-1871.




| | Pieds. | Mètres. |
|--|--------|---------|
| Ouverture des fermes sur le grand axe..... | 219. 4 | 66. 85 |
| Ouverture des fermes sur le petit axe..... | 185. 4 | 56. 49 |
| Hauteur libre au centre..... | 153. 0 | 46. 63 |

Le dôme qui couvre l'Albert Hall est de forme à peu près ellipsoïdale, il est composé de 30 demi-fermes en arc de cercle dont les retombées s'appuient sur une sablière elliptique posée sur le mur d'enceinte de l'édifice et dont les semelles sont reliées au sommet par deux anneaux de même forme.

La sablière est formée par une poutre annulaire en , couchée horizontalement sur le mur à 120 pieds (36^m575) au-dessus du sol; cette poutre se compose d'une âme de 1^m117 sur 11^m d'épaisseur; de 2 semelles de $\frac{203}{11}$ assemblées avec des cornières de $\frac{76 \times 76}{9,4}$. Sur cette sablière sont clavetés 30 sabots en fonte, avec encastrement évidé en arc de cercle pour recevoir les retombées des arcs.

Chaque demi-ferme présente en élévation la forme d'une moitié de croissant dont la corde seule varie de longueur tandis que la flèche et la hauteur restent invariables. La flèche est de 30 pieds (9^m144) et la hauteur de 17 pieds 9 pouces (5^m41). Cette demi-ferme est formée de 2 arcs de cercle reliés par 6 bielles et un montant (ce dernier près du sommet), qui la divisent en 7 panneaux, dont 6 sont entretoisés par des diagonales croisées, munies de tendeurs.

Les arcs de cercle ont la forme de , dont l'âme, de 0,229 de hauteur, est assemblée avec une semelle de 0,254 de largeur à l'aide de 2 cornières de $\frac{76 \times 76}{8}$. Les bielles sont renflées au milieu et faites avec 4 cornières de $\frac{63 \times 63}{8}$, dont l'écartement est maintenu par de petites entretoises en fonte. Le montant extrême est formé de 2 cornières verticales accouplées et reliées par des croisillons en fer plat.

Les anneaux elliptiques sur lesquels sont assemblés les abouts des demi-fermes sont constitués par 2 poutres horizontales en forme de , l'une de $\frac{0,839}{0,483}$, l'autre de $\frac{737}{203}$, dont les âmes sont rivées sur les semelles des arcs. Ces poutres sont renforcées, celle du haut par une petite poutre en  de 0,229 de hauteur; celle du bas par 2 fers à  de $\frac{152 \times 203}{9,4}$; les âmes ont 12^m5 d'épaisseur et les cornières $\frac{76 \times 76}{8}$. Entre ces anneaux, les abouts des fermes sont entretoisés verticalement par des croisillons en fer plat.

Les demi-fermes sont toutes établies sur un même type; seulement leurs semelles sont doublées, à partir des extrémités, sur des longueurs proportionnées aux augmentations d'ouverture.

Les demi-fermes sont en outre reliées par 7 cours de pannes, formant autant d'anneaux elliptiques, concentriques aux précédents. Les 2 premières pannes, à partir des retombées, sont des poutres à semelles parallèles, de 0,657 et 1^m524 de hauteur, avec montants et écharpes. Les autres n'ont que 0,762 de hauteur au centre; mais la semelle inférieure est brisée de façon à reporter les points d'attache sur les entretoises du milieu des bielles correspondantes.

Iron Roofs. pages 28 et 70. Planches 59-60.

158

159

Ministère
des
Travaux publics.

4^o Le 228
Ecole Nationale
des
Ponts et Chaussées.

Documents
sur les fermes métalliques
à grande ouverture.

Fascicule supplémentaire.
1893.



160



A. a.

III. — Arbalétriers rectilignes
soutenus par un treillis articulé à grandes mailles
avec semelle basse courbe ou polygonale.

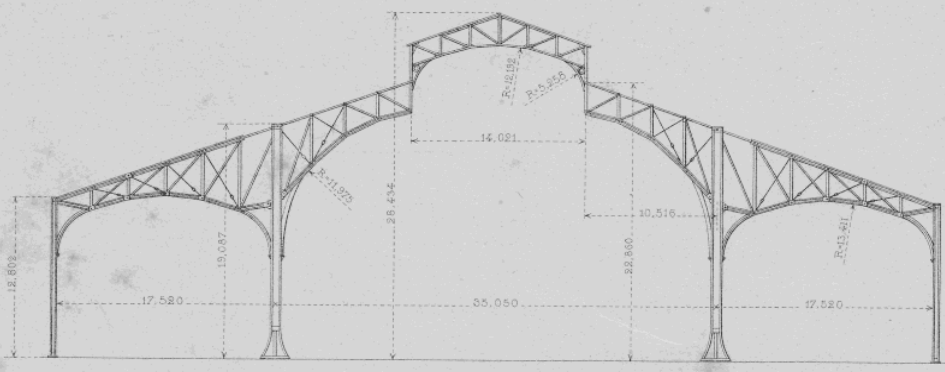
(Terme coupée de façon que la lanterne est portée
par deux encorbellements équilibrés (Cantilever)).



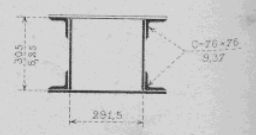
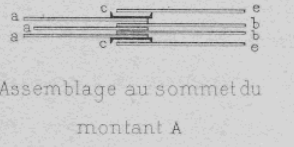
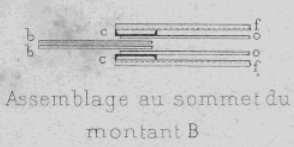
Palais des Mines
à l'exposition de Chicago.

Ouverture 35^m,05.

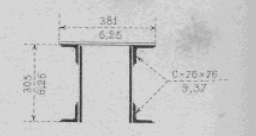
1891.



Elevation d'une ferme (1/500)

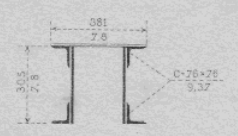
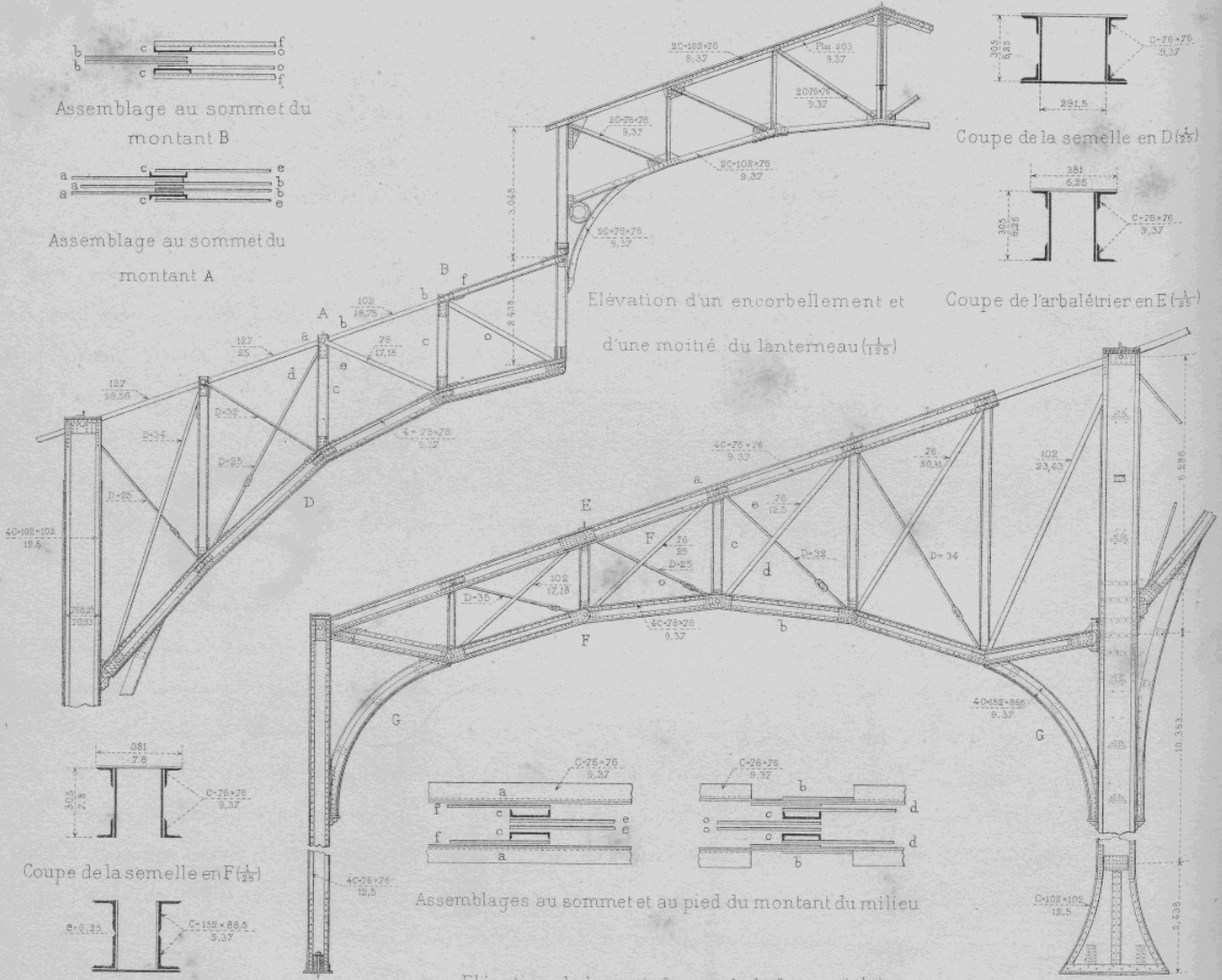


