

Auteur ou collectivité : Barrault, Alexis

Auteur : Barrault, Alexis (1812-1867)

Auteur secondaire : Bridel, Gustave (1827-1884)

Titre : Le palais de l'industrie et ses annexes : description raisonnée du système de construction en fer et en fonte adopté dans ces bâtiments avec dessins d'exécution et tableaux des poids

Adresse : Paris ; Liège : E. Noblet, 1857

Collation : 1 vol. (VI-45 p., B-XXVIII f. de pl.) : ill., tabl. ; 51 cm

Cote : CNAM-BIB Fol Ko 6

Sujet(s) : Exposition internationale (1855 ; Paris) ; Constructions métalliques -- France -- 19e siècle -- Dessins et plans ; Constructions pour expositions -- France -- 19e siècle -- Dessins et plans ; Paris (France) -- Palais de l'industrie -- Dessins et plans

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?FOLKO6>



$f^o = K_0 \cdot 6$

**Droits réservés au Cnam et à ses partenaires**

**Droits réservés au Cnam et à ses partenaires**

fe 706

LE

# PALAIS DE L'INDUSTRIE

ET

## SES ANNEXES

DESCRIPTION RAISONNÉE

DU SYSTÈME DE CONSTRUCTION EN FER ET EN FONTE

ADOPTÉ DANS CES BÂTIMENTS

AVEC DESSINS D'EXÉCUTION ET TABLEAUX DES POIDS

PAR

**M. ALEXIS BARRAULT,**

INGÉNIEUR EN CHEF DU PALAIS, CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR,

ET

**M. G. BRIDEL,**

INGÉNIEUR CHARGÉ DE LA CONDUITE DES TRAVAUX.

**DÉDIÉ A S. A. I. LE PRINCE NAPOLEON**



PARIS

E. NOBLET, ÉDITEUR, RUE JACOB, 20

LIÉGE

MÊME MAISON, PLACE D<sup>ME</sup> SAINT-PAUL

1857

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TYPOGRAPHIE HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7, BATIGNOLLES,  
Boulevard extérieur de Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A SON ALTESSE IMPÉRIALE

# LE PRINCE NAPOLÉON.

MONSEIGNEUR,

*Sa Majesté l'Empereur, en confiant à Votre Altesse Impériale la présidence de la Commission de l'Exposition universelle de 1855, a rehaussé l'importance de cette solennité mémorable, et en a assuré le succès.*

*Le zèle infatigable, l'intelligence supérieure, les décisions promptes et lumineuses du Président de la Commission ont excité la reconnaissance de l'industrie du pays et du monde civilisé.*

*Nous venons à notre tour supplier Votre Altesse Impériale d'agréer notre hommage; c'est grâce à Elle que le Palais de l'Industrie a été rapidement achevé et heureusement inauguré; nous sommes heureux de placer sous ses auspices la publication des procédés de l'architecture métallique de ce Palais.*

*Daignez recevoir,*

*Monseigneur,*

*l'assurance de notre profond respect et de notre gratitude,*

ALEXIS BARRAULT, G. BRIDEL.



# AVANT-PROPOS.

Décrire et expliquer le mode d'emploi de la fonte et du fer dans la construction du Palais de l'Industrie et de ses annexes ; faire apprécier, d'après cette expérience, les avantages, les inconvénients et les difficultés d'un large emploi des métaux dans les monuments publics : — tel est l'objet de cet ouvrage.

Notre travail, précédé par une *Introduction historique*, se divise en quatre chapitres, dont les premiers, consacrés au Palais, comprennent :

- La description du bâtiment;*
- L'exécution des travaux;*
- Les calculs et les documents statistiques.*

Le quatrième et dernier chapitre est consacré à la *description des annexes*, qui, nonobstant leur durée éphémère, ont présenté dans leur construction quelques particularités notables.

Enfin, dans les *conclusions*, nous avons cherché à préciser les résultats de l'alliance de la maçonnerie et des métaux, et nous avons discuté la question de la mise en œuvre du fer et du verre dans les grandes couvertures, sans rien dissimuler des difficultés que l'on rencontre dans ces diverses applications.

Le but des auteurs sera atteint si cet ouvrage est de quelque utilité à ceux de leurs collègues qui auront à exécuter des travaux analogues.—Cette publication se rapporte presque exclusivement, on le voit, à tout ce qui est relatif à l'emploi de la fonte et du fer ; c'est la partie dont ils ont eu à s'occuper le plus spécialement ; il n'est parlé des maçonneries que pour indiquer leur rôle relatif dans l'ensemble de la construction. Néanmoins, et pour donner une idée de l'aspect extérieur du monument, ainsi que de la décoration intérieure, on a reproduit dans les planches une élévation du pavillon principal (façade) et une coupe d'un pavillon d'angle, d'après les dessins de M. Viel.

Nous ne saurions terminer cet avant-propos sans parler du personnel qui a pris part aux études et à la construction du Palais.

MM. Viel et Desjardins sont les auteurs du premier projet (voir Pl. I) adopté par la Compagnie du Palais. Ce projet avait été étudié d'une manière très-complète, lorsque MM. York et C<sup>e</sup> proposèrent de se charger à forfait de la construction du Palais, mais à la condition expresse de pouvoir modifier ce projet, dont l'exécution eût été trop longue et trop dispendieuse.

Nous fûmes chargé alors par M. York, et conjointement avec notre honorable ami M. Cendrier, architecte en chef du chemin de fer de Paris à Lyon, de l'étude du nouveau projet et de la direction des travaux ; M. Lorentz nous fut adjoint pour la partie administrative et contentieuse. Deux bureaux d'études, dirigés, l'un par M. Bridel, ingénieur, l'autre par M. Villain, architecte, furent immédiatement organisés, et le projet définitif (voir Pl. II) fut bientôt proposé et adopté.

M. Desjardins se sépara de la Compagnie ; M. Viel passa au service de l'entreprise générale, et il fut chargé de la conduite des travaux de maçonnerie.

Plus tard, le 1<sup>er</sup> mai 1854, alors que toutes les grosses maçonneries du Palais étaient déjà terminées, M. Cendrier, à notre

grand regret, se démit de ses fonctions; M. Viel le remplaça dans la direction du bureau des architectes, et modifia les études de décoration déjà faites, dans le sens où elles ont été exécutées, pour la grande porte du pavillon Nord, les façades et les intérieurs.

La tâche de M. Bridel ne se borna pas à la direction du bureau des études; il fut successivement chargé de la conduite de l'atelier de construction et du montage des fontes et des fers; il prit une part encore plus large à la construction des annexes.

En saisissant cette occasion de rendre justice à son intelligence et à son infatigable activité, nous sommes heureux de le remercier, au nom de l'Entreprise et au nôtre, du concours qu'il nous a si utilement prêté.

Qu'il nous soit maintenant permis de rendre un hommage public à la direction éclairée de l'entrepreneur du Palais, M. York; ses avis, ses conseils, sa surveillance de tous les services, nous ont été d'un grand secours dans l'accomplissement de la tâche qu'il avait bien voulu nous confier.

Enfin nous devons un témoignage de notre reconnaissance bien sincère à M. de Rouville, directeur de la Compagnie, dont l'esprit d'équité et la bienveillance ne nous ont jamais fait défaut pendant toute la durée de l'entreprise.

*L'Ingénieur en chef du Palais,*

ALEXIS BARRAULT.

# INTRODUCTION HISTORIQUE

---

Avant 1855, à chaque exposition des produits de l'industrie française, on construisait à Paris un bâtiment provisoire destiné à abriter les produits exposés.

Chaque fois on s'étonnait de voir dépenser des sommes considérables dans ces constructions éphémères, et bon nombre de projets avaient déjà été proposés pour la construction d'un bâtiment définitif.

Mais la dépense, qui n'effrayait pas les auteurs des projets, rebutait constamment le gouvernement, et aucune Compagnie n'avait songé à exploiter les expositions françaises, qui avaient toujours été gratuitement ouvertes au public.

Les idées se modifièrent à cet égard lorsque la pensée d'une Exposition universelle, qui était née en France, dut se réaliser en Angleterre : la construction du Cristal-Palace de Hyde-Park fut confiée à une Compagnie, qui fut autorisée à se couvrir de ses dépenses par la perception d'un droit d'entrée prélevé sur tous les visiteurs.

L'Exposition universelle de Londres, en 1851, si remarquable sous tant de rapports, l'était surtout, à notre avis, par l'admirable disposition du bâtiment qui la contenait. Le Palais de Cristal, qui offrait un espace utilisable de huit hectares, avait été construit en quelques mois, et, tout provisoire qu'il était, il présentait un aspect imposant ; il avait un cachet d'élégance industrielle, qui fut admiré par le monde entier. Et cependant la dépense avait été minime, puisque le mètre carré de surface couverte n'avait coûté que 65 francs !

Le succès de l'Exposition universelle de Londres et l'annonce d'une solennité analogue à Paris pour 1854 popularisèrent l'idée de construire un local permanent pour les expositions. Le gouvernement demanda des projets aux architectes, et ceux-ci, s'inspirant en général de l'exemple du Palais de Cristal, abordèrent assez franchement le système de construction en métal, dont l'Angleterre avait produit un si heureux spécimen.

Nous avons représenté, pl. I, le projet de MM. Viel et Desjardins, pour l'exécution duquel il se forma une Compagnie financière qui obtint la concession gratuite des terrains occupés, le droit de percevoir une redevance de chaque visiteur, et une garantie d'intérêt de l'État.

Dans ce projet, le bâtiment se composait d'un corps principal flanqué de six pavillons qui contenaient les bureaux de l'administration, les escaliers et tous les accessoires du bâtiment. Le corps principal comprenait lui-même une grande salle centrale, de 48 mètres de large sur 192 mètres de long, entourée de toute part d'une galerie de 30 mètres de large, avec étage au-dessus.

Toute la construction, jusqu'au niveau du plancher, était en maçonnerie ; seulement les pièces composant ce plancher s'appuyaient en outre sur un grand nombre de colonnes en fonte,

qui réduisaient la portée des poutres. Le plancher lui-même était en fer, hourdé en poteries ; mais de distance en distance il était recoupé par des arcs-doubleaux en maçonnerie. L'étage, par contre, était presque entièrement en métal ; les façades mêmes du bâtiment se composaient de panneaux en fonte diversement ornés. La galerie était couverte par deux rangées de petits combles accolés, la grande nef par un comble unique, en courbe à plusieurs centres.

Afin d'être sûre de ne pas dépasser l'estimation de ses architectes, et afin de se prémunir, autant que possible, contre tout retard, la Compagnie concessionnaire résolut de confier l'exécution de son bâtiment à un entrepreneur unique, à forfait. Mais personne n'ayant voulu se charger d'exécuter, pour le prix indiqué, le projet adopté, elle consentit à traiter avec MM. York et C<sup>e</sup>, aux conditions suivantes :

MM. York et C<sup>e</sup> s'engageaient à exécuter tous les travaux du Palais de l'Industrie, sauf la peinture décorative et la sculpture, dans un délai déterminé et moyennant une somme fixée à l'avance, se réservant d'ailleurs la faculté de faire au projet telle modification qu'ils jugeraient convenable, pourvu que cette modification n'altérât ni les dimensions, ni la solidité, ni l'aspect artistique du monument.

Le traité fut signé vers la fin de décembre 1852, et les entrepreneurs se mirent immédiatement à l'œuvre.

La planche II représente l'ensemble du projet de l'entreprise. L'espace couvert est le même que celui du projet primitif, et la salle centrale est également conservée ; mais la répartition des matériaux est complètement changée.

La pierre, bannie de l'intérieur du bâtiment, est reportée en entier dans les murs de clôture formant parois.

Les supports intérieurs, les planchers, les combles sont entièrement métalliques ; les formes des pièces, appropriées à la nature des matériaux, sont des plus simples et presque sans ornementation. Le double comble de la galerie est remplacé par un comble unique.

Bien des raisons avaient amené ces changements. D'abord l'estimation de MM. Viel et Desjardins était trop basse, et il fallait absolument économiser sur la quantité des ouvrages pour pouvoir aborder cette affaire. Quoique la façade en fonte de l'étage du projet primitif ait été remplacée par une façade en pierre, le cube de la pierre s'est trouvé réduit de moitié et le poids du métal n'a pas augmenté.

Il y avait aussi des raisons techniques d'une grande importance : faire porter la charge, partie sur de la maçonnerie, partie sur des colonnes en fonte, est une méthode condamnée par tous les ingénieurs, parce que les tassements inévitables des maçonneries ne se font pas sentir sur les colonnes, et parce

qu'il en résulte des déformations dans les planchers et dans les combles, qui sont aussi désagréables à l'œil que nuisibles à la solidité du bâtiment.

Enfin le temps dont nous disposions pour l'exécution de ce travail était tellement court, qu'il fallait de toute nécessité arriver à une répartition des matériaux, pierre, fonte et fer, basée sur les ressources dont on pouvait disposer dans un délai fixé.

Ces différentes raisons ont amené les rédacteurs du projet à adopter les principes suivants :

1<sup>o</sup> Rendre la maçonnerie assez indépendante de la construction métallique pour que l'une n'entrave pas l'autre; mais cependant les établir de telle sorte, qu'elles se rattachent entre elles et se consolident mutuellement.

De cette façon la maçonnerie, qui pouvait être attaquée de suite avec vigueur, prenait de l'avance, tandis que les fontes et fers qui ne pouvaient arriver sur le chantier que plus tard à cause de la difficulté des études, de la construction des modèles et de la mise en train des ateliers d'ajustage, rattrapaient facilement le temps perdu, une fois le travail en train.

2<sup>o</sup> Faire la construction métallique aussi simple que possible, tout en adoptant des formes et des dispositions telles qu'on puisse se passer d'une ornementation coûteuse et fort longue à exécuter.

De fait, en matière de construction, ces deux conditions sont presque inséparables. Toute disposition compliquée et disgracieuse dénote un vice de construction ou une mauvaise distribution de la matière; c'est alors que, pour masquer la laideur de l'ensemble, on le cache sous une foule d'ornements plus ou moins heureux.

Ceci a généralement eu lieu en France, dans toutes les constructions où l'on a employé la fonte et le fer, et l'explication en est simple : la fonte et le fer étant, en construction, des éléments nouveaux dont on ne peut pas, dont on ne doit pas attendre les effets que les architectes savent obtenir avec la pierre, on cherche habituellement à les masquer sous des enroulements qui reproduisent les types de l'ornementation connue et pratiquée avec la pierre : on s'inquiète donc trop peu des formes que l'on donne à la fonte et au fer, et on compte sur l'enveloppe du plâtre ou du bois pour produire l'effet que l'on veut obtenir.

Par nécessité et au moins autant par principe, nous avons adopté un système opposé : nous n'avons pas voulu tenter de reproduire avec du métal un mode de construction qui est fait pour la pierre, et nous n'avons pas voulu non plus dissimuler par des artifices de mauvais goût la matière que nous avions à mettre en œuvre.

En un mot, nous avons presque partout montré à nu la fonte et le fer, employés suivant les lois imposées par la science et la nature des matériaux, sachant très-bien que nous n'arriverions pas aux effets obtenus dans les constructions ordinaires, mais en pensant que la simplicité des formes et la grandeur intérieure de l'édifice suffiraient pour lui donner un caractère particulier portant le cachet de sa destination, et par conséquent acceptable par le public et même par les artistes d'un sens droit.

Conséquents avec notre principe, nous avons calculé et étudié avec soin toutes les pièces métalliques qui se voient à l'intérieur; nous les avons faites aussi simples que possible; très-peu d'ornements ont été rapportés, et nous pouvons même dire que tous les essais d'ornementation qui ont été tentés sur une plus large échelle ont été repoussés, comme nuisant à l'effet général.

En ce qui concerne l'extérieur, la construction est entièrement en pierre; elle rentre dans les idées connues et acceptées, et sous ce rapport nous avons dû suivre scrupuleusement les avis des hommes éclairés et compétents que la Compagnie a consultés à ce sujet.

En résumé, le projet proposé et exécuté par l'Entreprise diffère du projet de la Compagnie concessionnaire par les points suivants :

La maçonnerie intérieure a été entièrement supprimée, ce qui, entre autres effets heureux, a augmenté l'espace disponible et rendu moins sombre la galerie inférieure.

Malgré cette suppression, le nombre des colonnes en fonte a encore été diminué; pour cela il a suffi d'agrandir la portée des pièces qui composent le plancher; le bâtiment y a gagné, tant sous le rapport de l'espace et de la facilité de la circulation, que sous celui de l'aspect, qui est infiniment plus hardi.

La construction métallique est parfaitement homogène, tandis que dans le projet primitif, maçonnerie et métal étaient entre-mêlés et ne tenaient que l'un par l'autre.

Les parois latérales de l'étage sont en pierre, au lieu d'être en fonte. De cette façon la construction des maçonneries était reportée sur toute la durée du travail; on supprimait ce grand placage en fonte que les usines n'auraient jamais pu terminer en temps utile, et qui aurait été difficile à bien assembler. Enfin cet étage a perdu en grande partie le caractère d'une serre chaude, qu'il aurait eu avec son toit et ses parois en verre.

Toutes nos fontes et nos fers sont apparents, quoique d'une grande simplicité, tandis que, dans le projet de la Compagnie concessionnaire, ils étaient en grande partie cachés dans du plâtre. Le bâtiment y a certes gagné en aspect, par la hardiesse et la légèreté des formes.

Quoi que l'on puisse penser d'ailleurs du système que nous avons adopté et suivi, nous devons ajouter que le délai qui nous était imposé ne nous laissait pas entièrement le choix des moyens; que la nécessité d'arriver à une époque fixe a souvent été notre principale règle de conduite. En effet, quoique nous ayons mis à contribution toutes les carrières des environs de Paris, que nous ayons employé de la pierre qui avait parcouru plus de 500 kilomètres par chemins de fer, que presque toutes les grandes fonderies de France aient travaillé pour nous, qu'enfin nous n'ayons reculé devant aucun sacrifice d'argent, de personnel, nous n'avons pu terminer l'œuvre que strictement à l'époque fixée, et nous n'y serions certainement pas arrivés si nous avions procédé dans un autre esprit et par une autre méthode que celle qui nous a constamment servi de guide: économiser sur les matériaux, en proportionner l'usage aux ressources disponibles, et les employer simplement.

# PALAIS DE L'INDUSTRIE

---

## CHAPITRE I.

### DESCRIPTION DU BATIMENT.

Nous avons indiqué sommairement les dimensions et les dispositions générales du Palais de l'Industrie : nous allons en continuer la description.

Ce bâtiment se compose, comme nous l'avons dit, d'une grande salle de 48 mètres de large sur 192 mètres de long, couverte en plein cintre, entourée d'une galerie à un étage, de 30<sup>m</sup>,10 de large. Cette galerie est subdivisée au rez-de-chaussée en quatre travées, dont l'une, touchant au mur, a 2<sup>m</sup>,10 de large, les deux suivantes 12 mètres chacune ; enfin celle qui touche la grande salle a 4 mètres de largeur. Le plancher de l'étage est à 9 mètres au-dessus du sol du rez-de-chaussée.

Au premier, les deux travées de 12 mètres sont réunies en une seule galerie couverte en plein cintre, de 24 mètres d'ouverture ; les travées de 2<sup>m</sup>,10 et de 4 mètres sont plafonnées et supportent les chéneaux.

Les travées de 2<sup>m</sup>,10 et de 4 mètres, composées de colonnes fortement entretoisées, paraissent, au premier aspect, devoir servir de culées et de piles aux trois arceaux qui supportent la couverture. Nous verrons plus loin que, en réalité, ces arceaux n'ont pas de poussée et qu'ils servent plutôt d'entretoises aux supports verticaux et aux murs ; néanmoins nous avons établi ces supports de manière à leur permettre de résister à une poussée éventuelle, et, de cette façon, la construction intérieure se trouve réellement subdivisée en quatre parties distinctes, savoir :

Travée de 2<sup>m</sup>,10.

Travée de 4 mètres.

Plancher.

Combles.

Nous diviserons notre description de la même manière, tout en ayant soin de donner les détails de chaque partie, aussitôt que l'ensemble sera suffisamment connu du lecteur.

**Travée de 2<sup>m</sup>,10.** — La travée de 2<sup>m</sup>,10, destinée surtout à servir de contre-fort au mur, est composée de la manière suivante (Pl. III) :

Une demi-colonne A, appliquée contre le mur, est fixée contre ce mur par un certain nombre de boulons.

Quelques-uns de ces boulons traversent le mur, les autres n'y tiennent que par un scellement.

Une colonne entière B, dont l'axe se trouve à 2<sup>m</sup>,10 du mur, est fortement reliée à la demi-colonne aux points suivants :

1<sup>o</sup> Sous le sol, où les bases C C' des deux colonnes sont munies d'entretoises boulonnées entre elles ;

2<sup>o</sup> Sous le plancher de l'étage, sur une hauteur de 3 mètres, d'abord par une poutre D faisant partie de ce plancher, puis par une entretoise spéciale E de 2<sup>m</sup>,140 de haut ;

3<sup>o</sup> Immédiatement au-dessus du plancher, par une entretoise F de 1 mètre de haut, boulonnée aux deux colonnes ;

4<sup>o</sup> A 4 mètres au-dessus du plancher, par les nervures de la colonne et de la demi-colonne formant un arceau, et boulonnées ensemble ; enfin par une pièce de fonte unique G, boulonnée sur la tête des supports verticaux et qui reçoit le patin des petites fermes. Nous appellerons cette pièce du nom de *retombée*.

En face de l'entretoise du rez-de-chaussée se trouve une forte console H en fonte, destinée à supporter l'about de la grande poutre en tête du plancher.

Nous examinerons plus tard les assemblages de ces différentes pièces ; il nous suffit de faire remarquer ici que leur agencement est tel que les deux colonnes et leurs entretoises peuvent être considérées comme une forte nervure de 2<sup>m</sup>,10 de saillie, armant le mur de distance en distance depuis le bas jusqu'au sommet, et le forçant ainsi à rester droit dans toute sa hauteur. Si, en outre, on remarque que ces nervures sont elles-mêmes entretoisées à travers le bâtiment par les fermes et par les planchers, on comprendra aisément qu'elles s'opposent d'une manière absolue à l'écartement ou au déversement des murs.

**Travée de 4 mètres.** — La travée de 4 mètres présente beaucoup d'analogie avec la précédente (Pl. IV, *fig. 1*). Elle se compose essentiellement de deux rangées de colonnes A et B, écartées de 4 mètres d'axe en axe, et entretoisées comme celles de la travée de 2<sup>m</sup>,10.

Sous le sol les bases sont reliées par une entretoise C boulonnée avec elles.

Dans l'épaisseur du plancher, les deux tronçons de colonne sont venus de fonte avec une entretoise D servant de poutre au

plancher. Une entretoise E, de 2<sup>m</sup>,135 de haut, placée immédiatement au-dessous de cette poutre, complète la consolidation du rez-de-chaussée, et se prolonge vers la grande poutre en tôle, sous forme d'une console H pareille à celle de la travée de 2<sup>m</sup>,10.

Au premier étage nous remarquons une forte entretoise F, en forme d'arceau, boulonnée aux deux colonnes; enfin une retombée en fonte G, portant les prolongements des colonnes, boulonnée sur celles-ci et sur l'entretoise, reçoit les patins des grandes et des petites fermes.

La travée de 4 mètres présente donc le même caractère de rigidité que celle de 2<sup>m</sup>,10, dans le plan passant par l'axe des colonnes.

**Plancher.** — Dans le sens perpendiculaire au plan des fermes les colonnes sont écartées entre elles de 8 mètres, sauf dans les angles où la symétrie de la construction nous a forcés à adopter des écartements de 4 mètres sur la grande salle et de 12 mètres pour le plancher. Celui-ci est ainsi formé en général de travées de 30<sup>m</sup>,10 sur 8 mètres, exceptionnellement de 26<sup>m</sup>,10 sur 12 mètres. (Pl. XXI, *fig. 3.*)

Chacune de ces travées se compose d'une poutre longitudinale en tôle G, de 24 mètres de long, sur 1 mètre de hauteur, reposant par ses extrémités sur les colonnes des travées de 2<sup>m</sup>,10 et de 4 mètres, en son milieu sur une colonne isolée flanquée de deux consoles semblables aux précédentes.

Les poutres de deux travées consécutives sont entretoisées par neuf poutres en fonte de 8 mètres de long, dont cinq, marquées n° 2, 3, 9, de 80 centimètres de haut, reposent directement sur les colonnes, tandis que les quatre autres, marquées n° 6, de 60 centimètres de hauteur seulement, portent sur les poutres en tôle. La distance entre deux de ces poutres est de 4 mètres, sauf pour les deux dernières avoisinant le mur, qui ne sont écartées que de 2<sup>m</sup>,10 d'axe en axe.

Quatre cours de fer à double T, de 20 centimètres de hauteur, parallèles aux poutres en tôle et distants de 1<sup>m</sup>,60 entre eux, reposent sur les poutres en fonte et complètent la charpente du plancher.

Celui-ci est double et se compose d'un premier plancher ou solivage jointif en sapin, de 54 millimètres d'épaisseur (Pl. XIV, *fig. 1 à 4*), reposant directement sur la charpente, et d'un parquet en chêne, de 27 millimètres d'épaisseur, fixé sur le premier.

Les madriers de sapin qui forment le premier plancher sont assemblés à languettes rapportées; leurs joints sont obliques par rapport aux poutres et solives. Les abouts des planches sont vissés sur des fourrures en bois fixées sur les poutres en fonte, tandis que le madrier repose, en un et souvent en deux points, sur les solives auxquelles il est fixé au moyen des moulures qui se dessinent au rez-de-chaussée.

Les joints du parquet sont perpendiculaires aux solives, et comme ce parquet est fortement cloué sur le plancher inférieur, l'ensemble des deux forme une sorte de table d'une seule pièce, qui répartit les pressions locales sur une grande surface et contrevente toute la construction dans un plan horizontal.

L'efficacité de cette disposition, que nous avions adoptée afin de diminuer autant que possible le nombre de solives, nous a été parfaitement démontrée par une épreuve du plancher, dans laquelle chaque mètre superficiel a supporté une surcharge de 500 kilogrammes.

Chaque solive en fer résistait à une charge de 500 × 1,60 × 4 = 3200 kilogrammes uniformément répartis, et aurait dû fléchir de 8 à 10 millimètres; et cependant leur flèche a été tellement faible qu'elle n'a pu être appréciée.

On voit dans les planches II et V que les poutres en fonte placées entre les colonnes sont raccordées avec ces colonnes par des consoles. Ces consoles sont de simples ornements qui ne jouent aucun rôle dans la stabilité de la construction.

**Combles.** — Les combles se composent de fermes écartées de 8 mètres (Pl. XXI, *fig. 6*), reliées de 2<sup>m</sup>,80 en 2<sup>m</sup>,80 par des pannes qui ont ainsi 8 mètres de longueur. A chaque extrémité de la grande salle les fermes ne sont plus écartées que de 4 mètres. Enfin les galeries longitudinales et transversales viennent se raccorder suivant quatre croupes, formant des arétiers du côté du mur, des noues du côté de la grande salle. Deux demi-fermes s'appuient d'une part sur le sommet de chaque arétier, d'autre part sur deux piles de la travée de 2<sup>m</sup>,10.

Les pannes supportent les chevrons en fer à vitrage par l'intermédiaire de petits sabots en fonte.

Les fermes, que nous décrirons en détail dans un des paragraphes suivants, sont en arc de cercle; elles se composent de deux arcs concentriques en fer plat et cornières, reliés entre eux par des entretoises normales et par des diagonales. Ce mode de construction en fait de véritables poutres cintrées reposant sur deux appuis; car il ne peut y avoir écartement des pieds de ces fermes que s'il y a raccourcissement de l'arc supérieur et allongement de l'arc inférieur.

Les pannes sont établies dans le même système; elles servent à la fois de supports au chevonnage et d'entretoises aux fermes.

**Fondations.** — **Égouts.** — (Pl. VI). Dans une construction du genre de celle qui nous occupe, les assemblages ont besoin d'être exécutés avec une grande précision pour être efficaces.

La nature des matériaux ne permettant pas de mouvements, même très-faibles, il a fallu disposer les fondations de manière à être assuré qu'il n'y aurait pas de tassements partiels, surtout dans les parties de la construction les plus fortement liées, telles que les travées de 2<sup>m</sup>,10 et de 4 mètres. A cet effet nous avons fondé chacune de ces deux travées sur un massif continu assez fort pour répartir les pressions locales sur une très-grande surface.

D'un autre côté, l'écoulement des eaux pluviales tombant sur un espace de près de 3 hectares exigeait des moyens énergiques de drainage, et nous avons combiné les égouts destinés à cet usage, de manière à les faire servir de fondations.

Les murs du Palais de l'Industrie reposent sur une couche de béton de 1<sup>m</sup>,50 de large, dont l'épaisseur varie avec la nature du terrain (Pl. VI, *fig. 1*). Un égout de forme ovoïde, en meu-

lière et en mortier de chaux hydraulique, enduit de ciment à l'intérieur, côteoie le massif de béton à l'intérieur du bâtiment et lui sert de parement. Au droit de chacune des colonnes de la travée de 2<sup>m</sup>,10 se trouve un massif de béton de 2 mètres sur 2 mètres supportant un dé en grès des Vosges de 1 mètre sur 1 mètre et 50 centimètres d'épaisseur, qui reçoit la base de la colonne. Ces piliers de béton sont liés intimement avec l'égout, de sorte que la fondation du mur et des demi-colonnes, l'égout et la fondation des colonnes forment un massif unique.

Les colonnes de la travée de 4 mètres (Pl. VI, *fig. 2*) reposent également sur des piliers en béton de 2 mètres sur 2 mètres, par l'intermédiaire de dés en grès des Vosges. Ces piliers sont liés entre eux en tout sens par un égout semblable à celui de la travée de 2<sup>m</sup>,10, mais plus large.

Les deux plus courtes branches de cet égout sont prolongées jusqu'à la rencontre de celui de la travée de 2<sup>m</sup>,10, de manière à faciliter les communications souterraines. Enfin, dans le petit axe du bâtiment se trouve une galerie principale (Pl. VI, *fig. 4* et 5) qui reçoit toutes les eaux du comble et les conduit au dehors. La figure 4 de la planche VI indique les pentes de tous ces égouts; les figures 5 et 6 de la même planche représentent leurs sections.

Les colonnes qui supportent le milieu des poutres en tôle du plancher (Pl. VI, *fig. 3*) reposent sur des dés en grès de 1 mètre sur 1 mètre et 50 centimètres d'épaisseur, posés sur des massifs en béton de 2 mètres sur 2 mètres.

Nous venons de donner une description générale de la construction; nous avons à entrer dans quelques détails sur les parties essentielles qui la composent.

#### COLONNES, ENTRETOISES ET CONSOLES.

Les colonnes du Palais de l'Industrie sont creuses; au rez-de-chaussée elles ont 35 centimètres de diamètre extérieur, au premier étage ce diamètre est réduit à 30 centimètres. Leur section intérieure est circulaire; la section extérieure est un octogone mixtiligne, dont quatre côtés sont plans et correspondent à ceux de l'octogone circonscrit; les quatre autres côtés sont circulaires et se raccordent avec les quatre premiers par huit normales. Cette forme, que nous avons empruntée au Palais de Cristal de Londres, convient sous tous les rapports aux constructions en métal: elle est élégante, tout en étant facile à exécuter, et se prête très-bien à toute espèce d'assemblages. L'épaisseur générale de la fonte est de 18 à 20 millimètres.

Sur leur hauteur, les colonnes sont subdivisées en plusieurs tronçons assemblés entre eux au moyen de brides carrées de 60 millimètres d'épaisseur et de quatre boulons de 25 millimètres de diamètre. En outre, le tronçon supérieur s'emboîte chaque fois de 20 millimètres dans le tronçon inférieur. Afin d'obtenir un assemblage parfaitement correct, nous avons dressé au tour la surface de contact des brides et nous avons alesé et tourné, avec 1 millimètre de jeu, les emboîtures.

Des colonnes en plusieurs pièces, quoique bien assemblées,

n'auraient pas présenté une stabilité suffisante, si chaque pièce n'avait été entretoisée avec quelque pièce voisine; par cette raison les tronçons de colonnes ont des longueurs très-variables.

Immédiatement au-dessus des fondations, une première pièce, de 55 centimètres de hauteur seulement, est venue de fonte avec une partie carrée de 90 centimètres de côté (Pl. VI, *fig. 7*). Ce patin est relié au corps de la colonne par quatre nervures qui aboutissent aux angles du patin.

Dans les travées de 2<sup>m</sup>,10 et de 4 mètres (Pl. VI, *fig. 8* et 9) une de ces nervures est remplacée par une portion d'entretoise de même hauteur que la colonne. L'entretoise de la colonne et celle de la demi-colonne de la travée de 2<sup>m</sup>,10 (Pl. VI, *fig. 9*) sont assemblées entre elles par quatre boulons de 23 millimètres de diamètre, et par deux clefs en fer de 30 millimètres sur 20 d'équarrissage, qui ont servi à régler le parallélisme et l'écartement des deux bases.

Les bases des colonnes qui servent de tuyaux de descente pour les eaux du comble sont venues de fonte avec un tuyau de 150 millimètres de diamètre qui, partant du corps de la colonne, s'applique d'abord sur le patin, puis s'infléchit brusquement pour prendre la direction verticale.

Toutes les bases de colonnes ont, sous leur patin, une sorte de goujon creux, de 200 millimètres de diamètre, qui s'engage dans le trou pratiqué dans le dé en pierre. Pour les colonnes à descente, le vide de ce goujon, maintenu ouvert pour former une seconde portée au noyau et centrer ainsi ce noyau, a été rempli de ciment pour empêcher les infiltrations.

Dans la travée de 4 mètres (Pl. VI, *fig. 8* et 11), l'écartement des bases est maintenu par une entretoise rapportée, assemblée avec les bases au moyen de boulons et de clefs en fer. Il y a deux modèles de ces entretoises; l'un a servi pour les travées ordinaires, l'autre pour les travées dans lesquelles l'une des colonnes servait de descente d'eau.

Les quatre angles de la travée de 4 mètres (Pl. XXI, *fig. 1*, et pl. VI, *fig. 12*), composés chacun de quatre colonnes écartées de 4 mètres en tout sens, ont reçu des bases spéciales munies chacune de deux amores d'entretoises et reliées entre elles par quatre entretoises ordinaires, de manière à former un carré très-rigide. La même base d'angle a servi dans la travée de 2<sup>m</sup>,10 où elle se raccorde aux deux demi-bases par deux entretoises spéciales (Pl. VI, *fig. 13*).

Les bases des colonnes, vu leur faible hauteur et leur faible poids, étaient faciles à manier. Par cette raison nous avons pu les poser sur cales rapidement et avec précision; puis nous les avons fichées avec de bon mortier et entourées d'un massif en moellons. Si maintenant on se rappelle que les joints des colonnes étaient dressés au tour et munis d'emboîtures tournées et alesées, on comprendra aisément que ces colonnes ont été posées correctement, sans qu'il ait été nécessaire de tâtonner ou de corriger.

De la base aux poutres du plancher (Pl. VII, *fig. 1*) la colonne est fondue d'une seule pièce, sur une longueur de 7<sup>m</sup>,740. A partir du bas, sur une hauteur de 5<sup>m</sup>,640, cette colonne est complètement lisse; mais en ce point elle porte trois ou

quatre saillies *t* venues de fonte et que nous appellerons *talons*.

Les talons (Pl. III, IV et V) sont destinés à supporter et à assujettir le pied des consoles H et des entretoises E. Les éminences *e*, *e'*, *e''* sont dressées, et les clefs en fer *f*, *f'* (Pl. IV, *fig. 2* et 3) rendent les joints fixes; enfin une petite nervure *n*, qui s'engage dans la rainure *r*, s'oppose au déplacement latéral des entretoises et des consoles.

A leur partie supérieure les entretoises ne sont pas ajustées sur les colonnes; mais l'écartement de ces colonnes est maintenu par un fort boulon de 40 millimètres de diamètre; deux clefs en fer *c*, chassées entre les colonnes et l'entretoise, donnent le serrage nécessaire. Le boulon n'est pas apparent; il est caché dans une rainure venue de fonte avec l'entretoise. L'une des extrémités du boulon se termine par un renflement traversé par une clavette; ce renflement pénètre dans un mamelon venu de fonte avec la console H (Pl. VII, *fig. 10*) et y est assujetti par la clavette. La face de contact du mamelon et l'éminence I de la colonne sont dressées.

Dans la travée de 4 mètres (Pl. VII, *fig. 10*), l'autre extrémité du boulon a 50 millimètres de diamètre et est taraudée. Un fort écrou en fer, placé du côté de la grande salle, nous a permis de serrer énergiquement cet assemblage.

Le tirant de la travée de 2<sup>m</sup>,10 (Pl. VII, *fig. 11*) est en deux pièces réunies par un double écrou à filets inverses; la partie la plus courte porte deux talons ou ergots, qui se logent dans une entaille venue de fonte derrière la demi-colonne.

Les angles de la grande salle se composent de huit colonnes écartées de 4 mètres. Elles sont reliées par dix entretoises ordinaires de 4 mètres et par quatre tirants de 8 mètres de long, de telle sorte que ces piliers d'angle ont une rigidité et une stabilité hors ligne.

Les consoles minces (Pl. V et Pl. VII, *fig. 1*), placées sous les poutres en fonte du plancher, sont fixées à leur partie supérieure par deux vis de 20 millimètres taraudées dans la colonne. Les éminences *e* de la colonne et de la console sont dressées.

Les colonnes du milieu du plancher (Pl. VII, *fig. 2*) sont terminées par un fort plateau en fonte sur lequel reposent les poutres en tôle. Ce plateau porte à sa partie supérieure deux ergots *e*, dont nous indiquerons plus loin la fonction.

Dans l'épaisseur du plancher un tronçon de colonne (Pl. VII, *fig. 8*) de 30 centimètres de diamètre et de 1<sup>m</sup>,160 de hauteur reçoit l'assemblage des poutres. A cet effet les brides de ces colonnes sont élargies et portent des ergots semblables à ceux des plateaux.

Les abords des poutres du plancher sont munis de talons ajustés qui s'engagent dans la cavité formée par les ergots, les brides et les corps des bouts de colonne. Le serrage est obtenu au moyen de clefs en fer chassées à coups de marteau. De petites rainures *r*, *r* (Pl. VII, *fig. 8* et *fig. 11*) reçoivent une languette *l* venue de fonte avec la poutre à sa partie inférieure, et une autre *l'* rapportée dans une cavité *e* ménagée à sa partie supérieure.

Les bouts de colonne et de demi-colonne de la travée de 2<sup>m</sup>,10 sont venus de fonte séparément; ils reçoivent une petite poutre en fonte assemblée comme nous venons de l'indiquer.

Pour la travée de 4 mètres (Pl. XI, *fig. 1*), les deux bouts de

colonne sont venus de fonte avec leur poutre. Cette disposition, qui est préférable en ce qu'elle produit une solidarité parfaite, n'a pu être adoptée pour la travée de 2<sup>m</sup>,10, parce que les pièces qui la composent étaient fondues lorsque nous nous sommes décidés à faire d'une seule pièce celles de la travée de 4 mètres.

Tous les assemblages que nous avons passés en revue jusqu'ici ont été faits au moyen de clavettes. Ce système est très-avantageux pour la pose, en ce qu'il n'exige pas une précision rigoureuse dans l'ajustage. En effet, avec les assemblages ordinaires de pièces mécaniques, si au levage il se présente quelque imperfection dans la forme des joints, il faut redescendre les pièces et les corriger.— Les équipes de charpentiers chargés du levage étant généralement nombreuses, les retards qui résultent de pareilles manœuvres occasionnent des frais considérables. Avec les clefs en fer le levage est toujours possible, et l'on se munit de clefs de différents calibres. Si l'on n'a pas le modèle convenable, on assujetti la pièce au moyen de clefs provisoires en bois et l'on continue le levage; un serrurier qui suit l'équipe remplace la cale en bois par une clef en fer définitive.

Au premier étage, le nombre de pièces à fixer sur chaque colonne était moins considérable; par conséquent, l'ajustage était plus facile; d'un autre côté les supports, moins bien entretoisés que sous le plancher, devaient présenter une rigidité parfaite, difficile à obtenir au moyen de clefs; aussi avons-nous adopté pour cette partie de la construction des joints à brides et à boulons avec contacts dressés.

Toutes les colonnes du premier ont 30 centimètres de diamètre extérieur; elles ne diffèrent que par les nervures ou appendices qui les relient entre elles.

Dans la travée de 2<sup>m</sup>,10 (Pl. VIII, *fig. 1*) les demi-colonnes sont venues de fonte avec la moitié d'un arceau. L'autre moitié de cet arceau fait partie de la colonne (Pl. VIII, *fig. 2*); elle est assemblée à la première par dix boulons de 20 millimètres. Une entretoise de 1 mètre de haut (Pl. III) est rapportée entre les pieds de ces colonnes et demi-colonne et y est fixée par douze boulons de 20 millimètres. Le pied de la demi-colonne est traversé par un boulon de 30 millimètres, dont la tête s'appuie sur un fort bouclier en fonte appliquée contre le mur à l'extérieur. D'autres boulons, fixés à scellement dans le mur, relient plus haut la demi-colonne à ce mur.

La poutre en tôle, assemblée sur le bout de colonne, comme nous venons de l'indiquer, est en outre maintenue par un fort boulon I (Pl. III) de 50 millimètres de diamètre (60 au filetage) qui traverse le pied de la colonne, s'infléchit à 45° et se lie à la poutre en tôle au moyen de deux platines M rivées sur la tête du boulon et sur la lame de la poutre.

Du côté de la travée de 4 mètres, la poutre en tôle est retenue contre le bout de colonne par un fort harpon en fer, dont la patte est rivée sur la lame de la poutre et l'écrou logé dans l'intérieur de la colonne.

La colonne de la travée de 2<sup>m</sup>,10 porte en outre une amorce de la ferme sur sa face opposée au mur.

Les colonnes de la travée de 4 mètres ne sont pas venues de fonte avec leur arceau (Pl. VIII, *fig. 3* et 4), parce qu'elles seraient devenues trop volumineuses. Elles sont assemblées sur l'arceau

par vingt-quatre boulons de 20 millimètres. Celles qui sont placées du côté de la petite salle portent une amorce de ferme, semblable à celle des colonnes de la travée de 2<sup>m</sup>,10.

Du côté de la grande salle (Pl. VIII, *fig. 4*) elles sont venues de fonte avec une amorce de grande ferme partant du pied de la colonne. Mais sur les petits côtés (Pl. VIII, *fig. 5*) de cette grande salle qui se termine par des pignons, la face antérieure est absolument lisse.

Les colonnes d'angle de la grande salle (Pl. VIII, *fig. 6*) reçoivent des entretoises sur deux de leurs faces perpendiculaires entre elles; elles sont venues de fonte avec les amorces de ces entretoises.

Enfin la colonne qui forme l'angle de la petite salle (Pl. VIII, *fig. 7*) du côté de la travée de 4 mètres porte en outre deux amorces de petites fermes et une amorce de ferme de croup. Ces pièces sont rapportées et boulonnées.

Les angles de la travée de 2<sup>m</sup>,10 ont aussi une colonne spéciale portant deux entretoises et l'amorce de l'arétier (Pl. VIII, *fig. 8*). Cette dernière pièce et l'une des entretoises sont rapportées et fixées au moyen de boulons.

L'assemblage des consoles du premier étage se fait au moyen de quatre vis de 20 millimètres taraudées dans la colonne, et d'un petit ergot (Pl. V, *fig. 2*) sur lequel repose le pied des consoles.

Dans les angles de la travée de 4 mètres et dans les piliers de la travée de 2<sup>m</sup>,10, qui ne sont écartés que de 4 mètres d'axe en axe, les consoles sont remplacées par des entretoises très-légères (Pl. XIV, *fig. 10*), qui sont assemblées avec les colonnes comme le sont les consoles.