Coupe de la semelle en D (1/25)



Coupe de l'arbalétrier en E (1/25)

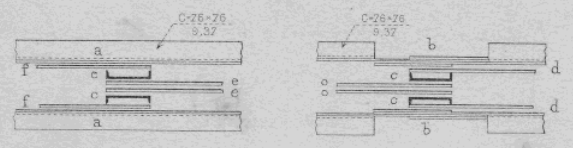
Elevation d'un encorbellement et d'une moitié du lanterneau (1/125)



Coupe de la semelle en F (1/25)

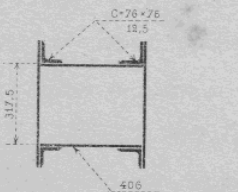


Coupe des consoles en C (1/25)

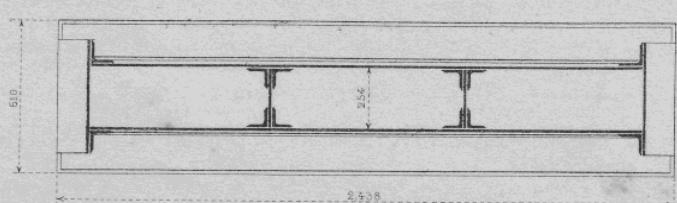


Assemblages au sommet et au pied du montant du milieu

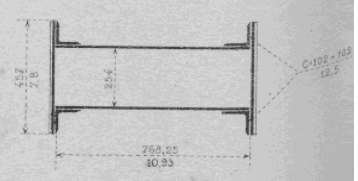
Elevation de la partie basse de la ferme (1/125)



Coupe du pilier extérieur (1/25)



Coupe horizontale au pied du pilier intérieur (1/25)



Coupe du pilier intérieur (1/25)

Palais des Mines à l'Exposition de Chicago. 1891.

| | Pieds. | Mètres. |
|---|--------------------|---------|
| Longueur de la nef..... | 580.0 | 176,79 |
| Largeur de la nef..... | 230.0 | 70,10 |
| Ouverture des fermes (d'axe en axe des colonnes)..... | 115.0 | 35,05 |
| Hauteur libre au centre..... | 85.0 | 25,90 |
| Espacement des fermes..... | 64.5 $\frac{1}{4}$ | 19,643 |

Le palais des mines a 700 pieds (213^m,36) de longueur sur 350 pieds (106^m,68) de largeur; il se compose d'une nef rectangulaire de 580 pieds (176^m,79) sur 230 (70^m,10) entourée d'une galerie de 60 pieds (18^m,29) de largeur.

Le comble de la nef est porté par des fermes composées d'arbalétriers rectilignes avec semelles basses courbes; toutefois ces fermes présentent une disposition originale; les arbalétriers sont écartés au sommet de toute la largeur du lanterneau, de sorte que ce dernier, au lieu d'être posé sur le faite du comble, est intercalé entre les extrémités des arbalétriers. Les demi-fermes sont portées par deux files de colonnes qui divisent la nef en trois travées longitudinales; une travée centrale de largeur égale à la moitié de la nef et deux travées latérales égales, chacune, au quart de la nef. Les portions de ferme qui se trouvent en encorbellement au dessus de la travée centrale et qui soutiennent, chacune, une moitié du lanterneau, sont équilibrées par les portions complémentaires prolongées au dessus des travées latérales. Cette disposition est une application aux fermes de comble du système des encorbellements équilibrés (Cantilever) dont le pont du Forth est le plus remarquable exemple.

L'ossature métallique est entièrement en acier. Les piliers de la nef ont 62 pieds 7 pouces $\frac{1}{2}$ (19^m,088) de hauteur; la section est en forme de caisson méplat à parois pleines; la partie inférieure est évasée et terminée par un patin de 8 pieds (2^m,438) sur 2 (0^m,610) boulonné sur la fondation. (A Chicago la nature du sol aurait exigé des fondations très coûteuses; comme tous les bâtiments doivent disparaître après la clôture de l'Exposition, on s'est contenté d'asseoir chaque construction sur des plateformes en bois couchées dans le sable et disposées de façon que la pression sous les points d'appui ne dépasse jamais 2 tonnes par pied carré (2^t,18 par centimètre carré). Les piliers qui règnent sur le pourtour de la nef et auxquels sont reliées les extrémités des fermes, ont 42 pieds (12^m,80) de hauteur; leur section est en caisson à parois pleines de $\frac{381}{16}$ et $\frac{470}{12,5}$ assemblées par des cornières de $\frac{76 \times 76}{12,5}$.

Chaque demi-ferme est composée: d'une partie haute en encorbellement, de 34 pieds 6 pouces (10^m,516) et d'une partie basse, qui franchit la distance de 57 pieds 6 pouces (17^m,52) entre les piliers de la nef et les piliers extérieurs. Des montants verticaux relient l'arbalétrier aux semelles et divisent la demi-ferme en dix panneaux, 6 dans la partie basse et 4 dans l'encorbellement.

Pour faciliter le montage on a construit les arbalétriers et les semelles par tronçons rectilignes dont les uns sont éclissés bout à bout d'une façon rigide et les autres assemblés sur des broches

d'articulation qui reçoivent en même temps les extrémités des montants et des diagonales d'entretoisement. Le même mode d'assemblage existe aux points où ces pièces sont assemblées sur les parties rigides des arbalétriers et des fermes. L'arbalétrier se compose de deux parties, l'une rigide, l'autre articulée. La partie rigide se trouve dans le bas de la ferme, au dessus des cinq premiers panneaux ; elle est formée par des tronçons de poutre en U renversé, avec deux joues en tôle pleine, bordées de cornières et reliées par un treillis en fer plat. A partir du cinquième montant jusqu'au pilier et du pilier jusqu'à l'extrémité de l'encorbellement, l'arbalétrier est formé par une suite de tirants articulés, composés chacun de deux barres plates, de section variable.

La semelle de la partie basse est composée de six tronçons articulés ; le premier et le sixième tronçon sont relevés et articulés sur les piliers à une même hauteur de 42 pieds (12^m,302) ; des mêmes piliers partent deux fortes consoles qui vont rejoindre la première et la cinquième articulation et leur servent d'appuis ; ces consoles complètent, avec les quatre autres tronçons, la courbure de l'ensemble en anse de panier à trois centres. La semelle de l'encorbellement est composée de quatre tronçons, éclissés d'une façon rigide ; l'une des extrémités est articulée sur le pilier et l'autre sur le montant extrême de l'encorbellement ; les quatre tronçons forment un quart de cercle que complète une console fixée sur le pilier. Toutes les semelles ont une section en forme d'U semblable à celle de la partie rigide des arbalétriers.

Chaque montant est établi avec deux fers en U adossés, de 9 pouces (0^m,225) de largeur et d'épaisseur variable. Les quatre panneaux du milieu de la partie basse et les deux premiers panneaux de l'encorbellement sont entretoisés par des croix de Saint-André dont les diagonales sont formées, l'une par deux barres plates et l'autre par deux tirants en fer rond munis de tendeurs. Le sixième panneau de la partie basse et les deux panneaux du haut de l'encorbellement n'ont que des échapes en fer plat.

Les montants extrêmes des encorbellements, sur lesquels sont fixées les fermettes du lanterneau, sont prolongées de 10 pieds (3^m,05) au-dessus des arbalétriers ; les faces verticales du lanterneau ainsi obtenues sont disposées pour la ventilation. Les fermettes, dont l'ouverture est de 46 pieds (14^m,03), sont entièrement rivées ; la semelle inférieure forme, avec ses consoles, une courbe en anse de panier à 3 centres.

Les fermes sont espacées de 64 pieds 5 pouces et quart (19^m,643) ; elles sont reliées par 13 cours de pannes, y compris la panne faîtière et les parois verticales du lanterneau. Ces pannes sont constituées par des poutres à treillis dont les dimensions sont établies en raison du grand espacement des fermes ; celles qui relient en même temps les quatre files de piliers sont terminées par des consoles dont la naissance se trouve à la même hauteur que celle des consoles des fermes.

La toiture du lanterneau est vitrée ainsi que celle des travées latérales, jusqu'au sixième panneau ; les extrémités du comble de la nef sont fermées par des masques vitrés.

A. b.

VI. 1. - Arc maintenu par un tirant placé sous le sol.

β. - Arc en 2 pièces articulées.

Halle de la gare des voyageurs de Jersey City.
Chemin de fer de Pensylvanie.

Ouverture 76^m,96.

1891.

Halle de la gare des voyageurs du chemin de fer de Pensylvanie à Jersey City. 1891.

| | Pieds. | Mètres. |
|---|--------|---------|
| Longueur du comble | 653,0 | 199,024 |
| Ouverture des fermes, d'axe en axe des rotules | 252,8 | 77,012 |
| Hauteur libre au centre, au dessus des rails | 84,5½ | 25,742 |
| Espacement des fermes jumelles dans chaque groupe | 14,6 | 4,420 |
| Espacement des groupes, d'axe en axe | 58,0 | 17,679 |

La halle de la gare de Jersey City a 653 pieds (199^m,024) de longueur; sa largeur, qui correspond à 12 voies et 8 trottoirs, est de 256 pieds (78^m,028).

Le comble est porté par des fermes en arc, maintenues par un tirant placé sous le sol; ces fermes sont à trois articulations, deux aux pieds et une au sommet; elles sont groupées deux à deux à 14 pieds 6 pouces (4^m,42) d'écartement; chacun des groupes constitue une poutre en caisson dont les faces sont à treillis. Les groupes sont espacés de 58 pieds (17^m,68) d'axe en axe, ce qui donne aux travées intermédiaires une largeur de 43 pieds 6 pouces (13^m,26).

Dans chaque ferme la courbe d'intrados forme une anse de panier à 5 centres, dont les rayons sont: 124 pieds (37^m,31); 165 pieds (50^m,29) et 36 pieds 6 pouces (11^m,25). La courbe d'extrados est une anse de panier à 3 centres dont les rayons sont de 157 pieds (47^m,353) et 216 pieds 6 pouces (65^m,99). La partie verticale qui correspond aux parois latérales de la halle, a 37 pieds (11^m,278) de hauteur depuis l'axe de l'articulation jusqu'au chéneau. La distance entre les semelles des arcs est de 7 pieds 1 pouce ½ (2^m,162) au sommet et de 16 pieds 11 pouces ½ (5^m,569) aux assemblages sur les piliers; l'arc est divisé par des montants et des croix de Saint-André en 23 panneaux. La semelle d'intrados est composée d'une âme verticale de $\frac{305}{12,5}$ et d'une platebande de $\frac{305}{9,4}$ reliées par deux cornières de $\frac{88 \times 125}{12,5}$; la platebande est doublée à partir du 5^e panneau jusqu'au pied du pilier et triplée au droit des assemblages de l'arc avec les piliers afin d'assurer leur solidarité. La semelle d'extrados est composée de 2 cornières de $\frac{152 \times 152}{14}$, renforcées, du 3^e au 8^e panneau, par une fourrure intercalée de $\frac{152}{12,5}$. Les montants sont formés de 2 cornières jumelées dont les dimensions décroissent, du 11^e au 1^{er} panneau, de $\frac{135 \times 88}{8}$ à $\frac{88 \times 76}{8}$; les diagonales sont faites avec une cornière variant de $\frac{152 \times 152}{10}$ (11^e panneau) à $\frac{102 \times 102}{10}$ (1^{er} panneau). Le montant, entre le 11^e panneau et le pilier, a la forme d'une poutrelle en double T, constituée par une âme de $\frac{203}{12,5}$ et 4 cornières de $\frac{127 \times 88}{8}$. Dans le panneau central la croix de Saint-André est séparée en deux triangles indépendants au sommet desquels se trouve l'articulation supérieure; les diagonales sont coupées à leur point de croisement et leurs extrémités sont assemblées sur des goussets encadrés de cornières et traversés par une broche de 126^{mm} de diamètre. En raison des efforts concentrés sur l'articulation, chaque tronçon de diagonale est formé de 2 cornières jumelées de $\frac{152 \times 102}{14}$. Pour faciliter les mouvements de l'articulation, les semelles d'extrados et d'intrados

sont interrompues et assemblées, l'une sur les goussets, l'autre sur des cource-joints, à l'aide de boulons dont les trous sont ovalisés.

Les pieds des fermes sont divisés par des traverses et des écharpes en 7 panneaux triangulaires; les trois panneaux du haut sont à claire-voie; les cornières ont $\frac{152 \times 102}{12,5}$ et les âmes, $\frac{305}{12,5}$. Les quatre panneaux du bas sont à âme pleine en tôle de 12,5 mm raidie par des cornières de $\frac{102 \times 102}{12,5}$. Les piliers ont au pied 1^m,575 de largeur et sont terminés par une partie trapézoïdale dont les joues forment, avec l'extrémité du tirant et avec les joues des paliers, la charnière de l'articulation inférieure. Les paliers sont en tôle et cornières; l'un d'eux est fixe et ancré dans les fondations; l'autre repose sur un chariot à dilatation dont les rouleaux ont 75 mm de diamètre. Les tirants sont formés de barres de fer en I, de 12 pouces (0,305) de hauteur, pesant 55 kilos le mètre, assemblées bout à bout; ils sont logés, au-dessous du sol, dans une auge en bois remplie avec un mélange d'asphalte et de goudron.

Chaque couple de fermes jumelles est entretoisé: à l'extrados par des traverses; à l'intrados par des traverses et des croix de Saint André formant des panneaux correspondants à ceux des arcs. Les traverses d'extrados sont des pannes à treillis de 3 pieds (0^m,914) de hauteur; celles d'intrados sont de simples cornières ainsi que les diagonales des croix de Saint André. Aux pieds des montants, l'entretoisement est renforcé par une traverse à âme pleine, de 5 pieds (1^m,524) de hauteur sur 12^m,5 d'épaisseur, raidie par deux rangs de cornières. L'entretoisement des poutres en caisson ainsi constituées est complété par des croix de Saint André établies transversalement aux jonctions des panneaux, avec des diagonales en fer rond de 18^m,75. Les groupes de fermes sont reliés par 24 cours de pannes à treillis dont la hauteur varie de 3 à 4 pieds (0^m,914 à 1^m,219); ces pannes sont elles-mêmes reliées, dans chaque travée, par deux cours de poutrelles courbes à treillis formant chevrons. De deux en deux, les travées intermédiaires sont raidies par des croix de Saint André qui complètent l'entretoisement longitudinal de la charpente.

Aux chevrons correspondent, dans la partie verticale, des montants formés de deux cornières adossées de $\frac{139 \times 127}{9,4}$; ces montants sont reliés, dans le bas par deux cours de traverses en cornières de $\frac{127 \times 102}{9,4}$ et dans le haut par deux cours de traverses semblables, avec croix de Saint André, formant sablière et portant le chéneau. Les espaces intermédiaires sont garnis de panneaux vitrés. L'éclairage est complété par un lanterneau vitré, à double versant, qui règne sur toute la longueur de la halle et par 4 cours de lanterneaux vitrés établis de chaque côté du lanterneau de faite et au droit des panneaux VIII et IX. La ventilation est assurée par 6 cours de jalousies établies dans les parois verticales des lanterneaux. Les parties pleines du comble sont couvertes avec des tuiles métalliques posées sur voligeage de 25 mm, porté par des chevrons en bois de $\frac{254}{76}$, espacés de 0^m,610. Le poids total de la charpente métallique est de 2 119 272 kilogrammes.

A. b.

VI. — Arc maintenu par un tirant placé sous le sol.

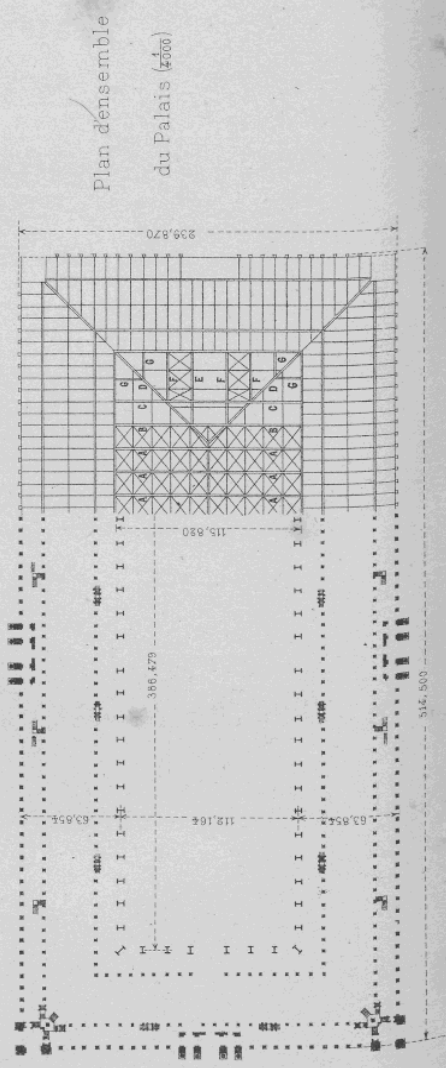
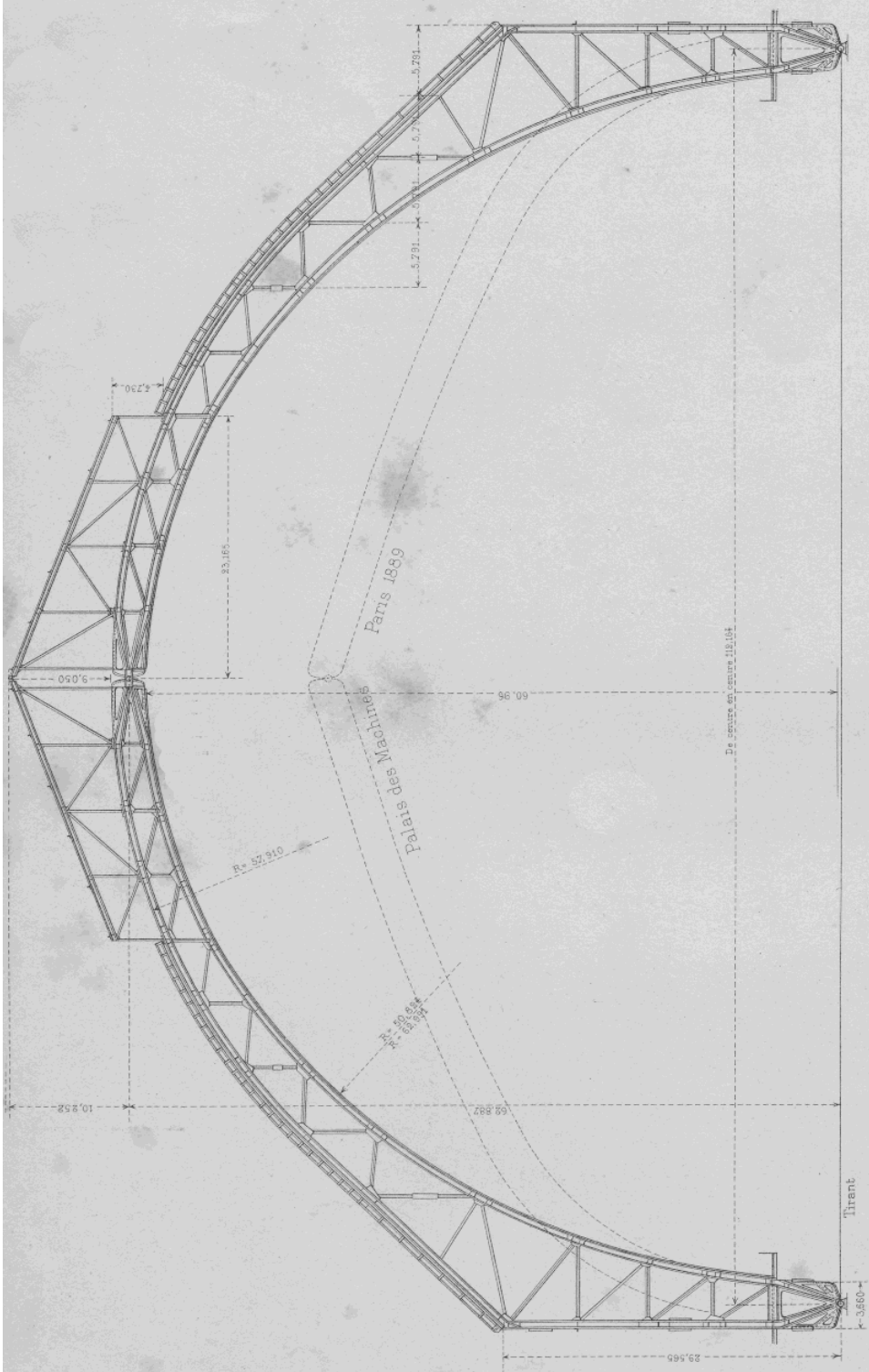
1. B. — Arc en deux pièces articulées, partant du sol.