#### RETOMBÉES.

Les retombées des fermes couronnent les travées de 4 mètres et de 2<sup>m</sup>,10. Celles de la travée de 2<sup>m</sup>,10 se composent d'un bout de colonne boulonné (Pl. X, *fig. 3*) sur la colonne de l'étage, d'une forte bride verticale boulonnée contre le mur, d'une autre bride horizontale boulonnée sur la demi-colonne et sur l'entretoise en forme d'arceau, d'une amorce de ferme qui raccorde l'amorce de la colonne avec la ferme, d'une bride recevant le patin de cette ferme, enfin d'un panneau évidé qui raccorde entre elles ces différentes pièces. Ces retombées sont de deux espèces: les unes sont destinées aux colonnes servant de descente d'eau; elles portent un bout de tuyau oblique M (Pl. IX, *fig. 4*) à emboîture qui reçoit le tuyau de descente; les autres n'ont pas ce tuyau de descente. Enfin les quatre retombées d'angle ne diffèrent des précédentes que par leurs dimensions et par l'addition d'une contre-fiche à nervure dans leur panneau (Pl. X, *fig. 2*).

Dans la travée de 4 mètres, la retombée se compose de deux bouts de colonne venus de fonte avec une entretoise qui les relie. La bride inférieure est boulonnée sur l'about des colonnes et sur l'entretoise. Les retombées des longs côtés du bâtiment (Pl. IV) portent deux amorces de la grande et de la petite ferme terminées par les brides qui reçoivent les patins des fermes. Sur les

petits côtés l'amorce de la grande ferme est supprimée et remplacée par les brides qui reçoivent les contre-forts des pignons (Pl. IX, *fig. 3*). Les retombées à descente sont munies d'un bout de tuyau de chute (Pl. IX, *fig. 1*); les retombées ordinaires des pignons sont fondues d'une seule pièce (Pl. IX, *fig. 3*); mais les retombées ordinaires des longs côtés sont fondues en trois pièces assemblées par quatre boulons de 30 millimètres et huit boulons de 20 millimètres (Pl. IX, *fig. 2*).

Les retombées d'angle sont en deux pièces assemblées de la même façon (Pl. X, *fig. 1*); elles portent en outre deux amorces des fermes qui touchent l'arétier. Ces pièces sont rapportées à la pièce principale et fixées au moyen de boulons.

Les retombées sont reliées entre elles par des poutres en fonte de 1<sup>m</sup>,20 de haut (Pl. V) assemblées sur les colonnes à plat-joints, au moyen de huit boulons de 20 millimètres, traversant la poutre, et de fortes brides venues de fonte avec la retombée. Ces poutres sont en fonte pour les longueurs de 8 et de 4 mètres (Pl. XI, *fig. 11*); les premières portent cinq, les dernières trois vides rectangulaires (Pl. XXV, *fig. 3*) que l'on a remplis avec des ornements en bois découpé.

Dans les angles de la travée de 2<sup>m</sup>,10, où elles ont 12 mètres de longueur, ces poutres sont à diagonales, en fer et cornières (Pl. XIII, *fig. 1*); elles sont entourées d'une chemise en menuiserie qui leur donne un aspect tout à fait semblable à celui des poutres ordinaires.

Sur tout son pourtour, le mur du Palais de l'Industrie est chaîné par une ligne de poutres en fonte (Pl. III) à nervures très-saillantes d'un seul côté, et reliées à ce mur par quatre boulons de 30 millimètres (Pl. XI, *fig. 10*) qui le traversent et le maintiennent au moyen de bouliers en fonte. Ces poutres sont boulonnées contre les retombées de 2<sup>m</sup>,10 (Pl. XXV, *fig. 2*). Les poutres placées au droit des pavillons sont beaucoup plus faibles; enfin celles des angles, qui ont 12 et 14 mètres de long, se composent d'un fer plat de 210 millimètres de large sur 10 millimètres d'épaisseur, armé à sa partie inférieure d'une cornière de 80 millimètres.

Non-seulement ces poutres chaînent le mur, mais encore elles s'opposent à toute espèce de bombement dans le sens horizontal entre deux piles consécutives, bombement qui tend à se produire par suite du surplomb de la corniche.

#### PLANCHER.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, les planchers se composent de poutres en tôle et en fonte, de solives en fer à T (Pl. XXI, *fig. 3*) et de deux planchers en bois superposés.

Les poutres principales sont en tôle et ont 24 mètres de longueur, mais elles portent sur une colonne intermédiaire qui réduit leur portée à 12 mètres.

Les poutres de 24 mètres des travées courantes G (Pl. XXI, *fig. 3*) se composent d'une lame en tôle de 6 millimètres d'épaisseur sur 969 millimètres de hauteur, composée de deux feuilles extrêmes de 1<sup>m</sup>,735 de long et de cinq feuilles intermédiaires de 4 mètres de long (Pl. XII et XIII, *fig. 2*). En haut et en bas cette

lame est munie d'une nervure composée de deux cornières à branches égales de 90 millimètres de large sur 11 millimètres d'épaisseur et d'une barre de fer méplat de 210 millimètres de large sur 15 millimètres et demi d'épaisseur. Les joints des tôles sont formés par deux fourrures en fer plat de 160 millimètres de large sur 11 (Pl. XIII, *fig. 10*), rachetant l'épaisseur des cornières, et par deux barres de fer à T simple de 150 millimètres de large présentant une côté de 80 millimètres de saillie. Ces couvre-joints sont serrés par deux rangées de rivets de 20 millimètres de diamètre; les cornières et fers plats formant les nervures de la poutre sont également assemblés entre eux et sur la lame au moyen de rivets de 20 millimètres.

Ces fers étant difficiles à fabriquer à une longueur dépassant 8 mètres, nous les avons formés de plusieurs pièces, à joints chevauchés, assemblées au moyen de couvre-joints. Ces couvre-joints sont de même force que les barres qu'ils assemblent; ils ont 800 millimètres de long pour les cornières, 600 pour les fers plats de la nervure supérieure, et 1 mètre pour ceux de la nervure inférieure. Tous les rivets étant écartés de 100 millimètres d'axe en axe, les joints des cornières intéressent dix rivets, ceux des fers plats douze rivets sur la nervure supérieure, vingt rivets sur la nervure inférieure.

Les poutres G se terminent à leurs extrémités par deux sabots en fonte n° 3 (Pl. XIII, *fig. 11*) qui s'assemblent sur les bouts de colonne, et sont rivés sur la lame et entre les cornières de la poutre. Un autre sabot n° 1 (Pl. XIII, *fig. 13*) reçoit l'assemblage de la poutre en fonte qui relie les colonnes du milieu; seize sabots n° 2 (Pl. XIII, *fig. 16*), fixés deux à deux au moyen de boulons de 30 millimètres, servent à maintenir les poutres intermédiaires de 600 millimètres de haut. Dans les angles, les poutres de 24 mètres subissent quelques modifications.

La poutre C est munie de douze sabots n° 7 (Pl. XII, *fig. C*, et Pl. XIII, *fig. 17*) rivés sur une de ses faces, remplaçant huit sabots n° 2 et destinés à supporter les abouts des solives.

La poutre E porte sur une de ses faces quatre sabots n° 6 (Pl. XII, *fig. E*, et Pl. XIII, *fig. 14*) au lieu de sabots n° 2. Le fer plat de sa nervure a 18 millimètres d'épaisseur au lieu de 15 1/2. Enfin la poutre D (Pl. XII, *fig. D*), qui est beaucoup plus chargée que les précédentes, se compose d'une lame de 946 millimètres de haut sur 6 d'épaisseur, de quatre cornières de 90 millimètres sur 11 d'épaisseur et de quatre rangées de fer plat de 210 millimètres sur 13 1/2, donnant à chacune de ses nervures 27 millimètres. Les joints des deux fers plats se croisent de 500 millimètres seulement, et les couvre-joints ont 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>,500 de long, de sorte qu'ils intéressent trente rivets. L'extrémité de ces poutres qui vient porter sur le milieu de la poutre C est munie d'un sabot n° 3 (Pl. XIII, *fig. 15*); les nervures sont réunies par un gousset en tôle rivé sur les deux poutres.

Les autres poutres des angles sont toutes en tôle, car elles n'ont pas moins de 12 mètres de long et auraient été difficiles à faire en fonte. Celles B (Pl. XII) ne diffèrent des poutres G qu'en ce qu'elles sont partagées en deux par le milieu et s'appliquent des deux côtés d'un bout de colonne, au lieu de porter sur une colonne intermédiaire. Chaque pièce est munie de deux sabots n° 6 et de deux consoles n° 10 (Pl. XIII, *fig. 14* et 19).

Les poutres A et C (Pl. XII et XIII, *fig. 5*) n'ont que 800 millimètres de haut; elles se composent d'une lame de 784 millimètres de haut sur 5 d'épaisseur, de quatre cornières de 90 millimètres sur 11 et de deux bandes de fer plat de 210 millimètres sur 8. Elles portent chacune six sabots n° 9 (Pl. XIII, *fig. 18*); les extrémités sont munies de deux sabots n° 4 pour les poutres A, et d'un sabot n° 4 et d'un sabot n° 5 pour les poutres C (Pl. XIII, *fig. 12* et 13). Ce dernier correspond à l'assemblage sur la poutre.

Les poutres F n'ont plus que 600 millimètres de haut; leur lame a 564 millimètres sur 5 (Pl. XII et XIII, *fig. 6*), les cornières sont de 90 millimètres sur 11, et chacune des nervures se compose de deux fers plats de 210 millimètres sur 9. Il n'y a pas de couvre-joints, les joints étant assez rapprochés des extrémités et croisés sur une longueur assez grande pour que la résistance des nervures soit partout suffisante. Ce mode de construction donne aux poutres un aspect très-satisfaisant, et il n'est pas sensiblement plus cher que celui des couvre-joints partiels, dès que les nervures se composent de plusieurs épaisseurs réunies. Les abouts des poutres F sont formés de cornières s'assemblant d'onglet avec les cornières des nervures; enfin six sabots n° 9 (Pl. XIII, *fig. 18*), fixés sur la nervure supérieure, complètent la poutre.

Contre les murs les demi-colonnes sont entretoisées par des poutres dont les nervures sont portées d'un seul côté. Les poutres H ont 1 mètre de haut; celles I n'ont que 800 millimètres (Pl. XII et XIII, *fig. 7* et 8). Les lames ont 2 millimètres d'épaisseur et se composent de feuilles de 2 mètres de long. Les cornières n'ont que 60 millimètres sur 10 d'épaisseur. Chaque nervure se compose d'une cornière unique placée du côté opposé au mur; du côté de ce mur elle est remplacée par un fer plat de 68 millimètres sur 10. La nervure inférieure est en outre consolidée par un fer plat de 108 millimètres sur 5; les abouts sont renforcés par deux platines de 60 millimètres sur 10 d'épaisseur. Enfin les joints verticaux se composent de deux fers plats de 115 millimètres sur 4 d'épaisseur; de deux en deux elles sont renforcées par un fer à T formé de deux cornières de 50 millimètres rivées dos à dos. Les poutres H supportent directement les abouts des fers à T; celles H' portent chacune deux sabots consoles n° 10 (Pl. XIII, *fig. 19*) qui supportent une poutrelle en chêne sur laquelle est fixé le plancher.

Les poutres en fonte sont perpendiculaires à celles en tôle et réduisent la portée des solives de 8 à 4 mètres (Pl. XXI, *fig. 3*). Dans chaque travée trois de ces poutres n° 2 (Pl. XI, *fig. 2*) s'assemblent directement sur les colonnes des travées de 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, 10 et de 4 mètres. Une autre poutre n° 3 (Pl. XI, *fig. 3*) repose sur les colonnes du milieu du plancher et, s'assemblant comme l'indique la figure, entretoise les poutres en tôle (Pl. XIII, *fig. 13*). Une poutre n° 9 (Pl. XI, *fig. 9*), à nervures placées tout d'un côté, entretoise les demi-colonnes. Enfin, quatre poutres n° 6 de 60 centimètres de haut (Pl. XI, *fig. 6*), entretoisent les poutres en tôle et s'assemblent sur celles-ci par l'intermédiaire des sabots n° 2.

La forme générale adoptée pour ces poutres est celle de deux nervures en T simple, entretoisées par des potelets verticaux et des croix de Saint-André à section en forme de croix. Cette

forme, empruntée au Palais de Cristal de Londres, est à la fois élégante, solide et légère. Elle exige néanmoins de grands soins à la coulée et dans la répartition de la matière, par suite du retrait des différentes parties qui la composent. Les épaisseurs sont à peu près uniformes, sauf la dépouille; les congés sont faits aussi petits que possible, afin d'éviter les soufflures aux rencontres des différentes pièces.

Les fers à T s'assemblent sur les poutres au moyen de sabots venus de fonte et de coins en bois; les solives, ayant 8 mètres de longueur, portent en général sur trois poutres; ces solives ont 20 centimètres de hauteur et pèsent environ 25 kilogrammes au mètre.

L'intervalle entre les sabots est garni de deux moises en sapin (Pl. XIV, *fig. 4*), de 20 centimètres sur 50 millimètres d'épaisseur, boulonnées ensemble et serrant entre elles les nervures de ces sabots.

Le plancher en sapin de 54 millimètres est vissé sur ces moises; il est en outre retenu sur les solives, sur les poutres en tôle et sur les moises par deux moulures (Pl. XIV, *fig. 1, 2, 3*) dont l'une, en sapin, épouse la forme de la pièce en métal; l'autre, en chêne, est placée dessous; de longues vis à bois viennent s'y noyer, après avoir traversé le plancher et la moulure en sapin. Des boulons de 10 millimètres de diamètre, à tête conique, espacés de 1 mètre, consolident encore cet assemblage.

Le parquet en chêne est fixé à la manière ordinaire, au moyen de clous plantés dans les rainures; il ne sert que comme moyen de liaison et comme platelage du plancher inférieur qui, à son tour, joue le rôle de solivage et de plafond.

## COMBLES.

Les grandes et les petites fermes du Palais de l'Industrie se composent de deux arcs concentriques, formés d'une bande de fer plat armée de deux cornières (Pl. XV, XVI et XVII). Ces arcs sont écartés de 2 mètres d'extérieur en extérieur; ils sont entretoisés par des *potelets* en fer plat et par des *croisillons* dont chaque branche est composée de deux cornières de 60 millimètres assemblées dos à dos. Elles se composent donc pour ainsi dire de voussoirs rigides et solidaires, tous identiques pour chaque ferme. Sous l'influence d'une surcharge ces fermes tendent à s'ouvrir, l'arc supérieur se raccourcissant par compression, l'arc inférieur s'allongeant par traction.

Dans les grandes fermes le fer plat de l'arc a 160 millimètres sur 15; dans les petites fermes il n'a que 135 sur 15.

Les cornières des fermes de 48 mètres ont 80 millimètres de largeur d'aile et 12 millimètres d'épaisseur; celles des fermes de 24 mètres sont de 70 millimètres sur 9. Ces fers sont assemblés par des rivets de 19 millimètres pour les petites fermes, de 20 pour les grandes. Cette différence a été adoptée afin de faciliter le classement des approvisionnements en magasin.

L'écartement des rivets est sensiblement de 10 centimètres d'axe en axe; il est contenu exactement, pour chaque, arc un

nombre entier de fois dans l'intervalle d'axe en axe de deux potelets.

Chaque potelet *j* se compose de deux barres de fer plat de 100 millimètres sur 12, moisant le fer plat des arcs et fixées sur ce fer plat par un rivet. Une fourrure *k* (Pl. XV et XVI, *fig. 2*), de 100 millimètres sur 15 et 100 millimètres de longueur, est maintenue par deux rivets entre les deux moises au milieu de leur longueur. Deux autres fourrures *l* et *m*, logées aux points d'attache des pannes et de leurs arceaux, sont maintenues par les boulons d'assemblage de ces pièces et en permettent le serrage. Pour les fermes de 48 mètres, la fourrure *m* est remplacée par l'un des goussets dont nous allons parler.

Les croisillons des petites fermes sont rivés à plat (Pl. XV, *fig. 2*), par deux rivets à chaque extrémité, sur le fer plat des arcs; au milieu les deux branches sont reliées par un gousset rectangulaire de 210 millimètres sur 15 et 220 millimètres de long et par huit rivets.

Pour les fermes de 48 mètres, l'assemblage des abouts eût été insuffisant; aussi avons-nous renforcé ce point par des goussets *o, p* en fer plat de 135 millimètres sur 15 (Pl. XVI, *fig. 2 et 4*), moisés entre les deux potelets et reliés aux arcs par des couvre-joints *q, r* de 135 millimètres sur 12 rivés sur l'une et l'autre pièce. De cette façon chaque croisillon de ferme est attaché aux arcs par 24 rivets de 20 millimètres.

Les patins des fermes (Pl. XV, *fig. 9*, et pl. XVI, *fig. 3*), qui servent à les fixer sur les retombées, se composent d'une barre de fer de 135 millimètres sur 15 armée de deux cornières de 80 millimètres sur 12, pour les fermes de 24 mètres. Pour celles de 48 mètres, le fer plat a 160 sur 15, les cornières 90 sur 13 d'épaisseur.

Ces cornières sont renvoyées à leurs extrémités, de manière à moiser celle des arcs. Au droit des colonnes à descente, elles sont également contre-coudées, de sorte que l'on peut nettoyer ces colonnes au moyen d'un appareil qui les parcourt dans toute leur hauteur.

Les joints des arcs sont tous au milieu des panneaux, séparés par des potelets. Ces joints sont chevauchés, c'est-à-dire que le joint d'une cornière se trouve dans le deuxième panneau, celui du fer plat dans le troisième, celui de la deuxième cornière dans le quatrième, et ainsi de suite. De cette façon, sauf pour les barres extrêmes, il n'y a que quatre gabarits, savoir :

- 1 gabarit des cornières de l'arc extérieur;
- 1 — — — intérieur;
- 1 — des fers plats de l'arc extérieur;
- 1 — — — intérieur.

Les couvre-joints de cornières des grandes fermes se composent d'une cornière (Pl. XVI, *fig. 5*) de 60 millimètres, dont l'arête a été usée à la meule, de manière à ce qu'elle épouse le congé de celle de 80 millimètres, et d'un fer plat de 175 millimètres sur 8. Ils intéressent ainsi dix rivets, le premier ayant 600 millimètres, le second 500 millimètres de long.

Dans les petites fermes, il y a deux couvre-joints de cornières en fer plat; l'un vertical, de 600 millimètres de long, a 50 millimètres sur 8 d'équarrissage; l'autre, à plat sur le dos de la

cornière, a 80 millimètres sur 12 et 500 millimètres de long. Ils intéressent ensemble dix rivets.

Les joints des fers plats sont maintenus par deux couvre-joints (Pl. XVI, *fig. 6*) de 600 millimètres de long, de 60 millimètres sur 9 pour les petites, de 78 sur 11 pour les grandes fermes. Ces couvre-joints intéressent six rivets de chaque côté.

Les pannes des deux combles sont des poutrelles à diagonales, de 500 millimètres de haut sur 8 de long, composées de quatre cornières moisant les croisillons et les potelets en fer plat.

Dans le grand comble, les cornières ont 45 millimètres d'aile sur 6 d'épaisseur (Pl. XVII), sauf pour la panne faîtière dont les cornières ont 50 sur 8. Les deux potelets extrêmes ont 30 sur 10, les treize intermédiaires 30 sur 8. Les deux diagonales extrêmes ont 40 sur 10, les quatre suivantes 40 sur 8, les dix du milieu 40 sur 5; les rivets ont 14 millimètres de diamètre.

Les cornières des pannes du petit comble ont 50 sur 6 1/2 et 50 sur 8 pour la faîtière (Pl. XV, *fig. 3 et 4*); les potelets et diagonales sont pareils à ceux des grandes fermes; les rivets ont 13 millimètres de diamètre.

L'assemblage des pannes sur la ferme se fait de la manière suivante (Pl. XVI, *fig. 2 et 7*) :

Un bout de fer à T simple *x* est fixé sur le dos de la ferme par quatre boulons à tête fraisée. Les deux cornières supérieures de la panne moisent la nervure du fer à T et y sont fixées par un boulon de 15 millimètres. Les cornières inférieures moisent un gousset triangulaire en tôle (Pl. XVII, *fig. 2*) de 250 millimètres sur 250 et 8 millimètres d'épaisseur, fixé contre le potelet de la ferme par quatre boulons de 16 millimètres qui traversent les cornières servant de brides aux goussets de deux pannes consécutives.

Deux arceaux, composés chacun de deux cornières de même dimension que celles des pannes, sont fixés d'une part sous la nervure inférieure de ces pannes par six rivets, d'autre part contre le potelet de la ferme, par quatre boulons de 16 millimètres. Les chevrons du vitrage, en fer de 60 millimètres de hauteur, sont fixés sur les pannes par l'intermédiaire de petits sabots en fonte maintenus sur le dos des pannes par deux boulons de 8 millimètres de diamètre. Chaque chevron repose à la fois sur trois pannes; à chaque sabot il est fixé par une goupille (Pl. XVII) qui traverse les deux ailes du sabot et la nervure du fer à vitrage. Les sabots de joint ont ainsi deux goupilles, les sabots intermédiaires une seulement. Les joints alternent de panne en panne, de sorte que chacune d'elles reçoit huit sabots de joint et huit intermédiaires.

Près du faîte, la pente de la couverture aurait été insuffisante si elle avait suivi partout le dos des fermes; aussi avons-nous fixé comme limite inférieure l'inclinaison de 18° avec l'horizon. Afin d'obtenir la surélévation voulue, les pannes faîtières supportent des hausses en fer à T simple (Pl. XV, *fig. 3, et Pl. 17, fig. 1, 2, 3 et 4*), de 60 millimètres de haut sur 55 de large, soutenues de 2 mètres en 2 mètres par une chandelle en fer avec pattes soudées. Au droit des fermes, le potelet de faîte porte un sabot en fonte à quatre oreilles, sur lesquelles s'assemblent au

moyen de boulons quatre contre-fiches qui contreventent la couverture.

Le système des combles, composé de fermes verticales et de pannes horizontales, n'aurait pas eu de stabilité s'il n'avait été contreventé. Pour les petits combles, les arétiers suffiraient amplement à ce but, ces arétiers étant maintenus verticaux par les deux galeries contiguës, et réciproquement. Nous n'avions donc pas besoin, pour le petit comble, de contreventement spécial; mais, en revanche, nous avons dû nous prémunir contre les effets de la dilatation. Les deux longues galeries Nord et Sud ont été assemblées d'une manière parfaitement rigide sur la galerie Est; mais sur la galerie Ouest les emmanchements des pannes ont été combinés de manière à permettre un mouvement de 80 millimètres sur toute la longueur des grandes galeries. Nous n'avons pas représenté ces assemblages dans nos planches parce que ces détails, exécutés sur place afin de parer aux défauts d'ajustage et de pose, qui venaient tous s'accumuler en ces points, sont très-variés.

Le grand comble, terminé par deux pignons, avait grand besoin d'être contreventé énergiquement, eu égard surtout à sa hauteur considérable. Nous avions d'abord étudié un système de contreventement composé de tringles en fer rond fixées sur le dos des fermes sous la couverture, et par conséquent apparentes. Ces tringles, partant d'une ferme au point d'assemblage d'une panne, venaient se fixer sur la ferme suivante vers la panne immédiatement supérieure; elles formaient ainsi un réseau de diagonales continu enveloppant tout le comble. Notre projet ne fut pas adopté, parce que l'on trouvait qu'il nuirait à l'aspect artistique de la grande nef; abstraction faite de cette circonstance, il eût mieux rempli son but que celui qui lui a été substitué.

Nous pensâmes alors qu'il suffirait de *haubanner* les deux extrémités du comble au moyen de tringles en fer amarrées sur les deux fermes extrêmes et sur le petit comble des galeries Est et Ouest (Pl. VIII, *fig. 9 et 10*). Ces chaînes n'étaient pas encore posées lorsque, le 5 juillet 1854, un ouragan violent s'engouffrant dans les fermes, au moment où la dernière venait d'être posée, rompit tous les étais provisoires que nous avions placés par précaution et coucha les fermes de près de 3 mètres.

Il fut alors décidé que le grand comble serait muni d'un contreventement énergique disposé de la manière suivante :

Outre les tirants dont nous venons de parler, chaque pignon fut consolidé par six contre-forts en fonte très-solides (Pl. XVIII et XIX, *fig. 1*), dont les pieds s'appuient sur la naissance des petites fermes. Au droit de ces contre-forts les arcs inférieurs, imperfectement entretoisés par les arceaux des pannes, furent reliés par six chaînes en *fer en croix*, de 100 millimètres de côté. Une série de *haubans* en fer rond, de 30 millimètres (Pl. XX), partant des retombées près du point où reposent les petites fermes, furent amarrés à des sabots en fonte fixés sur le dos des fermes alternativement à la troisième et à la quatrième panne à partir du pied. De la quatrième à la cinquième panne un dernier cours de diagonales terminait cette consolidation, qui tout entière est extérieure à la couverture.

Enfin, à l'intérieur, les deux premiers intervalles de pannes

furent consolidés de la manière suivante (Pl. XX, *fig. 1 et 2*) : les becs saillants des retombées, qui se trouvaient trop isolés, furent reliés aux goussets d'attache des croisillons sur l'arc supérieur près de la première panne au moyen de tringles de 30 millimètres formant une série de croisillons presque verticaux. Le second intervalle fut consolidé de la même façon. Ces tirants s'assemblent sur les goussets par des têtes forgées traversées par des boulons de 35 millimètres ; au bec de la retombée ils sont filetés et traversent un sabot *s* (Pl. XX, *fig. 1 et 4*) en fer boulonné sur la retombée et sur le pied de la ferme ; un écrou permet de régler la longueur des tringles.

Toutes ces pièces sont en fer à câble d'excellente qualité, les têtes et parties taraudées sont en fer corroyé au marteau ; enfin l'exécution et surtout les soudures ont été faites avec le plus grand soin. Les tiges ont 30, les parties taraudées 40 millimètres de diamètre.

Les deux fermes extrêmes, qui ne sont écartées que de 4 mètres, ont reçu un croisillonnement supplémentaire très-puissant, composé de fer plat de 80 millimètres sur 12, boulonné sur le dos des fermes.

#### PIGNONS.

Les pignons de la grande salle du Palais de l'Industrie sont décorés par deux magnifiques vitraux exécutés par MM. Maréchal et Gugnon de Metz. Ces vitraux se composent de panneaux de 1<sup>m</sup>,100 sur 1<sup>m</sup>,600 (Pl. XVIII, *fig. 1*) formés eux-mêmes par l'assemblage, au moyen de lames de plomb, de fragments de verre de formes diverses. Les lames de plomb et par conséquent les vitraux sont maintenus par de petites pattes en plomb soudées et enroulées autour de baguettes en fer rond de 15 millimètres de diamètre.

Ces baguettes, formées de morceaux de 1<sup>m</sup>,150 de long, assemblées à mi-fer, s'engagent de leurs deux extrémités dans des trous percés dans les nervures des fers à vitrage verticaux.

À ce grand panneau de 48 mètres de large sur 18 mètres de haut il fallait des nervures destinées à le consolider. Les colonnes de la grande salle sont prolongées jusqu'à la rencontre de la ferme, sous forme de six pilastres à nervures (Pl. XVIII et XIX, *fig. 1*). Ces pilastres se composent de plusieurs pièces ; les plus courts de deux, les intermédiaires de quatre, enfin celles du milieu de cinq pièces. Cinq boulons de 25 millimètres assemblent le pilastre sur la retombée ; les autres joints n'ont que quatre boulons de même force. La simple inspection de la planche XVIII fait voir que toutes ces pièces, sauf les chapeaux, ont été moulées sur deux modèles qu'il a suffi de raccourcir pour obtenir toutes les dimensions voulues. Quant aux chapeaux, il a fallu six modèles, et, comme nous craignions quelques variations dans les hauteurs, la bride inférieure de ces modèles n'a été assemblée qu'après le levage des autres pièces, et les mesures ont été prises sur place.

Après l'accident qui fit déverser nos fermes, nous ajoutâmes à chacun de ces pilastres un contre-fort destiné à le consolider dans le sens du grand axe du comble (Pl. XIX, *fig. 1*). Pour les petits

pilastres des extrémités une simple bielle en fonte a suffi ; pour les quatre montants intermédiaires nous avons adopté la disposition figurée dans la planche XVIII. Comme les pilastres étaient levés avant que ces contre-forts fussent fondus, nous avons dû combiner les assemblages de manière à avoir à ajuster le moins possible sur place ; il a suffi de percer quelques trous de boulons.

Le pied des contre-forts bute sur la naissance de la ferme qui, à cet effet, est consolidée par un grand gousset en tôle de 15 millimètres d'épaisseur.

A deux hauteurs différentes les contre-forts sont entretoisés dans le sens horizontal par de forts boulons *b* de 30 millimètres.

L'espace compris entre les pilastres est subdivisé dans le sens vertical par des bandes de fer plat de 115 millimètres sur 15, fixées sur ces pilastres au moyen de consoles venues de fonte et d'équerres en cornières de 90 millimètres (Pl. VIII, *fig. 11*). La bande inférieure est supportée par une poutrelle à diagonales semblable aux pannes du comble (Pl. XIX, *fig. 2*). L'intervalle entre deux bandes consécutives reçoit un cadre en fer à demi-moulure (Pl. VIII, *fig. 12*), subdivisé dans le sens horizontal par des montants en fer à moulures. Enfin l'arc inférieur de la ferme a été muni d'une feuillure formée par une cornière de 50 millimètres (Pl. VIII, *fig. 13*), sur laquelle s'assemblent les montants et traverses du châssis.

Les vides formés par les arcs de la ferme, les potelets et les croisillons (Pl. XIV, *fig. 5*) sont garnis de cadres en fonte à feuillures, qui ont reçu des panneaux en verre peint. Enfin l'espace compris entre la lanterne et le dessus de la ferme a été fermé en feuilles de verre de couleur maintenues par de petits montants en fer à moulures, espacés de 50 centimètres d'axe en axe.

#### CHÉNEAUX. — COUVERTURE.

Dans l'origine nous avions projeté des chéneaux en tôle portés directement par les retombées. Cette disposition n'ayant pas été adoptée, on installa le chéneau extérieur dans le massif de la corniche convenablement refouillé et garni de plomb (Pl. III et XIV, *fig. 6*).

Dans la travée de 4 mètres on établit une rigole en charpente composée de trois chevalets par travée de 8 mètres (Pl. XIV, *fig. 7*, et Pl. XV, *fig. 6*), supportant un solivage formant le fond du chéneau et un terrasson du côté du grand comble. Le fond du chéneau fut hourdé en plâtre et tuileaux, de manière à former une série de pentes et de contre-pentes inclinées de 1 centimètre par mètre, avec ressauts de 25 millimètres de 5 en 5 mètres. Les côtés furent également hourdés en plâtre, et le chéneau garni de plomb à la manière usuelle.

Les descentes, établies généralement de 24 en 24 mètres, se composent d'une cuvette et d'un tuyau fixé sur la retombée pour la travée de 2<sup>m</sup>,10 (Pl. XIV, *fig. 6*) ; de deux tuyaux à double coude en S pour celle de 4 mètres (Pl. XIV, *fig. 7*). Une grille empêche la descente des corps solides.

Du chéneau à la première panne, la couverture est en zinc posé sur un voligeage formant panneaux à l'intérieur. Ce voli-

geage repose sur des chevrons en fer à vitrage, espacés de 1 mètre (Pl. XIV, *fig. 8, 9 et 10*), par l'intermédiaire de moulures en bois dur fixées sur ce chevron au moyen de platines en fer et de vis. Il est assemblé à rainures et languettes et collé avec soin. Le zinc est posé à dilatation libre, avec tasseaux et couvre-joints.

Les chevrons sont assemblés sur les potelets des pannes et de manière à ce que le verre recouvre le zinc, au moyen de deux équerres en cornière, de deux boulons et d'une platine (Pl. XIV, *fig. 9*). A leur partie inférieure ils reposent sur une barre de fer à double T, de 160 millimètres de large (Pl. XIV, *fig. 10*, et Pl. XV, *fig. 7 et 8*), par l'intermédiaire de petits sabots calés sur cette barre. Celle-ci est fixée sur les fermes au moyen de grands sabots en fonte. Dans chaque entr'axe de fermes un châssis ouvrant, de 1 mètre carré de section, permet de donner issue à l'air chaud qui s'élève des parties inférieures du bâtiment.

Le reste de la couverture est en verre dépoli de 3 millimètres d'épaisseur. Les feuilles ont 490 millimètres de large sur 90 centimètres de long ; leur recouvrement croît de 5 à 9 centimètres du bas, où la pente est forte, à la partie supérieure, où cette pente est beaucoup moindre. La feuille la plus basse porte sur un repos obtenu en pliant les ailes du fer à vitrage (Pl. XIV, *fig. 9*) ; puis chaque feuille est attachée à la suivante par une agrafe en plomb noyée dans le mastic et destinée à empêcher le glissement des

feuilles. Sur le grand comble un seul arrêt n'aurait pas suffi, car la feuille inférieure aurait pu être écrasée par les trente feuilles suivantes ; aussi avons-nous établi six arrêts supplémentaires dans le développement de chaque cours de chevrons. Ces arrêts sont de simples goupilles traversant la lame du fer à vitrage et servant d'attache à une agrafe en plomb épais. Les joints sont garnis de tringles Fincken destinées à recueillir la *buée*.

Au sommet de la lanterne nous avions d'abord établi un chemin de fer composé de deux barres de fer plat de 68 millimètres sur 10 (Pl. XV, *fig. 5*), posées de champ et fixées, de mètre en mètre, au moyen de sabots en fonte boulonnés sur les chevrons. Un petit waggon, portant les agrès et approvisionnements nécessaires à la réparation de la vitrerie, roulait sur ce chemin de fer. Ces agrès sont une grande échelle de corde, que l'on descend sur la couverture aux points endommagés et sur laquelle on pose quelquefois une échelle fixe. Quatre échelles en fer pour le petit comble et deux pour la grande nef permettent d'atteindre facilement le faîte du bâtiment.

Quelques semaines avant l'ouverture de l'Exposition, le chemin de fer fut, dans presque toute sa longueur, surmonté d'un terrasson couvert en zinc (Pl. XV, *fig. 5*), surélevé de 30 centimètres au-dessus du comble, et destiné à ventiler le bâtiment plus énergiquement que ne le faisaient les deux cent huit châssis de 1 mètre carré de section établis dans la couverture en zinc.

## CHAPITRE II.

### EXÉCUTION DES TRAVAUX.

Nous avons exposé plus haut les conditions générales du forfait de MM. York et C<sup>o</sup> et les raisons qui conduisirent les rédacteurs du contre-projet de l'entreprise à modifier aussi profondément les éléments fournis par la Compagnie concessionnaire. Il nous reste maintenant à décrire les moyens d'exécution que nous avons employés, et les résultats obtenus.

#### ORGANISATION DES TRAVAUX.

Dans un travail quelconque, un projet bien élaboré est la condition essentielle d'une marche rapide et rationnelle, et nous dûmes tout d'abord nous occuper de la rédaction de ce projet. Toute la construction principale fut étudiée avec le plus grand soin, et, si plus tard il y eut des lenteurs, elles tiennent surtout à des modifications et à des additions qui nous furent imposées.

L'étude des maçonneries du bâtiment principal était chose facile : sauf l'attache des pavillons, toutes les travées étaient identiques ; il suffisait donc d'une élévation et d'une coupe du mur pour pouvoir donner au travail toute l'activité désirée. D'ailleurs on sait combien est grande la latitude du constructeur dans ce genre de travaux, l'appareil de chaque assise pouvant, pour ainsi dire, être étudié au jour le jour, et le ragrément sur le tas permettant de corriger les imperfections du travail au chantier.

Pour la partie métallique de la construction les conditions ne sont plus les mêmes. Toutes les pièces qui forment l'ensemble ont besoin de se raccorder avec précision et, sous peine de lenteurs et de dépenses excessives, l'ajustage sur place est interdit. Aussi ne peut-on commencer le travail que lorsque les études sont complètes et adoptées définitivement.

Il est enfin un point sur lequel il faut insister en matière de constructions métalliques. Réduire au minimum le nombre de pièces différentes est non-seulement un moyen de travailler économiquement, mais encore de travailler vite ; car une seule pièce qui manque peut forcer à interrompre le travail de pose, et ce n'est que de simplification en simplification que l'on arrive à ce minimum. Pour n'en citer qu'un exemple, nous avons vu que les colonnes du rez-de-chaussée étaient toutes fondues sur six modèles. Dans notre première étude il y avait treize colonnes différentes au rez-de-chaussée.

Nous nous occupâmes d'abord de l'étude des fontes, et nous primes pour guide le Palais de Cristal de Londres, véritable tour de force de construction, où l'on retrouve sur chaque

point des assemblages d'une simplicité admirable et des formes se prêtant, sous tous les rapports, aux exigences du travail.

C'est au Palais de Londres que nous avons emprunté la forme de nos colonnes et leurs assemblages, que nous n'avons modifiés qu'en y ajoutant des emboîtures ; de même pour les assemblages des poutres du plancher. Jusqu'au niveau du plancher, les études des fontes furent terminées en moins d'un mois ; le plancher lui-même fut arrêté quelques jours plus tard. Enfin les projets étaient complets et les commandes de matériaux expédiées au commencement de mai.

Nous ne reviendrons pas sur tout ce qui concerne le rez-de-chaussée et le plancher ; mais c'est ici que nous devons rendre compte de nos premières études de combles qui furent rejetées.

La grande portée de nos fermes et l'obligation où nous nous trouvions de donner à ces fermes un aspect monumental qui ne se trouve pas dans les couvertures de halles construites jusqu'alors, faisaient que nous manquions de modèles et de termes de comparaison. Les tirants qui, dans la plupart des combles en fer, résistent à la poussée des arbalétriers ne pouvaient être admis, et cependant le peu de stabilité des culées et des murs en particulier s'opposaient à l'emploi de *voûtes métalliques* proprement dites.

Nous nous arrêtâmes d'abord à un système de ferme composé d'un arbalétrier unique en arc de cercle à grande flèche (Pl. XXIII, fig. 8), avec tirant curviligne (ou plutôt polygonal) plus aplati, reliés par des poinçons et des diagonales qui assuraient l'invariabilité de forme de la construction. Une ferme d'essai de 8 mètres, exécutée suivant ce système fréquemment employé en Angleterre, donna d'excellents résultats. Afin d'éviter toute poussée, une des naissances était boulonnée sur la retombée, l'autre reposait simplement sur un système de rouleaux.

Mais la forme de ce comble, qui convient parfaitement à une gare de chemin de fer ou à une halle, est peu élégante. Elle fut donc repoussée par la Compagnie concessionnaire et par le Conseil des bâtiments, et nous procédâmes à de nouvelles études ayant pour base le plein cintre.

Les arcs métalliques peuvent être subdivisés en deux classes bien distinctes : ceux d'une faible épaisseur qui, sous l'influence d'une forte charge, se déforment facilement, à moins qu'ils ne soient maintenus par des supports très-stables et par des tympans, et ceux d'une grande épaisseur par rapport à leur ouverture, qui peuvent être assimilés à des poutres cintrées sur champ.

Les voûtes proprement dites ont leur épaisseur minima à la

clef, maxima aux naissances ; les poutres à forme d'égale résistance sont plus hautes au milieu que vers leurs extrémités, ou bien elles ont des nervures de section décroissante du milieu vers les abouts. Ces poutres tirent en général leur résistance de la liaison intime de toutes les parties qui les composent, tandis que les voûtes tiennent parce que la stabilité des culées s'oppose à l'écartement des voussoirs isolés.

Afin de nous conformer aux indications qui nous furent données, nous nous arrêtâmes enfin aux système de fermes que nous avons décrit plus haut.

Nos premières fermes étant complètement exemptes de poussée, nous avions composé et assemblé les fontes de l'étage sur les mêmes types que celles du rez-de-chaussée. Avec les nouvelles fermes, nous avions à craindre la poussée résultant de l'élasticité de la matière ; du reste, et surtout pour les grandes fermes, les sections des fers étaient trop faibles pour leur permettre de porter sans inconveniit une surcharge considérable à la manière des poutres. Nous fûmes ainsi amenés à changer toutes les dispositions et spécialement les assemblages des fontes de l'étage, afin de leur permettre de résister efficacement à une poussée horizontale considérable. Toutes ces modifications nous conduisirent jusqu'à la fin de juillet. Ce qui rendit surtout nos études pénibles, ce fut l'obligation où nous nous trouvâmes d'utiliser les fers déjà approvisionnés pour le premier système de fermes.

Dès que les études avaient été assez avancées pour qu'on pût se rendre un compte exact des formes et dimensions exactes des fontes, nous avions traité pour la fourniture de ces pièces avec les fonderies. Plusieurs circonstances se réunissaient pour rendre difficile cette partie de nos travaux. Les métaux, longtemps à très-bas prix, étaient fortement en hausse, de sorte que les fondeurs hésitaient à prendre des commandes de longue haleine qui les empêcheraient de profiter d'une hausse plus grande encore. Les délais étaient très-courts et la plupart des pièces avaient des dimensions avec lesquelles les fondeurs français étaient encore peu familiarisés ; nous fûmes sur le point de faire des commandes importantes en Angleterre ; cependant nous parvinmes à traiter pour la totalité avec les principales usines françaises.

Ces usines sont celles de Marquise, Maubeuge, Mazières, Orléans (Lefebvre), Paris (Donzel et Guillot), Rouen (Elmering), Trédition et Lanvaux, et Tusey.

Il était de la plus haute importance de faire marcher les travaux de telle sorte que les fontes fussent livrées au fur et à mesure des besoins ; en outre, les différences de retrait, très-sensibles sur des longueurs de 7 à 8 mètres, nous engageaient à faire fondre dans la même usine les pièces qui s'assemblaient le plus directement ensemble. Cependant nous fûmes obligés de modifier plus tard ces commandes, afin d'accélérer le travail.

Peu de constructeurs se montrèrent disposés à entreprendre l'ajustage de nos fontes, pour lequel il fallait un emplacement considérable et un outillage puissant, vu la grande activité qu'il fallait imprimer aux travaux. Ceux qui se présentèrent ne demandèrent pas moins de 9 francs pour 100 kilogrammes.

Nous fûmes alors obligés d'accepter une offre de 3 fr. 50 pour 100 kilogrammes qui nous fut faite par un entrepreneur de serrurerie, lequel prit en même temps l'engagement de se munir d'un outillage spécial pour exécuter ce travail. Malheureusement, ses moyens pécuniaires ne lui permirent pas de remplir ses engagements, et nous dûmes dès lors résilier son marché, prendre en location ses ateliers et faire tous les travaux en régie.

Du reste, ce mode d'opérer n'a eu d'autre inconveniit que celui de rendre notre tâche beaucoup plus laborieuse en nous forçant à former un personnel nombreux, et à diriger les travaux au lieu de les surveiller seulement ; comme résultat financier, il nous a procuré des économies notables, et comme marche générale de l'affaire, nous avons pu, moyennant quelques sacrifices pécuniaires peu importants, donner aux travaux une impulsion extraordinaire.

En moins de huit mois, nous avons ajusté dans nos ateliers près de quatre millions de kilogrammes de fonte et cinq cent mille kilogrammes de fer.

De cette expérience, il est résulté pour nous la conviction qu'il y a avantage à exécuter en régie un travail du genre et de l'importance de celui qui nous occupe, surtout lorsqu'il doit être conduit avec une grande célérité. Cette remarque s'applique surtout aux travaux d'ajustage et de levage, qui ne peuvent être convenablement scindés, et qui exigent l'un et l'autre une mise de fonds considérable pour l'acquisition d'un outillage bien approprié.

L'exécution des petites fermes fut confiée à M. Rigolet, entrepreneur de serrurerie, à Paris, lequel mit à ce travail une activité, une intelligence et une loyauté que nous sommes heureux de pouvoir reconnaître ici. Nous en dirons autant de MM. E. Gouin et C<sup>e</sup>, qui entreprirent la construction des poutres en tôle du plancher. Pour ces deux séries de travaux, la hausse présumée des fers rendait difficile de traiter pour fourniture et façon ; aussi avons-nous préféré passer un marché pour la fourniture des fers avec l'usine de la Providence. Nous avons livré les fers aux constructeurs au prix de revient et leur avons payé leurs travaux après les avoir pesés, de sorte que le déchet était à leur compte. Les grandes fermes ont été construites dans nos propres ateliers.

Les fontes commandées en mars commencèrent à arriver en juin 1853 ; mais ce ne fut guère qu'en août que les livraisons devinrent un peu considérables. Du reste, pendant toute la durée des travaux, la plupart des fonderies nous causèrent des retards, parce qu'elles ne purent pas livrer aux époques fixées par les marchés.