Nef du Palais des manufactures et des arts libéraux
à l'Exposition universelle de Chicago.

Ouverture 112^{m.} 17.

1893.

17



172

pièces de la croupe, chaque tirant est composé de 4 barres de 3 pouces sur $\frac{13}{16}$ (76^{mm} x 20^{mm}). En outre toutes les fermes sont contrebutées par la galerie extérieure.

Les papiers d'articulation, aux pieds des fermes, reposent sur des plateformes en charpente portées par des pieux battus dans le sable. La suite du mode de fondation adopté en raison de la nature du sol et de la durée limitée des édifices qui doivent impitoyablement disparaître après l'exposition, on a été conduit à diminuer autant que possible le poids des fermes et leur espacement, afin de mieux répartir le poids de la construction. La charpente est entièrement faite en acier Bessemer. Chacun des arcs est composé de 2 poutres en forme de caisson de 3 pieds sur 2 ($\frac{0,914}{0,610}$); à l'intrados les joues et la semelle inférieure du caisson sont pleines, sauf dans le haut, au dessous du lanterneau, où la semelle est à treillis. La semelle supérieure est entièrement à treillis, en losange. Les assemblages sont faits avec 8 cornières 4 intérieures et 4 extérieures. Les poutres d'extrados ont la même forme et les mêmes dimensions; mais les 2 semelles du caisson sont en treillis. Aux extrémités les poutres convergent vers les rotules. L'extrados et l'intrados sont reliés par 4 entretoises horizontales, par 8 montants verticaux et par des écharpes; toutes ces pièces sont des poutrelles, de 3 pieds de large, à treillis et bordées par 4 cornières, sauf l'entretoise 2 qui est formée d'une poutrelle tubulaire à joues pleines et semelles en treillis.

Les fermes sont reliées par 3 cours d'entretoises sur les côtés verticaux et par 8 cours de pannes sur chaque versant; le 1^{er} cours d'entretoises, à 18'11" ($5^{\text{m}}77$) d'élévation, est composé de 2 poutres à treillis, de 5'11" ($1^{\text{m}}813$) de hauteur, espacées de 12' et entretoisées elles-mêmes à la partie supérieure par des traverses et des croix de Saint André. Le 2^e cours d'entretoises, à 56'8" ($17^{\text{m}}27$) d'élévation, entre les montants d'extrados, est formé de poutres tubulaires à treillis de 6 pieds sur 3; le 3^e cours, établi au sommet des mêmes montants, est composé de poutres simples, à treillis de 6 pieds de hauteur. Les pannes sont des poutres en treillis, à grandes mailles de 14' ($4^{\text{m}}27$), 10' ($3^{\text{m}}05$), et 6' ($1^{\text{m}}83$) de hauteur; dans les pannes inférieures la semelle est une poutrelle à treillis cintrée en arc de cercle, ainsi que celles des deux premiers cours d'entretoises. L'entretoisement longitudinal est complété par de grandes croix de Saint André établies, entre les 2^{me} et 3^{me} cours d'entretoises, dans les 4 premières travées de chaque extrémité et ensuite de 2 en 2 travées.

Sur les pannes reposent dans chaque travée, 3 cours de chevrons en treillis de 3'7" ($1^{\text{m}}09$) de hauteur. Des chevrons, de 2 pieds ($0,610$) seulement, sont placés au dessus des fermes. Sur les chevrons sont fixées des pannes en bois espacées de 4 pieds ($1^{\text{m}}22$). Le lanterneau, de 152 pieds ($46^{\text{m}}33$) de largeur, est formé de deux moitiés indépendantes, avec arbalétriers en treillis, très légers, soutenus par des montants et des écharpes. Les faces verticales sont garnies de jalousies. Les rampants du lanterneau sont vitrés, ainsi que la moitié inférieure du comble.

La galerie extérieure se compose d'une travée centrale de 107'9" d'ouverture ($32^{\text{m}}61$) et de 2 travées latérales de 46' ($14^{\text{m}}02$). La travée centrale est couverte à l'aide de fermes à arbalétriers rectilignes, avec semelles demi-circulaires, laissant au milieu une hauteur libre de 97' ($29^{\text{m}}565$). Les travées latérales sont couvertes en appentis et contiennent chacune, un étage dont le plancher est à 20' ($6^{\text{m}}096$) au dessus du sol. Le plancher de la travée intérieure se prolonge dans la nef en forme de balcon.

Engineering. 1892. 1^{er} semestre pages 189, 225, 233. 2^e semestre page 166.

124

Nef du Palais des Manufactures et des Arts libéraux à l'Exposition universelle de Chicago. 1893.

| | Pieds. | Mètres. | Palais des machines de 1889 à Paris 421,00 |
|---|---------|---------|---|
| Longueur du comble..... | 1280,00 | 390,15 | |
| Ouverture des fermes, d'axe en axe des rotules..... | 368,00 | 112,17 | 110,60 |
| Hauteur libre au centre..... | 200,00 | 60,96 | 43,50 |
| Espacement des fermes..... | 50,00 | 15,24 | 21,50 |

Le Palais des manufactures et des arts libéraux est le plus grand des édifices construits à Chicago pour l'exposition universelle de 1893; sa longueur totale est de 1687 pieds (514^m,50); sa largeur, de 787 pieds (239^m,87). Il se compose d'une nef rectangulaire de 1280 pieds (390^m,15) sur 380 pieds (115^m,82) complètement enveloppée par une galerie à triple nef de 203 pieds 6 pouces (62^m,026) de large; la surface couverte est de 30 acres (12 hectares 14 10) soit près du double du palais des machines de 1889, à Paris. Les dimensions du vaisseau principal sont à peu de chose près les mêmes dans les deux édifices.

Le comble de la nef est porté par des fermes en arc, à 3 articulations, maintenues par un tirant placé sous le sol. L'ouverture, de centre en centre des rotules, est de 368 pieds (112^m,17); la courbe d'intrados est une anse de panier à 3 centres dont les rayons sont: 166 pieds 9 pouces (50^m,824) et 206 pieds 8 pouces (62^m,991); la hauteur libre, au centre, est de 200 pieds (60^m,960). L'extrados se compose: de deux parties verticales de 97 pieds (29^m,565) de hauteur et de deux parties rectilignes inclinées qui sont raccordées tangentielllement à un arc de cercle de 190 pieds (57^m,910) de rayon. Le comble est terminé, à chaque extrémité, par une croupe, de 190 pieds de longueur, dont le profil extérieur est le même que celui des fermes.