L'ajustage des fontes, dès qu'il fut entre nos mains (novembre 1853), marcha assez rapidement pour tenir en haleine les fonderies ; quant au levage, c'était chose facile que de lui faire suivre l'ajustage.

Nous ne commençâmes la construction des grandes fermes que vers le mois de février 1854, tout notre temps ayant été employé jusque-là à organiser l'ajustage des fontes et à installer l'outillage nécessaire ; une fois bien en train, ce travail marcha avec assez de rapidité pour nous permettre de fabriquer en deux

jours une ferme et ses vingt-neuf pannes, soit 15,000 kilogrammes de fer ouvré.

Le 4 juillet 1854, lorsque la dernière grande ferme venait à peine d'être levée, un coup de vent d'une violence extraordinaire, s'engouffrant sous la grande nef ouverte de toute part et couverte d'échafauds qui donnaient beaucoup de prise au vent, brisa les étais qui remplaçaient provisoirement le contreventement non encore arrêté, et fit dévier le comble tout entier de trois mètres de la verticale (Pl. XXIII, *fig. 1*).

Ce ne fut que le 15 août suivant que les dégâts produits par cet accident furent réparés. Au 1<sup>er</sup> septembre le chevonnage était complet et le contreventement posé, et quinze jours plus tard la nef était vitrée.

Tous les autres travaux n'étaient plus que des accessoires ; mais comme ils n'avaient pas été arrêtés d'avance et que chaque jour on ajoutait ou modifiait quelque chose, il en résulta que le bâtiment fut à peine terminé pour l'ouverture de l'Exposition, au 1<sup>er</sup> mai 1855.

Nous allons maintenant décrire en peu de mots les méthodes, outils et appareils les plus intéressants, employés dans nos travaux.

#### AJUSTAGE DES FONTES.

Tout l'ajustage des fontes a été fait sur gabarits. Non-seulement des gabarits servaient à tracer les pièces, mais encore des calibres appropriés à cet usage permettaient de vérifier l'ajustage de chaque pièce.

Partout où il y avait des surfaces à tourner, on commençait par ces surfaces ; puis on déterminait les différents plans d'ajustement. Pour les pièces mécaniques proprement dites, ces opérations se font sur des marbres ; mais ici les pièces étaient trop grandes. Nous avons dû combiner les méthodes du charpentier avec celles du mécanicien traceur pour arriver à la précision voulue sans dépenses excessives.

Les bases de colonne ont été tournées et alesées sur un tour en l'air.

Les trous des boulons d'assemblage avec la colonne étaient tracés au moyen d'un gabarit qui s'emboîtait dans la partie alesée.

Nous avons commencé par assembler avec beaucoup de soin une base et une demi-base de la travée de 2<sup>m</sup>,10 d'une part, deux bases de la travée de 4 mètres et leur entretoise d'autre part. Nous avons enterré ces deux types à fleur du sol, puis assemblé les pièces qu'il s'agissait d'ajuster sur celles-ci. Il était alors facile de tracer toutes les entailles des clavettes, d'ajuster ces clavettes et de boulonner. Ce travail se faisait au centre du chantier du Palais, de sorte que les bases tout assemblées étaient amenées en place et ne demandaient plus qu'à être posées de niveau et dans leurs alignements.

Nous avons tourné toutes les colonnes du rez-de-chaussée et de l'étage sur deux puissants tours construits de la manière suivante :

Le banc se composait de deux pièces de sapin de 10 mètres

de long sur 40 centimètres d'équarrissage (Pl. XXII, *fig. 1*), fixées, de distance en distance, dans des massifs en moellons. Les deux poupées, entièrement semblables, étaient à double engrenage ; mais elles présentaient cette particularité, que l'arbre principal pouvait se mouvoir d'environ 20 centimètres dans le sens de l'axe du tour. Cet axe, de 10 centimètres de diamètre, était venu de fonte avec un porte-outils en forme de T, dans lequel glissait transversalement l'outil en acier. Ce mouvement de translation de l'outil dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'outil s'obtenait au moyen d'une vis et d'une étoile.

La colonne était amenée, au moyen d'une grue roulante, sur le banc où on la faisait porter sur deux chantiers disposés *ad hoc* ; puis on la fixait au moyen de fortes brides après l'avoir centrée exactement. Les deux outils dont les axes coïncidaient, étant mis en mouvement, dressaient les deux joints des abouts suivant des plans rigoureusement parallèles. Les emboîtures et l'alesage se faisaient en manœuvrant les outils à la main ; les deux tours fournissaient de six à sept colonnes par journée de dix heures.

Une fois la colonne tournée et alesée, elle était reprise par la grue roulante et amenée sur des chantiers. Là on fixait sur chacune de faces tournées un gabarit (Pl. XXII, *fig. 3*) qui se centrait sur la partie tournée ou alesée. Afin de pouvoir bien dégaucher les gabarits, une règle A bien dressée était fixée sur chacun d'eux. En mettant les deux règles A de niveau (au niveau à bulle d'air), on était sûr du parallélisme des deux calibres. Des encoches ee, dans lesquelles on posait un cordeau ou un fil métallique très-fin, servaient à tracer les axes et les faces dressées des talons des colonnes. Toutes les colonnes ont été dressées par les mêmes procédés, en modifiant convenablement les gabarits.

Les bouts de colonne et de demi-colonne ont été tournés sur un tour ordinaire.

Les poutres à bouts de colonne de la travée de 4 mètres et les retombées ont été tournées sur un tour que nous avons établi spécialement pour ces pièces (Pl. XXII, *fig. 2*). Ce tour se composait de deux arbres en fer de 10 centimètres de diamètre sur 3 mètres de long, portant chacun deux porte-outils semblables à ceux des tours à colonnes, et une roue d'engrenage de 1<sup>m</sup>,20 de diamètre. Celle-ci engrenait avec un pignon monté sur un autre arbre qui portait une poulie fixe et une poulie folle de 1 mètre. L'arbre principal pouvait recevoir un mouvement de translation suivant son axe. Les deux appareils, entièrement semblables, étaient montés sur un bâti en charpente fortement amarré dans la maçonnerie. On plaçait la poutre sur la charpente, on faisait passer un des arbres dans chacune des colonnes, puis on posait les porte-outils et l'on ajustait simultanément les quatre faces qui étaient rigoureusement parallèles. Néanmoins il est à remarquer qu'il était toujours nécessaire de finir chaque face par une passe isolée ; sans cette précaution, les surfaces n'étaient jamais parfaitement planes.

Quant aux pièces qui n'avaient pas de parties dressées au tour, telles que poutres, entretoises, etc., le traçage se faisait de la manière suivante : on commençait par déterminer le plan principal de la pièce au moyen de deux fils à plomb qu'on plaçait aux deux extrémités et qu'on amenait à partager le

plus exactement possible le gauche de la pièce. Puis on appliquait contre celle-ci un gabarit en fer très-léger (Pl. XXII, *fig. 4*), mais très-rigide, et l'on traçait les contours sur une des faces. Au moyen d'équerres, il devenait facile de reporter le tracé sur l'autre face, en faisant tous les plans des parties dressées rigoureusement perpendiculaires à celui de la pièce.

Souvent aussi on scellait en terre des pièces de charpente bien dressées, que l'on garnissait de bandes de fer bien droites et bien nivélées ; on posait la pièce sur ces bandes de fer et on traçait le plan milieu au moyen d'un troussequin. Le premier moyen a été employé pour les poutres qui, posées à plat, auraient fléchi, vu leur grande longueur ; le second a servi pour les entretoises qui auraient été difficiles à dresser parce qu'elles étaient trop hautes.

Les éminences des consoles ont été dressées sur un petit tour analogue à celui qui nous servait à tourner les poutres à bouts de colonne.

L'ajustage des fontes, pour toutes les parties qui ne pouvaient être tournées, ont été faites au burin et à la lime. L'emploi de machines à raboter et à mortaiser eût été probablement onéreux pour des pièces lourdes et sur lesquelles les surfaces à dresser étaient partout minimales.

#### CONSTRUCTION DES FERMES.

L'exécution des fermes était un véritable travail de chauvannerie ; il fallait dresser et cintrer des fers, les tracer, les ajuster, les percer, les assembler et les riveter. Toutes ces opérations sont fort simples, prises isolément ; mais l'ensemble du travail dépend entièrement, comme prix de revient et comme rapidité, de l'organisation première.

Nous avons commencé par tracer, sur un plancher établi *ad hoc*, la ferme en grandeur d'exécution. Les arcs furent établis point par point, au moyen des abscisses et des ordonnées ; puis ces points furent reliés entre eux en se servant de courbes en bois tracées par la même méthode et débitées à la scie.

On porta ensuite les divisions d'un potelet au suivant, au compas, sur chacune des deux circonférences, et il fut facile de tracer les potelets et les croisillons.

Afin de diminuer autant que possible le nombre des gabarits, voici comment il fut procédé au tracé des détails : chaque joint de fer plat ou de cornière des arcs est rigoureusement au milieu de l'intervalle entre les deux potelets ; les trous d'assemblage des cornières avec les fers plats sont tous rigoureusement au même écartement pour le même arc ; cet écartement est, pour l'arc extérieur, de  $1/24$ , pour l'arc intérieur, de  $1/22$  de la distance entre les deux potelets. D'après cela, on reconnaît que six gabarits de cornière et six gabarits de fer plat suffisaient pour tracer tous les fers des arcs, savoir :

Cornières,	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \text{ gabarits pour les abouts.} \\ 2 \text{ — pour les barres courantes.} \end{array} \right.$
Fers plats,	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \text{ gabarits pour les abouts.} \\ 2 \text{ — pour les barres courantes.} \end{array} \right.$

Ces gabarits se composaient de barres de fer plat cintrées suivant la courbe des arcs, arasées avec précision aux bouts, et percées d'un trou de 5 millimètres au centre de chaque trou d'assemblage.

La barre à tracer était préalablement cintrée ; on fixait le gabarit au moyen de serre-joints, puis on pointait les trous avec un pointeau de 5 millimètres, remplaçant exactement les trous du gabarit ; enfin on traçait les abouts à la pointe à tracer. Après avoir retiré le gabarit, on approfondissait les trous avec un fort pointeau.

Les couvre-joints, goussets, potelets, fourrures, etc., étaient également tracés au moyen de gabarits dans le commencement du travail. Plus tard, leurs trous furent percés à la machine à poinçonner, au moyen de guides convenablement établis.

Le cintrage des cornières et des fers plats a été fait à froid sur des machines à cintre composées de trois rouleaux à axe horizontal, dont l'un, celui du milieu, placé au-dessus des deux autres, peut être élevé ou abaissé au moyen de vis. Le cintrage des cornières est assez difficile, parce que le défaut de symétrie de ce fer donne lieu à un gauchissement considérable. Néanmoins, quand on a bien étudié ces effets, on forme très-failement des ouvriers qui s'acquittent parfaitement de ce travail.

Les fers une fois cintrés ou dressés, on les traçait, puis on les perçait, les premiers au foret, les seconds à la machine à poinçonner. Le foret est préférable pour les fers cintrés, parce que le poinçonnage déforme toujours un peu les barres, et qu'il est très-difficile de régler une barre cintrée et percée qui a été dérangée ; mais le travail qu'il effectue est coûteux.

Quand les fers étaient percés et arasés, on les assemblait au moyen de broches et boulons provisoires sur des tréteaux, on vérifiait si les trous se raccordaient bien, et l'on alesait ceux qui en avaient besoin ; enfin on faisait les rivures.

Le travail était divisé entre plusieurs équipes de marchandiseurs, savoir :

- 1<sup>re</sup> équipe. — Cintrage des fers au mètre courant.
- 2<sup>re</sup> équipe. — Dressage — — —
- 3<sup>re</sup> équipe. — Traçage des fers, arasement des bouts, assemblage des fers et alesage des trous, à raison d'une somme convenue par ferme.
- 4<sup>re</sup> équipe. — Perçage au foret et à l'emporte-pièce, au cent de trous.
- 5<sup>re</sup> équipe. — Rivure, au cent de rivets.

La troisième équipe cumulait différents travaux, parce que la facilité et la précision de l'assemblage dépendaient essentiellement du traçage ; l'intérêt de cette équipe l'engageait ainsi à tracer avec soin pour avoir peu à retoucher.

Le travail des pannes a été subdivisé à peu près de la même manière. Une fois le travail bien lancé, deux jours nous suffisaient pour fabriquer une ferme complète et ses vingt-un pannes, ce qui faisait environ 9,000 trous et 3,000 rivures par jour.

## LEVAGE.

La première et la plus importante des opérations du levage était la pose des bases de colonnes. Les lignes étant données au moyen de bornes d'axe et de niveau, on commença par tendre, au moyen de tendeurs à vis, des fils de fer suivant ces lignes; puis on fit la division des entr'axes sur ces lignes principales.

Pour cet objet, on se servit de grandes règles en bois sec, armées en forme de niveau de maçon et munies à chaque extrémité d'un couteau en acier (Pl. XXII, *fig. 5*). Ces règles avaient exactement 8 mètres de longueur; elles servaient à tendre des fils transversaux dont l'intersection avec les premiers donnaient le centre des bases. On munissait celles-ci d'un sim-bleau, et on les amenait en place en vérifiant au moyen du fil à plomb.

Nous avions d'abord l'intention de lever au rez-de-chaussée les deux colonnes, l'entretoise et la poutre à bouts de colonne de la travée de 4 mètres, tout assemblées à pied d'œuvre, et nous avions établi à cet effet un échafaud roulant sur un chemin de fer muni de treuils puissants. Mais comme les pièces de fonte n'arrivaient pas assez vite des fonderies, et que tous les jours on nous pressait de commencer le montage des fontes, nous dûmes procéder pièce par pièce et lever les colonnes, puis les entretoises, les poutres à bouts de colonne, enfin les poutres de 8 mètres qui entretoisaient la travée de 4 mètres.

En réalité on ne gagnait rien; car la pose des clefs et cales qui se serait faite en quelques instants à pied d'œuvre, ne pouvait plus se faire qu'au moyen d'échafauds volants, sur lesquels les ouvriers travaillent toujours moins vite et moins bien que sur le sol.

Notre appareil se trouva ainsi trop lourd pour ce levage de détail, et il fut remplacé par des engins composés de deux chèvres roulantes entretoisées et contreventées solidement (Pl. XXII, *fig. 6*). Ces chèvres roulaient sur un chemin en madriers; elles étaient munies de galets qu'on levait ou abaissait à volonté.

Pour lever les poutres en tôle on se servit de deux chèvres qui les enlevaient à 4 mètres de chaque extrémité; ces chèvres étaient haubannées à la manière ordinaire. — Quant aux poutres en fonte et aux autres pièces quelconques, elles furent mises en place au moyen d'une chèvre unique haubannée. Afin de faciliter la manœuvre de ces chèvres, nous établissons des chariots montés sur roues de voiture (Pl. XXII, *fig. 7*), sur lesquels on couchait la chèvre à peu près en équilibre; de cette façon on la faisait passer en basculant sous les pièces déjà posées. Un petit chariot, monté sur roues de cabriolet (Pl. XXII, *fig. 8*) et portant une potence à bascule et un treuil, a servi à lever les consoles.

Toutes les petites fermes, sauf les quatre arétiers, furent levées en une seule pièce. Nous avons représenté (Pl. XXII, *fig. 9*) l'échafaud de ces fermes tout gréé, lequel roulait sur le plancher du premier. On voit qu'il portait deux chèvres haubannées au moyen de moises.

Les fermes arrivaient des ateliers en deux pièces portées sur un chariot construit spécialement pour cet usage. Chacune des pièces était enlevée par une des chèvres, au moyen d'un câble

écharpé et d'un treuil à déclie; puis couchée sur des pièces de bois disposées à cet effet sur les poutres et solives du plancher devant l'échafaud. On assemblait et rivait les deux morceaux sur le plancher, puis on dressait et levait la ferme, en faisant agir simultanément les deux treuils et les deux chèvres. Aussitôt la ferme en place et boulonnée sur ses retombées, on hissait le faîte au moyen de deux moufles fixées au sommet des deux fermes consécutives à deux écopercches; on posait ensuite les deux pannes les plus rapprochées du pied de la ferme, puis on avançait l'échafaud au droit de la ferme suivante.

Les pannes autres que celles du faîte se posaient au moyen d'une *bigue* ou chèvre à écoperche de 20 mètres de haut (Pl. XXII, *fig. 10*) munie d'un treuil et d'un moufle. Pour faire passer cet engin d'une travée à la suivante on détachait le moufle en tête *m*, et on l'attachait à la ferme qui séparait les deux travées. On attachait l'autre moufle au centre de gravité *G* de la *bigue*; puis, faisant agir le treuil, on soulevait cette chèvre de manière à pouvoir la faire basculer et tourner sous la ferme. Une fois passée sous cette ferme, on l'aménageait en place par les moyens ordinaires.

On voit donc que l'échafaud ne servait que de support pour les chèvres et qu'il marchait à reculons devant les fermes levées. Cette disposition fut adoptée afin d'activer le travail; en effet, l'équipe qui posait les pannes, opération assez longue, ne retardait pas celle des fermes, tandis que, si l'échafaud eût servi de plancher pour poser les pannes, le levage de chaque ferme aurait été retardé de toute la durée de celle des pannes de la travée précédente. De plus il aurait fallu coucher les chèvres à chaque travée pour passer sous la ferme ou établir des appareils à bascule, que nous décrirons en parlant de la démolition des annexes.

Le levage des grandes fermes différait peu du précédent. Les fermes, fabriquées en trois morceaux, étaient transportées tiers par tiers au pied de l'échafaud, au moyen d'un chariot spécial. Sur ce chariot la concavité du morceau de ferme était tournée en l'air (Pl. XXIII, *fig. 2*). On enlevait d'abord la pièce dans cette position au moyen de moufles; puis, la reprenant à sa partie inférieure avec les câbles de deux chèvres et des moufles auxiliaires, on la faisait tourner sur elle-même jusqu'à ce que la convexité fût en dessus; puis on l'aménageait à sa place. On commençait cette manœuvre par l'une des pièces extrêmes de la ferme dont on faisait reposer le patin sur le sol, appliquant le plan de la ferme contre la face de l'échafaud (Pl. XXIV), et l'y assujettissant au moyen de chaînes et de cordes. Puis on aménageait à sa place la pièce du milieu, et on la fixait définitivement à la première au moyen de boulons, parce que les rivures auraient été longues et difficiles à bien faire dans cette position. Enfin venait l'autre extrémité de la ferme.

Aussitôt l'assemblage terminé, on procédait au levage, qui se faisait, comme on le voit dans la planche XXIV, au moyen de cinq chèvres moisées sur l'échafaud et de deux bigues auxiliaires amarrées sur le plancher contre les fontes de la travée de 4 mètres, et destinées à soulager le pied des fermes. Les chèvres étaient grées chacune d'un câble écharpé de 40 millimètres, mû par un treuil à cliquet, système Georges, fixé sur le second plancher de l'échafaud; les bigues portaient une moufle à cinq brins, avec cordage de 35 millimètres. Avec cet équipage vingt

minutes suffisaient pour lever une ferme. On posait immédiatement le faîte au moyen d'écoberches fixées d'avance sur les fermes, puis trois paires de pannes du pied de chaque travée, au moyen de deux bigues posées dans les chéneaux de la travée de 4 mètres. Alors on lâchait tous les treuils et on faisait avancer l'échafaud. Un second échafaud semblable, mais moins fort, était ensuite amené sous la travée pour terminer la pose des pannes; celle-ci se faisait au moyen de bigues beaucoup plus courtes que les précédentes.

Toutes ces opérations prenaient deux jours, c'est-à-dire le même temps que la construction d'une travée à l'atelier. De cette façon il n'y avait ni fausse manœuvre, ni encombrement; les morceaux étaient chargés aussitôt qu'ils étaient terminés et dressés devant l'échafaud aussitôt après leur arrivée.

Les échafauds roulaient sur des chemins de fer provisoires en bridge-rails posés sur des traverses, établis *ad hoc* au fur et à mesure des besoins; ceux des petites fermes étaient manœuvrés à la pince, ceux des grandes fermes au moyen de deux mousfles amarrées à des poteaux fortement scellés dans le sol.

Le chevonnage, préparé sur calibre, était monté sur le comble, au moyen d'écoberches et de treuils, et posé par des serruriers. Leur échafaud était fort simple; il se composait de planches portant sur les nervures inférieures de deux pannes consécutives, sur lesquelles on établissait un plancher partout où cela était nécessaire. Dans le bas des fermes où la pente est forte, les planches étaient maintenues sur les pannes par des crochets, et munies de tasseaux transversaux destinés à arrêter les pieds. Ainsi échafaudés, les ouvriers étaient parfaitement à leur aise.

#### DES ACCIDENTS SURVENUS EN COURS D'EXÉCUTION.

Deux accidents assez graves, survenus pendant la construction du Palais de l'Industrie, ont entravé la marche de nos travaux déjà si pressés; nous croyons bien faire en les signalant, et en indiquant les moyens que nous avons employés pour y remédier.

Si l'on examine la coupe des murs du palais (Pl. III) on voit combien un pareil mur est peu stable par lui-même, sans l'addition de contre-forts. Pressés de terminer les grosses maçonneries pendant la campagne de 1853, nous avions élevé ces murs à toute leur hauteur sans avoir posé encore de fontes, que nous ne reçumes que plus tard, par conséquent sans moyen de consolidation. Tant que la charge avait monté dans l'axe du mur, il n'y avait pas eu d'inconvénient; mais, arrivée à la corniche dont la saillie était de 90 centimètres, la charge se mit à agir avec beaucoup plus d'intensité sur le parement extérieur que sur celui intérieur. Les joints se comprimèrent vers l'extérieur, le mur prit un peu de surplomb et, par cela même, la cause du mal s'aggrava. Au bout de quelque temps le surplomb avait atteint par places jusqu'à 22 centimètres et il se manifestait des épaufures dans les arêtes des pierres les plus chargées.

On commença par étayer provisoirement, et par déposer la corniche, qui fut reculée vers l'intérieur du bâtiment de manière à porter d'aplomb sur le mur; puis on procéda au redressement. Les figures 3, 4 et 5 de la planche XIX représentent les appareils qui ont servi à effectuer cette opération.

De 8 mètres en 8 mètres on établit, au droit des trumeaux et perpendiculairement au mur, de fortes semelles en bois qui furent scellées dans de la maçonnerie et maintenues en arrière par un pieu fiché en terre. Chaque semelle portait une échancrure contre laquelle s'appuyait une forte crapaudine carrée en fer, de 15 centimètres de côté sur 5 centimètres d'épaisseur. Une vis de 6 centimètres de diamètre, terminée par un bout arrondi et portant un écrou de même dimension que la crapaudine, venait buter contre celle-ci; l'écrou était appliqué contre le pied d'une forte contre-fiche en sapin dont l'autre extrémité était embrevée dans une couche appliquée contre le mur.

Les contre-fiches étaient disposées deux à deux; l'une appuyait sous la corniche, l'autre au niveau du plancher; disposition nécessaire parce que, à cette hauteur, le mur était grandement affaibli par les baies de l'étage.

Au moyen de clefs à manches de 2 mètres de long on manœuvrait les vis après avoir dégradé les joints à l'intérieur et l'on redressait ainsi le mur avec la plus grande facilité; on observait le mouvement à l'aide de fils à plomb. On laissa en place les contre-fiches jusqu'à ce que les fontes intérieures fussent posées et assemblées avec les murs au moyen de boulons. Il fallut remplacer quelques pierres des trumeaux qui avaient été endommagées par l'excès de pression sur le parement extérieur. — Cette opération de redressement au moyen de contre-fiches est du reste très-facile; elle a le grand avantage de se faire tout à fait sans secousses, bien graduellement, et de pouvoir être arrêtée exactement au point voulu.

Nous avons déjà raconté l'autre accident, page 10. Tout le comble de la grande nef ayant été déversé de 3 mètres de l'ouest vers l'est, il s'agissait de le redresser. La figure 1 de la pl. XXIII représente la forme qu'avait prise le comble; le mouvement s'arrêta quand la seconde ferme vint s'appuyer sur les deux chèvres équipées aux deux extrémités de l'échafaud pour le levage de la première ferme.

Afin de soulager ces deux chèvres, qui supportaient un effort énorme, nous commençâmes par haubanner le comble avec un grand nombre de forts câbles qui furent amarrés à des treuils placés aux points les plus convenables. Les jours suivants on perfectionna ces amarrages, qui avaient été faits à la hâte, en les distribuant de *a* en *b* dans la partie la plus fatiguée; on consolida l'assemblage du pied des fermes sur les retombées (dont quelques-unes avaient été endommagées) au moyen de fortes moises en bois; puis on soulagea les câbles au moyen de contre-fiches *cc*, établies sur l'échafaud et agissant sur les fermes. Ces contre-fiches, établies deux à deux de manière à pouvoir se suppléer, étaient manœuvrées au moyen de crics prenant contre leur pied à la manière des vis qui avaient servi à redresser les murs; quand un crie était à bout, l'autre crie agissait en plein, et l'on se hâtait de poser des cales qui permettaient au premier de reprendre bientôt part au travail.

Le 8 juillet au matin, l'équipage était complet et nous commençâmes la manœuvre. Le redressement s'opérait sans grande peine; mais il devint évident que les fontes du premier fatiguaient beaucoup et que les fermes se relevaient plutôt en pivotant autour de leurs patins qu'en se redressant, de sorte que le

sommet marchait trop fort et aurait dépassé la verticale avant que les reins eussent été redressés.

Quand il ne resta plus que 50 centimètres de dévers, nous arrêtâmes la manœuvre ; tous les cordages furent solidement amarrés, les contre-fiches rendues fixes et leur nombre augmenté. En même temps, nous étayâmes avec soin toutes les colonnes de la grande salle, alternativement à la hauteur de la naissance de la retombée et dans le bec de cette retombée. De cette façon rien ne fatiguait plus d'une manière inquiétante, et nous pouvions procéder au redressement définitif.

A cet effet, l'échafaud qui servait au levage des fermes fut élargi à 9 mètres, et trois chèvres furent établies sur son plancher supérieur, au milieu de sa largeur. Ces chèvres avaient leurs haubans pris dans l'échafaud, leurs contre-haubans dans les fermes. Leurs treuils étaient les mêmes que ceux du levage ; trois bigues sur l'échafaud et deux dans les chéneaux complétaient l'équipage. Voici comment se faisait la manœuvre :

On amenait le milieu de l'échafaud sous la ferme qu'il s'agissait de redresser, et l'on accrochait cette ferme aux trois chèvres.

Puis, au moyen des bigues, on enlevait promptement les vingt et une pannes qui reliaient la ferme à la suivante. Faisant alors agir les trenils des chèvres, on soulevait la ferme et, s'il y avait lieu, on la redressait au moyen de palans. Alors on passait les bigues de l'autre côté de la ferme et l'on posait les pannes qu'on venait de descendre, après toutefois les avoir visitées et réparées. Après quelques jours, cette opération se fit en dix heures de temps par une équipe de trente hommes. A mesure qu'une ferme était redressée, on posait immédiatement tous les appareils de contreventement.

L'accident était arrivé le 4 juillet ; le 15 août, tout le comble était redressé ; le 1<sup>er</sup> septembre, le chevonnage et le contreventement étaient complets.

Tous les autres travaux du Palais de l'Industrie ne présentent aucune originalité ; aussi ne nous arrêterons-nous pas à les décrire ici. Ce sont, en définitive, des travaux de menuiserie, de vitrerie, de couverture et de peinture ordinaires exécutés sur une grande échelle.

## CHAPITRE III.

### CALCULS ET DOCUMENTS STATISTIQUES.

#### CALCULS DE RÉSISTANCE.

Quand il s'agit de déterminer les dimensions des pièces qui composent un bâtiment aussi considérable que celui qui nous occupe, le calcul est un auxiliaire précieux, quoiqu'il ne donne pas toujours des résultats bien précis. Souvent il est fort difficile de déterminer même l'intensité des efforts qu'auront à supporter les pièces, et souvent, ces efforts étant trouvés, on a à choisir entre plusieurs méthodes très-diverses, donnant des résultats différents, pour déterminer les sections des pièces. Nous verrons plusieurs exemples de ces indéterminations dans les calculs qui vont suivre.

Nous avons adopté généralement les éléments suivants dans nos calculs :

Poids propre de la couverture, par mètre superficiel de surface couverte . . . . .	50 kil.
Surcharge maxima éventuelle (neige ou vent) par mètre superficiel de surface couverte . . . . .	50
Surcharge maxima sur le plancher, par mètre superficiel . . . . .	400
Poids propre du plancher proprement dit, — — . . . . .	60
Poids des solives du plancher, — — . . . . .	42
Poids des poutres en fonte, — — . . . . .	50
Poids des poutres en tôle, — — . . . . .	24

D'après cela, nous avons calculé les charges des différentes pièces de la manière suivante :

#### 1<sup>o</sup> Colonnes de l'étage supérieur, galerie de 24 mètres.

Couverture, à 100 kil. le m. s. . . . .	9,600 kil.
Chéneau, — — . . . . .	1,600
Retombée, etc. . . . .	4,200

41,200 kil.

Et en tenant compte des poids des retombées, poutres, entretoises, et du poids propre . . . . . 45000

#### 2<sup>o</sup> Colonnes de l'étage donnant sur la grande salle.

Couverture, à 100 kil. le m. s. . . . .	49,200 kil.
Chéneau, — — . . . . .	4,600
Retombée, etc. . . . .	4,200
En nombres ronds. . . . .	25,000

#### 3<sup>o</sup> Mêmes colonnes, au rez-de-chaussée.

La construction et surcharge au-dessus du plancher . . . . .	25,000 kil.
4 poutre en fonte, de 8 mètres. . . . .	1,500
1/2 poutre — de 4 mètres. . . . .	600
8 mètres fer à T, à 25 kil. . . . .	200
16 m. s. plancher, à 60 kil. . . . .	960
16 m. s. surcharge, à 400 kil. . . . .	6,400
Poids propre, entretoises, etc. . . . .	2,340
En nombres ronds. . . . .	37,000 kil.

#### 4<sup>o</sup> Colonnes du rez-de-chaussée, travée de 4 mètres côté de la galerie.

La construction et surcharge au-dessus du plancher . . . . .	45,000 kil.
8×8=64 m. sup. de plancher, à raison des quantités ci-contre . . . . .	6
Surcharge. . . . .	400
Plancher . . . . .	60
Solives. . . . .	42
Poutres en fonte. . . . .	50
en tôle. . . . .	24
35,200	
Poids propre, entretoises, etc. . . . .	2,800
En nombres ronds. . . . .	53,000 kil.

#### 5<sup>o</sup> Colonnes du milieu du plancher.

8×12=96 m. s. plancher, à raison de 550 kil. . . . .	52,800
Poids propre, etc. . . . .	2,200
Total. . . . .	55,000 kil.

Ainsi les colonnes du premier portent de 15,000 à 25,000 kilogrammes, celles du rez-de-chaussée de 37,000 à 55,000 kilogrammes. Or, pour les colonnes de l'étage, le rapport de la longueur au diamètre est de :

$$\frac{6,74}{0,30} = 22,4.$$

Ce qui, d'après Navier, donnerait pour charge de rupture par centimètre carré 5,000 kilogrammes, et pour charge de sécurité 1,000 kilogrammes.

Les expériences plus récentes de Hodgkinson, lesquelles méritent une grande confiance, donnent pour charge de rupture :

$$R = \frac{C}{0,68 + 0,1 \frac{L}{D}} = \frac{8,000}{0,68 + 0,1 \times 22,4} = 2740.$$

La charge de sécurité serait donc 548 = 550 kilogrammes. D'après cela, la section des colonnes du premier serait de

$$\frac{45000}{1000} = 15 \text{ cent. carrés à } \frac{45000}{550} = 27 \text{ cent. carrés}$$

pour celles de la petite salle, et de :

$$\frac{25000}{1000} = 25 \text{ à } \frac{25000}{550} = 46 \text{ cent. carrés}$$

pour celles de la grande salle.

Nous avons donné aux unes et aux autres 175 centimètres carrés de section, parce que nous n'avons pu réduire l'épaisseur au-dessous de 18 millimètres.

Au rez-de-chaussée, le rapport  $\frac{L}{D}$  est de

$$\frac{8,00}{0,35} = 23.$$

Les coefficients sont donc les mêmes et les sections seraient : d'après Navier, 37—53—55; d'après Hodgkinson, 70—97—100.



sur les colonnes extrêmes; d'autre part, de la flexibilité des consoles et des chances d'avoir certaines clavettes d'assemblage mal posées ou dérangées par les dilatations.

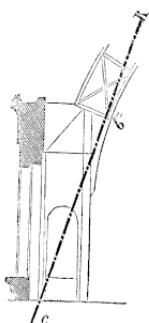
En décrivant le plancher, nous avons insisté sur la grande solidarité et la liaison intime de tous les éléments qui le composent. Ces circonstances, que le calcul ne peut apprécier, tendent toutes à diminuer la fatigue des pièces principales et, par conséquent, à augmenter la solidité du bâtiment. C'est ce que démontrent les expériences faites lors de la réception, au moyen d'une surcharge de 500 kilogrammes par mètre superficiel.

Lors de cette épreuve, les solives, qui auraient dû travailler à raison de 1,000 kilogrammes par centimètre carré, n'ont pas fléchi d'une manière appréciable. Les poutres en fonte ont pris une courbure assez prononcée et une flèche variant de 10 à 15 millimètres. Quant aux poutres en tôle, leur flèche n'a pas dépassé 5 millimètres, ce qui est insignifiant sur une longueur de 12 mètres.

**Calcul des fermes.** — Si les calculs relatifs aux planchers ne nous ont pas donné des résultats bien précis, ceux qui ont rapport aux combles laissent encore bien plus d'incertitude.

Si les fermes du Palais de l'Industrie se composaient de voussoirs appuyés simplement par des joints, ou boulonnés légèrement comme le sont les arcs de certains ponts en fonte, elles pourraient être assimilées à des voûtes, et la méthode des courbes des pressions leur serait applicable. Mais ces fermes sont tout d'une pièce; toute tendance à la déformation produit dans les pièces qui les composent des efforts de compression et de traction, et ces derniers ne peuvent exister dans les voûtes. Les principes des courbes des pressions ne sont donc plus rigoureusement applicables.

Néanmoins, nous avons tracé ces courbes en procédant de la manière suivante: nous avons fait passer, pour les petites fermes, la courbe des pressions par un point voisin du sommet de l'arc extérieur, voisin de *b* sur la retombée, et nous avons admis, pour direction de la résultante en ce point *b*, la ligne passant par ce point et rencontrant le plancher en *c* tout contre le mur. Nous avons admis de plus, par mètre courant de ferme, les poids suivants :



8 mètres superficiels surcharge, à 60 kil.	480 kil.
8 — — verre, à 8 kil.	64
16 mètres linéaires de fer à vitrage, à 5 kil.	80
1/3 de pente de 8 mètres, à 300 kil.	100
Poids propre de la ferme.	136
Ensemble.	860 kil.

Avec ces éléments, la courbe des pressions ne sort jamais de la ferme, ce qui indique que tous les efforts sont des compressions; elle ne sort pas non plus de la culée en fonte, c'est-à-dire que cette culée ne tend pas à être culbutée. La poussée horizontale est de 5,700 kilogrammes, la pression aux reins, 12,000 kilogrammes, et la plus forte résultante, 19,200 kilogrammes. Admettant que ces pressions soient supportées en entier par une seule nervure, celle-ci ayant 45 1/2 centimètres carrés de section, cela fait pour coefficient de travail :

Au sommet,	$\frac{5700}{45,5} = 125$	kilogr. par centimètre carré;
Aux reins,	$\frac{12000}{45,5} = 264$	—
Aux naissances,	$\frac{19200}{45,5} = 422$	—

Pour les grandes fermes, nous avons fait passer la courbe des pressions par les mêmes points que pour les petites, la dernière résultante venant rencontrer le plancher au pied de la colonne de la pile de 4 mètres, côté de la galerie. Les éléments de poids sont ici les mêmes que pour les petites fermes, sauf que le poids propre de la ferme est de 166 au lieu de 136 kilogrammes par mètre courant. La courbe des pressions affecte la même forme que celle des petites fermes; elle donne les pressions suivantes :

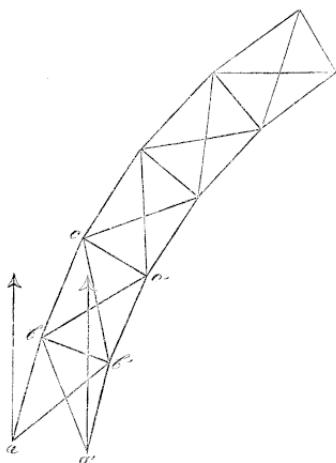
Poussée horizontale,	14,100 kilogrammes.
Pression aux reins,	23,500
Poussée sur la retombée,	30,000

La section de chaque arc étant de 57 centimètres carrés, le grand comble travaillerait donc aux coefficients de compression suivants :

A la clef,	$\frac{14100}{57} = 248$	kilogr. par centimètre carré;
Aux reins,	$\frac{23500}{57} = 412$	—
Aux naissances,	$\frac{30000}{57} = 526$	—

Ces coefficients seraient ceux d'un arc de 57 centimètres carrés de section, qui aurait la forme de la courbe des pressions; en réalité, il y a, par l'entremise de croisillons des fermes, des décompositions de force qui donnent lieu à des variations considérables dans les efforts.

Afin de nous rendre compte de ces variations, nous avons étudié le problème d'une manière beaucoup mieux appropriée au mode de construction de ces fermes. Nous les avons considérées comme formant un système polygonal composé de triangles. Ce système reçoit, en *a* et *a'*, la réaction du support que nous avons supposée partagée également entre ces deux points. Nous nous sommes donné la direction de ces forces comme pour la courbe des pressions; leur intensité était connue, puisque la composante verticale de chacune d'elles est égale à un quart du poids d'une ferme et de sa charge. Décomposant de proche en proche par la méthode graphique, et faisant intervenir aux points *b*, *b'*, *c*, *c'*, etc., le poids des pannes et de leur charge, qui sont des forces extérieures, nous avons obtenu pour chaque pièce l'intensité et la nature de l'effort auquel elle est soumise.



Cette méthode, irréprochable en principe, est très-difficile à appliquer, et nous devons dire que jamais nous n'avons obtenu deux fois des résultats tout à fait identiques en partant des mêmes bases, ce qui provenait des inexactitudes inévitables dans un travail graphique aussi compliqué. Du reste, les résultats se sont toujours maintenus assez rapprochés de ceux obtenus au moyen des courbes des pressions (pour les arcs), pour que nous n'ayons pas attaché une grande importance à ces recherches.

Ce qui nous préoccupait surtout dans le système de fermes sans tirants qui nous avait été imposé, c'était la poussée. Or, en présence du peu de stabilité des murs, nous avions été amenés, ainsi que nous l'avons déjà mentionné plus haut, à proposer des fermes agissant entièrement à la manière des poutres droites, c'est-à-dire pouvant servir d'entretoise aux deux murs opposés.

Notre projet ayant été repoussé, nous avons néanmoins cherché à en conserver le principe. A cet effet, nous avons considéré les fermes adoptées comme si elles étaient des poutres cintrées sur champ. Sous l'action d'une charge, ces fermes s'ouvriraient et produisaient bien une poussée, mais il y a entre cette poussée et celle d'une voûte la différence essentielle, que la poussée cesse d'exister quand le moment d'élasticité de la ferme fait équilibre au moment de rupture, tandis que dans une voûte la poussée ne peut pas être annulée. En d'autres termes, si l'on suppose une de nos fermes fixée par une de ses naissances, mais roulant sur un chemin de fer par l'autre naissance, chaque fois que nous ajouterons une charge, la ferme s'ouvrira d'une quantité déterminée; mais elle arrivera immédiatement à un état d'équilibre, tandis qu'une voûte, dans les mêmes conditions, ne pourrait même pas subsister sans la moindre surcharge.

Cette faculté de nos fermes de se maintenir, sans le secours de culées qui résistent à une poussée horizontale, cessera au moment où, sous une charge trop considérable, l'arc extérieur sera détruit par compression, tandis que l'arc intérieur se brisera par traction.

Admettant que ces ruptures arrivent quand le fer travaille à raison de 3,000 kilogrammes par centimètre carré, à ce mo-

ment la section de rupture de la petite ferme exercera un moment de résistance :

$$3,000 \times 45,5 \times 200 = 27,300,000.$$

La grande ferme donnera :

$$3,000 \times 57 \times 200 = 34,200,000.$$

Moment de résistance qui, pour la petite ferme, correspondrait à une charge et surcharge par mètre carré, données par la formule :

$$p = \frac{8M}{sl},$$

dans laquelle  $s = 8^m \times 24^m = 192$  m. sup.

et  $l = 2400$  centimètres;

d'où  $p = \frac{8 \times 27,300,000}{192 \times 2400} = 474$  kilogr.

Pour le grand comble, adoptant pour  $s'$  la surface entre les deux becs des retombées, soit 355 mètres superficiels, et pour  $l'$  la distance entre ses becs, soit 4,435 centimètres, on a :

$$p' = \frac{8 \times 34,200,000}{355 \times 4435} = 174 \text{ kilogr.}$$

Si l'on admet pour charge maxima du petit comble 800 kilogrammes par mètre courant de l'arc extérieur, cela fait pour une travée entière, couvrant 25<sup>m</sup>,88 sur 8 mètres, un poids de 27,500 kilogrammes, soit par mètre carré  $\frac{27,500}{207} = 133$  kilogr.

Pour le grand comble, le poids sur un mètre courant d'arc est de 830 kilogrammes, ce qui fait pour une travée entière, couvrant 48 mètres sur 8, une charge de  $62 \times 830 = 51,460$  kilogrammes, soit par mètre carré :

$$\frac{51,460}{384} = 134 \text{ kilogr.}$$

Ainsi les fermes du Palais de l'Industrie, construites comme elles le sont, n'auraient, à la rigueur, pas besoin de culées même pour résister à une surcharge de 60 kilogrammes par mètre carré. Afin d'éviter autant que possible la poussée de ces fermes, nous leur avons donné une tension initiale en faisant leur corde de fabrication de 7 centimètres plus courte que la corde en place pour les petites fermes, de 12 centimètres pour les grandes fermes; mais nous avons été obligés de diminuer ces différences au moyen de cales interposées entre les fermes et les retombées, parce que nous ne pouvions arriver à ouvrir ces fermes de la quantité voulue, sans les faire gauchir.

Les pannes sont des poutres à diagonales de 8 mètres reposant sur deux appuis et chargées uniformément de 2,000 kilogrammes environ. Elles ont 50 centimètres de hauteur, de sorte que chacune des nervures devrait avoir une section :

$$s = \frac{2000 \times 800}{8 \times 600 \times 50} = 6,66 \text{ centimètres carrés.}$$

Ces pannes étant en très-grand nombre, nous avons tenu à en réduire le poids autant que possible. A cet effet nous avons fait varier les sections des potelets et des diagonales en raison des efforts que ces pièces ont à supporter. Nous avons déterminé ces efforts par le procédé graphique que nous avons décrit pour les fermes.

**Stabilité.** — Il nous reste maintenant à donner quelques chiffres relatifs aux conditions de stabilité de l'édifice.

Lors de l'accident arrivé aux murs, que nous avons signalé page 18, beaucoup de personnes parurent craindre que cet accident se renouvelât. Ce qui préoccupait le plus, c'était la poussée des fermes, poussée qui, s'ajoutant à la tendance naturelle du mur au dévers, devait renverser nécessairement ce mur. Nous avons vu ce que c'est que cette poussée; néanmoins nous allons démontrer que, même cette poussée existant, par suite de la rupture d'une ferme, il n'y aurait rien à craindre.

Jusqu'au niveau du plancher aucun mouvement ne pourrait se produire sans qu'il y eût rupture de tous les assemblages des poutres, de toutes les entretoises et des consoles; le mur ne peut donc pas se déverser sur cette hauteur. Au-dessus du plancher il faudrait que la travée de 2<sup>m</sup>,10, pivotant autour de l'arête de la demi-colonne contre le mur, se renversât avec le mur supposé entaillé de toute son épaisseur à la hauteur de cette arête. Pour cela il faudrait que la colonne fût brisée par un effort de traction; or, la section de cette colonne est de 175 centimètres carrés, la résistance par unité de 1,500 kilogrammes au moins; donc la colonne ne pourrait se briser que sous un effort de 262,500 kilogrammes correspondant à une poussée horizontale à la naissance de la ferme de :

$$\frac{262,500 \times 210}{800} = 69,000 \text{ kilogr.}$$

La poussée de la ferme assimilée à une voûte serait de 5,700 kilogrammes; il n'y a donc aucune espèce de crainte à conserver au sujet de la stabilité des murs qui, nous le répétons, n'a jamais été compromise que parce que, faute de nous être livrées, les fontes destinées à relier ces murs à la façon des refends ordinaires n'avaient pu être posées en temps utile.

Le renversement des fermes par l'effet d'un coup de vent a été un nouveau sujet d'alarmes pour beaucoup de personnes. Pour ceux qui connaissent les effets quelquefois prodigieux du vent, cet accident n'a rien de surprenant. Les constructions en métal, composées de pièces généralement grêles et ne présentant

de stabilité que par leur mode de liaison, ne deviennent réellement stables que quand elles sont entièrement terminées. De plus le contreventement est un élément difficile à calculer; on aime mieux s'en rapporter à l'expérience pour déterminer son importance, et, de délais en délais, on ne prend souvent un parti que lorsqu'un accident est venu en démontrer l'impérieuse nécessité: c'est ce qui nous est arrivé.

Le déversement de nos fermes présentait cela de particulier que toute la déformation s'était produite dans les quatre ou cinq premiers croisillons de chaque pied; au-dessus le comble s'était simplement transporté parallèlement à lui-même. Il s'agissait donc surtout de consolider ce pied. Le parti adopté, consistant à haubanner les fermes, alternativement à la troisième et à la quatrième panne, s'opposera évidemment d'une manière absolue à la répétition du premier accident, puisqu'il faudrait la rupture simultanée de 42 tringles en fer de 30 millimètres de diamètre, équivalant à un effort minimum de 890,000 kilogrammes exercé horizontalement sur le comble à la hauteur de la quatrième panne, pour que cela pût arriver. Cet effort correspond à une pression du vent de 1,630 kilogrammes par mètre superficiel du pignon, tandis que les plus forts ouragans des Antilles ne donnent pas plus de 300 kilogrammes.

Le contreventement actuel a cependant un inconvénient, celui d'abandonner sans appui le pied des fermes sur 9 mètres de hauteur environ. Il eût été convenable de haubanner également la deuxième panne, ou du moins de la rattacher à la troisième par un système analogue à celui qui relie la quatrième à la cinquième.

#### DOCUMENTS STATISTIQUES.

Nous avons rassemblé dans le tableau suivant tous les chiffres détaillés qui permettent de déterminer les quantités de matériaux (fonte et fer) employés dans la construction du bâtiment principal du Palais de l'Industrie.

**TABLEAU DES POIDS**  
DES FONTES ET FERS EMPLOYÉS DANS LA CONSTRUCTION DU PALAIS DE L'INDUSTRIE  
(BÂTIMENT PRINCIPAL).

NOMBRE de PIÈCES.	DÉSIGNATION.	RENOVI aux		FONTE. — POIDS		FER. — POIDS	
		PLANCHES	FIGURES.	D'UNE PIÈCE.	de toutes LES PIÈCES de même nature.	TOTAL par division.	D'UNE PIÈCE.
<b>Fondations.</b>							
76	bases de colonnes (milieu des galeries) . . . . .	VI.	7	kilog.	23 080		
56	— — — (travée de 2 <sup>m</sup> ,10 sans descente) . . . . .	»	9	400	22 400		
44	— — à descente . . . . .	»	40	450	19 800		
92	bases de demi-colonnes . . . . .	»	9	220	20 240		
104	— de colonnes (à une entretoise, travée de 4 mètres) . . . . .	»	8	390	40 560		
20	— — (à deux entretoises) . . . . .	»	42	370	7 400		
60	entretoises de bases sans descente . . . . .	»	8	200	12 000		
16	— — à descente . . . . .	»	44	170	2 720		
16	tuyaux de descente, travée de 4 mètres . . . . .	»	44				
28	— — — de 2 <sup>m</sup> ,10 . . . . .	»	43	60	2 640		
						kilog. 452 840	
184	boulons de scellement des demi-bases . . . . .					k.	221
960	— de diamètre 23 millim., serrage 73 millim. . . . .					0,800	768
480	cales de serrage . . . . .					0,750	360
1 349							
<b>Rez-de-chaussée et plancher.</b>							
296	colonnes du rez-de-chaussée . . . . .	VII	1,4,5,6,7	1 450	429 200		
92	demi-colonnes . . . . .		3	1 320	121 440		
72	plaques de support des poutres de 24 mètres . . . . .	»	2	66	4 752		
92	entretoises, travée de 2 <sup>m</sup> ,10 . . . . .	III	E	550	50 600		
108	— — de 4 mètres . . . . .	»	F I	4 370	147 960		
288	consoles fortes . . . . .	III, IV	H	360	103 680		
464	— minces ordinaires . . . . .	V	4	213	99 760		
56	— — grandes des angles . . . . .			230	42 880		
68	poutres venues de fonte avec leurs bouts de colonnes . . . . .	XI	4	4 250	85 000		
88	bouts de colonne de 4 <sup>m</sup> ,160 . . . . .	VII	8	260	22 880		
92	demi-bouts de colonne de 4 <sup>m</sup> ,160 . . . . .	»	9	173	16 100		
92	poutres de 2 <sup>m</sup> ,40 . . . . .	XI	5	267	24 564		
24	— de 4 mètres . . . . .	»	4	460	11 040		
8	demi-poutres de 2 <sup>m</sup> ,10 . . . . .	»	8	181	4 451		
16	— — de 4 mètres . . . . .	»	7	460	7 360		
56	— — de 8 — . . . . .	»	9	1 420	62 720		
168	poutres de 8 m. sur 0 <sup>m</sup> ,80, avec talons . . . . .	»	2	1 343	225 960		
64	— — 0 <sup>m</sup> ,80, sans talons . . . . .	»	3	1 300	83 200		
236	— — 0 <sup>m</sup> ,60 . . . . .	»	6	1 400	358 400		
684	demi-socles de colonne (ornement) . . . . .			56	38 223		
						1 907 170	
60	poutres de 24 mètres, marquées G . . . . .	XII				kilog.	
4	— 24 — — — C. . . . .	»				4 662	279 720
4	— 24 — — — E. . . . .	»				4 970	19 880
4	— 24 — — — D. . . . .	»				5 027	20 108
32	— 12 — — — F. . . . .	»				5 836	23 344
8	— 12 — — — C. . . . .	»				1 978	63 296
8	— 12 — — — A. . . . .	»				1 736	43 888
8	— 12 — — — B. . . . .	»				1 746	43 968
8	— 12 — — — H. . . . .	»				2 398	49 184
8	— 12 — — — H'. . . . .	»				610	4 880
						685	5 480
463 748							
<b>TOTAL des poutres en tôle.</b>							
8 939	mètres linéaires de fer à T double, solive du plancher . . . . .	VII	41		23		
92	tirants de la travée de 2 <sup>m</sup> ,10 . . . . .	»	10		33	3 036	223 473
60	— — — de 4 mètres (longueur 4 <sup>m</sup> ,625) . . . . .	»	4		48 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 910	
16	— des angles (travée de 4 mètres, longueur 8 <sup>m</sup> ,60) . . . . .	»	42		89 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1 428	
72	— — — des consoles du milieu . . . . .	»			43	936	
4 368	boulons d'assemblage des colonnes et des bases . . . . .					4,41	1 519
1 368	— — — des colonnes et des bouts de colonnes . . . . .					4,11	1 519
1 040	vis d'assemblage des consoles minces . . . . .					0,33	343
2 672	boulons d'assemblage des poutres, demi-poutres et entretoises . . . . .					0,47	4 256
6 800	cales pour consoles, entretoises et poutres . . . . .					0,30	2 040
							14 987
<i>A reporter . . . . .</i>							
						2 060 010	
							703 559

NOMBRE de PIÈCES.	DÉSIGNATION.	RENOVI aux		FONTE. — POIDS			FER. — POIDS		
		PLANCHES	FIGURES	D'UNE PIÈCE.	de toutes LES PIÈCES de même nature.	TOTAL par division.	D'UNE PIÈCE.	de toutes LES PIÈCES de même nature.	TOTAL par division.
	<i>Report. . . . .</i>					<b>kilog.</b> <b>2 060 010</b>			<b>kilog.</b> <b>703 559</b>
<b>Étage.</b>									
88 colonnes de la travée de 2 <sup>m</sup> ,40. . . . . 92 demi-colonnes . . . . . 60 colonnes, travée de 4 mètres, côté de la petite galerie. 12 — d'angle à deux entretoises. . . . . 4 — d'arétier. . . . . 48 — de la grande galerie. . . . . 12 — des pignons. . . . . 76 entretoises de la travée de 4 mètres. . . . . 32 — faibles de 4 mètres. . . . . 84 — du pied des colonnes, travée de 2 <sup>m</sup> ,10. . . . . 336 petites consoles. . . . . 32 grandes — 48 retombées sans descente, travée de 2 <sup>m</sup> ,10. . . . . 28 — à descente. . . . . 4 — d'angle. . . . . 12 — des pignons. . . . . 36 — doubles en trois pièces. . . . . 12 — doubles à descente, en une pièce. . . . . 4 — d'angle de la grande salle. . . . . 4 — des fermes de pignon. . . . . 184 poutres de 8 mètres sur 1 <sup>m</sup> ,20. . . . . 8 — de 4 mètres. . . . . 16 demi-poutres de 8 mètres sur 0 <sup>m</sup> ,50. . . . . 48 — — — sur 0 <sup>m</sup> ,60. . . . . 28 tuyaux de descente (180 k.) et cuvettes (60 k.), côté du mur. 16 — — — doubles, travée de 4 mètres. . . . .									
VIII " 4 920 " 4 1 320 " 3 1 680 " 6 2 462 " 7 2 800 " 4 2 350 " 5 1 525 IV F 1 550 XIV 40 870 III F 380 V 175 480 X 3 1 357 " 4 416 X 2 2 042 IX 3 2 140 " 2 2 990 " 4 2 623 X 4 3 446 IX 4 360 XI 11 1 130 XXV 3 640 " 2 650 XI 10 4 660 XIV 6 240 " 7 200									
<b>1 411 174</b>									
16 poutres à diagonales, de 12 mètres sur 1 <sup>m</sup> ,20. . . . K. 8 — contre le mur, de 12 — sur 0 <sup>m</sup> ,21. . . . I. 8 — — — de 14 — sur 0 <sup>m</sup> ,21. . . . J. 4 332 boulons d'assemblage des colonnes sur le plancher. . . . 1 384 — — — et des retombées. . . . 5 200 — — — des entretoises et des poutres sur les colonnes et les retombées. . . . . 1 344 boulons des entretoises du bas des colonnes et demi-colonnes. . . . . 1 728 vis d'assemblage des colonnes et des entretoises minces. . . . 40 boulons à pattessiant la colonne de 2 <sup>m</sup> ,10 à la poutre en tôle. 40 — — — de 4 mètres. . . . . 80 — traversant la demi-colonne et le mur. . . . . 70 — — — la retombée. . . . . 152 — d'assemblage des retombées en plusieurs pièces. " — divers. . . . .									
XIII 1 720 407,5 471 1,11 1,11 0,50 2 600 0,60 0,33 20 10 8 1/2 9 40									
<b>30 000</b>									
<b>Pignons.</b>									
8 pièces A, montants de pignons. . . . . 4 — F . . . . . 12 — B. . . . . 8 — D. . . . . 4 chapeaux de colonnes F. . . . . 4 bielles. . . . . 4 sabots du pied des bielles. . . . . 4 chapeaux des colonnes intermédiaires. . . . . 4 — — — du milieu. . . . . 8 butoirs composés chacun de cinq pièces. . . . . 176 châssis remplissant les fermes de pignons. . . . . 450 boulons d'assemblage. . . . . 42 tirants et entretoises des butoirs. . . . . 8 — — à étrier amarrés sur les petites fermes. . . . . 40 poutrelles du bas du pignon. . . . .									
XVIII 4 888 XIX 4 717 XVIII 4 649 " " 500 XIX 4 95 " 253 " " 40 XVIII 3 170 " 2 60 " 1 923 XIV 5 1 923 VIII 40 XIX 2 VIII 11,12,13									
7 104 2 866 7 787 4 001 380 4 012 160 680 240 15 400 12 922 4,30 30 70 270 12,30 4 460 4 2 500 4,83 3 300 1,40 3 430 6 680									
<b>52 608</b>									
TOTAL. . . . .									
<b>3 523 792</b>									
<b>48 905</b>									
<b>752 464</b>									



NOMBRE de PIÈCES.	DÉSIGNATION.	RENOVI aux		FONTE. — POIDS			FER. — POIDS		
		PLANCHES	FIGURES.	d'UNE PIÈCE.	de toutes LES PIÈCES de même nature.	TOTAL par division.	d'UNE PIÈCE.	de toutes LES PIÈCES de même nature.	TOTAL par division.
<i>Report.</i> . . . . .									
46	fers à T de lanterne, n°3, de 8 mètres.			kilog. 3	kilog. 138	kilog. 2 541			
26	poinçons en fer à croix, du faîte . . . . .						kilog. 60	2 760	
71	— en fer rond et pattes en fer . . . . .						9	234	
194	— des pannes n° 2. . . . .						5	355	
104	équerres des pannes n° 3. . . . .						2	388	
50	grandes contre-fiches . . . . .						1	404	
52	petites contre-fiches. . . . .						8,5	425	
2	pannes faitières de 4 mètres, n° 1 . . . . .						6,25	323	
4	— — — n° 2. . . . .						176	352	
4	— — — n° 3. . . . .						144	576	
2	fers à T de lanterne, de 4 m., n° 1. . . . .						144	576	
4	— — — n° 2. . . . .						33,5	67	
4	— — — n° 3. . . . .						31	124	
32	pannes ordinaires de 4 mètres. . . . .						28	112	
52	sabots du pied des fermes. . . . .	XV	6	42	624		146	4 672	
46	pannes fer à double T, longueur 8 mètres. . . . .						420	5 520	
4	— — — — 4 mètres. . . . .			0,64	246		60	240	
384	sabots attachant les chevrons à ces pannes . . . . .								
7 200	boulons divers, non compris ceux qui assemblent les morceaux de fermes. . . . .						0,33	2 400	
							4 008		19 230
							3 549		389 071
<i>Chevronnage.</i>									
384	barres de chevrons du bas, portant volige et zinc. . . . .						13,50	5 184	
768	— — — sommet de la lanterne. . . . .						29,50	22 656	
2 304	— — — intermédiaires. . . . .						29,50	67 968	
768	— — — bas du verre . . . . .						30	23 040	
									118 848
<i>Contreventement.</i>									
22	sabots en fonte attachés sur la ferme à la 3 <sup>me</sup> panne. . . . .	XX		73	4 630				
20	— — — — 4 <sup>me</sup> — . . . . .			71	4 420				
20	— — — — 5 <sup>me</sup> — . . . . .			53	4 060				
50	— en fer attachés sur la ferme et la retombée. . . . .						20	4 000	
	boulons divers. . . . .							250	
184	tringles de contreventement intérieur. . . . .						54	9 936	
84	— — — extérieur, 3 <sup>me</sup> et 4 <sup>me</sup> panne. . . . .						140	11 760	
38	— — — 5 <sup>me</sup> panne. . . . .						23	874	
6	cours fer en croix, chacun de 192 mètres, 1,152 mètres. . . . .						10	41 520	
							4 130		33 340
	<b>Total des grandes fermes. . . . .</b>						<b>7 679</b>		<b>543 259</b>

## RÉCAPITULATION.

	FONTE.	FER.
Fontes et fers au-dessous des fermes. . . . .	3 523 792	752 464
Petit comble. . . . .	7 270	830 883
Grand comble. . . . .	7 679	543 259
	<b>3 538 741</b>	<b>2 126 606</b>
<b>TOTAL GÉNÉRAL. . . . .</b>		<b>5 665 347</b>

A ce chiffre il faudrait ajouter le poids de la balustrade en fonte du premier et celui du chemin de fer et de la lanterne établis sur les combles ; mais nous ne l'avons pas fait, parce que ces travaux ne font pas partie du bâtiment proprement dit et sont plutôt des accessoires.

Il est intéressant de se rendre compte du poids par mètre superficiel des différents travaux. Cela devient facile au moyen du tableau ci-dessus.

La superficie du plancher de l'étage est de  
 $252^{\text{m}} \cdot 20 \times 108^{\text{m}} \cdot 20 - 48^{\text{m}} \times 192^{\text{m}} = 18,072 \text{ m. superficiels.}$

Or, nous avons, dans toute la partie de la construction jusque et y compris le plancher :

Fonte, 2,060,010 kilogr. — Fer, 703,559.

Ce qui fait par mètre superficiel :

Fonte, 114 kilogr. — Fer, 38<sup>k</sup>,80.

Mais, si l'on remarque que, dans les travées de 2<sup>m</sup>,10 et de 4 mètres, le poids de la fonte est énormément exagéré par rapport à la surface du plancher, ce qui tient aux fonctions spéciales de ces travées, on est conduit à rechercher quelle est la quantité de matériaux contenue dans un mètre superficiel du plan-

cher, dans sa partie milieu. Supposons un plancher indéfini de 12 mètres sur 8, divisé ainsi par des colonnes, nous aurions dans une de ces travées :

	FONTE.	FER.
1 base de colonne. . . . .	330	
4 colonne. . . . .	4 450	
1 plaque de support de poutre. . . . .	66	
2 consoles fortes. . . . .	720	
2 — minces. . . . .	430	
1 poutre de 8 mètres sur 0 <sup>m</sup> ,80. . . . .	4 340	
2 — — sur 0 ,60. . . . .	2 800	
2 demi-socles de colonne. . . . .	412	
1 poutre en tôle de 12 mètres. . . . .	2 331	
48 mètres linéaires fer à T double. . . . .	1 200	
4 tirant des consoles fortes. . . . .	43	
8 boulons des tronçons de colonne. . . . .	40	
32 cales de consoles et poutres et . . . . .	40	
4 vis des consoles faibles. . . . .	40	
<b>TOTAL pour 12<sup>m</sup> × 8<sup>m</sup> = 96 m. s. . . . .</b>	<b>7 248</b>	<b>3 564</b>
Et par mètre superficiel. . . . .	75 <sup>k</sup> ,50	37 <sup>k</sup> ,40

Ensemble les deux combles couvrent un espace de 27,288 mètres superficiels. Leur poids en métal, compris chevonnage et contreventement est :

Pour la fonte, 14,949.

Pour le fer, 4,374,142.

Soit par mètre superficiel :

Pour la fonte, 0<sup>k</sup>,55.

Pour le fer, 50<sup>k</sup>,35.

Mais nous avons compris ici l'espace couvert par les chéneaux, lesquels sont supportés par les retombées et non par les fermes.

Pour le grand comble, couvrant en réalité 48 mètres sur 192 mètres, soit 9,216 mètres carrés, nous avons :

DÉSIGNATION.	POUR LE COMBLE ENTIER		PAR MÈTRE SUPERFICIEL	
	FONTE.	FER.	FONTE.	FER.
Fermes et pannes. . . . .	3 530	389 071	0,383	42,217
Chevonnage. . . . .	4 130	448 848	0,448	42,895
Contreventement. . . . .	7 680	543 239	0,833	38,946
	530 939 kil.		50 <sup>k</sup> ,779	

Si maintenant nous nous reportons au petit comble, nous remarquons qu'il couvre en réalité un espace de 26 mètres de large dont le développement, pris sur le faîtage, est de 608 m. La surface couverte est donc de 26 × 608 = 15,808 mètres et nous avons :

DÉSIGNATION.	POUR LE COMBLE ENTIER		PAR MÈTRE SUPERFICIEL	
	FONTE.	FER.	FONTE.	FER.
Fermes et pannes. . . . .	7 270	628 583	0,46	39,76
Chevonnage. . . . .	7 270	202 300	0,46	42,80
	830 883		53 <sup>k</sup> ,02	
	838 153 kil.			

A ces résultats réels nous allons en ajouter quelques-uns de fictifs, que nous obtiendrons en discutant les chiffres du tableau :

La surface totale, comprise entre les murs, est de 27,288 m. s.

— de l'étage, est de . . . . . 18,072

Ensemble. . . . . 45,360

Le poids total est :

Pour la fonte. . . . . 3,538,741 kilogrammes.

Pour le fer. . . . . 2,126,606 kilogrammes.

Ce qui fait, par mètre superficiel de surface couverte et utilisable :

Fonte. . . . . 78<sup>k</sup>,01 } 124<sup>k</sup>,89 = 125.  
Fer. . . . . 46<sup>k</sup>,88 }

Nous avons vu précédemment que les combles couvrent une superficie de 9,216 + 15,808 = 25,084 mètres superficiels, tandis que l'espace couvert total est de 27,288 mètres. La différence est l'espace couvert par les chéneaux, soit 2,264 mètres superficiels. Admettant que les chéneaux soient remplacés par une couverture pesant une moyenne de 55 kilogrammes au mètre, soit 0<sup>k</sup>,65 fonte et 54<sup>k</sup>,35 fer, les 2,264 mètres absorberaient 1,472 kilogrammes de fonte et 123,048 kilogrammes de fer.

D'autre part, les 18,072 mètres superficiels de plancher étant supposés employer le taux normal de 75<sup>k</sup>,50 de fonte et 37<sup>k</sup>,10 de fer chacun, iraient à 1,364,436 kilogrammes de fonte et 670,471 kilogrammes de fer.

Nous pouvons ainsi dresser les tableaux des quantités *normales* de matériaux entrant dans la construction.

DÉSIGNATION.	FONTE.	FER.
Grand comble. . . . .	7 680	543 259
Petit comble. . . . .	7 270	830 883
Chéneaux. . . . .	4 472	423 048
Plancher. . . . .	4 364 436	670 471
<b>TOTAL. . . . .</b>	<b>4 380 858</b>	<b>2 467 661</b>
En réalité nous avons. . . . .	3 538 741	2 126 606
Déférence en plus. . . . .	2 157 884	
Déférence en moins. . . . .		44 053

C'est donc une différence réelle de 2,116,829 kilogrammes de métal, qui sont employés en trop par les raisons suivantes :

Le plancher, au lieu d'être formé de travées de 12 mètres sur 8, indéfiniment accumulées, est bordé de chaque côté par des planchers à petite portée proportionnellement fort lourds.

Pour donner à la construction la stabilité nécessaire, il a fallu former les deux agglomérations de supports désignées sous le nom de travées de 4 mètres et de 2<sup>m</sup>10.

Enfin les combles ne reposent pas sur le plancher, mais ils sont élevés à une grande hauteur. Cette seule circonstance a déjà fait dépenser 1,440,000 kilogrammes de matière.

Si nous interprétons notre dernier tableau en chiffres, nous trouvons que chaque mètre carré de surface utilisable emploie d'une manière normale :

$\frac{1,380,858 + 2,167,661}{45,360} = 78$  kilogrammes,

tandis qu'il emploie, en suppléments provoqués par les causes indiquées ci-dessus :

$\frac{2,116,829}{45,360} = 46,67$ .

Il nous serait facile de pousser plus loin l'analyse du tableau que nous avons soumis au lecteur; mais nous pensons que les considérations que nous avons présentées suffisent.

## CHAPITRE IV.

### ANNEXES DU PALAIS.

#### GALERIE DU QUAI DE LA CONFÉRENCE.

Dès que la Commission chargée d'installer et de diriger l'Exposition universelle de 1855 fut entrée en fonction, elle s'aperçut bien vite que le local qui était mis à sa disposition était insuffisant. Dès lors différents projets d'annexes furent mis à l'étude.

On proposa d'abord d'agrandir le palais lui-même en le prolongeant par un bâtiment provisoire, jusqu'à la place de la Concorde et jusqu'à l'avenue d'Antin; puis on projeta différents bâtiments dans les carrés des Champs-Élysées; mais toutes ces dispositions furent abandonnées parce qu'elles ne pouvaient être établies sans qu'on sacrifiât un grand nombre d'arbres.

On adopta enfin un bâtiment de 1,200 mètres de long sur 27 de large, établi sur la chaussée et sur les trottoirs du quai de la Conférence. De cette façon les plantations des Champs-Élysées n'étaient pas atteintes.

On voulait d'abord composer ce bâtiment de deux travées accolées, de 13<sup>m</sup>,50 de large, en pans de bois et plâtrés; mais MM. York et C<sup>r</sup>, appelés à exécuter ce travail, proposèrent de construire une halle unique de 27 mètres de large, à piliers en maçonnerie et fermes en fer, l'intervalle des piliers étant clos par de la menuiserie.—Sauf l'emploi de la maçonnerie pour les piliers et la forme de la couverture, la construction de l'annexe était conçue tout à fait dans l'esprit du Palais de Cristal de Hyde-Park.

Ce projet ayant été adopté et le marché signé fin d'août 1854, il fallut se mettre immédiatement à l'œuvre. Ce marché portait que, au 1<sup>er</sup> janvier 1855, tout le bâtiment serait couvert. Au 2 décembre 1854, le comble était posé; et au 1<sup>er</sup> janvier la couverture était complète, sauf quelques travées de vitrage que le mauvais temps persistant avait empêché de terminer.

L'annexe du quai de la Conférence se composait de cent quarante-six travées de 27 mètres sur 8, terminées par deux pavillons en pans de bois, contenant les bureaux. Un troisième pavillon, divisant la façade en deux parties égales, avait la même destination. Dans l'origine, les cent quarante-six travées étaient rigoureusement pareilles; plus tard on construisit sur la moitié de la longueur deux galeries que nous décrirons plus bas.

Chaque travée se composait de deux piliers en maçonnerie, supportant une ferme en fer de forme circulaire, par l'intermédiaire d'un sabot en fonte ou *retombée*. (Pl. XXV, *fig. 1*, et Pl. XXVI.) Quatre sablières en bois reliaient entre elles les retombées, et quinze pannes reliaient les fermes, de sorte que la couverture était divisée en seize panneaux, dont les six supérieurs

étaient couverts d'une lanterne vitrée, tandis que les dix inférieurs étaient voligés et couverts en zinc. Les deux sablières de chaque côté portaient un petit plancher qui formait fond de chéneau à l'extérieur et plafond à l'intérieur.

Les parois latérales, subdivisées chacune par deux forts poteaux, étaient supportées par un petit mur en moellon qui allait d'une pile à l'autre. Le pied des poteaux était scellé dans ce mur, leur tête fixée aux sablières; les poteaux étaient entretoisés par quatre cours d'entretoises, qui consolidaient le remplissage en menuiserie.

Le plancher suivait à peu près la pente du sol; il se composait de solives en sapin ou en hêtre, ayant 220 millimètres de hauteur, sur une épaisseur variant de 55 à 80 millimètres; ces solives, écartées de 50 à 60 centimètres d'axe en axe, étaient scellées dans de petits murs en moellon et plâtre qui égalisaient les ondulations du terrain. Le platelage était en planches brutes de sapin, de 27 millimètres d'épaisseur, clouées sur les solives de manière à laisser 1 centimètre de jour pour le passage de l'air et de la poussière.

Les fermes étaient construites suivant le même principe que celles du Palais; elles se composaient de deux arcs concentriques (Pl. XXVI, *fig. 11*) formées chacune de deux cornières de 70 millimètres, moisant les potelets en fer plat de 68 millimètres sur 10 et les croisillons en fer plat de 80 millimètres sur 12. Tous les croisillons étaient pareils, et ils étaient fixés aux cornières par deux rivets à chaque bout. Les joints des cornières étaient chevauchés et tous rigoureusement au milieu de l'intervalle entre deux potelets. De cette façon il n'y avait que trois modèles de cornières pour chacun des deux arcs, savoir: un modèle pour chaque extrémité, l'autre pour les barres intermédiaires. A chaque joint il y avait une plaque de fer plat de 68 millimètres sur 12 et 580 millimètres de long logée entre les deux cornières et fixée par six rivets, et une plaque de 150 millimètres de large sur 6 d'épaisseur et 480 millimètres de long fixée par onze rivets sur le dos des deux cornières. La bride d'attache sur la retombée se composait de deux cornières de 80 millimètres (Pl. XXVI, *fig. 12*), moisant un fer plat de 135 millimètres sur 12, lequel s'insérait entre les cornières des arcs. Les abouts des cornières étaient contre-coudées de manière à recouvrir ces arcs.

De deux en deux potelets l'arc extérieur recevait une platine en fer, de 80 millimètres sur 12 et 260 de long, fixée par deux rivets et percée en outre de quatre trous de 17 millimètres (Pl. XXVI, *fig. 16*), destinés à recevoir les boulons d'attache des pannes.

Ces pannes se composaient d'une pièce de bois de 12 centi-

mètres d'équarrissage et 8 mètres de long, consolidée par une armature en fer formée de la manière suivante. (Pl. XXVI, *fig. 6*). La longueur de 8 mètres était divisée en trois portées égales de 2<sup>m</sup>, 66 par deux potelets en bois dur (Pl. XXVI, *fig. 5*). Ces deux potelets, armés à leur partie inférieure d'un sabot en fonte, étaient entretoisés par un boulon de 20 millimètres de diamètre; deux autres boulons partant des extrémités de la panne en bois venaient tirer sur les sabots des deux potelets et complétaient ainsi l'armature. D'un bout, ces tringles avaient une tête, de l'autre un écrou (Pl. XXVI, *fig. 16*). La tête s'appuyait sur le bout de la panne coupé en chanfrein, par l'intermédiaire d'une rondelle en fer mince carrée dont les quatre angles avaient été abattus d'équerre, de manière à s'inceruster dans le bois.

Les pannes étaient de deux espèces: les unes étaient dans le plan des potelets des fermes; c'étaient les sept pannes du sommet (Pl. XXVI, *fig. 6* et *fig. 9*). Les huit pannes du bas étaient dans le plan du croisillon. De cette façon les pannes s'écartaient peu du plan vertical. Afin de chaîner le bâtiment dans le sens de sa longueur, nous avions relié les potelets de deux travées consécutives par une tringle de 20 millimètres, portant un écrou à chaque extrémité. Cette tringle passait dans un sabot en fonte placé sous la ferme, et y était fixée par une vis serrée à fond. (Pl. XXVI, *fig. 16*.)

Les boulons qui fixaient les pannes sur les fermes avaient 15 millimètres de diamètre; leur tête ronde, de 38 et 42 millimètres de diamètre, était légèrement conique; enfin la tige portait un ergot. Au moyen d'un calibre en fer, on traçait sur la panne en bois les coupes des abouts, le centre et la direction de tous les trous, puis on perceait à la mèche anglaise un trou de l'épaisseur de la tête des boulons. Le reste du trou était percé à la tarière et l'on enfonçait les boulons à coups de maillet. La conicité de la tête resserrait le bois et faisait joindre; l'ergot empêchait le boulon de tourner au levage.

La ferme reposait sur deux sabots en fonte dont la véritable destination était la même que celle des bases de colonnes du Palais, savoir: de permettre une plantation rigoureuse de l'ouvrage; nous avons interposé une fourrure en bois entre la ferme et le sabot, afin d'éviter l'ajustage. Six boulons de scellement de 25 millimètres fixaient le sabot sur la pile, huit boulons de 20 millimètres fixaient la ferme sur la retombée.

Les deux sablières avaient 22 centimètres sur 8; elles étaient fixées sur les retombées par quatre boulons de 15 millimètres semblables à ceux des pannes.

Les piliers dont la section était en forme de croix ont été faits partie en pierre de taille, partie en moellon. Les pierres de taille provenaient des travaux du Palais, sans quoi nous n'euussions employé que du moellon, comme cela nous était prescrit par le cahier des charges.

A mesure que les fermes étaient posées, on établissait le voligeage en planches de 27 millimètres d'épaisseur, rabotées et rainées. Ces planches ont été posées en diagonale par deux raisons: d'abord, il est absolument nécessaire de contreventer avec soin des fermes qui s'élèvent à une hauteur aussi grande que celle de l'annexe; en plaçant le voligeage en diagonale, on

obtient un contreventement très-énergique, sans aucune dépense de matière; d'autre part les planches ont généralement 4 mètres de longueur, de sorte que, en les plaçant en diagonale, on ne perdait que les deux angles abattus.

La lanterne se composait de hausses fixées sur les cinq pannes du milieu (Pl. XXVI, *fig. 5, 6, 7, et 8*) au moyen de potelets. Au droit du joint des deux pannes consécutives les potelets étaient munis d'un patin cloué sur les deux pannes; sur la longueur des pannes les potelets étaient fixés par deux moises clouées sur la panne et sur le potelet. Les chevrons étaient cloués directement sur les hausses de la lanterne.

Les parois se composaient d'une partie inférieure, en planches de 16 centimètres de large posées horizontalement (Pl. XXVI, *fig. 1, 2, 3, et 4*) et d'une partie supérieure, en planches verticales, alternativement de 12 et de 32 centimètres de large.

Dans le bas, les planches étaient assemblées à rainure et à languette avec moulure; dans le haut, elles étaient assemblées à embrèvement, au moyen d'une rainure profonde dont une des joues formait languette. Toutes les traverses de ces parois étaient débitées dans du madrier; elles avaient 22 centimètres sur 4, 11 centimètres sur 8, 11 centimètres sur 4. Il n'y avait pas du tout de tenons ni de mortaises, tous les assemblages étant faits au moyen de clous.

Le bas de la paroi reposait sur un petit mur dont la crête était établie de niveau. Puis venait une partie de paroi, de 30 centimètres de large, tournant autour d'axes établis au milieu de cette hauteur et permettant l'introduction de l'air dans le bâtiment.

Une corniche trainée en plâtre masquait le chéneau, qui était en zinc, portant sur le plancher qui recouvrailt les sablières et contre le voligeage; du côté de la corniche les têtes des poteaux et des piles portaient une traverse de 11 centimètres sur 8, contre laquelle étaient clouées les planches de remplissage. De deux en deux piles il y avait un tuyau de descente.

La galerie de l'annexe, dont la construction ne fut décidée qu'à la fin décembre 1854, lorsque le bâtiment était presque terminé, se composait de 146 travées semblables, que nous allons décrire.

Au droit de chaque pilier et contre ce pilier, une colonne de 18 centimètres de diamètre extérieur et de 15 à 18 millimètres d'épaisseur reposait sur un petit dé en pierre de taille, de 50 centimètres de côté (Pl. XXV, *fig. 1*, et Pl. XXVI, *fig. 13*). Le haut de cette colonne était fixé au pilier par un boulon de scellement dont l'écrou se trouvait à l'intérieur de la colonne. Une seconde rangée de colonnes semblables, écartée de 6 mètres d'axe en axe de la première, était maintenue d'écartement avec celle-ci par une solive en fer à T double de 22 centimètres de large, fixée à chaque colonne par deux boulons de 20 millimètres. Les colonnes d'une même rangée étaient réunies par des poutres à treillis (Pl. XXVI, *fig. 10*), servant à la fois de garde-corps et de poutres principales. Elles étaient reliées sur leur longueur par trois solives en fer à T double de 22 centimètres fixées à chaque extrémité sur un contre-fort de la poutre, en fer et cornières, par quatre boulons de 20 millimètres. Ce mode d'attache simple et solide empêchait tout dévers de la poutre.

Le plancher se composait de deux épaisseurs, l'une de 40 millimètres en demi-madriers de 4 mètres assemblés à rainures

et languettes rapportées, les joints des abouts chevauchés de 2 mètres et disposés ainsi, de manière à porter sur les solives. Le second plancher, ou parquet, de 27 millimètres d'épaisseur, à rainures et à languettes, était disposé de manière à recroiser le premier à angles droits; il était cloué sur le premier par une grande quantité de pointes.

Le plancher tout entier était fixé aux solives par des moulures en sapin, de 8 centimètres sur 5,5 d'équarrissage, embrassant le fer à double T et clouées sous le plancher, de sorte qu'elles formaient encadrement. Les abouts des solives étaient masqués par une frise en sapin de 27 millimètres, et 22 centimètres de largeur, ornée de moulures et raccordée avec les deux colonnes par des consoles en planches de sapin découpées.

Le dessus de la poutre garde-corps reçut une main-courante en chêne poli de 11 centimètres de large sur 5,5 d'épaisseur.

Nous ne parlerons pas des huit escaliers qui conduisaient à cette galerie; ils ne présentaient rien de saillant.

Les détails de construction de l'annexe étaient tous étudiés au point de vue d'une grande rapidité d'exécution et des assemblages gâtant le moins possible les matériaux. Cette dernière considération était d'une grande importance pour l'entreprise qui fournissait son bâtiment en location et demeurait propriétaire des matériaux. La maçonnerie fut exécutée par un sous-entrepreneur, auquel on livra les matériaux. La charpente des pavillons, la couverture en zinc et celle en verre furent faites en location par différents entrepreneurs. Il en fut de même pour la peinture entière et pour la fourniture de cinquante fermes et de sept cent cinquante pannes.

Tous les autres travaux, tels que les quatre-vingt-dix-sept autres fermes, les pannes, toute la charpente et la menuiserie du bâtiment proprement dit, furent exécutés par nous en régie, ce qui nous permit de leur imprimer l'activité nécessaire.

Nos ateliers nous fournissaient chaque jour, une fois en marche, trois fermes complètes et les ferrures des quarante-cinq pannes correspondantes. Tous les bois étaient débités dans une scierie que nous avions établie à proximité du chantier. Cette scierie se composait de cinq scies circulaires de 80 à 40 centimètres de diamètre, et d'une scie verticale à rouleau, le tout mû par une machine à vapeur. En outre, nous avions établi une machine à raboter les planches, deux machines à rainer et une machine à fabriquer les chevrons à vitrage et les moulures.

Tout cet outillage, qui fonctionnait quinze heures par jour, a travaillé sans discontinuer pendant quatre mois et nous a procuré de grandes économies. Du reste, sans notre scierie, il est peu probable que nous fussions arrivés à temps, car chacune de nos machines faisait au moins le travail de quarante ouvriers exercés.

Après le levage du Palais celui des annexes était un jeu; nous y avons employé exactement les mêmes échafauds et les mêmes équipages. Une équipe levait de une à demie à deux travées par jour, au bout de quelques jours d'exercice. Le travail fut commencé en trois points à la fois, et, le 2 décembre, les trois équipes finirent simultanément la pose des fermes et des pannes.

Au fur et à mesure de la pose des fermes, on voligeait en commençant par le plancher des sablières et allant en remontant.

L'échafaud était des plus simples; il se composait, pour chaque ouvrier, d'une échelle de 2<sup>m</sup>,50 de long, munie à sa partie supérieure de deux forts crochets en fer dans lesquels on avait fixé des galets en bois. L'ouvrier était debout au bas de l'échelle; sa boîte à clous et à outils était fixée au haut de cette échelle, et les planches étaient posées d'avance en travers sur la panne et sur la tringle de la panne immédiatement inférieure. Le voligeage suivait facilement la pose des fermes, parce que les planches arrivaient au chantier rainées, rabotées et arasées des deux bouts, en un mot prêtes à poser.

La lanterne, le chevronnage et les parois ne furent attaqués que lorsque le travail fut terminé; mais, sauf les parois, qui tardèrent longtemps, ces parties de la construction ne prirent pas quinze jours.

Vers le milieu de décembre, lorsqu'il fut question de galeries, on nous fit modifier les parois, de trois en trois travées, en plaçant entre les poteaux une croisée de grande dimension; mais comme le nombre et les dimensions de ces croisées ne furent déterminés que vers le 10 février, ce travail chôma longtemps. Tout le travail de couverture en zinc fut exécuté en novembre et décembre, celui de vitrerie en décembre et janvier; aussi est-il peu étonnant que ces travaux aient été moins soignés que nous l'eussions désiré. Pour la vitrerie en particulier il était impossible de mastiquer, le mastic ne prenait pas sur les bois mouillés.

Le travail des galeries, quoique retardé par les fortes gelées de janvier et de février, qui arrêtèrent les bateaux portant nos approvisionnements et empêchèrent pendant plus de quinze jours le travail des fonderies qui nous fournissaient, fut terminé au bout de trois mois, sauf les escaliers dont les épures ne furent arrêtées que fort tard. L'exécution des poutres et l'ajustage en général ne présentèrent rien de particulier, si ce n'est l'application des moyens les plus abrégés et les plus précis de percer et de couper les fers qui les composaient. Nous fabriquions en moyenne quatorze poutres par jour.

Le levage fut très-rapide. On levait les colonnes contre les piles au moyen d'un palan accroché à la ferme; les colonnes de l'autre rangée, ainsi que les deux rangées de poutres, au moyen de chèvres montées et moisées sur un patin triangulaire, portant sur trois galets en fonte qui roulaient sur des madriers posés sur le plancher (Pl. XXIII, *fig. 4*).

Enfin les solives en fer à T étaient levées au moyen d'une petite chèvre fort légère montée sur deux essieux de cabriolet (Pl. XXIII, *fig. 5*).

Deux équipes montaient par jour jusqu'à 104 mètres de galerie, soit treize travées.

L'exécution des autres travaux de l'annexe ne présenta rien de saillant; aussi allons-nous terminer ce que nous avons à dire, au sujet de la construction de ce bâtiment, en donnant un aperçu des quantités de matériaux contenus dans une travée.

## MÉTRÉ D'UNE TRAVEE DE L'ANNEXE, DE 27 MÈTRES SUR 8 MÈTRES.

NOMBRE de PIÈCES.	DÉSIGNATION.	MAÇON- NERIE.	FONTE.	FER.	BOIS.		ZINC.	VERRE.
					CHARPENTE.	PLANCHES.		
2	piles en pierre, 4 <sup>m</sup> 20×7 <sup>m</sup> ×2 . . . . .		16,8					
2	retombées à 200 kil. . . . .		400					
12	boulons de scellement à 1 <sup>k</sup> ,60 . . . . .				49,2			
4	ferme en fer, à 2 450 kil. . . . .				2 450			
13	sabots en fer avec vis en fonte et 30 boulons. . . . .		30		10,8			
24	boulons d'attache de la ferme sur la retombée, à 0 <sup>k</sup> ,50 . . . . .				12			
76	— — — des pannes et des sablières, à 0 <sup>k</sup> ,25 . . . . .				19			
13	corps de panne. . . . .					1,728		
14	potelets des pannes du haut. . . . .					0,061		
16	— — — du bas. . . . .					0,454		
20	— — — de la fanterie faisant ensemble. . . . .					0,077		
8	supports sur les pannes n <sup>o</sup> 3. . . . .					0,028		
4	haute de faîte. . . . .					0,071		
4	— — — de lanterne n <sup>o</sup> 2 et 3. . . . .					0,207		
2	— — — n <sup>o</sup> 4. . . . .					0,078		
5	patins du pied des potelets et des pannes. . . . .							
30	moises — — — — — 0,24×0,08×0,04. . . . .					0,027		
30	sabots de pannes, à 3 kil. . . . .		90					
30	culs-de-lampe, à 1 kil. . . . .		30					
60	tringles d'armature des pannes, y compris têtes et écrous, 222 m. à 2 <sup>k</sup> ,50 . . . . .				48 533			
32	barres, chevrons de vitrage. . . . .					0,028		
4	sablières en bois. . . . .					0,563		
4	poteaux. . . . .					0,583		
14	mètres traverses du bas des parois. . . . .					0,123		
14	— — — au-dessus du ventilateur. . . . .					0,050		
14	— — — de ceinture. . . . .					0,423		
28	— — — de panneaux supérieurs. . . . .					0,123		
9	potelets des panneaux inférieurs. . . . .					0,079		
2	panneaux inférieurs, y compris les ventilateurs, 7 <sup>m</sup> ×1 <sup>m</sup> ,40 . . . . .						49,60	
2	panneaux supérieurs, y compris les joues contre les poteaux, 6 <sup>m</sup> ,90×3 <sup>m</sup> ,88 . . . . .						53,54	
2	planchers sur les sablières. . . . .						17,16	
4	tasseaux d'attache de la volige et du remplissage de chêneau, 8×0,08×0,08 . . . . .							
2	traverses faisant bord du chêneau. . . . .							
	voligeage, y compris revers d'eau de la lanterne. . . . .							
2	parois de chêneau en remplissage. . . . .							
2	murs de support des parois (moyenne). . . . .		6,8					
3	— — — — — des solives du plancher (moyenne). . . . .		16,2					
50	cours de solive du plancher, en moyenne. . . . .				5,720			
	Plancher proprement dit. . . . .						216	
	Couverture en zinc, même surface que le voligeage. . . . .							
2	chêneaux, développant 0 <sup>m</sup> ,80 sur 8 mètres. . . . .							
8	mètres faîte en zinc, développant 0 <sup>m</sup> ,20. . . . .							
	Couverture en verre, 46×8. . . . .							
	TOTAUX. . . . .		39,8	550	3 066	10,171	510,30	210,4
								428

Pour un devis il faudrait ajouter les enduits des piles, les corniches en plâtre, la peinture, etc.