L'espacement régulier des fermes est de 50 pieds (15^m,240); au milieu, vis à vis des portiques d'entrée, on a ménagé une travée de 73 pieds 6 pouces (22^m,403); les deux travées adjacentes n'ont que 49 pieds 6 pouces (15^m,188) et enfin les travées extrêmes des croupes ont 47 pieds 9 pouces (14^m,555). Les fermes normales AA sont au nombre de 18; 9 de chaque côté de l'axe transversal; la croupe commence entre la 9^{me} et la 10^{me} ferme, de sorte que pour obtenir la courbure du comble, la 10^e ferme, B, est aplatie au sommet sur une longueur de 73 pieds 6 pouces (22^m,403) et que la 11^{me}, C, l'est encore davantage (162 pieds 6 pouces, 49^m,52). A partir de cette dernière, la charpente de la croupe se compose de 4 tronçons de fermes, EE, FF, dirigés suivant le grand axe de la nef et de 2 diagonales DD. Les fermes FF ont leur sommet appuyé sur la ferme C au point de rencontre des diagonales DD; les fermes EE espacées de 22^m,403, sont prolongées par une entretoise jusqu'à la ferme B. Des tronçons de ferme GG, appuyés sur les diagonales, complètent la charpente aux angles de la nef. Les pieds des arcs sont maintenus par des tirants articulés sur les rotules et logés sous le plancher; pour les 18 fermes normales, A, et les deux premières fermes aplaties, BB, ces tirants sont formés chacun de 2 barres de 2 pouces carrés de section (40^{mm},5 de diamètre). Pour les fermes CC sur lesquelles sont assemblées les autres

A.b.

VII. 2.. *Arc sur piliers, maintenu par des massifs de fondation.*

α.. *Arc et piliers d'une seule pièce.*

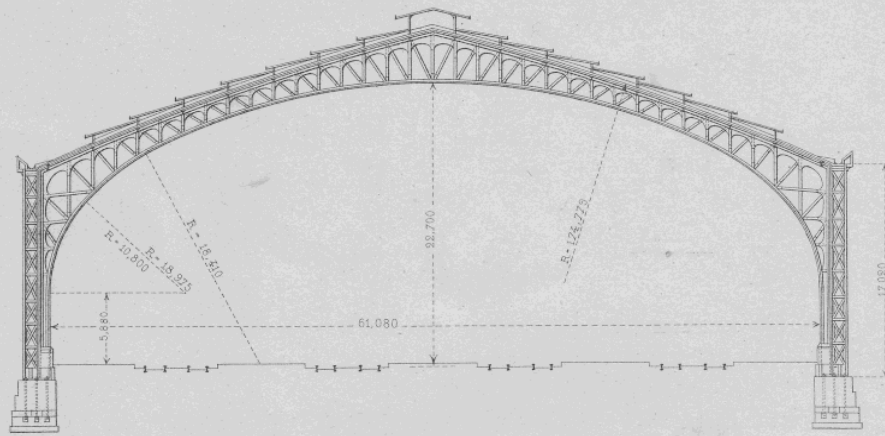
Halle de la gare de Lille.

Chemin de fer du Nord.

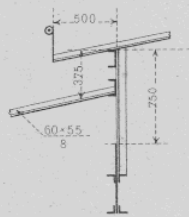
Ouverture 61^m, 08.

1887-1889.

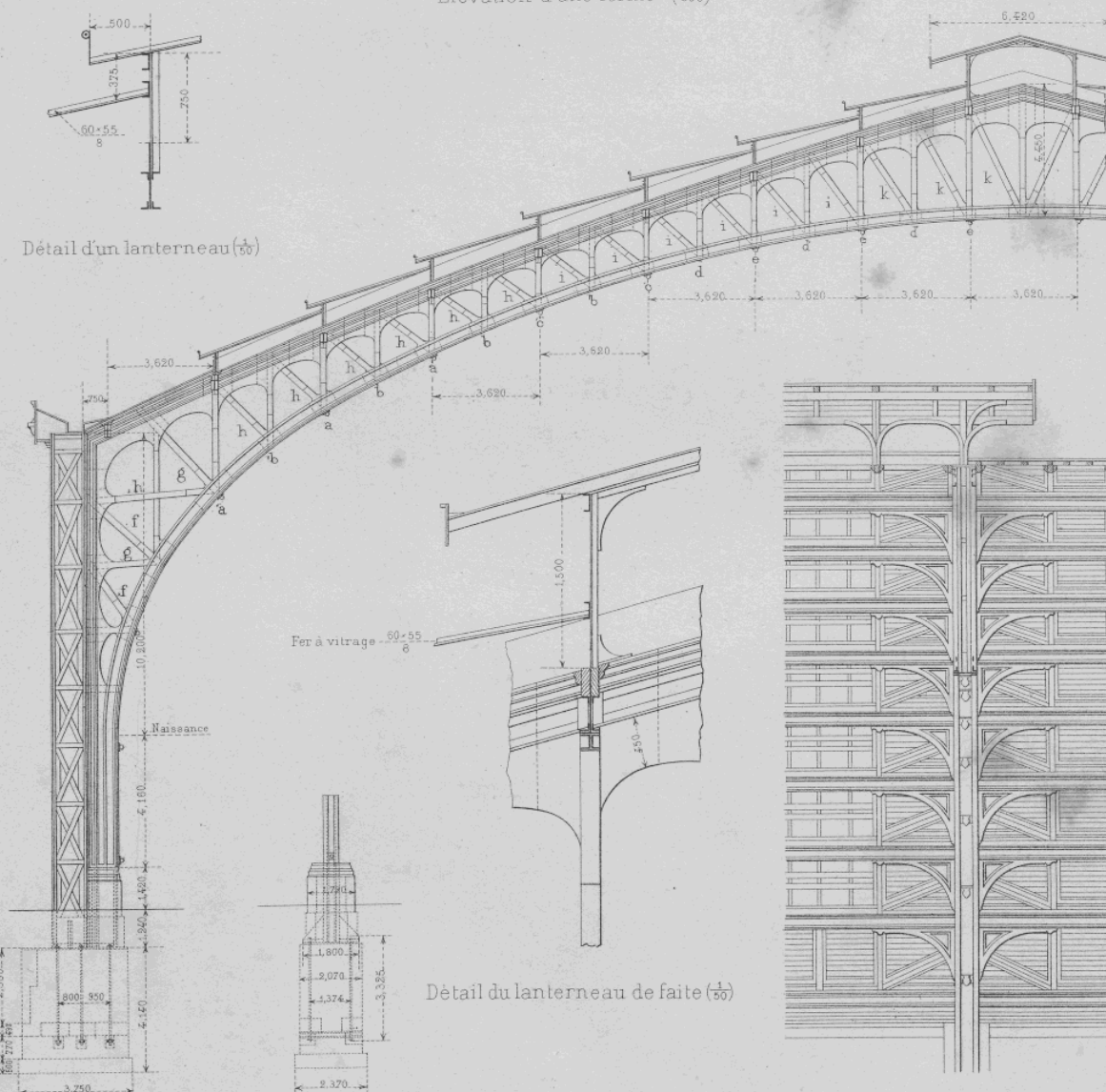
126



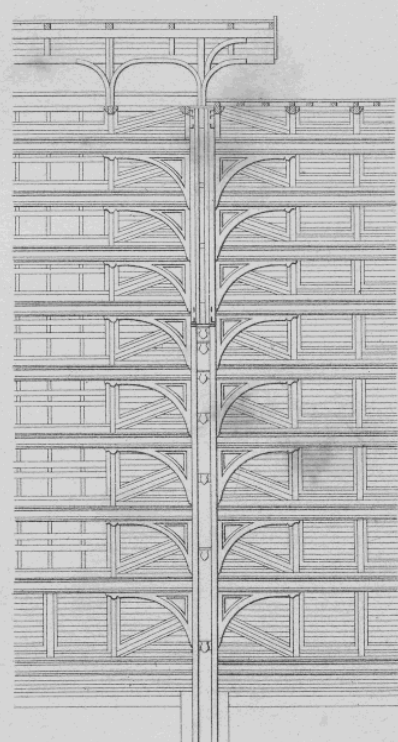
Elevation d'une ferme (1/50)



Détail d'un lanterneau (1/50)



Elevation d'une moitié de ferme, Elevation et profil de la fondation (1/200)



Coupe longitudinale montrant l'intérieur du comble

Travée vitrée (1/125) Travée pleine

178

membreure extérieure est formée de 2 tôles de $\frac{300}{11}$, d'une âme de $\frac{250}{14}$ et de 2 cornières de $\frac{100 \times 100}{12}$; la membreure intérieure n'a pas de semelles et les 2 cornières sont rivées sur la semelle de la ferme. Les traverses et les croisillons sont des fers en U, adossés, de $\frac{175 \times 64}{12}$. Au pied les contreforts et les piedroits des arcs sont assemblés sur un patin de 2^m35 sur 1^m80 et de 15^{mm} d'épaisseur. Le patin est fixé sur un massif de maçonnerie de briques au mortier de chaux hydraulique, par 6 boulons de 3^m325 de longueur sur 60^{mm} de diamètre. Des bandes de pierre de taille de roche dure sont encastées dans la maçonnerie pour servir d'appui aux barres d'ancrage qui sont faites avec des fers en U accouplés, de $\frac{160 \times 60}{12}$. Les platines de serrage sur ces barres ont $\frac{150 \times 150}{15}$ et les rondelles sur le patin 200^{mm} de diamètre sur 20^{mm} d'épaisseur.