## MÉTRÉ D'UNE TRAVEE DE GALERIE DE L'ANNEXE.

NOMBRE de PIÈCES.	DÉSIGNATION.	MAÇON- NERIE.	FONTE.	FER.	PLANCHES de 40 millim.	PLANCHES de 27 millim.	MOULURES.		CHÈNE. Main- courante.
							80/ <sup>ss</sup>	40/ <sup>ss</sup>	
2	massifs en moellons pour supporter les dés. . . . .	0,49							
2	dés en pierre. . . . .	0,45							
2	colonnes complètes, à 480 kil. . . . .		960						
2	chapeaux de colonne, à 5 kil. . . . .			10					
2	poutres de tôle avec leurs contre-forts. . . . .								
4	solives en fer à T double de 0 <sup>m</sup> ,22; 24 mètres à 30 kil. . . . .								
1	boulon de scellement fixant la colonne à la pile, à 1 <sup>k</sup> ,60. . . . .								
24	boulons de 20 millim., de 20 millim. de serrage, assemblant les solives aux contre-forts. . . . .								
4	boulons de 20 millim., de 30 millim. de serrage, assemblant les solives aux colonnes. . . . .								
16	boulons de 25 millim., de 40 millim. de serrage, assemblant les poutres aux colonnes. . . . .								
1	plancher inférieur, à rainures et languettes rapportées, 6 <sup>m</sup> ×8 <sup>m</sup> . . . . .								
1	— — — — — supérieur, à rainures et languettes. . . . .								
2	frises masquant les abouts des fers à T. . . . .								
4	consoles, longueur 1 <sup>m</sup> ,50, largeur 1 <sup>m</sup> ,50, réduit à 1 <sup>m</sup> ,125. . . . .								
	Moulures d'attache du plancher, 64 mètres linéaires, 64/ <sup>ss</sup> . . . . .								
	— — — — — sur la frise antérieure, 16 — — — — — 40/ <sup>ss</sup> . . . . .								
	Main-courante en chêne, 8 mètres linéaires, 8/ <sup>ss</sup> . . . . .								
	TOTAUX. . . . .		0,64	970	4 717,6	48	56,02	64 ou 0,282	16 ou 0,053
									8 ou 0,048

Pour démolir le comble, nous avons encore employé les mêmes échafaudages que pour le monter; seulement ceux-ci précédaient la ferme (Pl. XXIII, *fig. 3*), de sorte que leur plate-forme servait de plancher à une petite chèvre roulante au moyen de laquelle on descendait les pannes. Les chèvres moisées étaient remplacées par deux sapines à bascule, que l'on couchait pour passer sous chaque ferme. A l'aide d'un de ces appareils, nous avons descendu jusqu'à quatre travées en un jour.

Il nous reste à faire une remarque au sujet de l'annexe.

Partie par suite de la saison défavorable pendant laquelle les travaux de couverture avaient été faits, partie par suite de trois dispositions que nous avons reconnues vicieuses, la couverture a été loin d'être irréprochable. Ces dispositions sont les suivantes :

1<sup>o</sup> L'emploi de chevrons en bois d'un fort équarrissage pour tenir le verre. Ces chevrons se tourmentent, exposés comme ils le sont aux alternatives de sécheresse et de chaleur. Par suite de leur fort équarrissage, le verre ne peut supporter les efforts qu'ils font sur lui, et il casse. En tous cas, le mastic se détache.

On pourrait poser des chevrons supportant des pannes auxiliaires sur lesquelles reposeraient des châssis en bois mince bien sec, et peints à bains d'huile avec beaucoup de soin; mais le mieux est de faire usage de chevrons en fer, évidemment préférables et qui ne coûtent pas beaucoup plus cher.

2<sup>o</sup> La continuité de la lanterne. Nous croyons utile de fractionner la lanterne, autant que possible travée par travée. Quelque bien que soit fait un comble, il est toujours sujet à quelques mouvements, dont l'effet se fait sentir aux jonctions des pannes. Le résultat de ces mouvements est encore de briser le verre et de détacher le mastic.

3<sup>o</sup> La trop grande portée du voligeage. On aurait facilement évité cet inconvénient sans augmenter le nombre des pannes, en posant une fourrure sur les fermes, et deux cours de chevrons qui auraient subdivisé les travées en fractions de 2<sup>m</sup>,66 de large. On montait continuellement sur le comble pour réparer la vitrerie qui fuyait, de sorte qu'on a fatigué le voligeage. Celui-ci ayant fléchi, les feuilles de zinc ont suivi les planches, tandis que les couvre-joints sont restés en l'air. Les joints étant découverts, l'eau s'est facilement introduite dans la couverture.

#### ANNEXE DU PANORAMA.

Le seul mérite de cette construction consiste dans la rapidité avec laquelle elle a été exécutée. L'Exposition devait être ouverte le 1<sup>er</sup> mai 1855, et, au commencement d'avril, on n'était pas encore décidé à relier le Palais de l'Industrie à l'annexe du quai de la Conférence. Cependant le manque d'emplacement, la difficulté de deux services séparés, et par-dessus tout le dommage causé aux visiteurs, en les faisant payer deux fois pour voir les deux parties de l'Exposition, réclamaient impérieusement la construction d'un bâtiment reliant le Palais à l'annexe. Les projets d'ensemble, étudiés par M. Viel, architecte de la Compagnie du Palais, furent adoptés du 10 au 15 avril 1855, et les projets de

détail de l'entreprise générale des travaux furent approuvés, ainsi que le marché signé, le 17 avril 1855.

Par ce marché, l'entrepreneur s'engageait, sous peine de dix mille francs d'amende par jour de retard, à livrer le bâtiment dans les trente jours qui suivraient la signature du marché et des plans, soit le 17 mai au plus tard.

Les travaux auraient été certainement terminés au jour fixé sans les escaliers qui, étant construits et posés, furent trouvés trop roides, et durent être démolis, reconstruits et reposés.

L'annexe du Panorama (Pl. XXVII) se composait d'une galerie annulaire de 25 mètres de large, entourant le bâtiment du Panorama des Champs-Élysées, de 50 mètres de diamètre. Cette construction se raccordait avec le Palais, par une petite galerie de 17 mètres de large, avec l'annexe par un pont biais de trois travées, de 13 mètres de large, passant au-dessus des deux chaussées du Cours-la-Reine et la contre-allée. Ce pont était couvert et se raccordait, par deux escaliers également couverts, avec l'annexe et avec la galerie du Panorama. En outre, deux cuisines établies à l'est et à l'ouest du bâtiment desservaient le restaurant établi au pourtour.

La galerie circulaire était divisée en trois travées, dont les deux extrêmes avaient 6 mètres, celle intermédiaire 13 mètres de large. Cette dernière, ainsi que la galerie intérieure de 6 mètres, formaient le local d'exposition proprement dit; la galerie extérieure, séparée par une cloison en planches, servait de restaurant. La galerie de jonction avec le Palais était également divisée en trois travées.

Toute la construction était apparente; à cet effet, les bois étaient tous bien choisis et équarris à vive arête à la scie. La galerie principale, haute de 11 mètres sous entrail, comprenait trente-sept fermes composées d'un entrail, de deux arbalétriers s'emmanchent dans un sabot en fonte, d'un poinçon en fer avec deux contre-fiches, rejoignant l'arbalétrier, de deux moises pendantes et de deux liens moisés sur les poteaux, les entrails et les arbalétriers. Sauf les entrails, les poteaux et les arbalétriers, tous les bois étaient des madriers de 22 centimètres sur 8, ou des bastins de 17 centimètres sur 8. Toutes les pièces étaient tracées sur calibre, de sorte que l'opération d'établir, si longue en charpente, était supprimée. Les entailles étaient fort peu nombreuses; il n'y avait, en fait d'assemblages, que les embrèvements des arbalétriers et les mortaises des poteaux sur les entrails.

Les deux sablières s'assemblaient au moyen de sabots en fonte boulonnés à travers l'entrail et l'arbalétrier. Toutes les pannes étaient assemblées à mi-bois, mais un peu en crochet, afin de chainer le comble, puis clouées sur les arbalétriers et tenues par des échantignoles.

La lanterne, supportée par les moises pendantes et par un potelet emmanché dans le sabot du poinçon, se composait d'un faîte emmanché en gargoille dans ce poinçon. Au droit des moises pendantes une poutrelle en treillis, composée de quatre lisses en planches de 17 centimètres sur 27 millimètres, et de croisillons en bois de 11 centimètres sur 27 millimètres, le tout assemblé avec des clous, servait de support aux chevrons et d'appui au voligeage du comble. Un poteau intermédiaire

soulageait la sablière extérieure, qui était fort longue. Un chéneau composé d'un fond de 4 centimètres d'épaisseur et de deux hausses de 27 millimètres, était cloué contre la sablière et sur les entraits de la ferme ; à l'extérieur il était supporté en outre par une échantignole boulonnée sur le poteau intermédiaire. Le voligeage, en planches de 27 millimètres non rabotées ni rainées, était simplement cloué sur les pannes, de sorte que, aussitôt le comble levé, les zingueurs pouvaient se mettre à l'œuvre.

Nous avons déjà dit que le grand comble était entièrement taillé sur calibres. Cette opération se faisait à proximité, dans les Champs-Élysées, où l'on assemblait immédiatement les fermes ; on les coltinait tout assemblées et on les levait immédiatement. Les deux équipes de levage montaient six fermes par jour ; elles se contentaient de poser les deux sablières ; d'autres équipes suivaient pour poser les pannes et étaient suivies à leur tour par les voligeurs.

Le comble de la galerie contiguë au Panorama se composait de fermes en appentis, de 6 mètres, formées de madriers cloués ensemble, emmanchés à gargouille dans un poteau de 16 centimètres carrés, et reliés par deux sabots en fonte contre le poteau du grand comble. Les pannes, dont les équarrissages sont cotés sur les dessins, recevaient un voligeage en planches de 27 millimètres, et une lanterne vitrée fort simple. Le levage de ce comble a été fait avec les petites chèvres montées sur roues de la galerie de l'annexe.

La galerie du restaurant était couverte par une série de petits combles, dont les faîtes et les chéneaux rayonnaient autour du bâtiment, de manière à former une ceinture de pignons tout autour. Les fermes de ces combles, composées de planches clouées ensemble (deux arbalétriers entaillés à leur sommet, un entrait double moisant le pied des arbalétriers), reposaient sur deux sablières en madriers, moisant d'un côté le poteau du grand comble, de l'autre un poteau de 16 centimètres carrés. Les entraits étant de plus en plus hauts, en se rapprochant du centre, on avait ainsi naturellement la pente du chéneau.

Ces combles étaient amenés tout voligés de l'atelier, puis levés en passant un boulin sous le faîte, et levant ce boulin par les deux bouts au moyen d'une écoperche à l'extérieur et d'une moufle accrochée à la sablière à l'intérieur. Les cuisines et les deux bas côtés de la galerie de jonction avec le Palais étaient couverts de la même façon. Quant à cette galerie de jonction, son comble était semblable à celui de 13 mètres, mais beaucoup plus léger.

Toutes les eaux du versant intérieur du bâtiment se rendaient dans un petit égout en briques recouvert de madriers, de 60 centimètres sur 60, que nous avions établi au pourtour du Panorama.

Un trottoir de 3 mètres de large, bitumé comme tout le sol du bâtiment, avec bordure formée par un madrier de champ et entouré d'un fossé à fond bitumé avec revers de deux rangées de pavés, régnait tout autour du bâtiment.

En face de la galerie de jonction avec le Palais un escalier de 12<sup>m</sup>,50 de large conduisait à 5<sup>m</sup>,50 au-dessus du Cours-la-Reine. Cet escalier, à limons français sur les rives, mais à limons en crémaillères espacés de 1<sup>m</sup>,25 en 1<sup>m</sup>,25, avait un palier au milieu de sa hauteur. Nous avions d'abord donné aux marches 163 mil-

limètres de hauteur et 280 de largeur d'emmarchement ; sur la fin des travaux, nous le dûmes remplacer par un autre escalier qui avait 150 millimètres de hauteur et 317 d'emmarchement, ce qui nous empêcha de terminer nos travaux au jour fixé.

Le haut de l'escalier s'appuyait sur la culée du pont, laquelle rachetait le biais de la chaussée par rapport à l'axe du Palais.

Les piles et les culées du pont, établies le plus près possible des bordures des chaussées, étaient en maçonnerie de meulière et ciment pour les pilastres qui supportaient directement les poutres, de meulière et de mortier bâtarde pour le reste ; construction adoptée afin d'avoir de suite des maçonneries capables de résister aux charges. Le pont était biais à 27° 34' (Pl. XXVIII) ; il se composait, à proprement dire, de deux ponts accolés, ayant chacun 6<sup>m</sup>,40 de large d'axe en axe des poutres garde-corps ; il y avait donc quatre cours de chacun trois poutres boulonnées au droit des piles contre des sabots en fonte. Chaque poutre se composait de quatre cornières de 10 centimètres de large, de potelets verticaux et de croisillons en fer plat. Un sabot en fonte boulonné contre chaque potelet recevait à sa partie inférieure les abouts des pièces de pont en sapin, de 20 centimètres sur 30, d'autre part les poteaux de la couverture.

Un second escalier, de 14 mètres de large, normal aux annexes et aux piles du pont, conduisait de ce pont aux annexes. Il avait trente et une marches de 147 millimètres de hauteur, et 330 d'emmarchement.

Les poteaux du palier des escaliers prolongés, les poteaux du grand comble et ceux du pont étaient reliés par des moises longitudinales suivant la pente des escaliers. Ces moises supportaient un chéneau, qui se continuait d'un escalier à l'autre en passant au-dessus du pont.

Les deux chéneaux extérieurs se composaient d'un fond de 27 millimètres d'épaisseur, d'un rebord extérieur de même épaisseur et d'un rebord intérieur de 22 centimètres sur 8. Le chéneau intérieur avait un fond de 27 millimètres cloué en travers sous deux rebords de 22 centimètres sur 8. Le comble se composait d'un faîte en bois, en forme de T, formé de deux planches clouées ensemble, et de chevrons de 11 centimètres sur 8, faisant office d'arbalétriers. De mètre en mètre, les chéneaux étaient entretoisés par un tirant en fer de 20 millimètres de diamètre suspendu à un poinçon en fer de 10 millimètres.

Le comble du pont était vitré, ceux des escaliers couverts en zinc et en plomb. Les parois latérales des escaliers étaient pleines en bois, celles du pont pleines jusqu'à la hauteur des poutres, vitrées au-dessus.

Les châssis vitrés remplissant l'intervalle des poteaux du pont avaient été rapportés après coup et cloués contre les poteaux.

La menuiserie des parois différait de celle des annexes, en ce que les planches n'étaient pas rainées, mais assemblées par des couvre-joints cloués. Les panneaux étaient du reste subdivisés par des traverses et potelets convenablement disposés, qui tous étaient en madrier ou fraction de madrier.

Une conduite d'eau générale, avec de nombreux embranchements, fournissait l'eau aux cuisines et au bâtiment lui-même ; enfin, elle alimentait treize prises d'eau abondantes en cas d'incendie.

En résumé, les travaux du Panorama ne présentent que ceci de remarquable, c'est qu'une quantité considérable de travaux de toute nature ne pouvant se faire que successivement, ont été exécutés en un mois de temps. Nous donnons ci-dessous un tableau approximatif de ces travaux.

Maçonnerie de moellon et meulière. . . . .	800 mètres cubes.
— de briques. . . . .	450 — —
Madriers mis en œuvre. . . . .	13,000 mètres linéaires.
Planches mises en œuvre. . . . .	16,500 mètres superficiels.
Doublettes de chêne. . . . .	352 — —
Bois de charpente, sapin. . . . .	450 stères.
— — chêne. . . . .	60 —
Couverture en zinc et plomb. . . . .	7,000 mètres superficiels.
— en verre. . . . .	2,000 — —
Bitume. . . . .	8,000 — —
Conduites d'eau. . . . .	550 mètres linéaires.
Fer ouvré pour poutres de ponts, tirants. . .	35,000 kilogrammes.
Fonte ouvrée pour sabots divers. . . . .	45,000 —

Tout le bâtiment a été peint, extérieurement à l'huile, intérieurement à la colle.

Nous sommes parvenus à exécuter ces travaux dans le temps voulu, en employant les moyens suivants :

Toute la charpente a été faite en bois de sciage et, autant que possible, nous avons adopté les équarrissages du commerce, tels que bastins, madriers, ou leurs sous-multiples. La charpente tracée sur calibre était taillée, assemblée, levée immédiatement ; on posait de suite les pannes et l'on procédait aussitôt au volage, puis à la pose de la couverture en zinc et en verre, travée par travée.

Nous disposions d'un outillage mécanique puissant pour travailler le bois et le fer, et d'un matériel de levage considérable. Enfin, par-dessus tout, nos travaux antérieurs nous avaient formé un personnel dévoué, intelligent et habitué à exécuter rapidement et avec précision les travaux commandés.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

En terminant ce travail, nous croyons utile d'insister sur quelques points qui nous paraissent ressortir de l'étude à laquelle nous venons de nous livrer.

Et d'abord, le mode de construction mixte, consistant dans l'emploi du fer et de la fonte pour les supports, les planchers et les combles, en un mot pour toutes les parties de la construction qui ont besoin d'une grande résistance, combiné avec l'emploi de la maçonnerie comme enveloppe, a-t-il reçu la sanction de l'expérience, est-il réellement rationnel ?

A notre avis le doute n'est plus permis. — Le métal convient parfaitement partout où il y a des efforts considérables à supporter ; mais son prix élevé, la facilité avec laquelle il conduit la chaleur, son aspect disgracieux, doivent le faire proscrire des parois sous toute forme autre que celle de chaînage vertical ou horizontal.

On a construit quelquefois des hangars à parois en tôle ondulée. — Outre que cette disposition est fort laide, elle a encore l'inconvénient fort grave pour tout bâtiment de rendre intolérables la chaleur en été, le froid en hiver, et de ne pas contre-venter la construction, comme l'auraient fait de simples cloisons en briques ; elle coûte aussi bien plus cher. — Nous ne la comprenons guère que pour des bâtiments provisoires devant se démonter et se transporter avec facilité.

L'emploi de panneaux en fonte pleins ou découpés et couverts d'ornements ne nous paraît pas plus heureux. — Quelle que soit la saillie des nervures on ne peut, à moins de dépenses excessives, enlever à ces panneaux une maigreur qui les fera toujours proscrire d'une construction monumentale. — Pour un bâtiment industriel leur prix est beaucoup trop élevé. La maçonnerie ne participe à aucun de ces inconvénients. Que l'on ait à clore un hangar, et, à très-peu de frais, en ménageant dans les piliers de ce hangar des rainures d'une forme convenable, on élèvera avec la plus grande rapidité une cloison en briques qui s'opposera à toute déformation par renversement, tout en préservant l'intérieur contre la trop grande chaleur ou le trop grand froid.

Pour un bâtiment d'une plus grande importance, ou dans une localité où la brique est chère et la pierre à bon marché, des murs en moellons, avec ou sans chaînes en pierre, mais fort minces, peuvent être boulonnés contre les nervures en métal et chaînés par les planchers.

Enfin, pour un monument du genre du Palais de l'Industrie, la pierre de taille seule convient comme clôture. Mais si on ne veut pas être conduit à de trop fortes épaisseurs, il faut relier avec le plus grand soin la maçonnerie aux parties métalliques de l'intérieur, et tâcher de monter en même temps le dedans et le dehors, ce qui n'a pas été possible pour le Palais. Il faut des maçonneries qui ne tassent pas ou qui tassent peu.

Ce point une fois admis, passons en revue les différentes parties de la construction.

Les fondations et la disposition des égouts sont irréprochables. Nous n'en dirons pas autant des descentes d'eau. D'abord il nous eût été très-facile de les multiplier beaucoup, presque sans frais, en mettant une descente à chaque rangée de colonnes. Il aurait suffi pour cela de mettre partout des bases et des retombées à descente et de donner aux chéneaux les pentes convenables. Ensuite le curage des tuyaux, lorsqu'ils sont engorgés, est fort difficile. Nous aurions dû les munir de regards, de manière à pouvoir les nettoyer sur tous les points.

Pour le rez-de-chaussée il n'y a pas grand reproche à faire aux dispositions adoptées. Peut-être nous sommes-nous exagéré les difficultés d'ajustage et avons-nous trop souvent fait usage de clefs en fer ; cependant, si l'on considère les dimensions exceptionnelles de toutes les pièces qui nous exposaient à du gauche, on doit reconnaître que le système des clefs a beaucoup facilité le travail.

Nous aurions dû faire venir de fonte d'une seule pièce le bout de colonne, de demi-colonne, et la petite poutre de la travée de 2<sup>me</sup> 10 ; c'était chose facile, et nous obtenions ainsi un excellent moyen de liaison.

Dans le plancher on peut reprocher aux moises sur lesquelles ce plancher est vissé, de ne tenir sur les poutres en fonte que par le serrage des boulons. Mieux eût valu faire passer les deux boulons extrêmes à travers les nervures des sabots.

Les fontes de l'étage sont beaucoup plus compliquées que celles du rez-de-chaussée, cependant l'ajustage en a été assez facile. Mais jamais les fondeurs n'auraient consenti à exécuter les fontes du rez-de-chaussée dans le même système ; ce n'est que enhardis par la réussite des fontes de ce rez-de-chaussée, qu'ils ont osé entreprendre celles du premier.

Les fermes ont assez bien réussi ; néanmoins, dans une nouvelle construction du même genre, nous diminuerions la force des petites fermes et nous augmenterions celle des grandes, en élargissant considérablement les nervures des arcs. Il conviendrait de donner à ces nervures au moins 25 centimètres de large, soit en ajoutant sur le dos des fermes une lame de tôle, soit en faisant usage de cornières ayant 12 centimètres de large au moins pour l'une de leurs ailes. Mais de cette façon les fermes, bien assez fortes sous tous les autres rapports, seraient devenues encore plus lourdes. De là il résulte pour nous la conviction que, pour les grandes portées, l'écartement des fermes doit être considérable.

Voici comment devrait être construit un comble de 50 mètres d'ouverture.

On établirait les fermes à des distances de 10 à 12 mètres et on les entretoiserait, de 5 mètres en 5 mètres environ, par de

fortes entretoises armées comme nos pannes, mais occupant toute la hauteur de la ferme. Ces entretoises supporteront deux ou trois cours de liernes ou fausses fermes qui pourraient être très-légères et supporteront à leur tour les pannes proprement dites et leur chevonnage, ou le lattis nécessaire pour recevoir la couverture. Le contreventement serait établi à l'intérieur, de l'angle d'une panne à l'angle de la suivante, de manière à croisillonner les fermes dans tout leur développement; seulement les croisillons iraient en diminuant de section du pied vers la faîte.

De 100 mètres en 100 mètres on établirait un système de deux fermes peu écartées, entretoisées et contreventées plus fortement que le reste, de manière à être très-rigides. Les entretoises de la travée voisine seraient fixées sur ces espèces d'arcs doubleaux, de manière à permettre le mouvement dû à la dilatation. De la même manière les petites pannes de chaque travée seraient indépendantes de celles de la voisine, et, pour la couverture en verre, les deux chevrons extrêmes de deux travées voisines seraient assemblés de façon à permettre la dilatation tout en ne laissant pas passer l'eau. On obtiendrait facilement cet effet au moyen d'une gouttière en cuivre rouge ou en plomb, disposée comme l'indique la Pl. XXIII, *fig. 6*.

Quant au système de fermes à employer, il dépend de bien des circonstances diverses.

Pour être rationnelle, une ferme devrait être ou une voûte composée de voussoirs quand elle repose sur des supports faisant office de culée, ou une poutre en forme d'égale résistance. Les fermes du Palais ne sont ni l'une ni l'autre, elles ne constituent donc pas un emploi convenable de la matière.

Pour couvrir un espace donné, le développement de la couverture est considérable; elle est cintrée, et par conséquent assez difficile à établir, si elle n'est pas subdivisée en très-petites pièces. Les pentes sont trop fortes dans le bas, insuffisantes dans le haut, de sorte qu'il faut une lanterne. Enfin le comble offre une très-grande surface à l'action du vent.

Si l'on suppose le comble chargé proportionnellement à la surface couverte (et non à son développement), ce qui est l'hypothèse admise pour les ponts suspendus, l'arc extérieur ou arbalétrier ayant la forme parabolique, muni d'un tirant rectiligne, serait en équilibre et formerait une poutre d'égale résistance (Pl. XXIII, *fig. 7*). Eu égard à la répartition moins exacte de la charge, il faut, à une pareille ferme, des tympans plus ou moins forts.

Mais un tirant complètement droit et d'une grande longueur paraîtrait flamber; on est ainsi amené à lui donner une courbure notable, de sorte que la ferme se trouve composée de deux arcs de rayons inégaux (Pl. XXIII, *fig. 8*), ayant leur centre sur la verticale passant par le milieu, ces deux arcs étant entretoisés et maintenus par des normales et des diagonales.

Cette ferme se trouve dans d'excellentes conditions de résistance et d'emploi de métal, mais elle nécessite une couverture cintrée et manque de pente à son sommet. — Il en résulte que l'on est conduit à la disposition modifiée représentée (Pl. XXIII, *fig. 9*), dans laquelle l'arc supérieur a été remplacé par deux tangentes formant arbalétriers.

Il y a bien des matières propres à couvrir un bâtiment dont la charpente est en fer.

On peut faire usage de la tuile; mais par son poids elle ne convient guère, parce qu'elle force à faire des combles extrêmement forts et dispendieux. Outre cet inconvénient, elle laisse beaucoup de prise aux vents, elle est souvent gelive, poreuse et se recouvre de végétations. — On a cependant réalisé depuis quelque temps, dans la fabrication des tuiles, des progrès tels qu'on peut espérer obtenir un jour des toitures légères et solides; nous avons vu des échantillons d'une matière vitreuse et opaque, ayant le grain serré et la surface très-lisse, avec laquelle on pourra fabriquer, dans beaucoup de localités, des tuiles solides, et dont le poids par mètre carré ne dépassera pas sensiblement le poids des ardoises.

L'ardoise est souvent employée en Angleterre par plaques de 30 centimètres de large sur 60 centimètres de long, posées sur un lattis de petites cornières espacées de 28 centimètres, et fixées sur ces cornières au moyen de clous en cuivre rouge tordus autour.

En France, on emploie fréquemment le zinc posé sur volige, mais alors on est forcée de garnir de bois la construction en fer pour y fixer la volige, et l'incombustibilité du bâtiment n'existe plus. Le zinc présente aussi, dans la construction de certaines usines de produits chimiques ou métallurgiques, de graves inconvénients; sous l'influence de la vapeur d'eau, des fumées sulfureuses et ammoniacales, il se détériore promptement.

Le contact du zinc et du fer amène toujours, sous l'influence de l'humidité, une décomposition des deux métaux; il faut peindre ou étamer le fer, et encore cette précaution, quoique bonne, n'est-elle pas toujours suffisante.

Au zinc, nous préférerons la tôle ondulée, à ondes légères, galvanisée, afin de ne pas être altérée par les intempéries, et posée et agrafée sur des pannes écartées environ de 1 mètre; ce mode de couverture est léger, économique, et demande peu d'entretien; la tôle galvanisée a cependant aussi son inconvénient; il se forme très-souvent des taches ou oxydations qui, sous des influences électriques dont nous n'avons pas à nous occuper ici, s'agrandissent, forment trou, et forcent à renouveler la feuille.

On peut affirmer cependant que la tôle ondulée est appelée à remplacer un jour le zinc sur toutes les grandes toitures, quand l'étamage galvanique sera remplacé par une couverte vitreuse inaltérable, et n'étant plus sujette au fendillement.

Si le verre n'était pas aussi sujet à se briser, on l'employerait avec grand avantage. Posé sur chevrons en fer, il ne coûte pas plus cher que le zinc, et fait une excellente couverture.

La couverture en verre du Crystal-Palace de Londres diffère essentiellement de celle du Palais de l'Industrie de Paris. La première consistait en une série de petits combles parallèles d'environ 2<sup>m</sup>, 40 de portée, composés de sablières formant chéneaux, d'un faîte, et de petits chevrons portant le verre.

Une feuille de verre unique remplissait l'espace entre le faîte, le chéneau et les deux chevrons consécutifs.

Les eaux de ces petits chéneaux se réunissaient dans les chéneaux principaux établis sur les poutres transversales. Cette

disposition excessivement ingénieuse convenait à un bâtiment provisoire; mais nous doutons qu'à la longue on en fût satisfait.

Les petits chéneaux n'ayant qu'une faible section doivent s'engorger fréquemment, même si on leur donne une pente considérable; quelques feuilles suffisent pour cela. Si on voulait augmenter leur section et les construire en matériaux plus durables que le bois, leur prix s'élèverait outre mesure.

Les très-grands combles couverts en verre ont aussi des inconvénients. Tout en étant d'une solidité très-suffisante, ces combles sont sujets à des mouvements et à des vibrations, fort innocents sous le rapport de la sécurité, mais qui ne laissent pas que d'endommager les mastics; cela a surtout lieu pour les combles en fer, dans lesquels les effets de la dilatation viennent encore aggraver l'inconvénient que nous venons de signaler.

Nous pensons donc que la portée la plus convenable pour les combles vitrés est de 15 à 20 mètres, et dans les bâtiments munis de supports intérieurs nous profiterions de ces supports pour soulager les combles; mais au-dessous de 20 mètres, nous n'emploierions pas de chéneaux intermédiaires. Avec une couverture métallique, moins délicate que celle en verre, les grandes portées sont encore plus avantageuses.

Dans ces dernières années, on a exécuté en Angleterre, en Allemagne et en Suisse, des combles de filatures et tissages mécaniques, dans lesquels l'un des pans du toit, couvert en métal, a une pente ordinaire, tandis que l'autre pan, clos en verre, est presque vertical. La portée de ces combles est d'environ 8 mètres, le côté vitré est dirigé au midi. — On obtient ainsi, avec des surfaces de verre relativement faibles, des ateliers clairs, et le verre est moins exposé aux accidents que dans un toit à faible pente. — Dans les pays où il tombe beaucoup de neige, on est forcé de la faire balayer dans les chéneaux qui séparent ces petits combles, parce que les neiges accumulées dans ces chéneaux obscurcissent l'atelier, et parce que, lors de la fonte des neiges, les chéneaux seraient d'une section trop faible pour débiter la quantité d'eau qu'ils reçoivent. Cet inconvénient empêchera, à notre avis, ce mode de construction de se répandre dans les pays où la neige est très-abondante.

La face vitrée de ces couvertures a 80 degrés environ d'inclinaison; on peut faire des panneaux de verre de 4 et 6 mètres carrés de superficie.

M. Valerio, ancien ingénieur de la manufacture de glaces d'Aix-la-Chapelle, a fabriqué en Allemagne des verres d'une épaisseur variant de 6, 7, 8, 10 et 12 millimètres; à 12 millimètres, la résistance des verres était dix fois plus forte que celle du verre de 4 millimètres. Ce verre, fabriqué avec des matières de qualités inférieures et d'après des procédés spéciaux, pourra être livré plus tard en France à des prix tels qu'on remplacera le zinc par de grandes planches de verre de toutes formes, ces planches pouvant atteindre 6 et 8 mètres carrés d'une seule pièce; nous en avons vu en Allemagne chez l'ingénieur que nous venons de citer; les bons effets que nous avons remarqués, sous le rapport de la solidité, de la clarté, etc., nous font penser que cette couverture deviendra l'auxiliaire indispensable des combles en fer. L'emploi de ces deux matières, fer et verre, résoudra le problème d'une toiture étanche, inaltérable et incombustible.

Pour les verres de grandes dimensions dont nous parlons, on ne devrait pas employer le mastic, mais on pourrait éviter une partie des vibrations, en faisant porter le panneau en verre sur de petites feuilles de plomb qui seraient interposées entre le verre et le fer. La forme de ce dernier devrait être disposée de manière à donner un écoulement à l'eau qui pourrait s'infiltrer dans le joint du verre et du métal.

Le verre pour toiture pourrait être de deux espèces, translucide comme le verre à vitre ou opaque; dans ce dernier cas son prix serait moindre, car on peut employer pour cette fabrication des résidus de très-peu de valeur.

Il y aurait encore, sans aucun doute, bien des faits à produire et bien des considérations à émettre sur les constructions métalliques, industrie qui commence et qui a tant d'avenir; mais ce serait excéder les bornes de cet ouvrage. Nous nous sommes proposé de constater les données pratiques que nous avons mises à profit dans le cours des travaux dont nous avons offert la description; nous n'avons prétendu à autre chose qu'à mettre sous les yeux de nos confrères le recueil des résultats de notre expérience personnelle en ce genre. Nous aimons à espérer que l'ouvrage, maintenu dans les limites de ce programme, ne sera pas sans utilité pour le progrès de l'art de l'ingénieur.

FIN.



# LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

## PLANCHE A.

Échelle  
p. 1 mètre.

Elévation de la porte d'entrée monumentale du pavillon nord et d'une partie de la façade (M. Viel).	0,005
---	-------

## PLANCHE B.

Coupe transversale d'un pavillon d'angle (M. Viel).	0,020
---	-------

## PLANCHE I.

### PROJET DES ARCHITECTES DE LA COMPAGNIE CONCESSIONNAIRE (MM. VIEL ET DESJARDINS).

Coupe transversale du bâtiment.	0,004
Plan du bâtiment.	0,001

## PLANCHE II.

### CONTRE-PROJET DE L'ENTREPRISE GÉNÉRALE.

Coupe transversale du bâtiment.	0,004
Plan.	0,001

## PLANCHE III.

### TRAVÉE DE 2<sup>m</sup>,10.

Ensemble de la travée de 2 <sup>m</sup> ,10.	0,025
Détails divers.	<i>id.</i>

## PLANCHE IV.

### TRAVÉE DE 4 MÈTRES.

FIG. 1.	Ensemble de la travée de 4 m.	0,025
FIG. 2.	Détail d'assemblage des entretoises et consoles du rez-de-chaussée sur les colonnes.	0,20
	<i>e, e', e'', éminences dressées sur les saillies des colonnes.</i>	
	<i>f, f', clefs de serrage ajustées.</i>	
	<i>n, petite nervure s'engageant dans une en-</i>	

Échelle  
p. 1 mètre.

taille de l'ergot et empêchant tout déplacement latéral.

Coupes diverses des colonnes et entretoises. 0,20

## PLANCHE V.

### COUPE LONGITUDINALE DES GALERIES.

FIG. 1.	Ensemble de la coupe longitudinale des galeries.	0,025
FIG. 2.	Détail d'assemblage des consoles de l'étage sur les colonnes.	0,10
	<i>e, éminences dressées au droit des vis de serrage.</i>	
	<i>f, clef ajustée.</i>	

## PLANCHE VI.

### FONDATIONS, ÉGOUTS, BASES DE COLONNE.

FIG. 1.	Fondation des murs et de la travée de 2 <sup>m</sup> ,10; égout de ceinture.	0,02
FIG. 2.	Fondation de la travée de 4 m.; égout de la grande salle.	0,02
FIG. 3.	Fondation des colonnes intermédiaires du plancher.	0,02
FIG. 4.	Plan général des égouts.	0,0005
FIG. 5.	Egout principal du bâtiment.	0,02
FIG. 6.	Coupe d'une des galeries de niveau faisant communiquer entre eux les différents égouts.	0,02
FIG. 7.	Base des colonnes du milieu du plancher.	0,05
FIG. 8.	Deux bases de colonne de la travée de 4 m., assemblées avec leur entretoise.	0,05
FIG. 9.	Deux bases de colonne de la travée de 2 <sup>m</sup> ,10 assemblées.	<i>id.</i>
FIG. 10.	Base à descente d'eau (type pour tout le bâtiment).	<i>id.</i>
FIG. 11.	Entretoise de la travée de 4 m., reliant une base à descente avec une base ordinaire.	<i>id.</i>
FIG. 12.	Base des angles, avec deux amores d'entretoises.	<i>id.</i>
FIG. 13.	Entretoise des angles de la travée de 2 <sup>m</sup> ,10.	<i>id.</i>
FIG. 14.	Tuyau de descente d'eau, travée de 4 m.	0,05
FIG. 15.	Tuyau de descente d'eau, travée de 2 <sup>m</sup> ,10.	<i>id.</i>

PLANCHE VII.		échelle p. 1 mètre.
COLONNES DU REZ-DE-CHAUSSEÉ (Voir la planche XXI, <i>fig. 2</i> ).	0,10	
FIG. 1. Colonnes B, à 4 talons.	<i>id.</i>	FIG. 2. Retombée sans descente des grands côtés, travée de 4 m., en trois pièces (R <sup>1</sup> , planche XXI, <i>fig. 5</i> ).
FIG. 2. Colonnes A du milieu du plancher, plaque terminant ces colonnes.	<i>id.</i>	0,05
FIG. 3. Demi-colonnes.	<i>id.</i>	FIG. 3. Retombée des pignons (R <sup>2</sup> , planche XXI, <i>fig. 5</i> ).
FIG. 4. Colonnes B <sup>1</sup> , à 3 talons, pourtour de la grande salle.	<i>id.</i>	FIG. 4. Retombée des fermes des pignons (13 bis, planche XXI, <i>fig. 5</i> ).
FIG. 5. Colonnes B <sup>2</sup> , à 3 talons, spéciales des angles.		
FIG. 6. Colonnes B <sup>3</sup> , à 4 talons, spéciales des angles.		
FIG. 7. Colonnes B <sup>4</sup> , à 3 talons, spéciales des angles.		
FIG. 8. Bouts de colonne recevant l'attache des poutres.		
<i>e</i> , ergots recevant les talons des poutres.		
<i>r</i> , rainures recevant les clefs qui empêchent le déplacement latéral.		
FIG. 9. Bouts de demi-colonne recevant l'attache des poutres.		
FIG. 10. Tirant en fer traversant la tête des colonnes et entretoises de la travée de 4 m., et assemblant les consoles fortes aux colonnes.		
FIG. 11. Tirant en fer de la travée de 2 <sup>m</sup> , 10.		
FIG. 12. Tirant en fer assemblant les consoles sur la colonne du milieu du plancher.		
PLANCHE VIII.		
FIG. 1. Demi-colonnes de l'étage ( <i>h</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	0,05	
FIG. 2. Colonnes de l'étage, assemblées avec les demi-colonnes, <i>fig. 1</i> ( <i>f</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 3. Colonnes de l'étage, galerie de 24 mètres, côté de la grande salle ( <i>b</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 4. Colonnes de l'étage, galerie de 48 mètres, grands côtés ( <i>a</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 5. Colonnes de l'étage, galerie de 48 mètres, côtés des pignons ( <i>c</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 6. Colonnes de l'étage, angles de la galerie de 4 m. ( <i>d</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 7. Colonnes de l'étage, arétiers de la galerie de 4 m. ( <i>e</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 8. Colonnes de l'étage, arétiers de la galerie de 2 <sup>m</sup> , 10 ( <i>g</i> , planche XXI, <i>fig. 4</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 9. Amarrage des pignons de la grande salle sur les petites fermes.	0,005	
FIG. 10. Détails des tirants d'amarrage.	0,20	
FIG. 11, 12, 13. Détails des ferrures des pignons.	<i>id.</i>	
PLANCHE IX.		
RETOMBÉES DIVERSES DE LA TRAVÉE DE 4 MÈTRES.		
FIG. 1. Retombée à descente des grands côtés, travée de 4 m. (R, planche XXI, <i>fig. 5</i> ).	0,05	
PLANCHE X.		
RETOMBÉES DIVERSES.		
FIG. 1. Retombées des noues, travée de 4 m. (R <sup>3</sup> , planche XXI, <i>fig. 5</i> ).	0,05	
FIG. 2. Retombées des arétiers, travée de 2 <sup>m</sup> , 10 ( <i>r</i> , planche XXI, <i>fig. 5</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 3. Retombées ordinaires, travée de 2 <sup>m</sup> , 10 ( <i>r</i> , planche XXI, <i>fig. 5</i> ).	<i>id.</i>	
PLANCHE XI.		
POUTRES EN FONTE DIVERSES.		
FIG. 1. Poutre de 4 m. du plancher, venue de fonte avec les bouts de colonne (1, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	0,05	
FIG. 2. Poutre de 8 m. du plancher, travée de 2 <sup>m</sup> , 10 et de 4 m. (2, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 3. Poutre de 8 m. du plancher, milieu du plancher (3, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 4. Poutre de 4 m. du plancher (4, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 5. Poutre de 2 m. du plancher (5, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 6. Poutre de 8 m. du plancher, entretissant les poutres en tôle (6, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 7. Demi-poutres de 4 m., appliquées contre le mur (7, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 8. Demi-poutres de 2 m., appliquées contre le mur (8, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 9. Demi-poutres de 8 m., appliquées contre le mur (9, planche XXI, <i>fig. 3</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 10. Demi-poutres de 8 m., appliquées contre le mur et entretissant les retombées (10, planche XXI, <i>fig. 5</i> ).	<i>id.</i>	
FIG. 11. Poutres de 8 m. entretissant les retombées (11, planche XXI, <i>fig. 5</i> ).	<i>id.</i>	
PLANCHE XII.		
ENSEMBLES DES POUTRES EN TOLE		
(Voir planche XXI, <i>fig. 3</i> ).		0,02
Ces ensembles comprennent les dimensions générales, les longueurs et largeurs des feuilles de tôle et barres de cornières et		

Echelle  
p. 1 mètre.

fer qui composent ces poutres, la position des joints et la longueur des couvre-joints des fers employés. Enfin, la position des sabots en fonte appliqués sur ces poutres est indiquée sur cette planche.

## PLANCHE XIII.

## DÉTAILS DES POUTRES EN FER ET DE LEURS ACCESSOIRES.

FIG. 1.	Poutre à diagonales de 12 mètres, remplaçant les poutres 11 de la planche XI dans les angles de la travée de 2 <sup>m</sup> , 10 (K, planche XXI, <i>fig. 5</i> ). . . . .	0,05
FIG. 2.	Coupe transversale des poutres B, C' et G (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	0,10
FIG. 3.	Coupe transversale des poutres D (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 4.	Coupe transversale des poutres E (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 5.	Coupe transversale des poutres A et C (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 6.	Coupe transversale des poutres F (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 7.	Coupe transversale des poutres H (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 8.	Coupe transversale des poutres H' (planche XII et planche XXI, <i>fig. 3</i> ). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 9.	Détail du joint des tôles de la lame verticale, poutres A et C. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 10.	Détail du joint des tôles de la lame verticale, poutres B, C', G, D et E. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 11.	Détail du sabot n° 3 des poutres B, E, G, C' et D; assemblage de ces poutres sur les colonnes (planche XII). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 12.	Détail du sabot n° 4 des poutres A et C; assemblage de ces poutres sur les colonnes (planche XII). . . . .	<i>id.</i>
FIG. 13.	Détail des sabots n° 1 des poutres G, E, C', D et n° 5 des poutres C; assemblage des poutres du milieu du plancher avec les poutres principales . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 14.	Détail du sabot n° 6 des poutres E, D et B; assemblage des poutres F sur celles-ci. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 15.	Détail du sabot n° 8 de la poutre C'; assemblage de la poutre D sur la poutre C'. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 16.	Détail du sabot n° 2 des poutres G, E et C'; assemblage des poutres 6 (planches XI et XXI) sur les poutres en tôle . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 17.	Sabots n° 7 des poutres C'; assemblage des solives sur ces poutres. . . . .	0,10
FIG. 18.	Sabots n° 9 des poutres A, C et F; assemblage des solives sur ces poutres. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 19.	Sabots n° 10 des poutres B et H'; assemblage des solives en bois sur ces poutres. . . . .	<i>id.</i>

Echelle  
p. 1 mètre.

## PLANCHE XIV.

## DÉTAILS DES PLANCHERS ET DE LA COUVERTURE.

FIG. 1.	Coupe du plancher, montrant la composition de ce plancher et son mode d'attache sur les solives, au moyen de moulures. . . . .	0,19
FIG. 2, 3.	Plan et coupe du plancher, des solives et moulures . . . . .	0,20
FIG. 4.	Attache du plancher sur les poutres en fonte. . . . .	0,10
FIG. 5.	Cadres en fonte qui reçoivent le vitrage des fermes de pignon . . . . .	0,05
FIG. 6.	Communication entre les chéneaux et les retombées à descente d'eau, travée de 2 <sup>m</sup> , 10. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 7.	Communication entre les chéneaux et les retombées à descente d'eau, travée de 4 m. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 8.	Mode d'assemblage de la volige sur les chevrons en fer, partie couverte en zinc. . . . .	0,10
FIG. 9.	Raccordement de la couverture en zinc avec la couverture en verre . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 10.	Extrémité de la couverture en zinc se raccordant avec le chéneau. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 11.	Entretoise mince de l'étage (K, planche XXI, <i>fig. 4</i> ). . . . .	<i>id.</i>

## PLANCHE XV.

## PETIT COMBLE.

FIG. 1.	Ensemble d'une ferme de 24 m., avec les longueurs de toutes les barres qui la composent. . . . .	0,01
FIG. 2.	Détail d'un intervalle entre deux potelets ou deux pannes . . . . .	0,05
FIG. 3.	Panne de faîteage et assemblage de la lanterne, comprenant l'assemblage de la panne sur la ferme . . . . .	0,05
FIG. 4.	Panne suivant le faîteage . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 5.	Détail du terrasson, recouvert en zinc, établi au faîte des combles, pour la circulation et la ventilation . . . . .	0,10
FIG. 6.	Chéneau, assemblage des fermes sur les retombées, raccordement de la couverture avec les chéneaux. . . . .	0,03
FIG. 7, 8.	Détails de ces raccordements. . . . .	0,10
FIG. 9.	Patin des petites fermes. . . . .	0,05

## PLANCHE XVI.

## GRANDES FERMES.

FIG. 1.	Ensemble d'une grande ferme, avec longueurs des fers . . . . .	0,01
FIG. 2.	Détail d'un intervalle entre deux potelets ou deux pannes consécutives. . . . .	0,05
FIG. 3.	Détail d'un patin d'assemblage sur la retombée . . . . .	<i>id.</i>

## LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

		Échelle p. 1 mètre.
FIG. 4.	Assemblage des croisillons sur les arcs . . . . .	0,20
FIG. 5.	Joint de deux cornières des arcs. . . . .	id.
FIG. 6.	Joint de deux fers plats des arcs. . . . .	id.
FIG. 7.	Fer à T d'attache des pannes sur l'arc extérieur. . . . .	id.

## PLANCHE XVII.

## PANNES ET LANTERNE DU GRAND COMBLE.

FIG. 1.	Ensemble de la lanterne . . . . .	0,05
FIG. 2.	Panne faîtière avec la hausse de la lanterne	id.
FIG. 3, 4.	Pannes suivant la faîtière . . . . .	id.
FIG. 5, 6.	Sabots divers d'attache des fers à vitrage sur les pannes . . . . .	0,20

## PLANCHE XVIII.

## PIGNONS.

FIG. 1.	Ensemble d'un pignon . . . . .	0,003
FIG. 2, 3.	Détails des chapeaux qui raccordent les pilastres aux fermes. . . . .	0,05
FIG. 4.	Détails des pilastres en fonte et de leurs contre-fiches. . . . .	0,05

## PLANCHE XIX.

## PIGNONS. — REDRESSEMENT DES MURS.

FIG. 1.	Pilastres extrêmes des pignons et bielles de contreventement de ces pilastres. . . . .	0,025
FIG. 2.	Poutrelle reliant le pied des pilastres et supportant la vitrerie des pignons . . . .	0,10
FIG. 3.	Ensemble des appareils qui ont servi à redresser les murs . . . . .	0,006
FIG. 4, 5.	Détails des appareils qui ont servi à redresser les murs . . . . .	0,10

## PLANCHE XX.

## CONTREVENTEMENT DES GRANDES FERMES.

FIG. 1, 2, 3.	Ensemble de ce contreventement. . . . .	0,01
FIG. 4, 6.	Sabots d'attache des tirants de contreventement intérieur et extérieur sur les fermes. . . . .	0,10
FIG. 5, 7.	Tirants de contreventement des fermes . .	0,10

## PLANCHE XXI.

## PLANS DE POSE DES FONTES ET FERS DU PALAIS DE L'INDUSTRIE.

0,002

FIG. 1.	Bases de colonnes et leurs entretoises.
FIG. 2.	Colonnes, entretoises et consoles du rez-de-chaussée.
FIG. 3.	Plancher, poutres en tôle et en fonte, et solives.

Échelle  
p. 1 mètre.

FIG. 4.	Colonnes, entretoises et consoles de l'étage.
FIG. 5.	Retombées et poutres de l'étage.
FIG. 6.	Combles et contreventement.

## PLANCHE XXII.

## OUTILS D'AJUSTAGE ET MATÉRIEL DE LEVAGE.

FIG. 1.	Tour à tourner et aléser les colonnes . . . .	0,025
FIG. 2.	Tour à tourner et aléser les poutres à bouts de colonnes et les retombées. . . . .	0,025
FIG. 3.	Gabarits ayant servi à tracer l'ajustage des colonnes. . . . .	0,010
FIG. 4.	Gabarits ayant servi à tracer l'ajustage des poutres en fonte. . . . .	id.
FIG. 5.	Règle de 8 m. ayant servi à tracer les lignes de pose sur le terrain. . . . .	id.
FIG. 6.	Chèvre double pour la pose des colonnes et entretoises du rez-de-chaussée.	
FIG. 7.	Cabriolet pour le transport des chèvres.	
FIG. 8.	Echafaud roulant pour la pose des consoles.	
FIG. 9.	Echafaud roulant pour la pose des fermes de 24 m.	
FIG. 10.	Bigue pour la pose des pannes du petit comble.	

## PLANCHE XXIII.

## LEVAGE. — MANŒUVRES DIVERSES.

FIG. 1.	Installation pour le redressement du grand comble.
FIG. 2.	Mise en chantier d'un tiers de grande ferme.
FIG. 3.	Echafaud pour la démolition du comble des annexes.
FIG. 4.	Chèvre roulante ayant servi à poser les colonnes et poutres de la galerie des annexes.
FIG. 5.	Chèvre roulante ayant servi à poser les solives de cette galerie.
FIG. 6.	Disposition proposée pour supprimer les inconvénients de la dilatation dans les combles en fer.
FIG. 7, 8, 9.	Trois dispositions proposées pour des fermes métalliques.

## PLANCHE XXIV.

## ÉCHAFAUDAGE AYANT SERVI À LEVER LE GRAND COMBLE.

## PLANCHE XXV.

## ANNEXES ENSEMBLE. — POUTRES EN FONTE DU PALAIS.

FIG. 1.	Elévation, coupe en travers et longitudinale de l'annexe . . . . .	0,01
---------	--	------

		Échelle p. 1 mètre.
FIG. 2.	Poutre de 8 m., n° 12, du Palais, reliant les retombées placées contre les murs des pavillons (12, planche XXI, <i>fig. 5</i> ) . . . . .	0,10
FIG. 3.	Poutre de 4 m., n° 13, du Palais, reliant les retombées aux angles de la grande salle (13, planche XXI, <i>fig. 5</i> ) . . . . .	<i>id.</i>

## PLANCHE XXVI.

## DÉTAILS DE L'ANNEXE.

FIG. 1.	Coupe en travers de la paroi, élévation d'une pile. . . . .	0,025
FIG. 2.	Elévation d'une demi-travée de paroi . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 3, 4.	Coupes horizontales de cette paroi. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 5.	Hausse de la panne de faite (n° 1, pl. XXV) formant lanterne. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 6.	Hausse de la panne de faite (n° 3, pl. XXV) formant lanterne . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 7.	Hausse de la panne de faite (n° 2, pl. XXV) formant lanterne) . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 8.	Hausse de la panne de faite (n° 4, pl. XXV) formant lanterne . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 9.	Elévation d'une des pannes inférieures à longs potelets. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 10.	Poutre garde-corps de la galerie de l'annexe . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 11.	Détail d'une ferme des annexes, avec attache de panne et raccordement de la couverture en verre et en zinc . . . . .	0,05
FIG. 12.	Patin d'attache de la ferme sur la retombée . . . . .	0,10

		Échelle p. 1 mètre.
FIG. 13.	Détail des colonnes de la galerie, avec l'assemblage des poutres garde-corps. . . . .	0,10
FIG. 14.	Coupe en travers des chevrons et du viaduc. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 15.	Sabot et cul-de-lampe des potelets des pannes . . . . .	0,20
FIG. 16.	Assemblage des pannes avec les fermes et avec leur armature. . . . .	<i>id.</i>

## PLANCHE XXVII.

## ANNEXE DU PANORAMA.

FIG. 1.	Coupe en travers de la galerie circulaire . . . . .	0,01
FIG. 2.	Elévation de la paroi extérieure et intérieure de cette galerie. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 3.	Plan général de l'annexe du panorama. . . . .	0,002

## PLANCHE XXVIII.

## PONT DE L'ANNEXE DU PANORAMA.

FIG. 1.	Elévation d'une travée de ce pont . . . . .	0,020
FIG. 2.	Plan à divers niveaux. . . . .	<i>id.</i>
FIG. 3.	Coupe en travers . . . . .	<i>id.</i>
FIG. 4.	Sabot d'attache des poutres de tête sur les piles . . . . .	0,050
FIG. 5.	Sabot d'attache des poteaux et des pièces de pont sur les poutres de tête. . . . .	<i>id.</i>



## TABLE DES MATIÈRES.

---

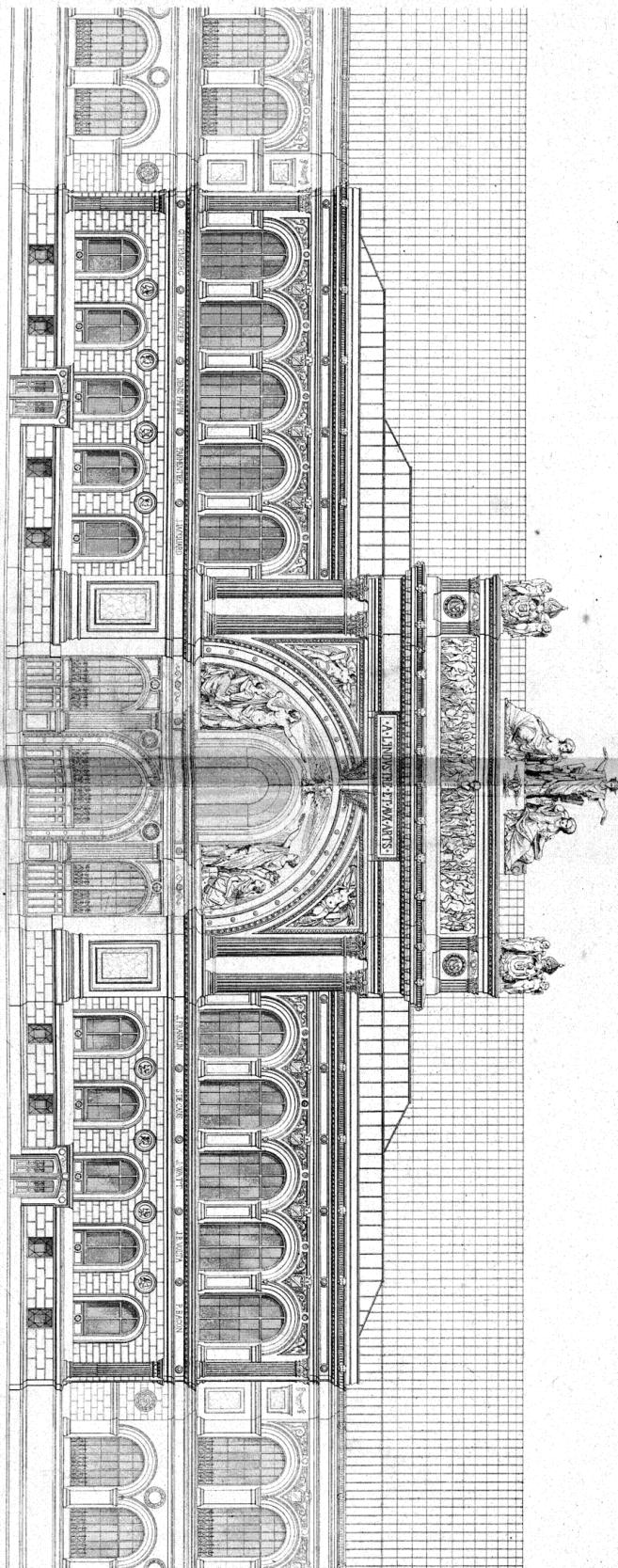
<b>INTRODUCTION HISTORIQUE . . . . .</b> 1	<b>LEVAGE . . . . .</b> 17 <b>DES ACCIDENTS SURVENUS EN COURS D'EXÉCUTION . . . . .</b> 18
<b>CHAPITRE I<sup>er</sup>.</b>	
<b>DESCRIPTION DU BATIMENT.</b>	
<b>Travée de 2<sup>m</sup>, 10 . . . . .</b> 3 <b>Travée de 4 mètres . . . . .</b> 3 <b>Plancher . . . . .</b> 4 <b>Combles . . . . .</b> 4 <b>Fondations et égouts . . . . .</b> 4 COLONNES, ENTRETOISES ET CONSOLES . . . . . 5 RETOMBÉES . . . . . 7 PLANCHER . . . . . 7 COMBLES . . . . . 9 PIGNONS . . . . . 11 CHÈNEAUX. — COUVERTURES . . . . . 14	<b>CHAPITRE III.</b> <b>CALCULS ET DOCUMENTS STATISTIQUES.</b> CALCULS DE RÉSISTANCE . . . . . 20 <b>Colonnes . . . . .</b> 20 <b>Plancher . . . . .</b> 21 <b>Fermes . . . . .</b> 22 <b>Stabilité . . . . .</b> 24 DOCUMENTS STATISTIQUES . . . . . 24 <b>Tableau des poids des fontes et fers employés dans la construction du Palais de l'Industrie (bâtiment principal) . . . . .</b> 25
<b>CHAPITRE II.</b>	
<b>EXÉCUTION DES TRAVAUX.</b>	
ORGANISATION DES TRAVAUX . . . . . 13 AJUSTAGE DES FONTES . . . . . 15 CONSTRUCTION DES FERMES . . . . . 16	<b>CHAPITRE IV.</b> <b>ANNEXES DU PALAIS.</b> GALERIE DU QUAI DE LA CONFÉRENCE . . . . . 30 <b>Description . . . . .</b> 30 <b>Métré d'une travée de l'annexe . . . . .</b> 33 <b>Métré d'une travée de galerie . . . . .</b> 33 ANNEXE DU PANORAMA . . . . . 34 <b>CONCLUSIONS GÉNÉRALES . . . . .</b> 37

---

PALAIS DE L'INDUSTRIE.

Pl. A

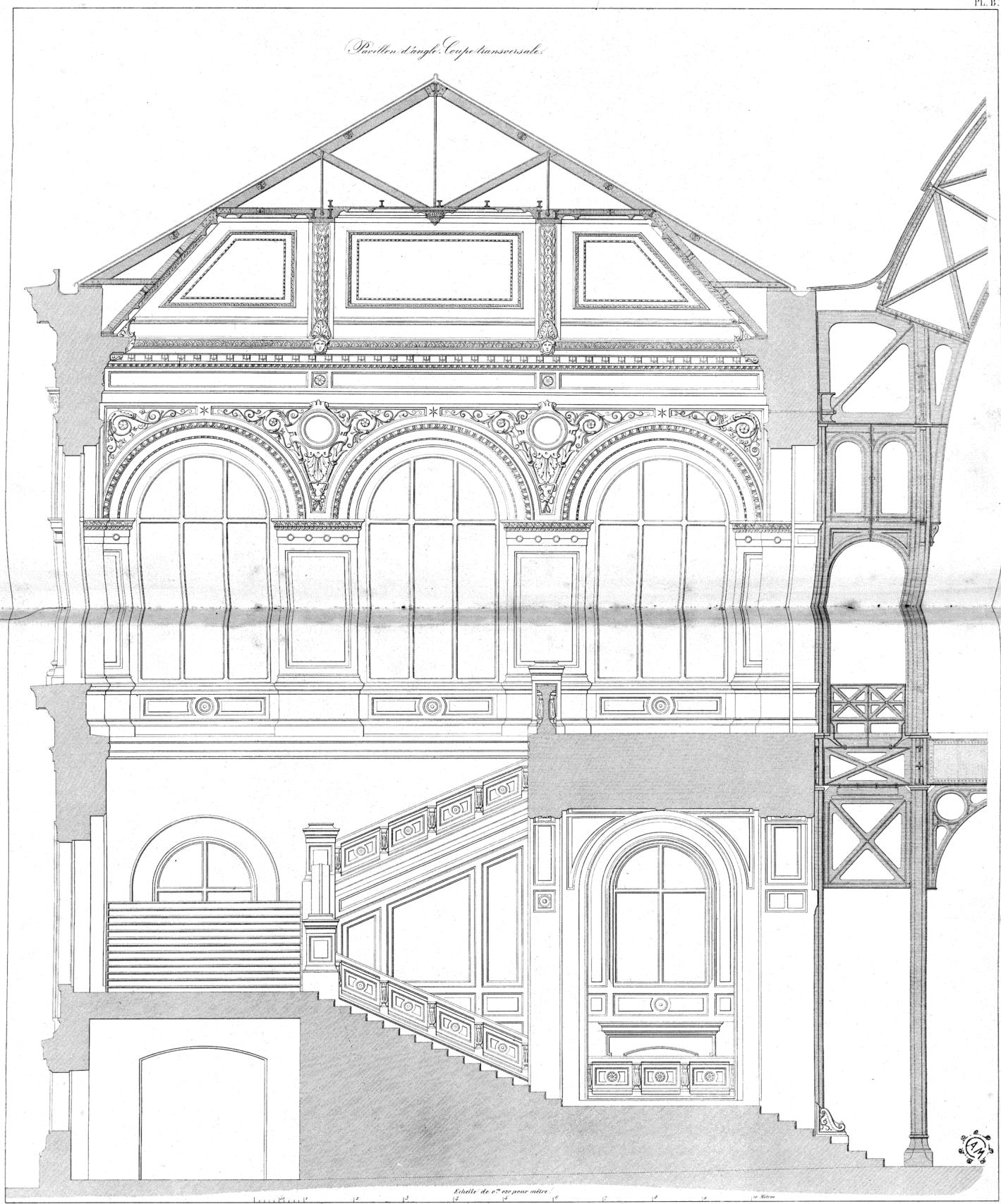
Front de la Porte de l'entrée principale.



PALAIS DE L'INDUSTRIE.

Pl. B.

*Pavillon d'angle. Coupe transversale.*



Projet de la Compagnie concessionnaire  
(exposition universelle).

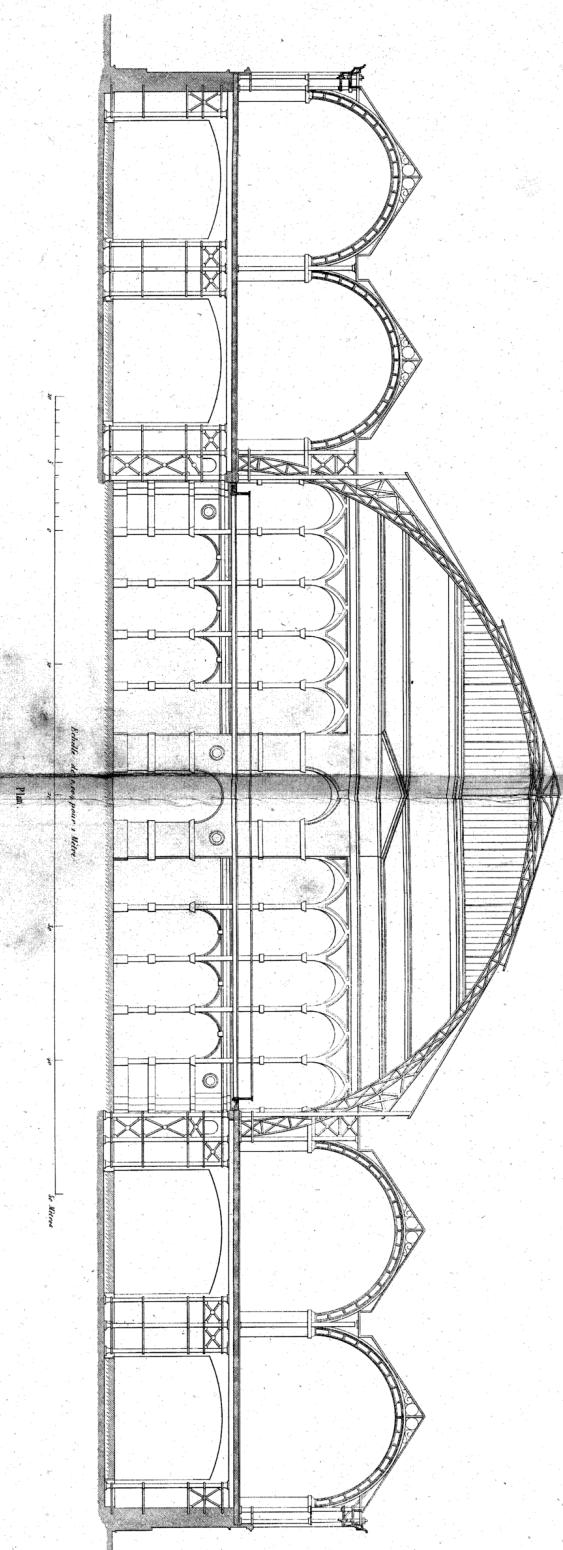
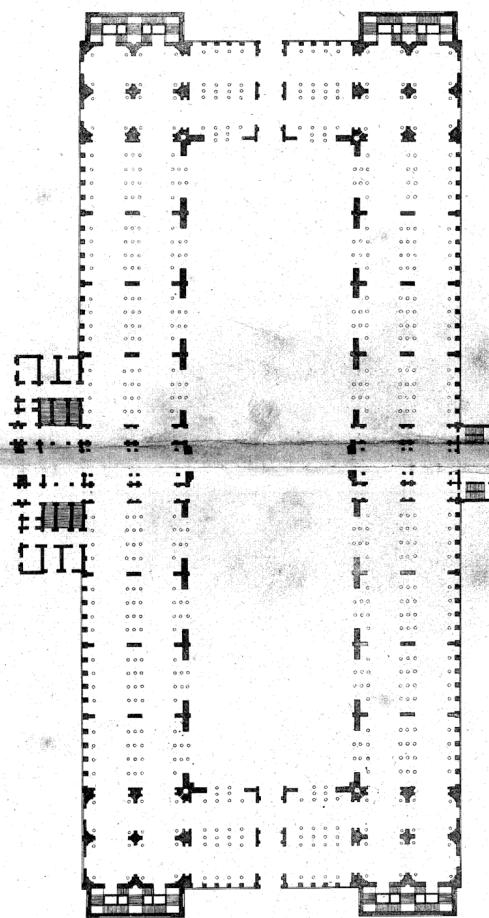
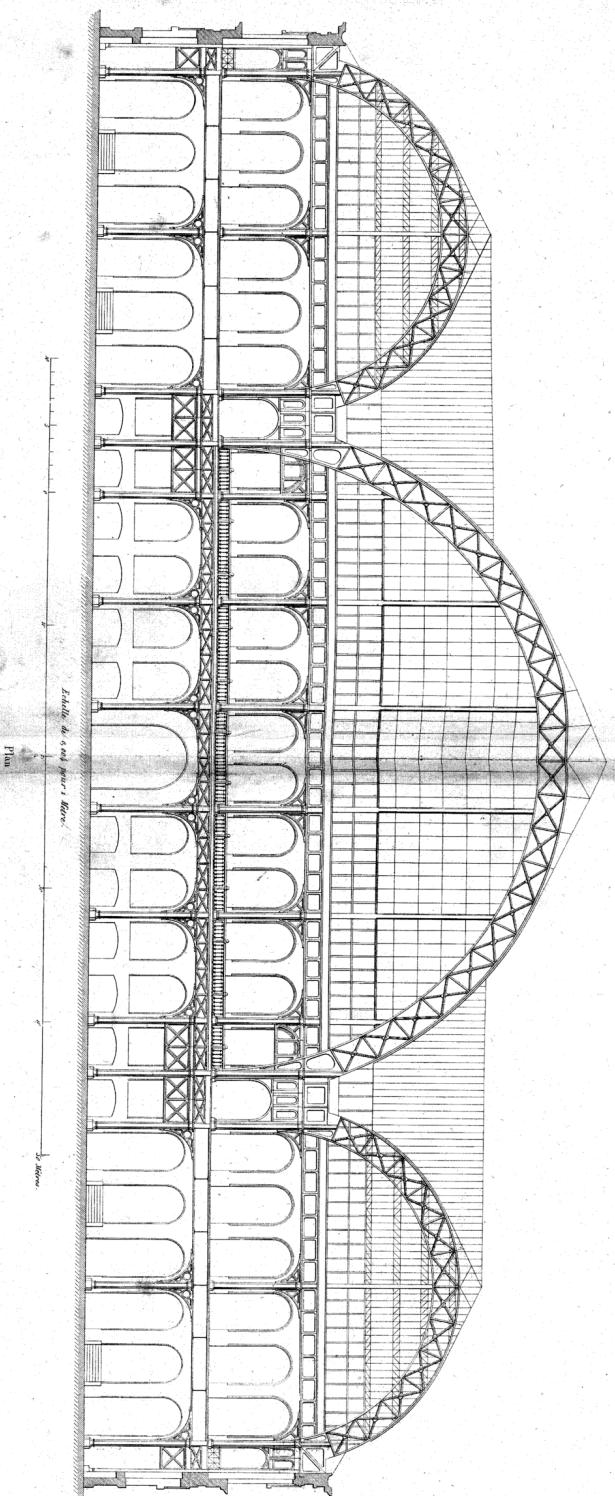
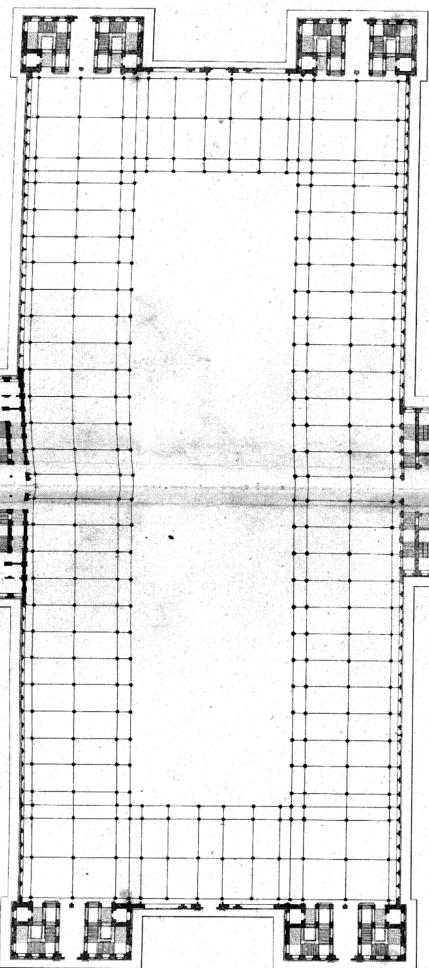


Fig. 11. - *Palais de l'Industrie, plan et coupe transversale.*



Plan

Coupe transversale

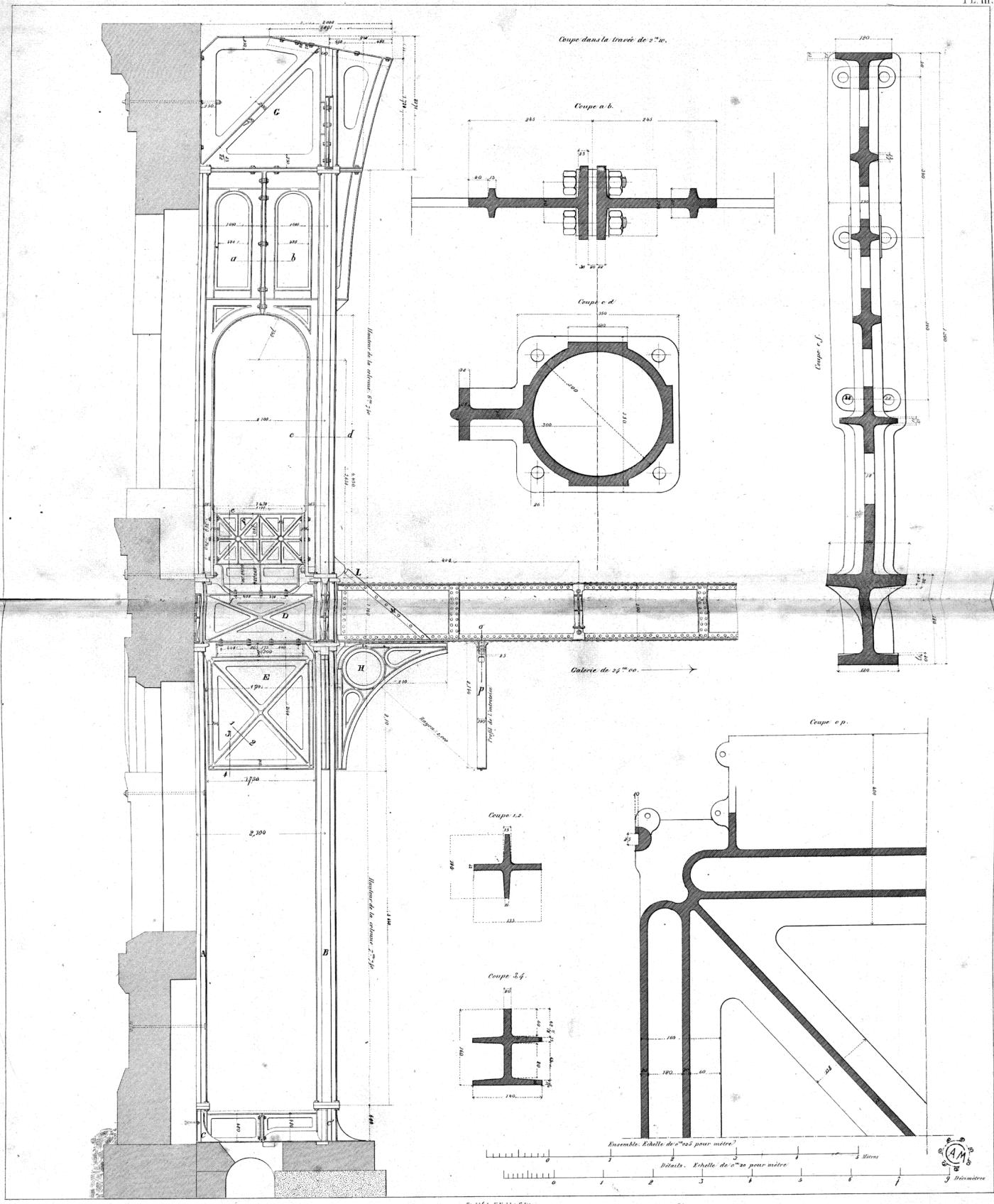


Plan de l'Industrie, à Paris.



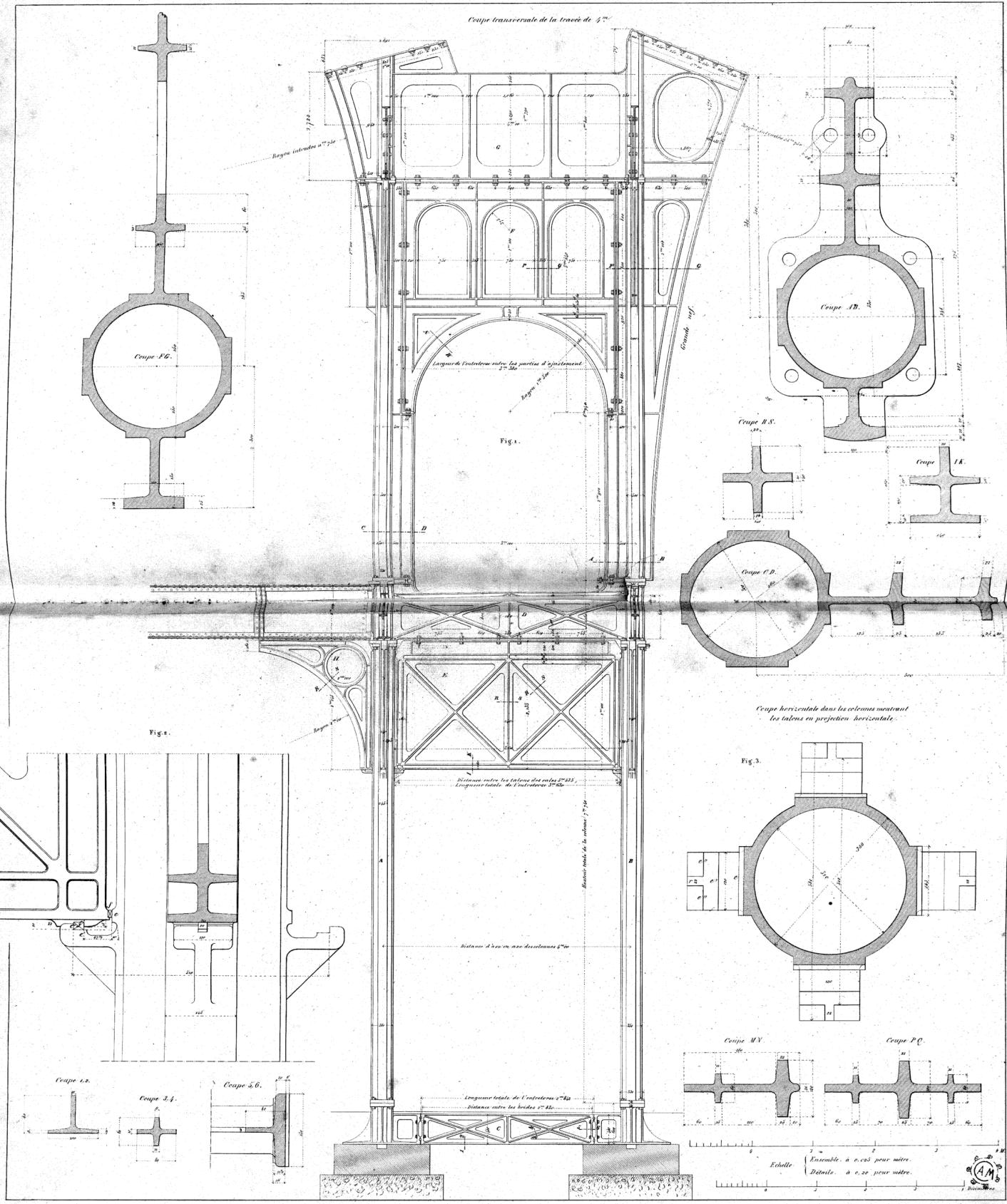
PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. III.



## PALAIS DE L'INDUSTRIE.

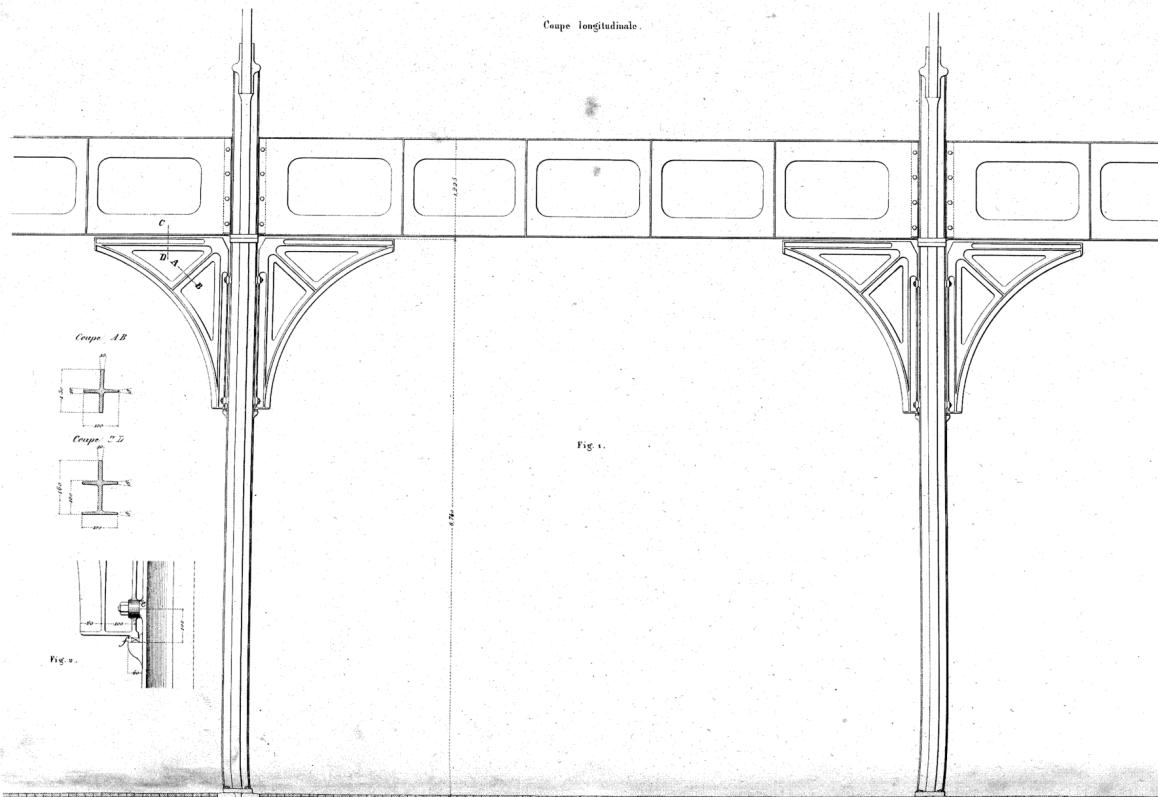
Pl. IV.



PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. V

Coupe longitudinale.



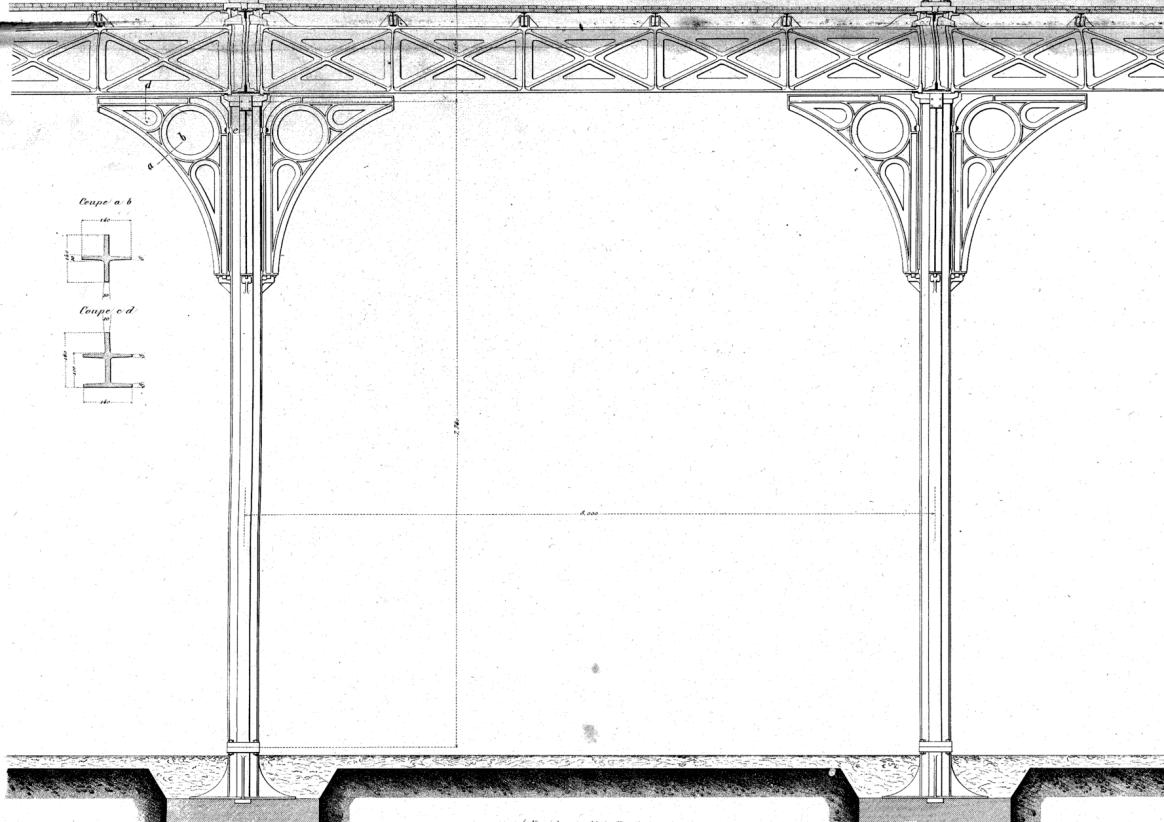
Coupe A-B

Coupe C-D

Coupe E-F

Fig. 2.

Fig. 1.



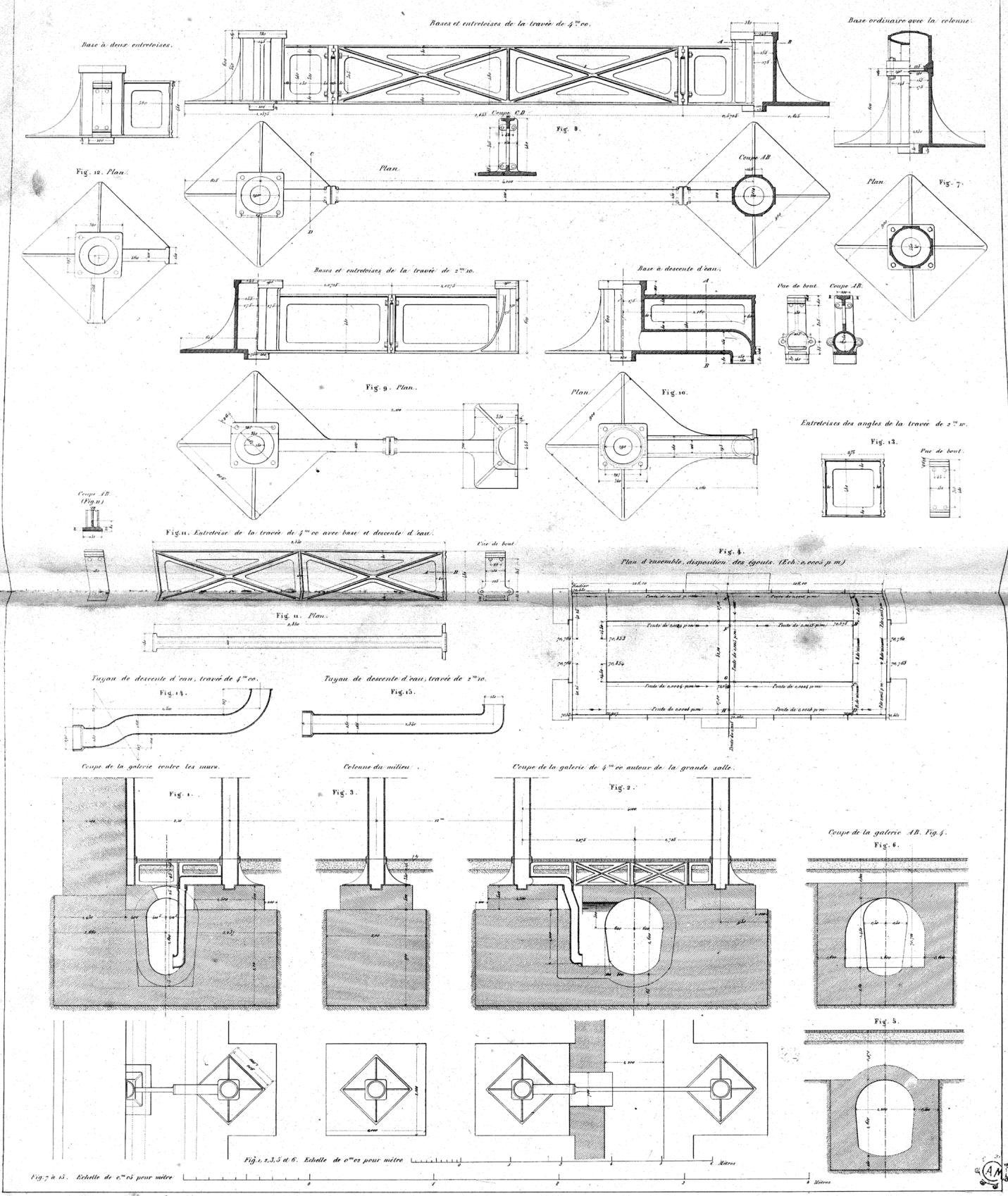
Echelle: *Vue d'ensemble* - 6" 00 par mètre.  
Détails - 6" 00 par mètre.