Les fermes sont espacées de 10 mètres, d'axe en axe, et reliées par 18 cours de pannes, qui sont elles-mêmes espacées de 3^m62 (sur l'horizontale). Les pannes sont des poutres en double T, à âme pleine de $\frac{550}{9}$ bordées de chaque côté par 2 files de cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$. Ces cornières sont à 0,33 d'écartement, de façon que l'âme forme une saillie de 0,22 sur laquelle sont fixés les supports de lanterneau et les fourrures en bois de la couverture. Les extrémités des pannes sont portées par des consoles, en tôle et cornières, de 1^m875 de saillie sur 1^m30 de hauteur.

L'éclairage et la ventilation sont assurés par un lanterneau de faite, couvert en zinc, et par des lanterneaux vitrés ménagés dans chaque travée et disposés en échelons sur chaque versant du comble. Les lanterneaux ont 6^m25 d'ouverture et laissent de chaque côté des fermes deux bandes, de 1^m875, couvertes en zinc. Il y a 7 échelons sur chaque versant et il reste à la partie inférieure une bande longitudinale de 4^m37 également couverte en zinc. Ces lanterneaux sont portés par des montants dont le pied est fixé sur l'âme des pannes et qui sont reliés par deux petites pannes en U sur lesquelles sont fixés les fers à vitrage. L'intervalle qui sépare ces petites pannes sert à l'évacuation de la fumée des machines. Le vitrage est en verre martelé de 6^{mm} d'épaisseur, en feuilles de 0^m625 de largeur et d'une seule pièce dans la longueur. Les parties pleines du comble sont couvertes en zinc N[°]13, posé sur un voligeage en sapin rouge de 27^{mm}, avec interposition de carton bitumé.

De chaque côté des fermes les pannes supportent des chevrons en fer à double T, de $\frac{160 \times 55}{6,5}$, doublés de deux fourrures en sapin de $\frac{54}{17}$; les chevrons complémentaires des travées pleines sont en sapin de $\frac{65}{17}$, et espacés de 1^m25. Le contreventement général de la charpente est obtenu à l'aide d'écharpes installées de chaque côté des fermes, entre celles-ci et les pannes; ces écharpes sont en fer à double T de $\frac{160 \times 55}{6,5}$; leurs extrémités sont fixées sur les âmes des membrures d'extrados et sur celles des pannes. Des fourrures en bois sont boulonnées sur les fermes, sur les pannes, sur les écharpes de contreventement et sur les chevrons en fer; ces fourrures servent à clouer un second voligeage en sapin de 18^{mm}; elles sont en outre bordées de moulures qui dessinent des caissons sur le plafond.

Halle de la gare de Lille. Chemin de fer du Nord. 1889.

| | Mètres. |
|---|---------|
| Longueur du comble..... | 160, 00 |
| Ouverture des fermes..... | 61, 08 |
| Hauteur libre au centre, au dessus des rails..... | 22, 70 |
| Espacement des fermes..... | 10, 00 |

Les fermes de la halle de Lille sont constituées par des arcs sur piliers maintenus par des massifs de fondation; l'arc et les piliers sont solidaires, de sorte que l'ensemble peut être considéré comme une poutre courbe encastrée aux extrémités. Le profil extérieur se compose de deux parties verticales, de 17^m,20 de hauteur, et de deux arcs de cercle, de 174^m,779 de rayon et de 0^m,80 de flèche, formant arbalétriers; le profil intérieur présente la forme d'une anse de panier à 5 centres dont les naissances sont à 5^m,38 de hauteur au dessus des rails et dont les extrémités descendent verticalement jusqu'au sol. Le premier rayon a été pris arbitrairement égal à 10^m,80 et le premier angle au centre, à 43°; le second rayon est de 18^m,975 et le troisième de 48^m,410.

La partie rectiligne du piedroit des fermes a 6^m,82 de hauteur, de la fondation aux naissances; elle est construite en forme de caisson, avec deux parois pleines de $\frac{980}{42}$, espacées de 0^m,270 et de deux semelles de 0^m,500; la semelle extérieure est composée de deux tôles de 11^m/_m et la semelle intérieure de 3 tôles semblables; cette dernière est en outre renforcée par deux bandes de fer plat de $\frac{125}{10}$. L'assemblage est fait avec 4 cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$; les parois sont raidies par une cornière verticale de $\frac{80 \times 80}{11}$ et par une platebande de $\frac{80}{11}$ qui se raccorde avec celle de la membrure d'intrados.

À partir des naissances l'arc se compose de deux membrures, en forme d'U, reliées par des montants et des écharpes; la membrure d'extrados comprend une semelle de $\frac{500}{11}$ assemblée à l'aide de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ avec deux âmes verticales en tôle de 12^m/_m d'épaisseur et de 0^m,50 de hauteur moyenne. Ces âmes sont raidies par deux files de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$ et découpées, à la partie inférieure, pour former des arceaux entre les montants. La semelle de cette membrure est doublée sur le tiers inférieur de sa longueur. La membrure d'intrados se compose d'une semelle de $\frac{500}{22}$ et de 2 âmes de $\frac{436}{11}$ assemblées à l'aide de cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$. Les âmes sont bordées avec des platebandes de $\frac{80}{11}$ et la semelle avec deux platebandes de $\frac{125}{10}$; l'épaisseur de la semelle est portée à 33^m/_m (3 tôles de 11^m/_m) à partir des naissances jusqu'aux points de raccordement entre le 1^{er} et le 2^e arc de cercle. Les montants qui relient les membrures ont 0^m,180 de largeur; ceux qui portent les pannes et leurs consoles sont en forme de double T avec semelles et cornières de dimensions variables; les montants intermédiaires sont en forme d'U accouplés deux à deux. Les écharpes sont en forme d'U, simples ou composées de semelles et cornières, sauf les écharpes ff des piliers qui sont en double T à section renforcée. Les retombées verticales de l'extrados des fermes sont armées de contreforts en forme de double T de 1^m,160 de largeur, composés de deux membrures reliées par des traverses horizontales et des croisillons. La

A.b.

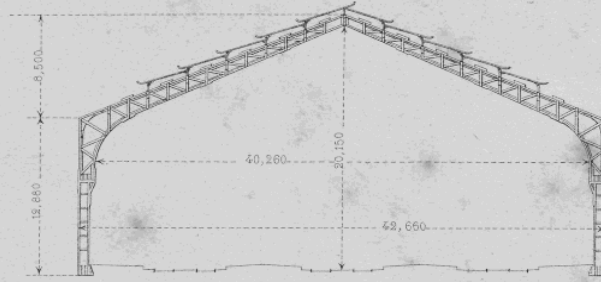
VII.2.. *Arc sur piliers, maintenu par des massifs de fondation.*
Λ.. Arc et piliers d'une seule pièce.

Halle de la gare de Calais-ville.

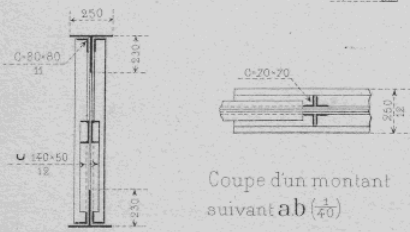
Chemin de fer du Nord.

Ouverture 40^m,26.

1887-1889.

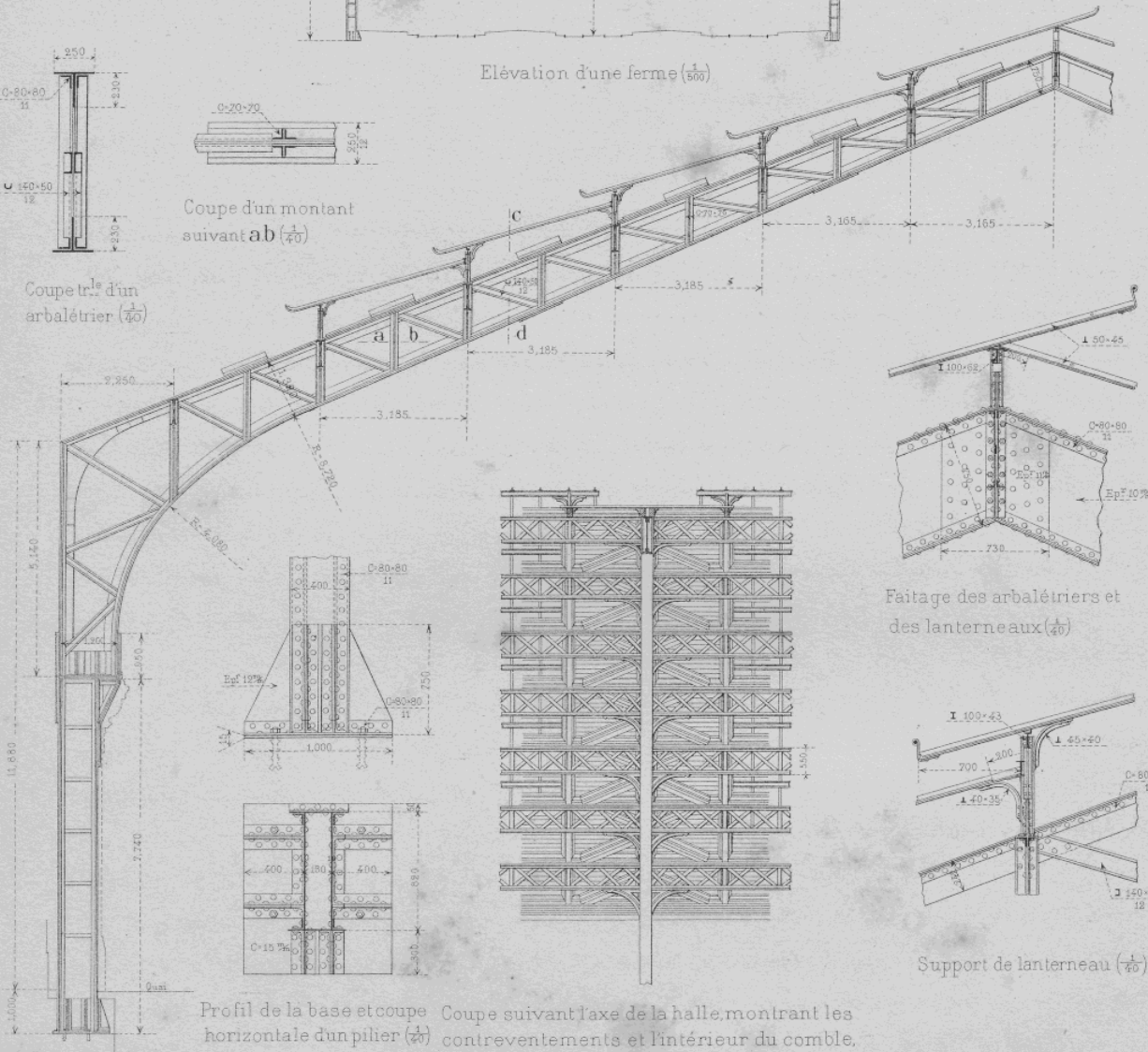


Elévation d'une ferme (1/500)

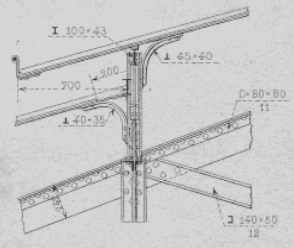


Coupe d'un montant suivant ab (1/70)

Coupe tr^s d'un arbalétrier (1/70)



Faitage des arbalétriers et des lanterneaux (1/70)

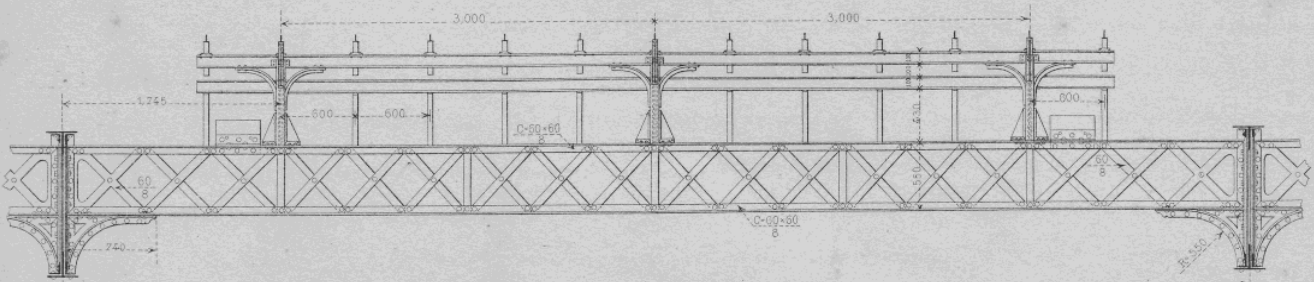


Support de lanternneau (1/70)

Profil de la base et coupe horizontale du pilier (1/70)

Coupe suivant l'axe de la halle, montrant les contreventements et l'intérieur du comble de chaque côté d'une ferme (1/250)

Elévation d'une demi-ferme (1/25)



Elévation d'une panne et coupe d'un lanternneau suivant cd (1/30)

Halle de la gare de Calais-ville.

Chemin de fer du Nord.

1887-1889.

| | Mètres. |
|--|--|
| Longueur du comble | 49, 09 |
| Ouverture des fermes | 40, 26 |
| Hauteur libre au centre, au dessus des rails | 20, 15 |
| Espacement des fermes | 9 ^m , 49, 9 ^m , 60 et 10, 20 |

La halle de la gare de Calais-ville est une halle de passage dont la longueur provisoire est de 49^m,09 et dont la longueur définitive doit atteindre 200 mètres. Le comble est porté par des fermes en arc sur piliers, du type de Dion caractérisé par la solidarité établie entre l'arc et les piliers, de façon à éviter l'emploi de tirants; il n'existe actuellement que quatre de ces fermes, parceque les extrémités de la halle sont fermées par des rideaux vitrés dont la charpente soutient les arbalétriers de tête. Les piliers des fermes ont 7^m,74 de hauteur; ils sont munis à la base d'un empatement, de 1^m,17 sur 1 mètre, raidi sur les côtés et vers l'intérieur de la halle par des contreforts de 0^m,75 de hauteur. Ces contreforts sont dissimulés au dessous du sol dont le niveau est à 1 mètre au dessus de l'arasement des fondations. La section des piliers est en forme de caisson rectangulaire, de 0,820 sur 0,180, constitué par deux parois de 10^mm d'épaisseur et deux semelles de $\frac{400}{12}$; l'assemblage est fait avec 4 cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$; les parois sont en outre raidies par des traverses horizontales. Vers l'intérieur de la halle le sommet du pilier est élargi à l'aide d'une console de 0^m,38 de saillie et de 0^m,40 de hauteur, de façon à présenter une surface suffisante pour l'assemblage avec la retombée de l'arc (1,20 x 0,40). Les piliers sont enveloppés sur toute leur hauteur dans une gaine décorative en fonte.

Le profil extérieur se compose, pour chaque demi-ferme, d'une partie verticale de 5^m,14, en prolongement du pilier et d'une partie inclinée ayant 8^m,50 de flèche, avec une pente de 0,3985 par mètre. Le profil intérieur est formé par une partie verticale de 0^m,95, par deux arcs consécutifs de 4^m,08 et 8^m,78 de rayon et par une partie rectiligne allant jusqu'au faite; les membrures formant l'arbalétrier ne sont pas parallèles; celle d'intrados se relève vers le faite où l'écartement décroît de 1^m,32 à 0^m,75. Les deux membrures sont semblables et se composent d'une âme de $\frac{230}{10}$ et d'une semelle de $\frac{250}{12}$ assemblées avec deux cornières de $\frac{80 \times 80}{11}$. Les montants qui relient les membrures sont de deux sortes: les montants principaux qui se composent d'une âme de $\frac{150}{10}$, de deux fourrures de $\frac{150}{11}$ et de 2 platebandes de $\frac{150}{10}$ assemblées par des rivets à tête fraisée; sur ces montants sont boulonnés les abouts des pannes et les consoles qui les supportent; les montants intermédiaires qui sont formés de quatre cornières adossées de 70 x 70. Toutes les écharpes sont faites avec deux fers en U de $\frac{140 \times 50}{12}$. Les derniers panneaux, près du faitage, sont à âme pleine en tôle de 10^mm, et l'assemblage des deux arbalétriers est fait à l'aide de deux plaques de $\frac{750}{11}$, rivées sur les âmes de ces panneaux.

Vers les retombées les semelles des membrures sont élargies progressivement de 0,25 à 0,40 pour atteindre la dimension des semelles des paliers; elles sont en outre reliées par une traverse verticale de 0,53 de hauteur et 10^m d'épaisseur, renforcée de chaque côté par deux nervures en cornières. Pour assurer la solidarité de l'arc avec le pilier, l'assemblage est renforcé, à l'extrados à l'aide de 2 platebandes de 2 mètres de longueur sur 12^m d'épaisseur; à l'intrados par 2 platebandes de même épaisseur et de 2^m,90 de longueur développée.

Les fermes sont espacées de 9^m,49 (travée centrale) à 9^m,60 (travées intermédiaires) et 10^m,20 (travées extrêmes); elles sont reliées par 13 cours de pannes dont une faitière. Ces pannes sont des poutrelles à treillis, en double T, de 0,55 de hauteur; les semelles sont composées de 2 cornières de $\frac{60 \times 60}{8}$, entre lesquelles sont rivées les extrémités des montants et des croisillons; ceux-ci sont en fer plat de $\frac{60}{8}$, sauf les croisillons des extrémités qui sont découpés d'une seule pièce avec les montants. Les consoles qui supportent les extrémités des pannes ont 0^m,74 de saillie; leur hauteur varie avec celle de l'arbalétrier. Elles sont faites d'une âme en tôle découpée de 8^m d'épaisseur, bordée de chaque côté avec des cornières de $\frac{60}{8}$ et des bandes de fer plat de $\frac{50}{8}$.

L'éclairage et la ventilation sont assurés par des lanterneaux ménagés dans chaque travée et disposés en échelons; ces lanterneaux sont de largeur variable suivant les travées, 6^m,00, 6^m,11 et 6^m,71, laissant de chaque côté des fermes des bandes, de 1^m,745 de largeur, couvertes en zinc. Il y a 5 échelons sur chaque versant, de sorte qu'il reste à la partie inférieure du comble deux bandes longitudinales, d'environ 5^m,80 de largeur, également couvertes en zinc. Les fers à vitrage ont 50x45 et pèsent 4^{kg},50 par mètre courant; ils sont fixés sur des petites pannes en double T de 100x43 (9^{kg} le m.c.) sauf la panne faitière qui a 100x96 et pèse 11^{kg},54 le mètre. Ces pannes sont portées par trois montants en fer double T de 80x55, fixés sur les grandes pannes à l'aide d'équerres de 270x150, en tôle de 5^m et cornières de $\frac{60 \times 30}{3,5}$. Des consoles en fer à T, de 45x40 (3^{kg},30 le m.c.) complètent la solidité des assemblages des petites pannes et des fers à vitrage. Le vitrage est en verre martelé, dit de cathédrale, de 7^m d'épaisseur. Les feuilles de verre ont environ 0^m,60 de largeur, et sont coupées un peu plus court de façon à laisser, à la partie supérieure du lanterneau un vide de 0,20 pour l'évacuation de la fumée. Ce vide est abrité par la saillie de l'échelon précédent qui est de 0^m,700.