Établi: de E. Noblet, Éditeur.



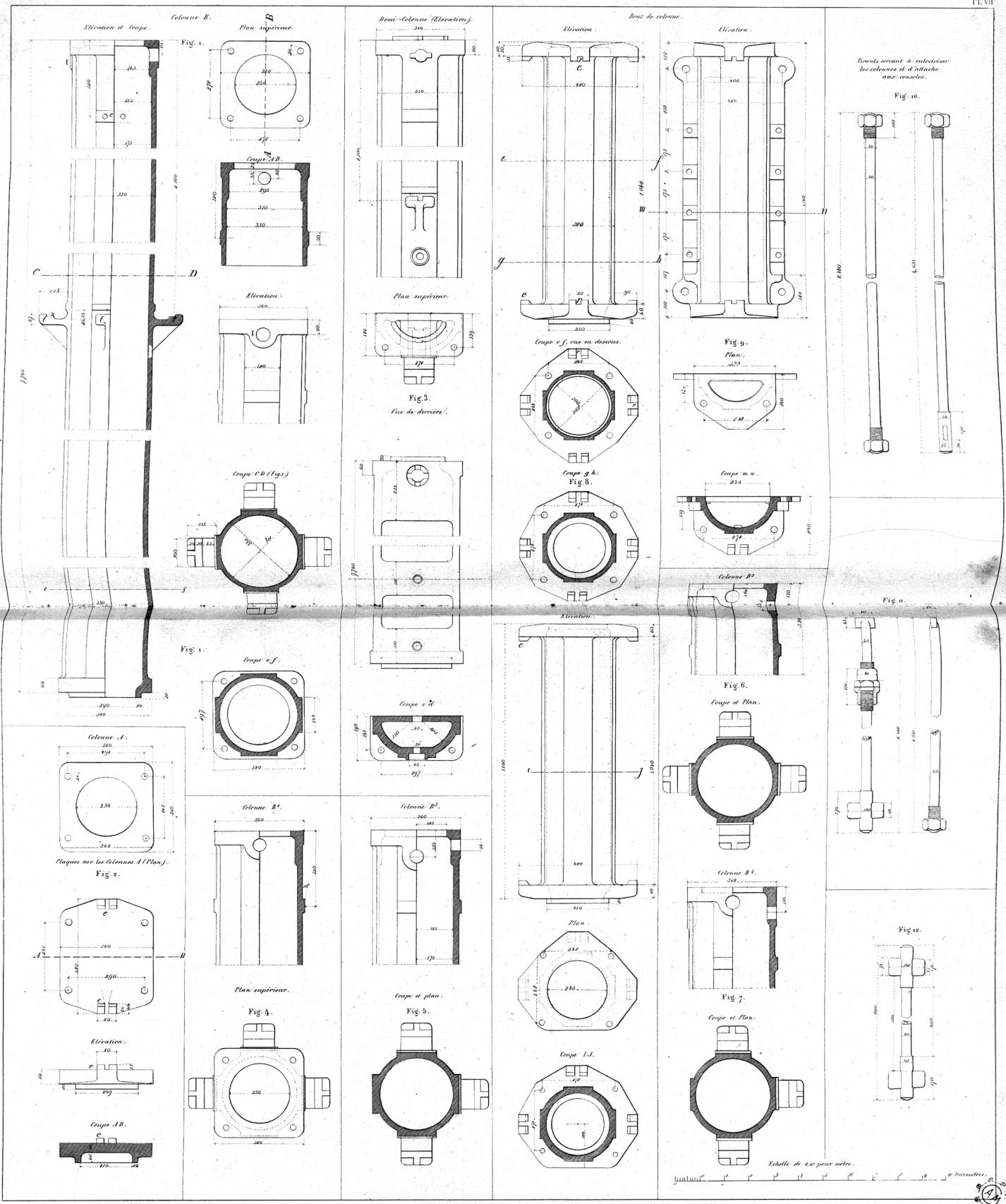
## PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. VI.



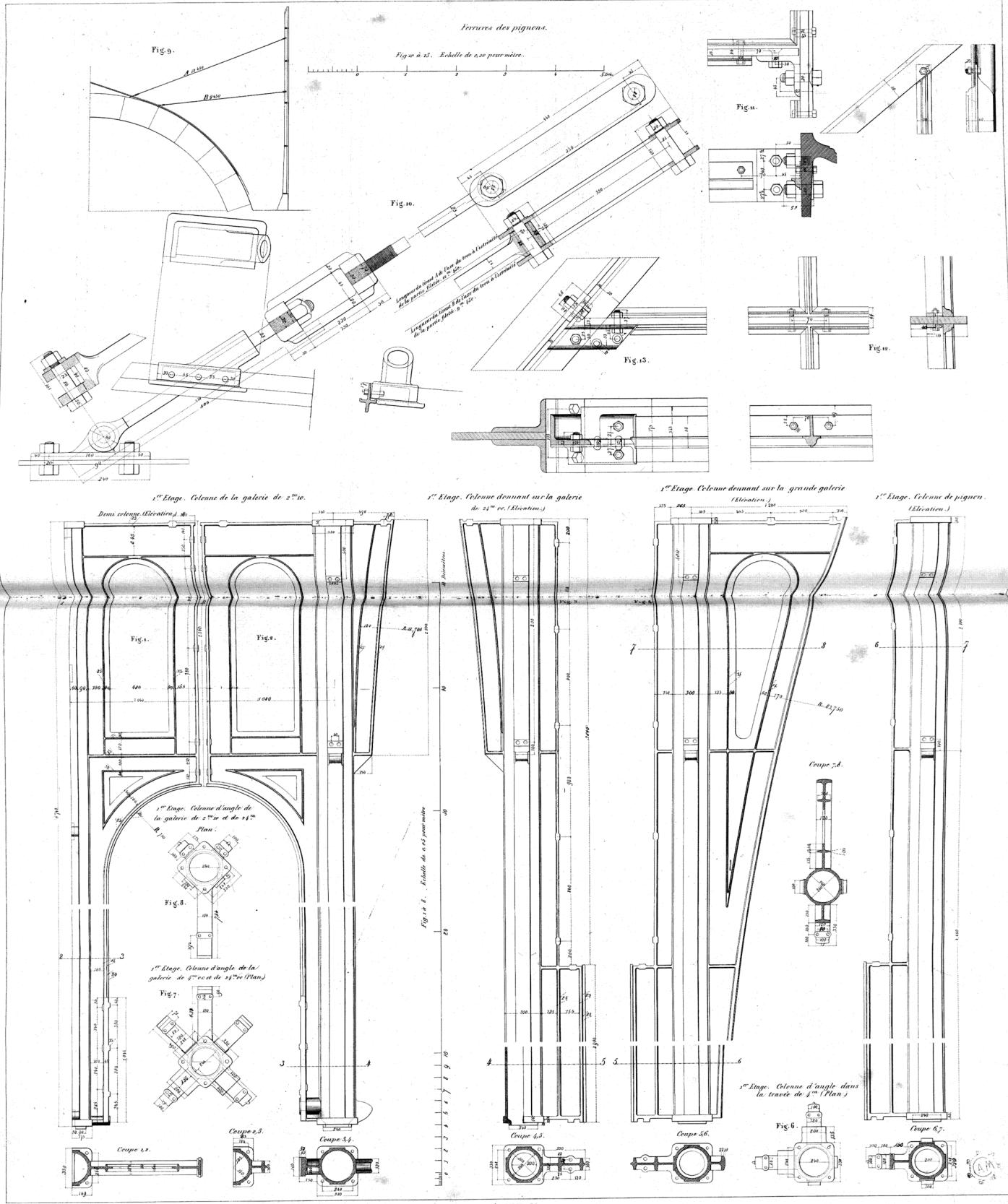
PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL.VII



## PALAIS DE L'INDUSTRIE.

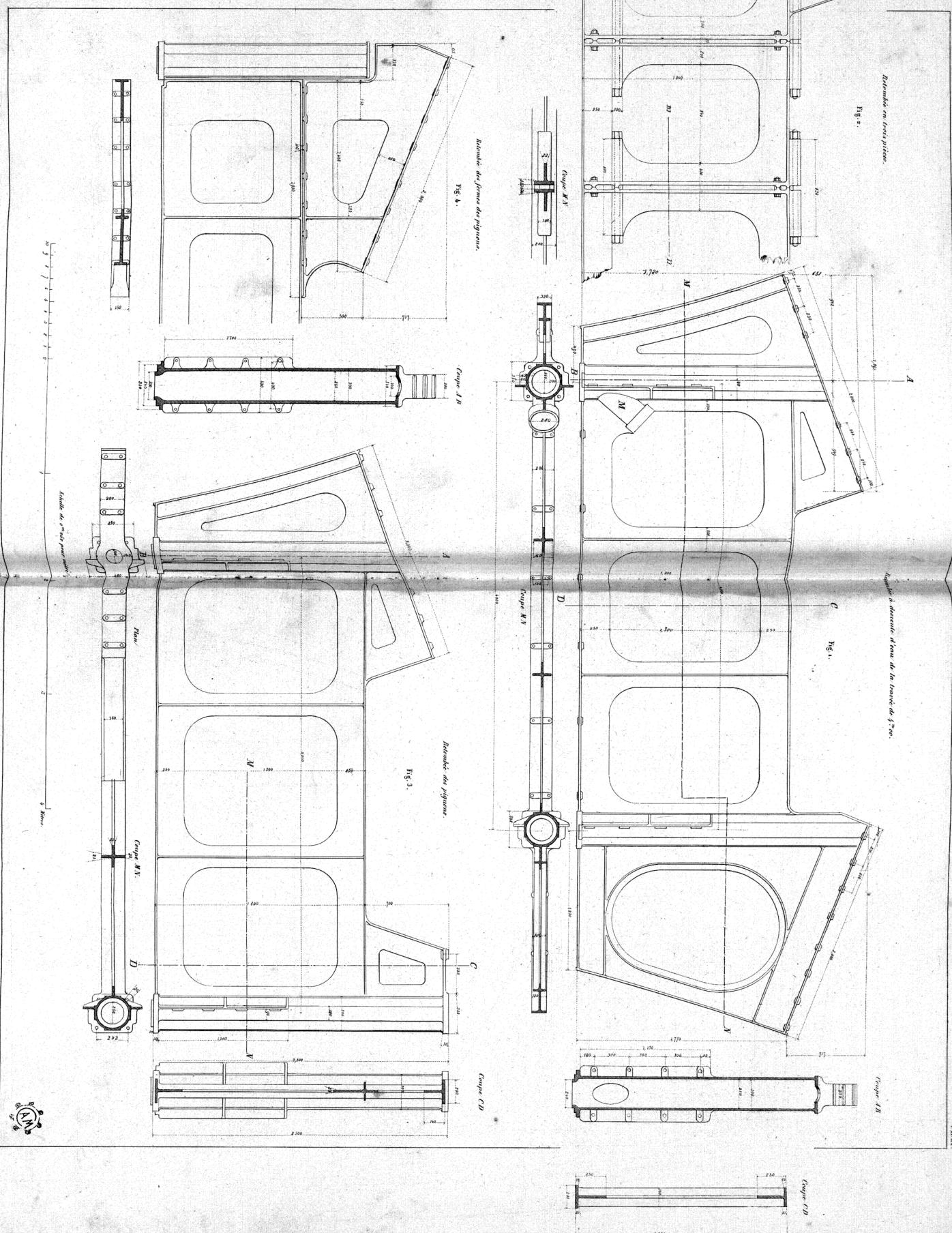
PL. VIII.



*Remember en trois pieces.*

LITERATUR

Cover 11

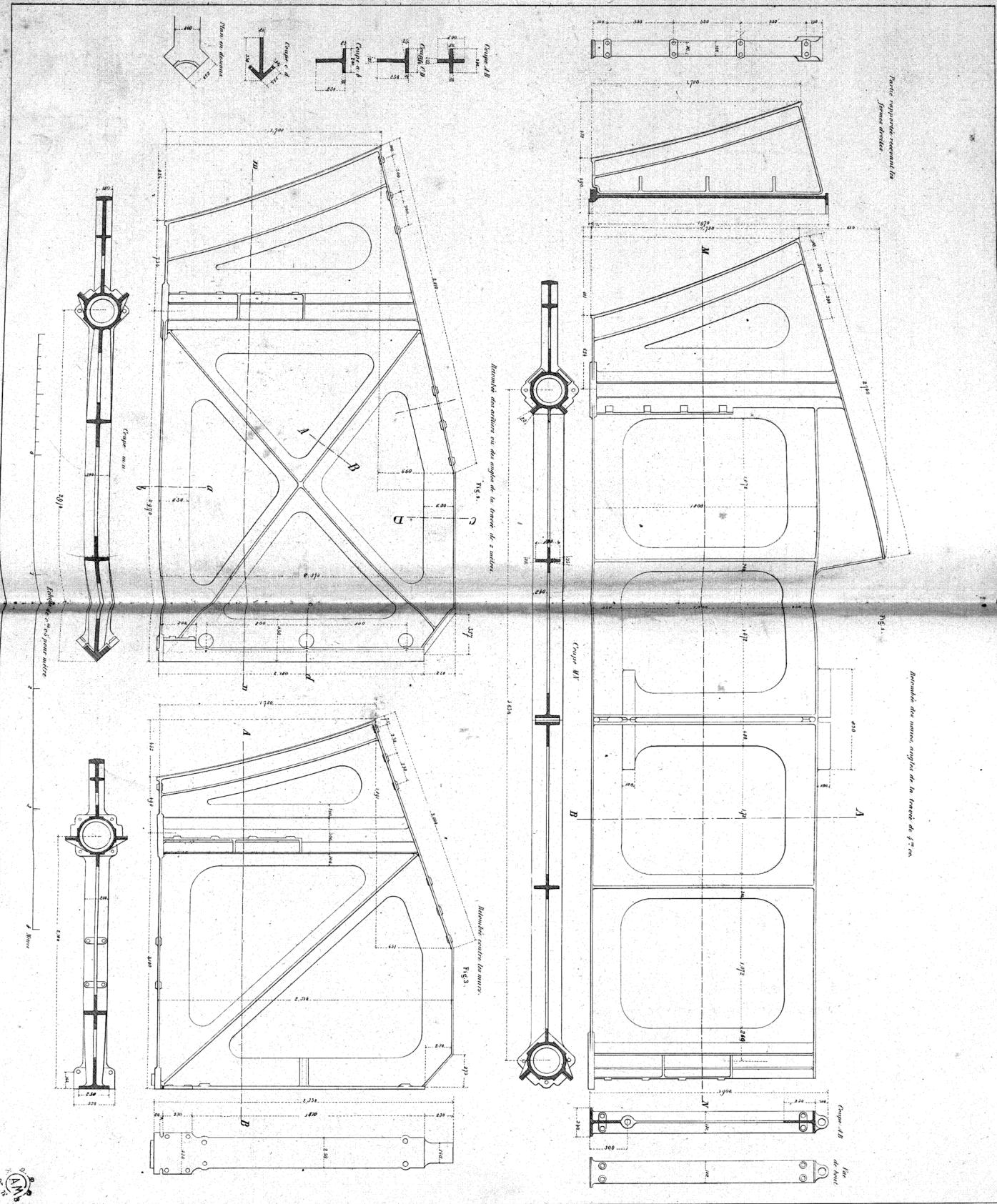


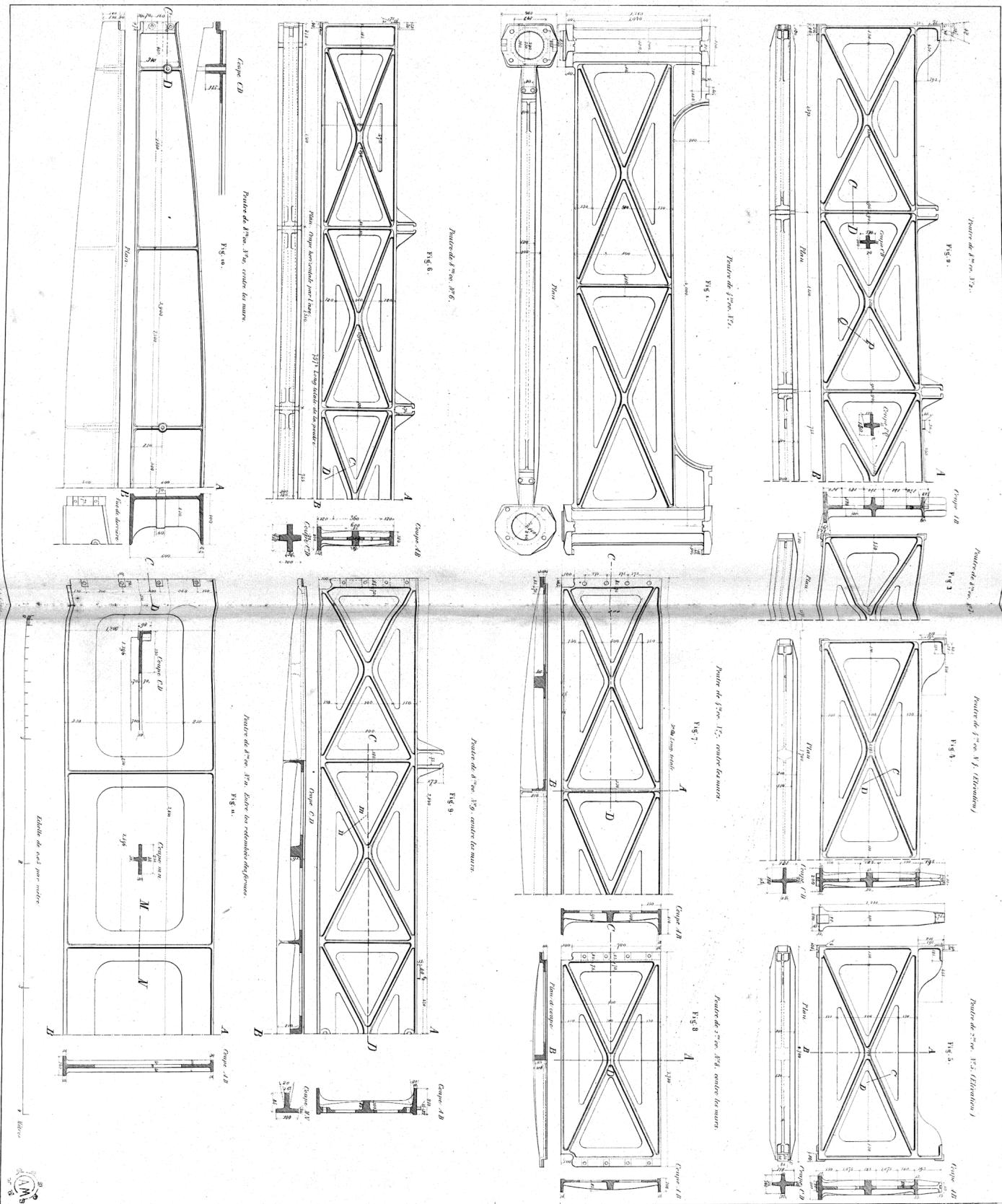
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Recorrido de los nortes, angulos de la travesa de 700 m.

Partie rapportée recevant les serments droites.

Fig. 1.

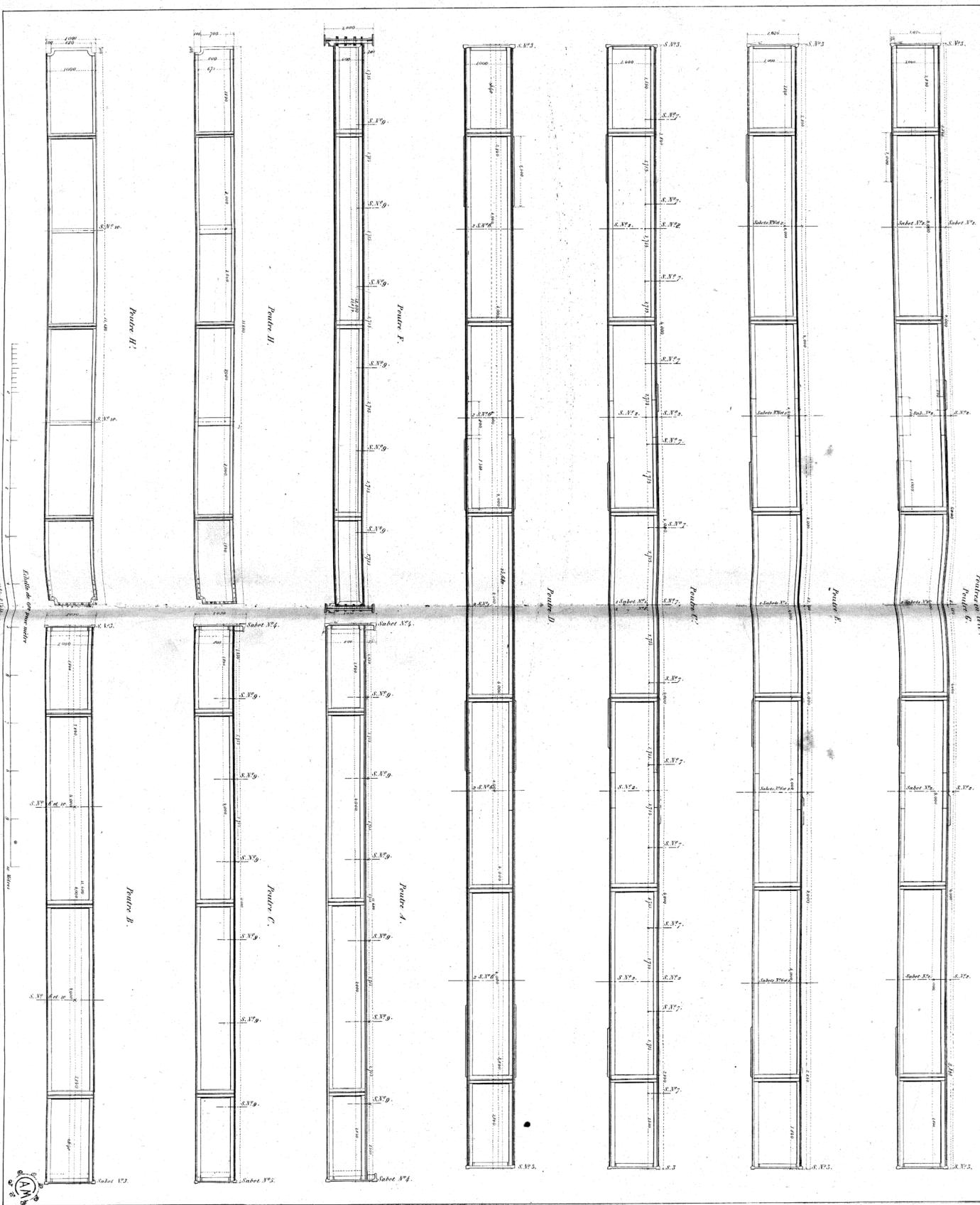


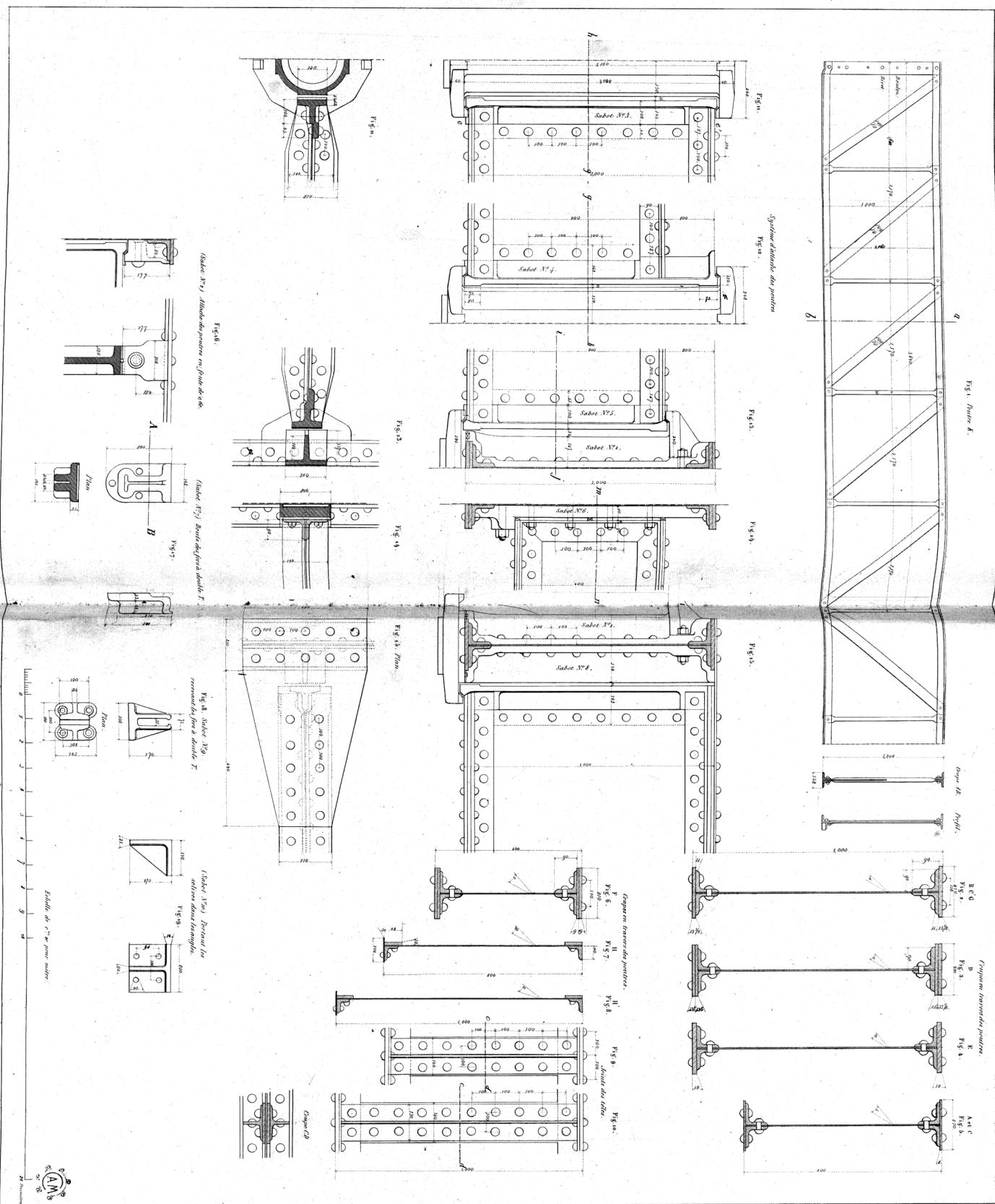


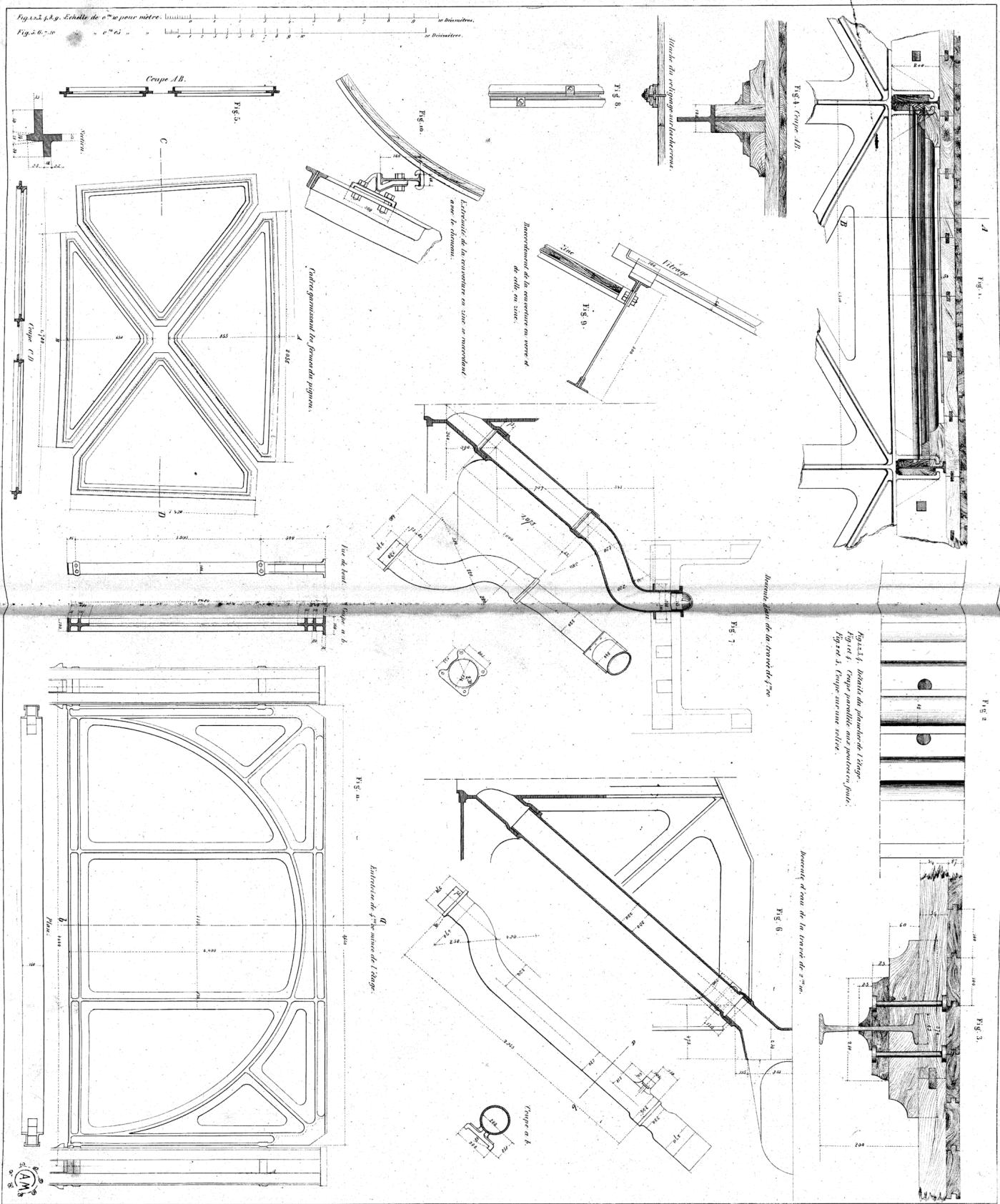
Poussier en  
terre.

Pauline 6.

440

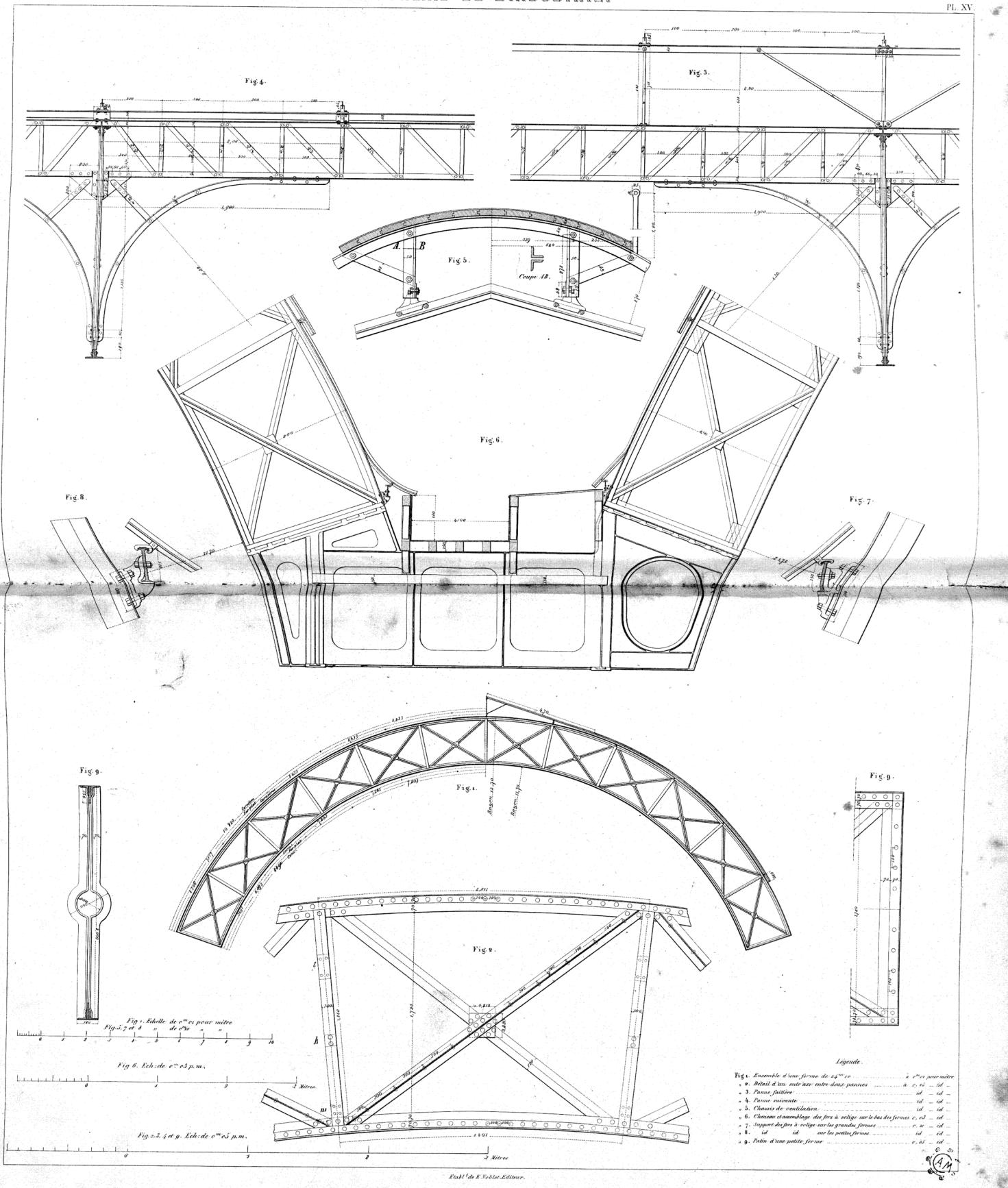






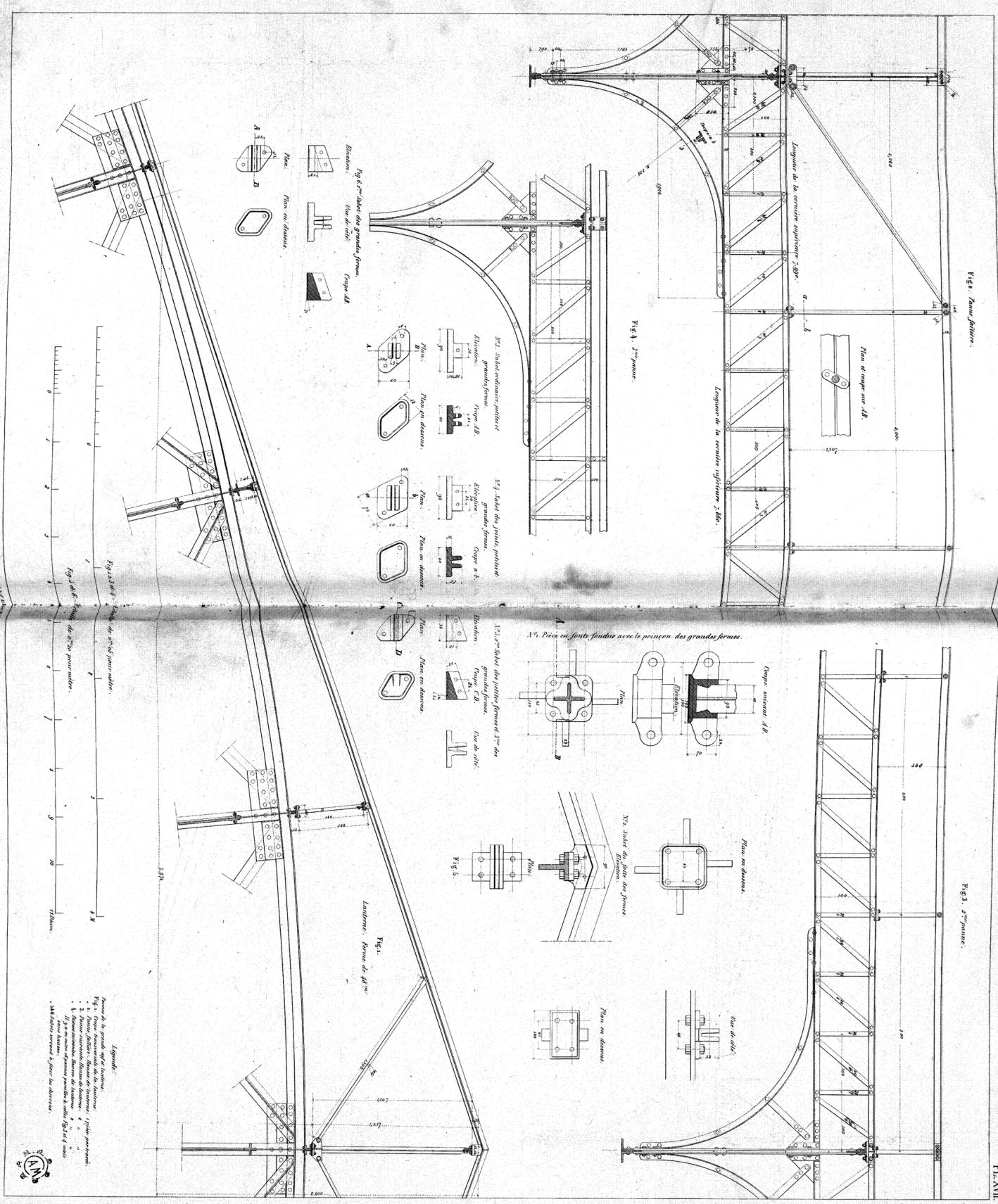
## PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. XV.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

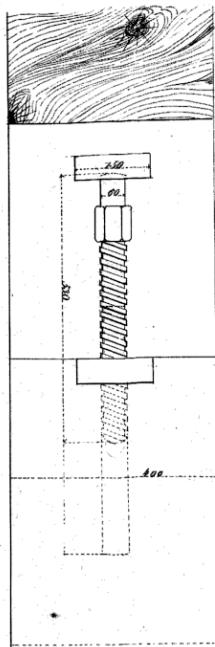






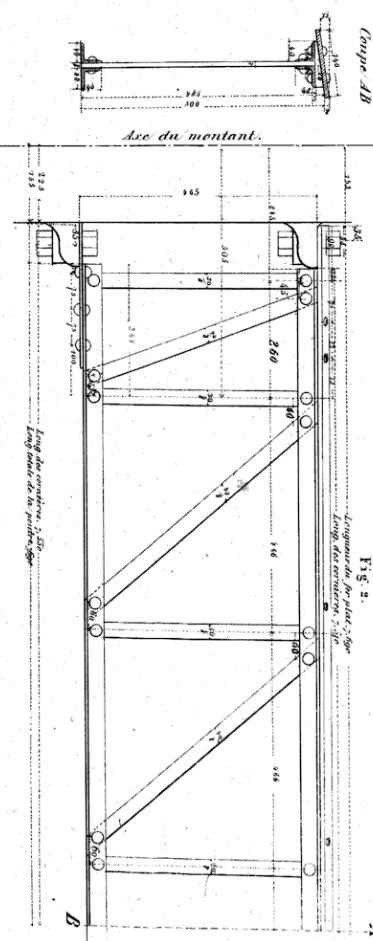
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

三



Tunc superius invenimus

100



*Bielle de contreventement des montants extrêmes  
des pignons.*

*Appareil à redresser les murs.*

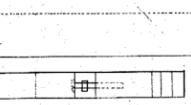
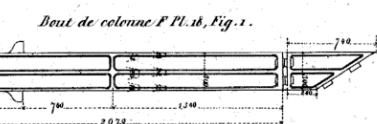
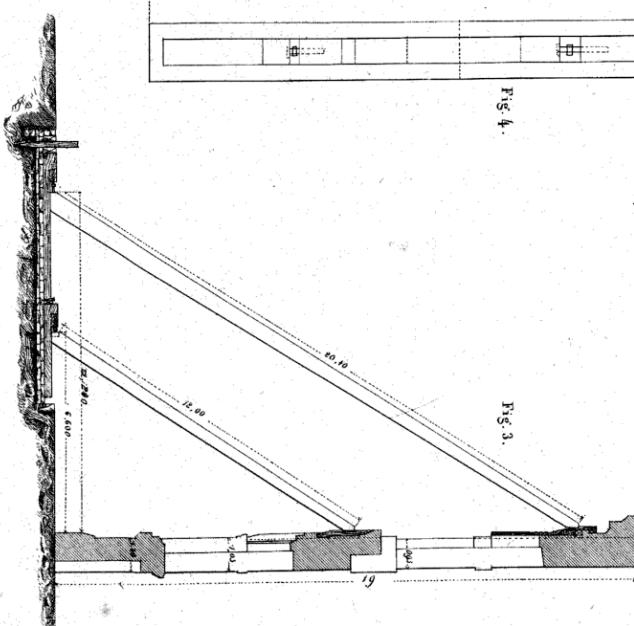


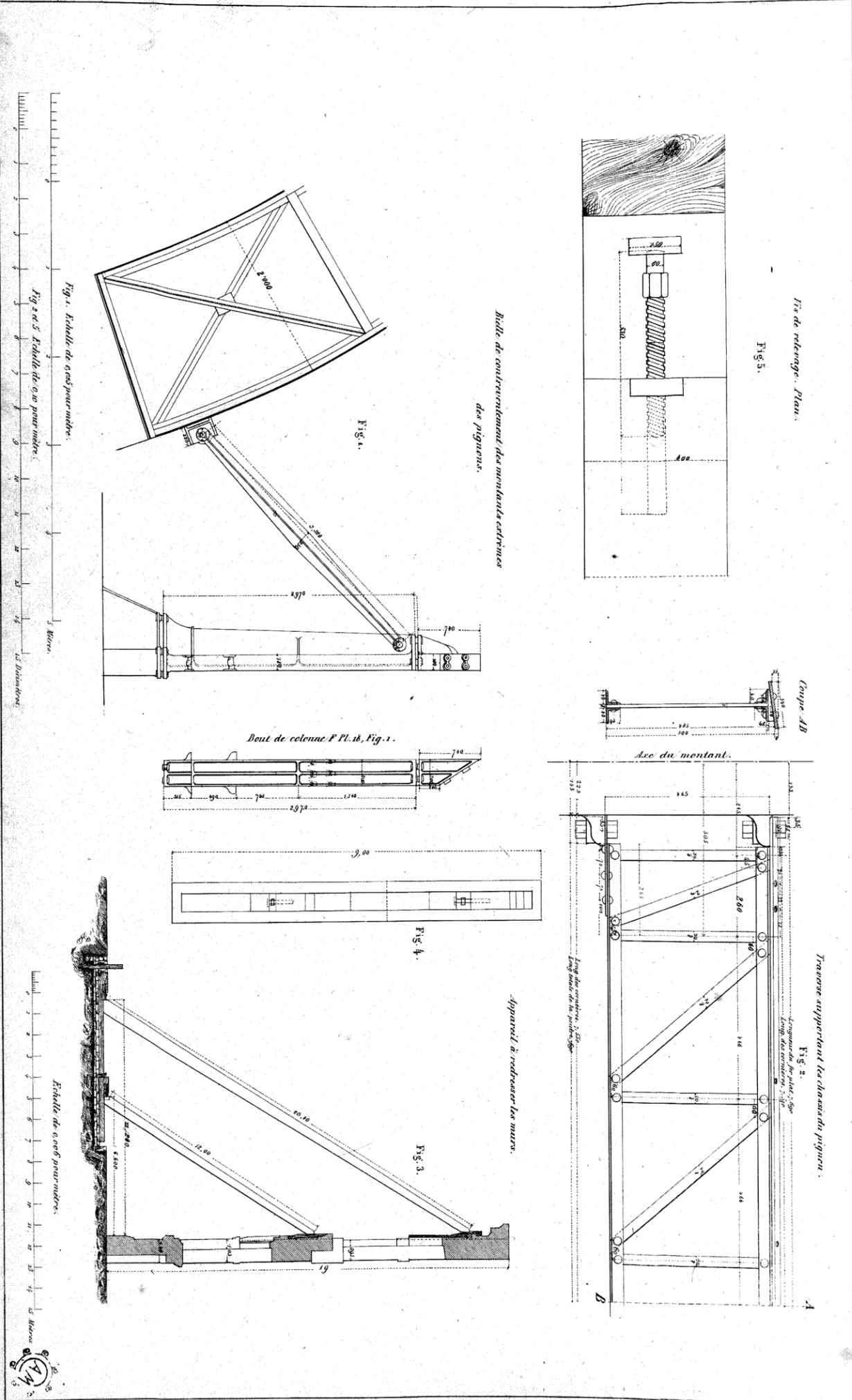
Fig. 4



Bout de colonne F Pl. 18, Fig. 1

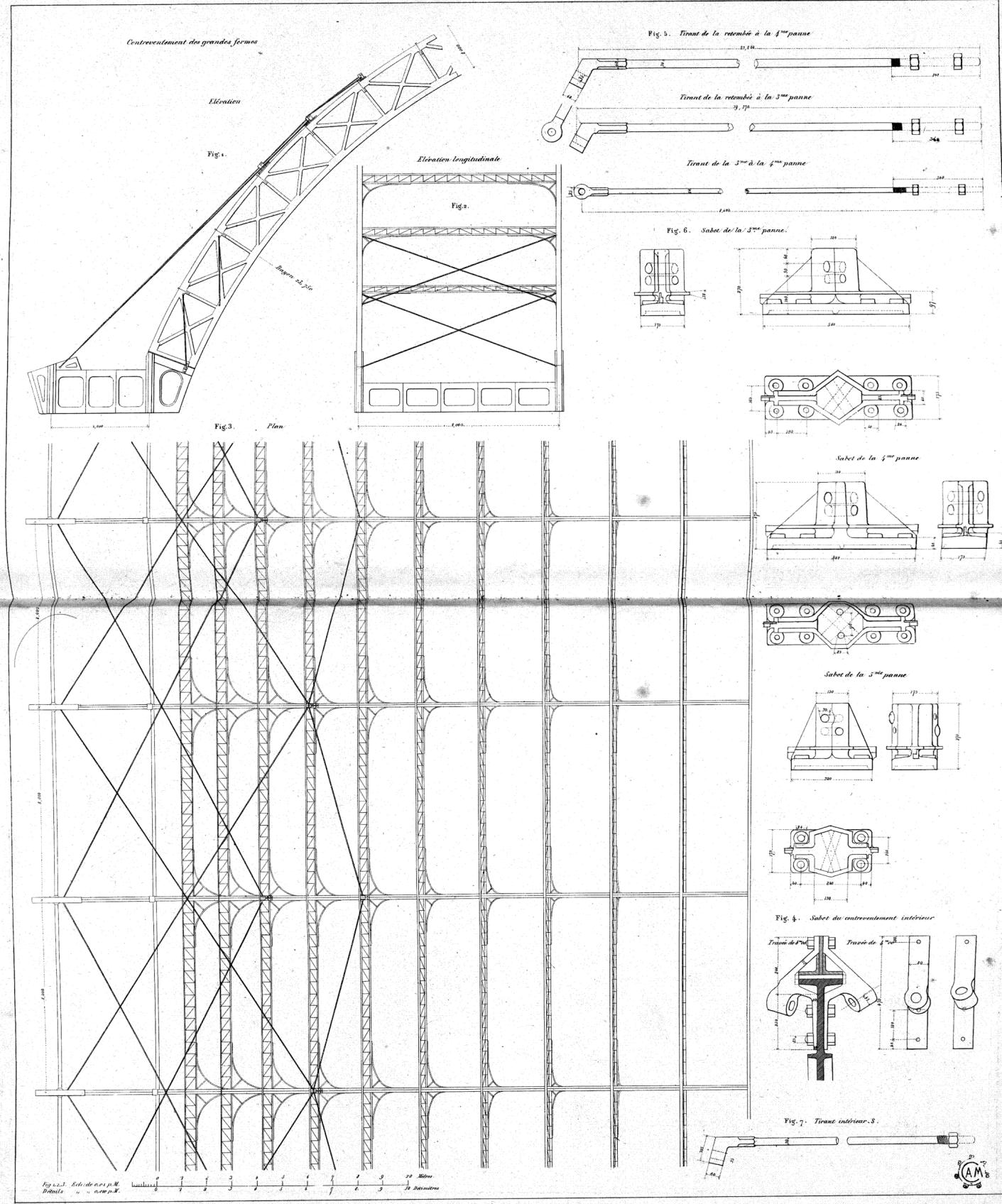


۱۰۰



## PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. XX.



Bases de colonne et leurs entretiennes

2004 *Journal*

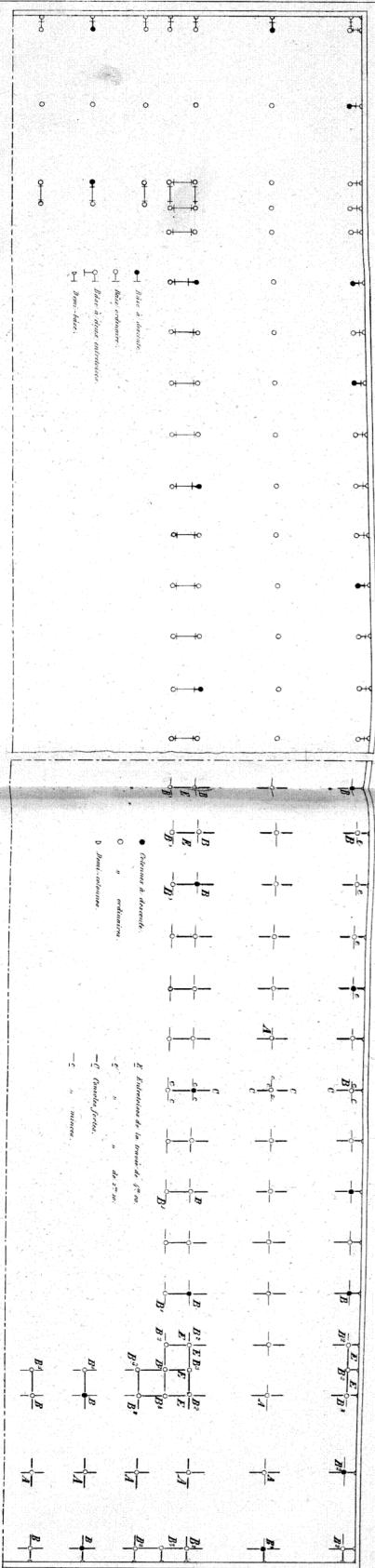
Colonnes, entrelacs et consoles du rez-de-chaussée

181

Ergonomics

卷二

10

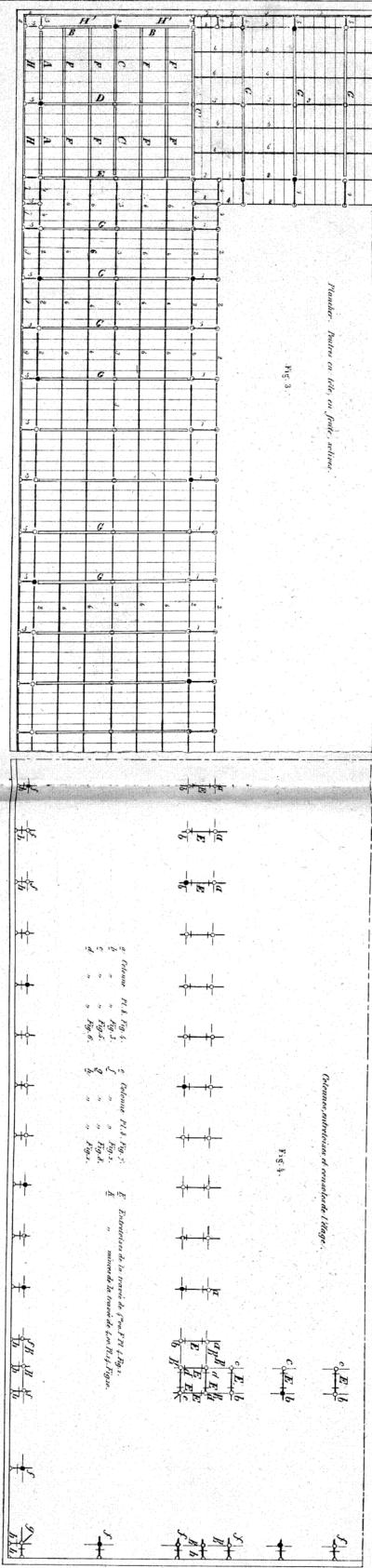


Mander. *Portraits en tête, en face, aériens.*

50

c  
|  
E  
|  
b

10



70

110

29

10

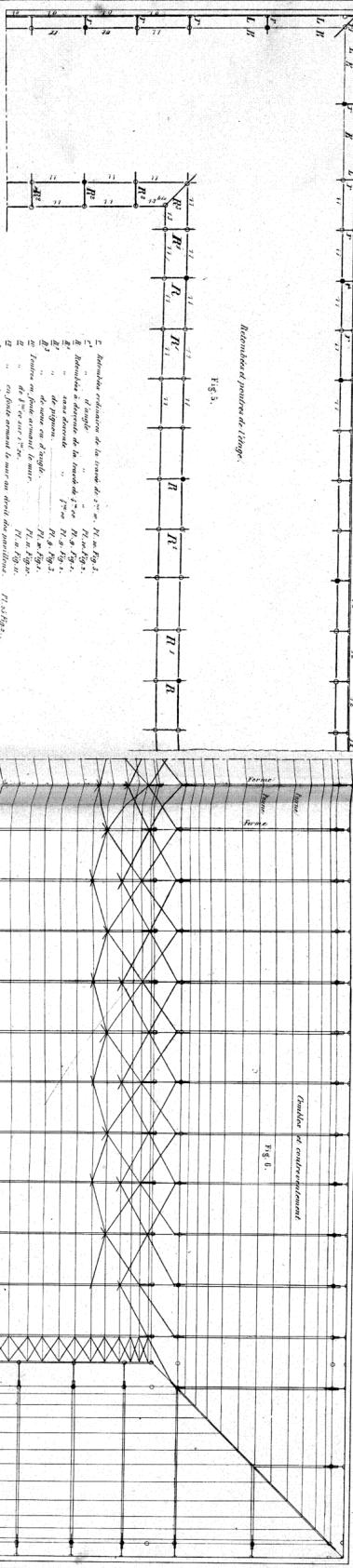


Fig. 5.

111

1

23



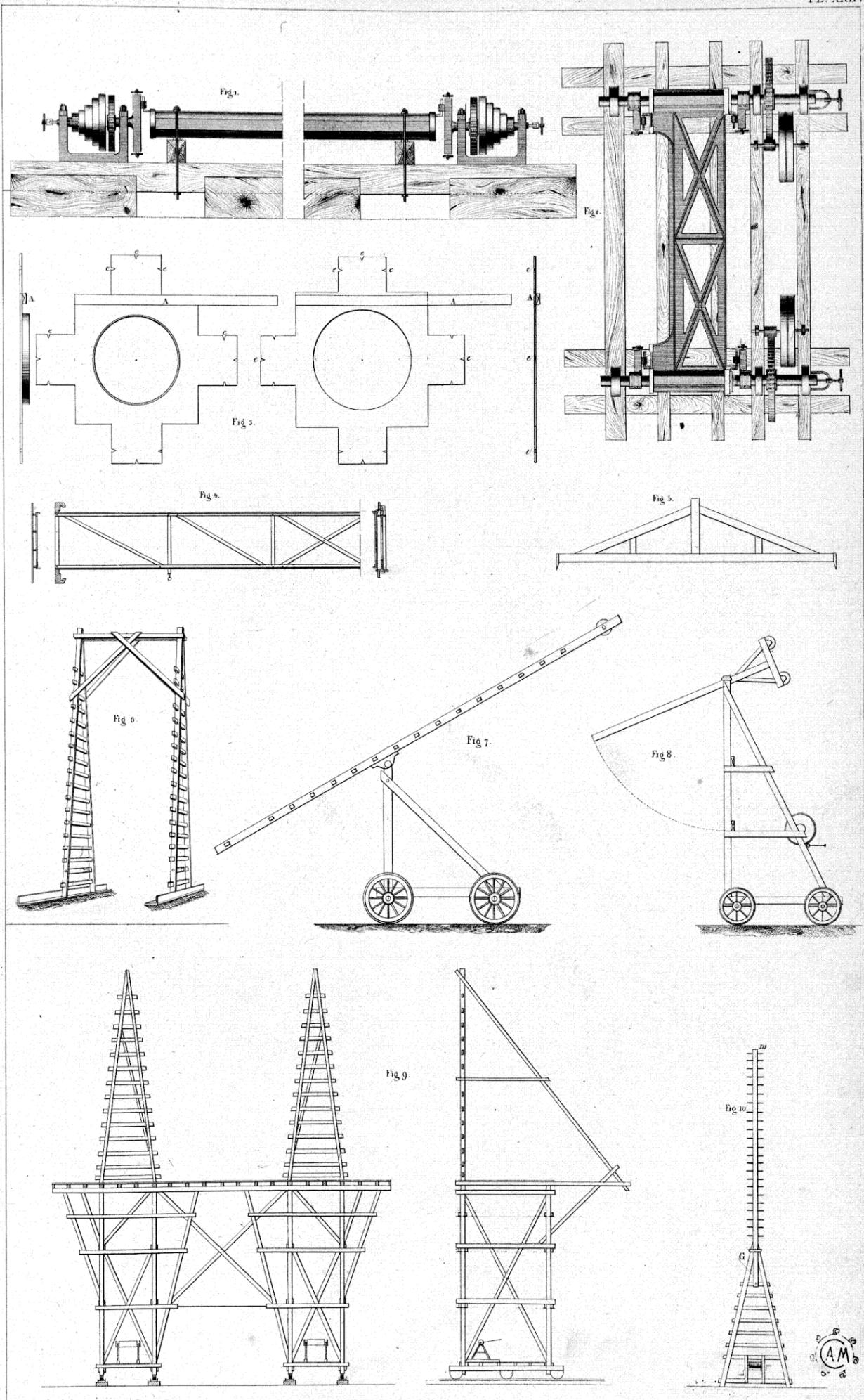




Fig 1

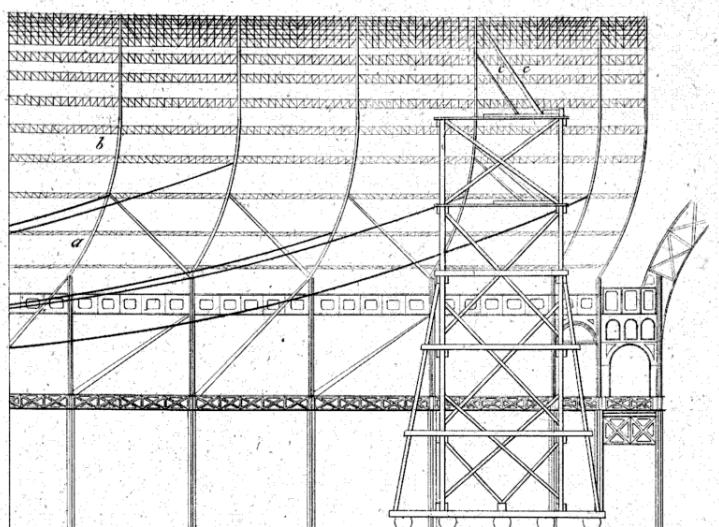


Fig 2

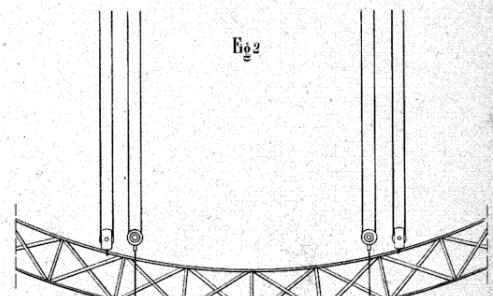


Fig 3

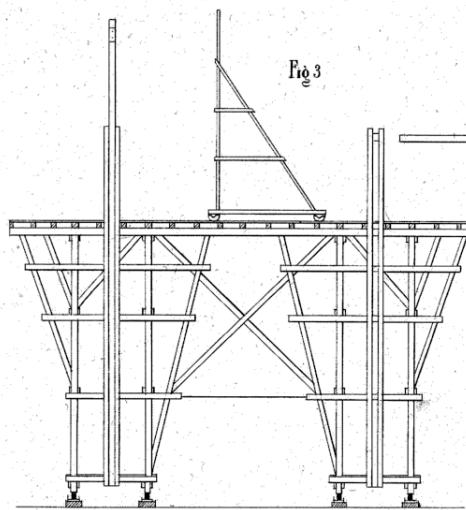


Fig 4

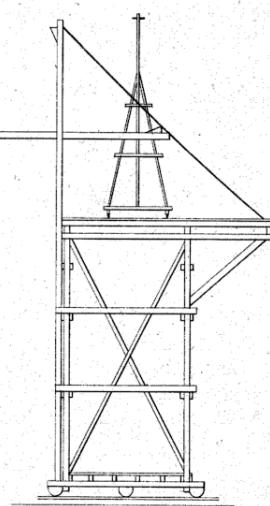


Fig 5

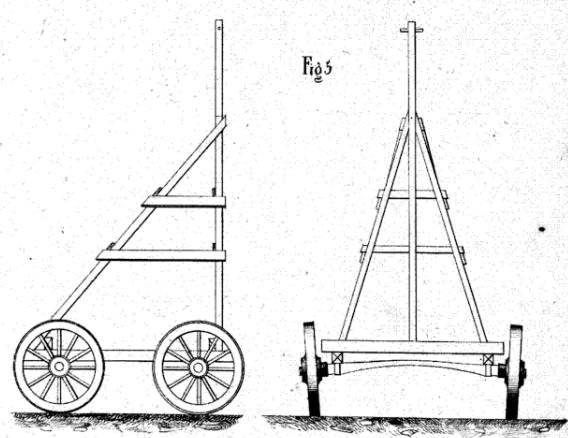


Fig 6



Fig 7

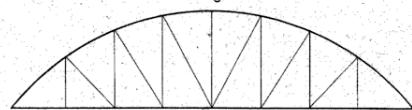


Fig 8

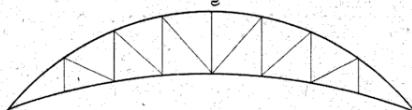
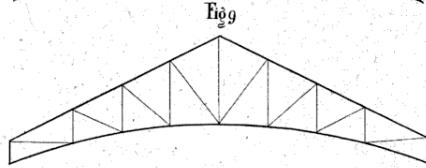


Fig 9



Relevé du toit des grandes serres.

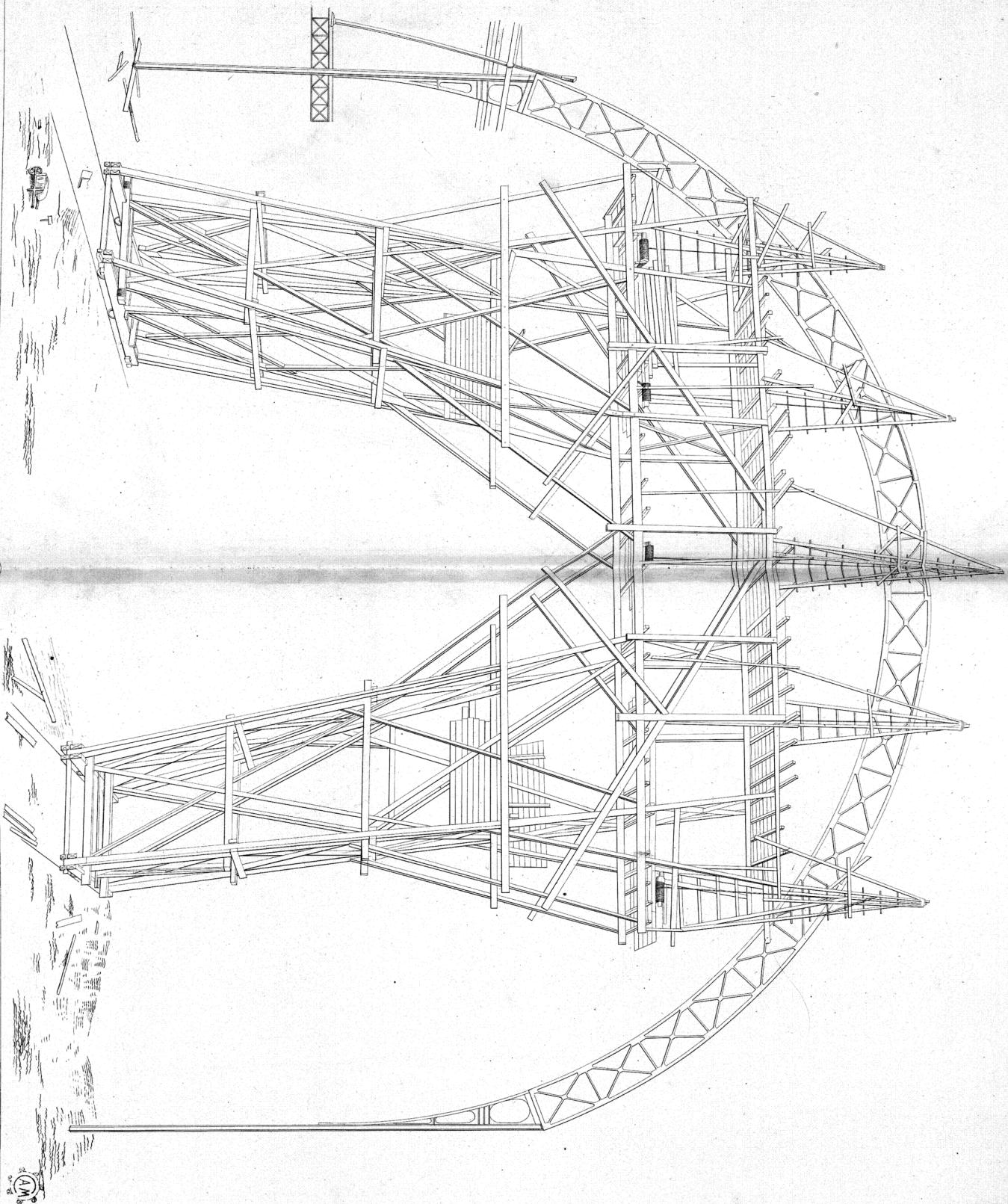
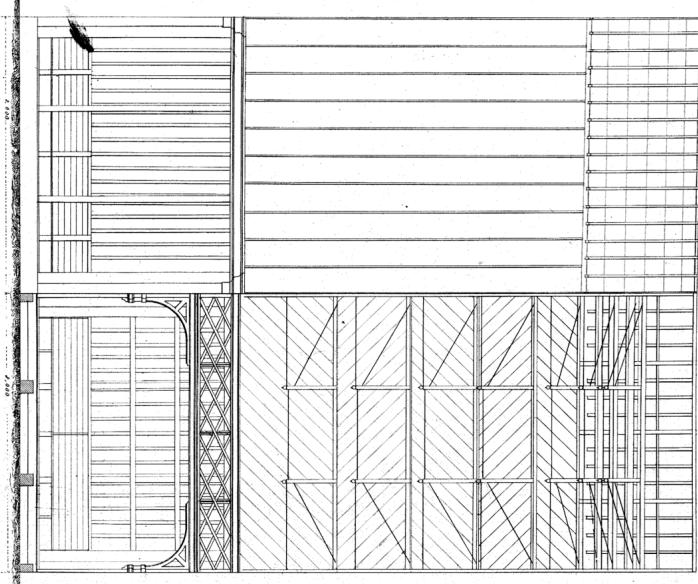
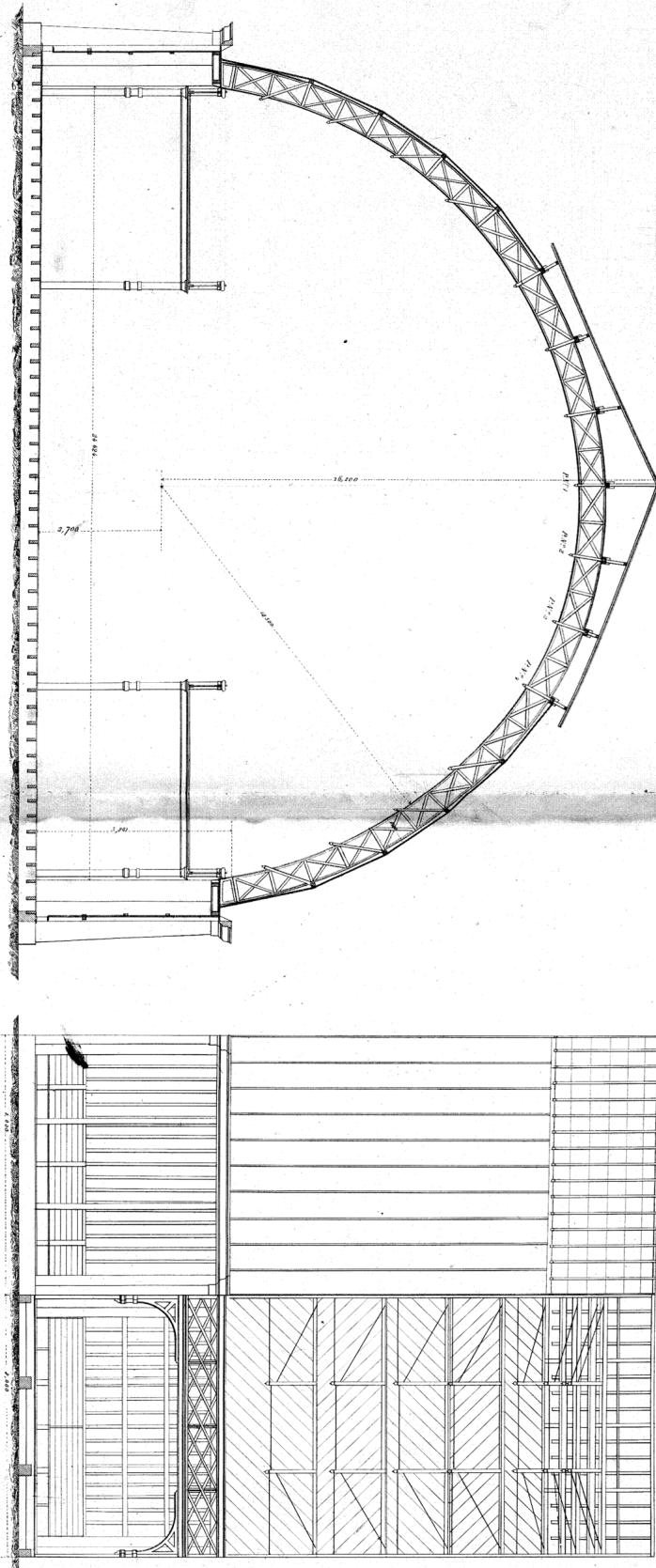


Fig. 4. *Coupe en travers.*

Inocer. Ensemble.

*Elevation longitudinale*

Cope / *longitudinale*



Palais — Pointe de l'île Noire — Contre les murs des pavillons.

Fig. 3. — *l'aire — l'autre de  $\frac{1}{2} - 20$ . 3. 11 — entre les recueilles*

Fig. 2

1

250

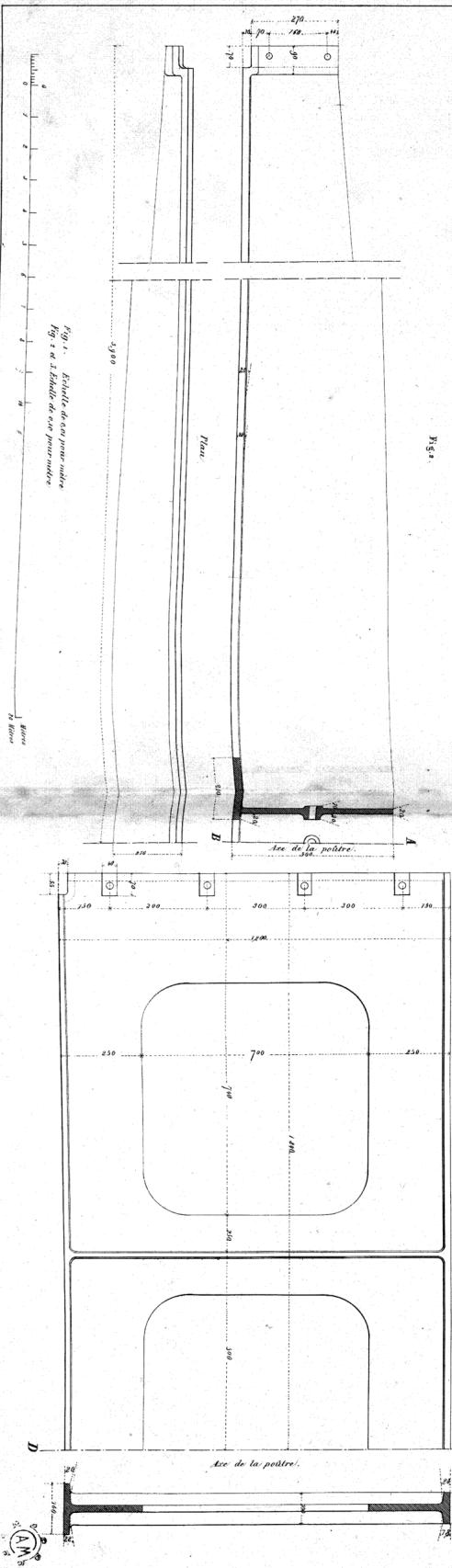
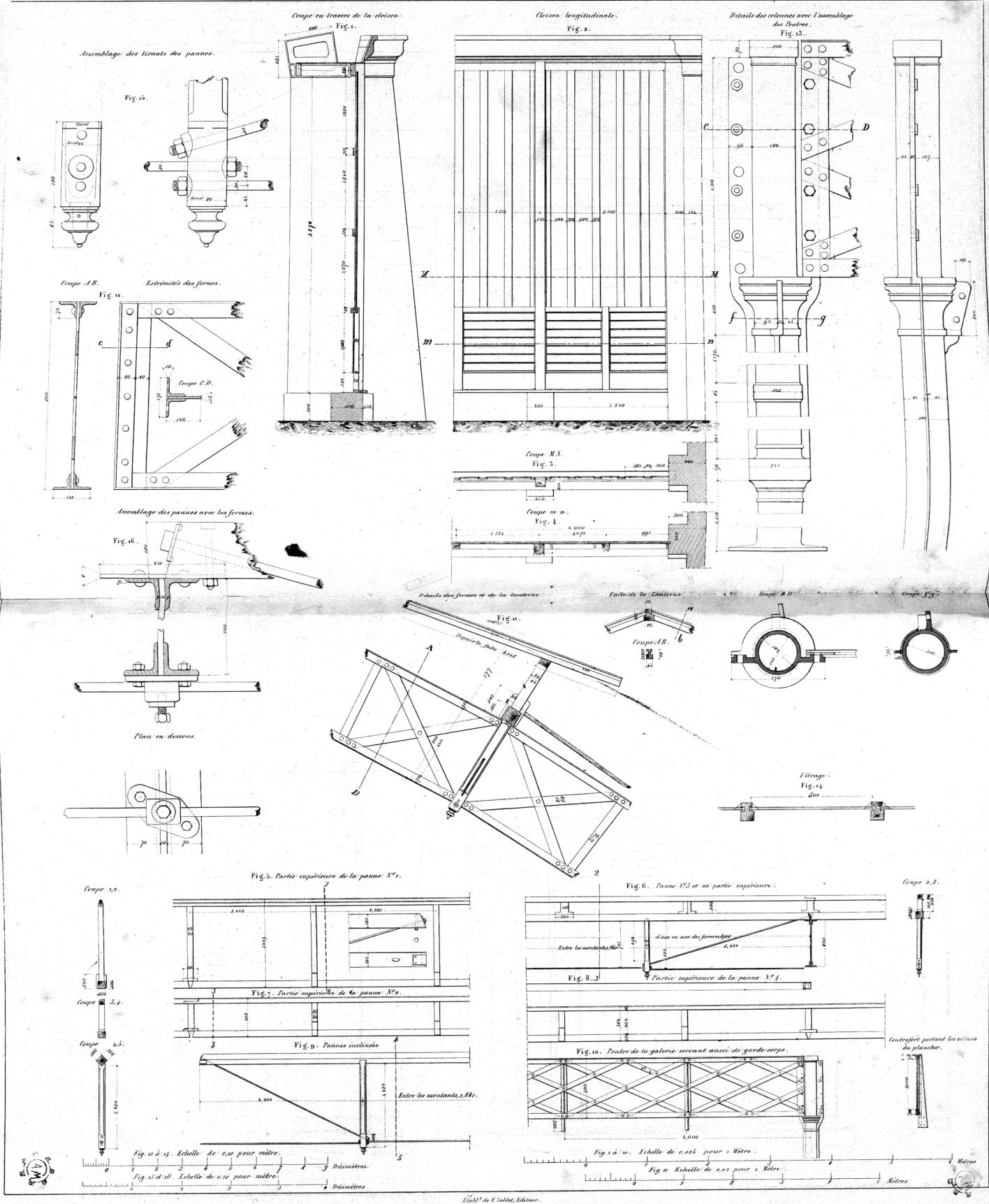


Fig. 1. Echelle de 0,01 pour notre  
Fig. 2 et 3. Echelle de 0,0 pour notre

360

## PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. XXVI.



PALAIS DE L'INDUSTRIE.

PL. XXVII

Section de communication entre la  
salle de la galerie d'exposition.

et la galerie d'exposition.

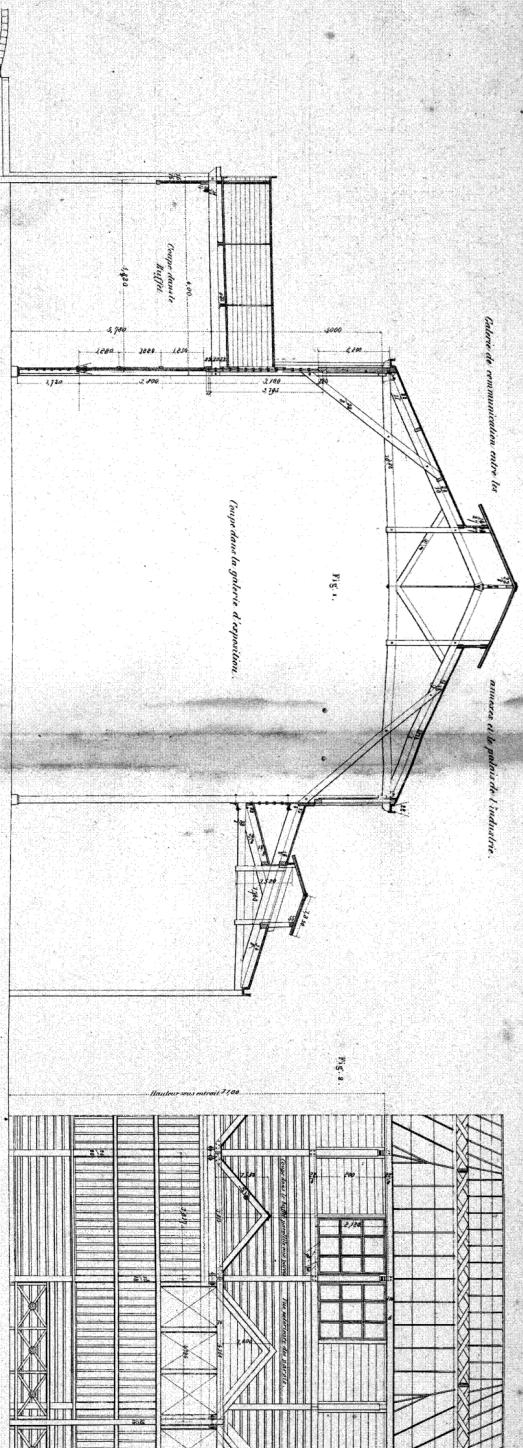
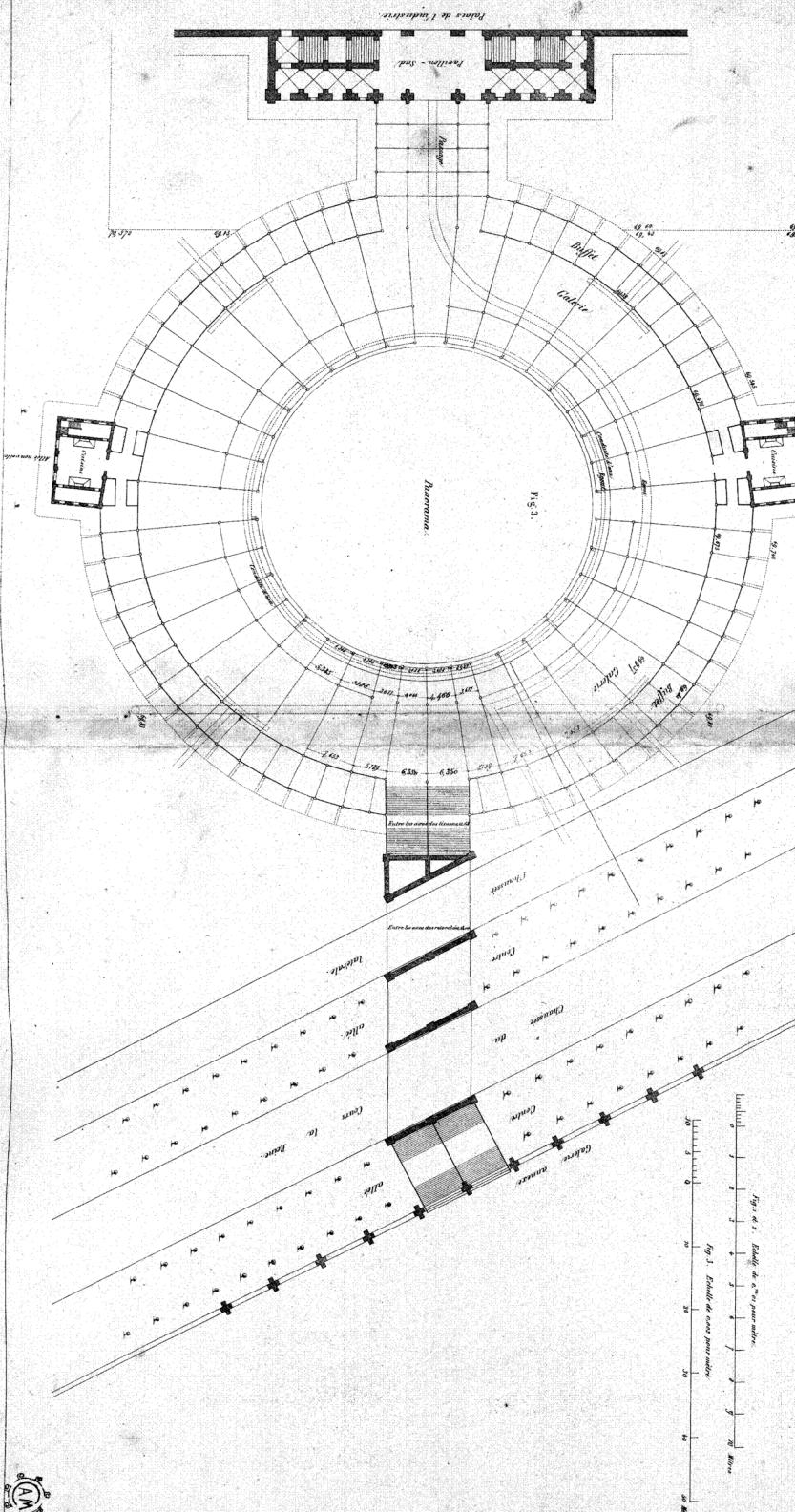
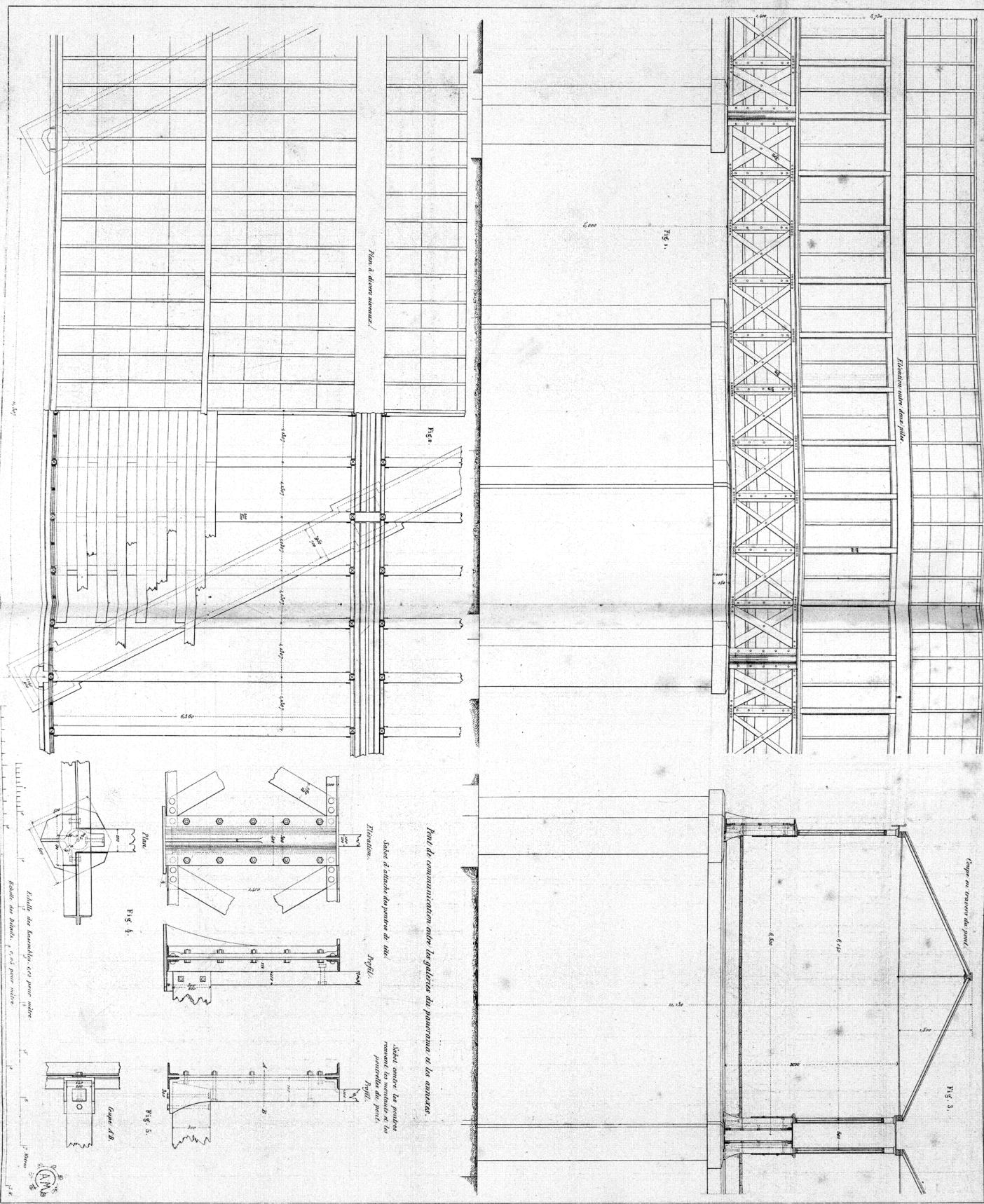


Fig. 1. Profil de la galerie d'exposition.  
Fig. 2. Profil de la salle d'exposition.  
Fig. 3. Plan de la galerie d'exposition.  
Fig. 4. Plan de la salle d'exposition.  
Fig. 5. Plan de la galerie de communication.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires







**Droits réservés au Cnam et à ses partenaires**

**Droits réservés au Cnam et à ses partenaires**