Le contreventement général du comble est obtenu à l'aide de deux files d'écharpes installées dans chaque travée entre les fermes et les pannes. Ces écharpes, en fer à double T de 140x47 (12^{kg} le m.c.) ont leurs extrémités boulonnées sur des équerres rapportées sur les semelles supérieures des fermes et des pannes; ces équerres ont $\frac{360}{210}$ sur les pannes et $\frac{913}{170}$ sur les fermes où elles reçoivent les extrémités convergentes de chaque couple d'écharpes. Des fourrures en bois, fixées sur les fermes, sur les deux faces de l'âme des pannes et sur les écharpes de contreventement servent à clouer le voligeage et sont bordées de moulures en bois qui dessinent des caissons sur la face intérieure des parties pleines du comble.

B.

XI. Coupôles sphériques.

Coupole des rotondes
pour les grands dépôts d'entretien.

C^{ie} des Chemins de fer de l'Est.

Ouverture 70^m,30.

1890.

Rotonde pour les grands travaux d'entretien.

Compagnie des Chemins de fer de l'Est.

1890.

| | Mètres. |
|---|---------|
| Ouverture des fermes, d'axe en axe des rotules | 70, 30 |
| Hauteur totale | 33, 75 |
| Hauteur libre au centre, entre le milieu du rail et l'intrados des fermes ... | 25, 70 |
| Espacement des arbalétriers, aux retombées | 13, 29 |

La rotonde forme une construction polygonale, de 16 côtés, dont le comble est porté par une charpente métallique complètement indépendante du mur d'enceinte. Le rayon du cercle inscrit est de 35 mètres et la hauteur du mur de 8^m,20.

La charpente se compose de 16 arbalétriers ou demi-fermes courbes dont les retombées s'appuient sur le sol au moyen de paliers à rotules et dont les sommets convergents sont assemblés sur une couronne métallique de 3^m,20 de diamètre; cette couronne est surmontée d'une lanterne polygonale.

Chaque demi-ferme est munie d'un tympan qui se compose d'un montant vertical, de 8^m,95 de hauteur, partant du pied de l'arc et d'un tronçon rectiligne d'arbalétrier, de 13^m,554 de longueur, appuyé tangentiellement sur l'extrados, et soutenant la partie inférieure du comble. Les montants des tympanes sont reliés par un cours de sablières et les arbalétriers par 5 cours de pannes (A, B, C, D, E). Les pannes basses (A) sont fixées sur l'extrados des arcs et soutiennent les chevrons des tympanes. Les 4 autres cours de pannes sont fixés sur le treillis des arcs. Des empanons et des pannes secondaires supportent les diverses parties de la toiture qui se compose: du vitrage du lanterneau de faite; d'un second lanterneau vitré, concentrique au précédent, et s'étendant jusqu'au quatrième cours de pannes (D); d'une partie couverte en zinc entre le 2^e et le 4^e cours de pannes (de B en D); d'une partie vitrée correspondant aux tympanes et régissant depuis les deuxièmes pannes (B) jusqu'au delà du mur d'enceinte. Les parties verticales des deux lanterneaux sont garnies de châssis à persiennes qui assurent la ventilation.

Les arbalétriers sont des poutres courbes dont l'extrados est un arc de cercle, de 34^m,50 de rayon, tangent dans le bas à une circonférence, de 0^m,375 de rayon, concentrique à la rotule et dans le haut à une horizontale menée à 26^m,90 au dessus du niveau du rail. L'intrados se compose de deux arcs de cercle, dont l'un, concentrique à l'extrados, a 33^m,30 de rayon et mesure 53° 3' 9" 5, et dont l'autre, de 40^m,219 de rayon, est tangent à l'arc précédent et à la circonférence, de 0^m,375 de rayon, concentrique au tourillon. La section est en forme d'U renversé dont la table, de 0^m,600 de longueur, est à treillis au dessus du lanterneau et en tôle pleine de 6 millimètres d'épaisseur de la panne E jusqu'au bas. Les côtés, espacés de 0^m,430, sont composés de montants (correspondant aux pannes) et d'écharpes, reliant deux âmes verticales

de $\frac{210}{8}$; les tables d'intrados ont $\frac{150}{7}$; les cornières d'assemblage, $\frac{70 \times 70}{7}$; les montants sont faits avec une âme de $\frac{160}{8}$, 2 fourures de $\frac{160}{7}$ et 4 cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$. Les écharpes sont composées avec un fer en U de $\frac{80 \times 35}{6}$; depuis le pied jusqu'aux premières pannes elles sont renforcées par un fer plat de $\frac{80}{8}$ avec une fourure de $\frac{80}{8}$. La retombée de l'arc, terminée en pointe arrondie, est armée d'une fourche, en fer forge, fixée avec 32 boulons tournés de 18^{mm} de diamètre. La rotule est en fer, tournée, de $0^{\text{m}},100$ de diamètre; le palier est en fonte et la base a $0^{\text{m}},750$ sur $0^{\text{m}},800$; la pression normale due à la charge permanente et à l'action du vent étant évaluée à 46 000 kilos, la pression sur la surface d'appui du palier est de $7^{\text{kg}}666$. Le centre de la rotule est à $0^{\text{m}},50$ au dessus du niveau du rail.

Le montant vertical est formé d'une poutre en I à âme pleine de $\frac{422}{8}$, avec semelles de $\frac{200}{8}$ et cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$; le tronçon d'arbalétrier rectiligne du tympan est une poutre en V, à treillis, dont les semelles espacées de $0^{\text{m}},430$ ont $\frac{200}{8}$ et les cornières $\frac{70 \times 70}{7}$. Les écharpes sont en fer plat de $\frac{70}{8}$. Les pièces de liaison occupant le tympan se composent d'un montant normal à l'extrados (à treillis de $0,420$ de large) et de deux écharpes formées chacune de 2 fers en U de $\frac{125 \times 45}{7}$ entretoisés à l'aide de boulons; l'écharpe supérieure est verticale, l'autre est parallèle au versant. La couronne d'assemblage des arbalétriers est composée d'une âme de $\frac{1^{\text{m}},218}{10}$ et de 2 semelles de $\frac{500}{10}$ assemblées par 4 cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$.

Les sablières des tympan sont des poutres à treillis de 1 mètre de hauteur. Les pannes sont à treillis; leur espacement entre ABCD est de $6^{\text{m}},7264$; entre DE il est de $6^{\text{m}},2234$; les pannes A ont leur arête inférieure à $12^{\text{m}},412$ au dessus du niveau des rails. Les hauteurs des pannes sont $0^{\text{m}},675$ (A) $0^{\text{m}},600$ (B) $0^{\text{m}},500$ (C) $0^{\text{m}},400$ (D) $0^{\text{m}},300$ (E). Les trois premières sont composées de semelles de $\frac{200}{7}$ avec cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$, montants et croisillons en fer plat de $\frac{65}{8}$; pour les deux dernières, les semelles sont supprimées; les cornières sont réduites à $\frac{60 \times 60}{6}$ et les fers plats à $\frac{50}{6}$. Chaque secteur est contreventé par deux crois de saint André, allant des sablières aux pannes B et de celles-ci aux pannes D. Les diagonales, en fer plat de $\frac{70}{10}$, sont assemblées à leur point de croisement sur des goussets fixés sur les pannes A et C, et munies d'un tendeur à l'autre extrémité.

Les empanons sont à treillis, de $0^{\text{m}},35$ de hauteur, avec semelles en cornières de $\frac{50 \times 50}{6}$ et écharpes de $\frac{45}{6}$; ils sont surmontés d'un fer à T de $\frac{80 \times 55}{8 \times 7}$. Les pannes secondaires sont en forme de L, avec âme de $\frac{140}{6}$ et cornières de $\frac{80 \times 50}{5}$. Les rivets ont 18^{mm} dans les cornières de 70×70 , 16^{mm} dans celles de 60×60 et 14^{mm} dans celles de 50×50 .

Le vitrage est en verre strié de 5^{mm} d'épaisseur, porté par des fers à vitrage, avec boudin, de $\frac{50 \times 40}{20 \times 4}$ ($4^{\text{kg}},30$ le mètre) dont l'espacement moyen est de $0^{\text{m}},565$. Les parties pleines de la toiture sont couvertes en zinc n° 16, posé sur double voligeage: l'un, extérieur, en sapin brut de 13^{mm} ; l'autre, intérieur, en sapin de 24^{mm} , par frises de $0^{\text{m}},110$ de largeur, rainées avec baguettes. Au pied du grand lanterneau, règne un chemin de visite, de $0^{\text{m}},420$ de largeur, en tôle striée de 6^{mm} d'épaisseur.

Une collection de dessins déposée à la Bibliothèque de l'École.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires