Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 13/14 (1889)
Heft: 25

Artikel: La tour de 300 mètres à l'exposition universelle de Paris: conférence
Autor: Koechlin, Maurice
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-15636

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: La tour de 300 mètres à l'exposition universelle de Paris. — Réunion à Paris des membres de la société des anciens élèves de l'école polytechnique fédérale de Zurich à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1889. — Miscellanea: Weltausstellung in Paris. Die Pilatusbahn. Der Verein deutscher Ingenieure. Congress für die Nutzbarmachung der Wasserläufe. — Literatur: Der Städtebau nach seinen künstlerischen Grundsätzen. — Necrologie: † Victor Weber. — Vereinsnachrichten. Stellenvermittelung.

Hiezu eine Tafel: Tour de 300 mètres.

La tour de 300 mètres à l'exposition universelle de Paris.

Conférence de *Mr. Maurice Koechlin*, Ingénieur, faite à Paris aux anciens élèves de l'école polytechnique fédérale de Zurich.

(Avec une planche.)

Introduction.

L'idée d'une tour de 300 *m* n'est pas nouvelle; un Anglais Trevithick en 1833 *), plus tard les Américains en 1874 pour l'exposition de Philadelphie, proposèrent l'érection d'une tour de 1000 pieds. Ces projets étaient d'un aspect peu décoratif et à plusieurs autres points de vue ils donnaient prise à la critique; ils furent abandonnés et nous les ignorions complétement quand nous commençâmes nos études de la tour de l'Exposition dont je vais vous entretenir aujourd'hui.

Le monument le plus élevé était l'obélisque de Washington, il a 183 *m* de hauteur.

On entend souvent dans le plublic, et même parmi les Ingénieurs, émettre l'idée qu'une tour de 300 *m* n'est pas plus difficile à construire qu'une tour de 200 *m*; qu'il n'y a pas plus de difficultés à atteindre 400 *m* que 300 *m*. Il n'en est rien, et l'on est vite conduit, quand on passe aux études, à cette certitude: c'est que les difficultés croissent d'une manière tout à fait inattendue à mesure que l'on s'élève.

Pour vous en donner une idée, je vous dirai que sur les 7000 *t* que pèse la tour, 4000 sont absorbées par les 60 *m* inférieurs; en d'autres termes, ces 60 *m* de la partie inférieure pèsent plus que les 240 *m* du haut. On peut juger par là du poids que l'on atteindrait si l'on voulait dépasser 300 *m*.

Il va sans dire que les difficultés et les dépenses augmentent avec les poids.

Quant au choix de la matière, le métal est tout indiqué, sa grande résistance sous un faible poids, le peu de surface qu'il offre au vent, son élasticité, la rapidité avec laquelle on peut le fabriquer et le façonner, lui donne un immense avantage sur la maçonnerie. Des études comparatives que nous avons faites nous ont montré qu'une tour en fer de 300 *m* est d'un prix bien inférieur à celui d'une tour en maçonnerie, et que pour cette dernière les fondations, en raison des charges énormes, deviennent très difficiles à réaliser.

Le monument de Washington qui est aussi simple que peut être une construction en maçonnerie a coûté plus de 7 000 000 de francs.

C'est en juin 1884 que nous avons commencé avec Mr. Emile Nouguier ingénieur, notre collègue à la maison Eiffel, les premières études de la tour et nous dressâmes un avant-projet avec la collaboration de Mr. Sauvestre, architecte, pour la partie décorative. Cet avant-projet fut présenté par Mr. Eiffel qui en prit toute la responsabilité.

Monsieur Lockroy, alors ministre du commerce et de l'industrie, fut saisi par la grandeur du projet et l'attraction qu'il donnerait à l'Exposition, et il imposa la tour de 300 *m* dans le concours qui fut ouvert pour l'exposition universelle de 1889 au mois de mai 1886.

D'autres tours furent alors imaginées par un grand nombre d'ingénieurs et d'architectes, mais elles furent toutes rejetées par la commission spéciale présidée par Mr. Alphand et nommée par le ministre pour l'examen du projet en juin 1886. Ce fut la tour que présentait Mr. Eiffel qui fut adoptée.

Après de nombreuses oppositions et beaucoup de difficultés dont Mr. Eiffel parvint à triompher à force de persévérance et d'énergie, une convention fut signée le 8 janvier 1887 par Mr. Eiffel avec l'Etat et la ville de Paris. Cette convention fixait les conditions dans lesquelles la tour devait être construite.

On se mit aussitôt à l'œuvre avec toute l'activité que nécessitait un travail aussi important et le peu de temps qui restait jusqu'à l'ouverture de l'exposition.

Voici comment on procédait:

Les dessins du projet définitif au nombre de 700 et les calculs étaient faits au *bureau des études* par 10 à 16 ingénieurs et dessinateurs. Ces dessins passaient ensuite au *bureau des détails* où se faisaient les dessins d'atelier et les dessins de montage; 20 dessinateurs y étaient occupés à détailler toutes les pièces au nombre de 18 000 representées sur 4000 dessins.

En même temps un bureau de 5 architectes étudiait la décoration et les aménagements des restaurants.

J'ai dirigé l'établissement du projet, les calculs et les études, secondé par plusieurs ingénieurs parmi lesquels je citerai Mr. Henri Kœchlin qui comme moi est un de vos camarades. Mr. Pluot dirigeait le bureau des détails, MM. Létourneau, Pentecôte et Gagnot l'atelier.

Suivant l'habitude de la maison Eiffel, toutes les pièces étaient exécutées d'après des dessins spéciaux, rien n'était fait sur des épures d'atelier. Les pièces s'assemblaient en tronçons d'un poids maximum de 3000 *k*, puis les tronçons numérotés s'expédiaient au chantier avec des plans de montage sur lesquels figurent tous les numéros des pièces.

Le nombre de trous percés dans les tôles est de 7 000 000 environ. La moyenne d'épaisseur étant de 0,01 *m* les trous placés bout à bout formeraient un tube de 70 *km* de longueur. Les rivets employés dans la construction sont au nombre de 2 500 000 environ.

Le chantier de montage et toutes les installations ont été dirigés par Mr. Nouguier.

Les chefs de chantier ont été Mr. Martin pour les maçonneries, puis Mr. Compagnon pour la partie métallique.

Description d'ensemble.

La description de l'ouvrage comprend:

1° Les fondations et les soubassements.
2° Une charpente métallique en fer formant l'ossature ou la partie résistante de la construction.
3° Des étages ou plateformes avec installations diverses.
4° Des ascenseurs et des escaliers permettant de s'élever aux différents étages.
5° Les machines.
6° La décoration de la construction.
7° Le montage.

La tour est portée sur quatre pieds ou groupes de massifs de fondation entourés de soubassements désignés par piles 1, 2, 3, 4 voir fig. 1 de la planche ci-jointe, la pile 1 étant au Nord, la pile 2 à l'Est, la pile 3 au Midi et la pile 4 à l'Ouest.

Dans sa hauteur la tour est divisée en 3 étages.

A la partie supérieure de chacun des étages se trouve un plancher; les niveaux des planchers sont les suivants:

	au dessus du sol	altitude
Plancher du 1er étage	57,63 *m*	91,13 *m*
2ème étage	115,73	149,23
3ème étage	276,13	309,63

Entre le 2ème plancher et le 3ème se trouve un quatrième plancher désigné par *plancher intermédiaire* et servant au service des ascenseurs, le public n'y accède pas, il passe à ce niveau directement d'une cabine d'ascenseur dans l'autre.

L'ossature métallique ou la partie résistante de la tour se compose essentiellement de quatre montants formant les arêtes d'une pyramide à faces planes jusqu'au premier

*) Voir Vol. VIII. Nr. 13.

étage, et courbe au dessus. Sa section est quadrangulaire, de telle sorte que la tour présente quatre faces identiques.

Chaque montant offre une section carrée dans un plan horizontal, cette section est constante et a 15 *m* de côté jusqu'au premier étage (fig. 1), elle diminue ensuite jusqu'au deuxième étage où elle n'a plus que 10,035 *m* de côté. A partir de ce point le mode de construction change, les faces intérieures disparaissent et l'on n'a plus qu'un grand caisson unique à quatre faces (fig. 2).

Le diagramme (fig. 3) donne toutes les dimensions principales de l'ossature.

Au premier étage les poutres du plancher servent en même temps de ceinture, elles s'opposent à la flexion des montants qui, à cause de leur courbure, tendent à se rapprocher sous l'action des charges.

L'écartement des pieds, d'axe en axe des montants, est de 100 *m*, la largeur extérieure à la base est de 115 *m*. Au premier étage cette même largeur, non compris les galeries, est de 63 *m*, au deuxième de 31,7 *m*, enfin à la partie supérieure de 10 *m* seulement.

Au premier étage sont installés dans les espaces compris entre les montants d'une même face, quatre restaurants; de plus une galerie couverte extérieure portée par des consoles et ayant 270 *m* de développement, fait le tour de la construction.

Tout l'espace compris entre les montants et dans l'intérieur de ceux-ci porte un plancher laissant un grand vide central entouré d'un garde-corps.

La surface totale des planchers, déduction faite des vides pour le passage des ascenseurs, mais en y comprenant la galerie, est de 4010 m^2.

La surface couverte par les galeries et les restaurants est de 2760 m^2. — Le deuxième étage a aussi une galerie extérieure établie de la même manière que celle du premier étage, mais d'un développement moindre (136 *m*). Le plancher s'étend à cet étage sur toute la section de la tour, sans vide central, et donne une surface de 1300 m^2. Sur ce plancher sont établis une boulangerie, une imprimerie du Figaro, des abris fermés et des kiosques divers.

Le troisième étage est complétement couvert et donne avec les consoles extérieures une surface de 270 m^2. Immédiatement au-dessus de cette partie couverte se trouvent installés des laboratoires de physique, puis de grandes poutres portant des poulies d'ascenseurs et enfin la tour se termine par un phare maintenu par de grands arcs. On peut monter au moyen d'échelles intérieures au sommet du phare sur une plateforme de 1,700 *m* de diamètre à la cote de 300 *m* audessus du sol et l'on n'a plus au-dessus de soi que le paratonnerre.

On accède au premier étage par deux escaliers droits et par quatre ascenseurs inclinés; deux des ascenseurs continuent jusqu'au deuxième étage. Entre le premier et le deuxième étage il y a quatre escaliers en hélice, plus étroits que les premiers. Enfin le transport entre le deuxième étage et la troisième plateforme se fait au moyen d'un seul ascenseur avec changement de cabine au milieu du trajet. Un escalier unique interdit au public, relie aussi les deux étages supérieurs.

Toutes les machines servant, soit à faire marcher les ascenseurs, soit à produire l'électricité, sont placées dans les soubassements des piles et principalement dans la pile 3 (Sud), elles se composent essentiellement de générateurs et de pompes qui refoulent l'eau dans des réservoirs situés aux différents étages; des tuyaux partant de ces réservoirs amènent l'eau dans des cylindres à pistons qui font manœuvrer les ascenseurs.

La partie décorative comprend les grands arcs, les galeries du premier et du deuxième étage.

Avant de passer à la description de détails nous allons dire un mot des calculs.

Calculs.

Les calculs de la tour comprennent des calculs de résistance, des calculs de stabilité et des calculs de déformation.

Les éléments entrant dans ces calculs sont: les charges dues au poids propre, les surcharges, les efforts horizontaux dûs au vent, et enfin les changements de température.

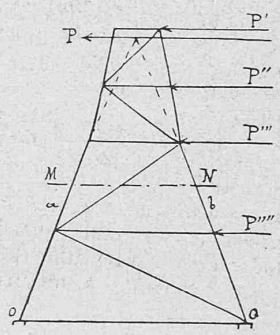
Les efforts que produisent les charges dans la construction sont les suivants:

a) Efforts de compression dans les montants;
b) Efforts de flexion et efforts tranchants dans ces montants, provenant de ce qu'ils ne sont pas verticaux, de ce qu'ils sont courbes et de ce que la ligne de pression n'agit pas dans la fibre moyenne.
c) Efforts de compression dans les ceintures.

C'est l'influence du vent qui a conduit à donner à la construction sa forme courbe; voici comment on y est amené:

Supposons pour un instant que l'on dispose dans les faces un treillis simple formant une paroi résistant aux efforts tranchants du vent dont les composantes horizontales sont.

P', P'', P''', P''''.



On sait que pour calculer les efforts agissant dans les trois pièces coupées par un plan *MN*, il suffit de déterminer la résultante *P* de toutes les forces extérieures agissant au-dessus de la section, et de décomposer cette résultante en trois forces passant par les pièces coupées.

Si la forme du système est telle que, pour chaque coupe horizontale *MN*, les deux arbalétriers prolongés se coupent sur la force extérieure *P*, les efforts dans la barre de treillis seront nuls et l'on pourra supprimer cette barre.

On arrive de cette manière à ce que la direction des montants s'infléchit suivant une courbe donnée par une épure et qui est, à une échelle déterminée, la courbe même des moments fléchissants dûs au vent.

Quelle que soit l'intensité du vent, à la condition qu'il agisse d'une manière constante, on arrivera toujours à la même courbe.

On a fait sur l'intensité du vent deux hypothèses, la première, celle d'un vent de 300 *k* par mètre carré agissant uniformément sur toute la hauteur, la seconde celle d'un vent de 400 *k* au sommet décroissant jusqu'à 200 *k* à la base.

Les deux courbes obtenues diffèrent peu l'une de l'autre, c'est la courbe moyenne entre les deux qui a servi au tracé de la fibre moyenne. Outre ces deux hypothèses on en a fait une série d'autres comme celles d'un vent agissant sur $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ de la hauteur; ces hypothèses donnent des coefficients de travail qui ne dépassent que peu et en un petit nombre de points les coefficients trouvés pour les premières.

L'influence des changements de température ne se fait sentir que dans le sens transversal; suivant la verticale la construction peut se dilater librement; mais dans le sens horizontal la température engendre des poussées qui modifient la répartition des efforts intérieurs.

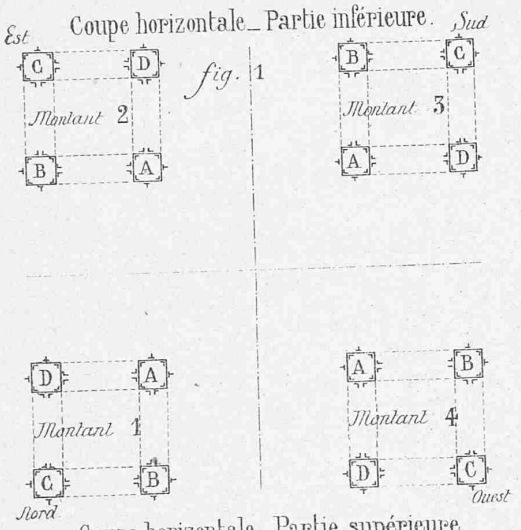
L'influence de la température n'a pas été ajoutée à celle du vent; il est peu probable en effet que les vents les plus violents (400 *k*) qui dépassent de beaucoup tout ce qui a été observé à Paris, coïncident avec un grand écart de température. L'influence de la température est d'ailleurs bien inférieure à celle du vent.

Si l'on compare entre eux les efforts dûs aux charges, au vent et à la température, on voit que pour les arbalétriers le rapport est très variable; dans le haut c'est le vent qui a la plus grande influence, la température n'en a presque point. A mesure que l'on descend l'influence du poids augmente et dans le bas elle dépasse considérablement celle du vent.

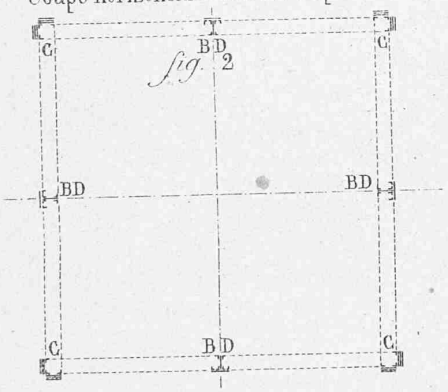
TOUR DE 300 MÈTRES

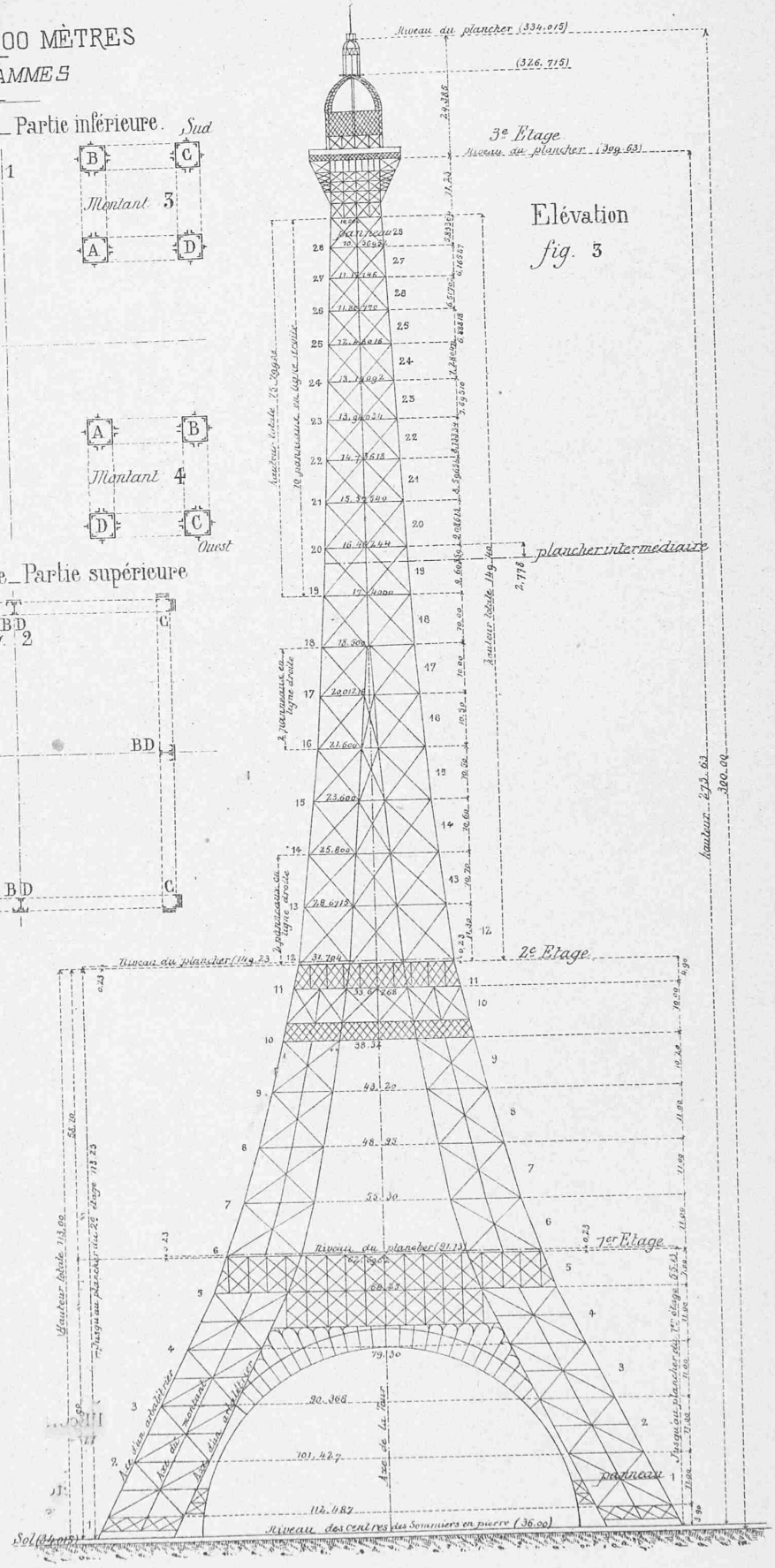
DIAGRAMMES

Coupe horizontale_Partie inférieure.



Coupe horizontale_Partie supérieure





Nota:
Toutes les cotes de largeur sont extérieures.

1:1200

Seite / page

147(3)

leer / vide / blank

La surface présentée au vent par la tour est de 7500 m^2 soit en moyenne 25 m^2 par mètre courant de hauteur.

L'effort horizontal total développé par un vent de 300 k est de 2 250 000 k.

Les surfaces présentées au vent sont déterminées en supposant que le vent agisse horizontalement et dans un plan perpendiculaire à l'une des faces. Toutes les parties pleines ont été comptées entièrement. Dans les parties évidées les surfaces des pièces rencontrées par le vent dans la première face sont comptées entièrement, tandis que dans la seconde face on a retranché du vent la force vive perdue sur la première face ou, ce qui revient au même, les surfaces de la seconde face ont été multipliées par le rapport des vides à la surface totale de la première face.

Quelle que soit la direction du vent dans un plan horizontal on est conduit aux mêmes efforts dans les montants.

La sécurité au renversement est de 2. C'est à dire qu'il faudrait pour renverser la tour un effort double de celui que donne le vent le plus violent admis dans les calculs.

La flèche maxima donnée par le calcul au sommet de la tour pour un vent de 400 k est de 1,03 m, mais il est à remarquer que par une tempête violente donnant 78 k par m^2 (qui s'observe assez rarement) la flèche n'est que de 0,20 m. On ne sent au sommet de la tour aucune oscillation; la lenteur des mouvements, s'il y en a, les rend imperceptibles.

Poids du métal entrant dans la tour.

Désignation.	Ossature	Ascenseurs et Escaliers.	Planchers, Couvertures, Installations diverses.	Totaux.
	k	k	k	k
1° *Au-dessus de la 3me plateforme.*				
Campanile complet.			69000	69000
2° *Entre le plancher intermédiaire et la 3me plateforme.*				
Panneau 29 et plancher.	65000		40000	105000
Panneaux 20 à 28.	336600	80000		416600
3° *Plancher intermédiaire.*				
Panneau 19.	40000		34000	74000
4° *Au-dessus du 2me étage.*				
Panneaux 12 à 18.	647000	61000		708000
5° *Plancher du 2me étage.*				
Plancher et galerie, panneau 11.	167000	116500	434600	718100
6° *Entre le 1er et le 2me étage.*				
Panneaux 6 à 10.	944600	142300		1086900
7° *Plancher du 1er étage.*				
Planchers, galerie, panneau 5.	250000	30000	950000	1230000
8° *Arcs et poutres décoratives.*	790000			790000
9° *Du sol au 1er étage*				
Panneaux 1 à 4.	1428140	397600		1825740
10° *Appuis et amarrages.*	200000			200000
11° *Installations sur le sol.*				
12° Escaliers, Plancher, Soubassements.			210000	210000
Totaux	4868340	827400	1737600	7433340

Ces poids ne comprennent par les installations d'ascenseurs.

Tuyaux, réservoirs, câbles, cabines, etc.
donnant environ . . . . . 350 000 k.

En plus du métal de la construction proprement dite il y a à compter le poids des différents bâtiments, des installations diverses; ces poids se répartissent comme suit:

Au-dessus de la plateforme supérieure	106 200 k
Entre le 2ème et le 3ème étage	80 000
Sur le plancher du 2ème étage	447 800
Entre le 1er et le 2ème étage	64 000
Sur le 1er étage	1 750 000
Du sol au 1er étage	172 000
Total	2 620 000 k

La charge totale sur les appuis est de 7 023 340 + 2 620 000 = 9 643 340 soit 600 000 k par appuis.

Réunion à Paris des membres de la société des anciens élèves de l'école polytechnique fédérale de Zurich à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1889.

C'est au mois de mai 1887, que M. Max Lyon, ingénieur, représentant depuis dix années à Paris la Société des anciens élèves de l'école polytechnique fédérale de Zurich, a pour la première fois entretenu M. le Colonel Bleuler, alors président de la Société, et M. Paur, secrétaire général, de l'opportunité de tenir en 1889 à Paris, à l'occasion de l'Exposition universelle, une assemblée générale; cette proposition a été soumise au conseil de la Société, qui se réunissait peu de temps après à Zurich; elle a été accueillie très favorablement et mise à l'ordre du jour de la prochaine assemblée générale qui devait avoir lieu au mois de septembre à Fribourg; M. Max Lyon est venu assister à cette assemblée générale et y a développé les raisons qui militaient en faveur de la réalisation de son idée. Cependant une difficulté se présentait: on avait déjà résolu depuis quelque temps de ne plus tenir que des réunions bisannuelles, la dernière réunion annuelle devant avoir lieu en juillet 1888 et le roulement devant ensuite se faire de deux en deux années, afin de ne pas coïncider avec les réunions déjà bisannuelles de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes, qui se compose presque des mêmes éléments que la Société des anciens élèves de l'école polytechnique. Il fut alors proposé à l'assemblée générale de Fribourg de tourner la difficulté en faisant de la réunion de Paris une simple réunion amicale.

Un vote dans ce sens fut soumis l'année suivante à l'assemblée générale de Zurich qui était très nombreuse; M. Max Lyon s'y rendit de nouveau, afin d'appuyer le vote définitif de ses propositions; elles n'avaient cependant point besoin d'appui: le coeur de chacun leur avait déjà donné cette approbation tacite qui signifie unanimité; ce caractère de réunion amicale a prévalu depuis lors jusqu'au jour où la séparation a eu lieu à Paris, et où les collègues se sont envoyé le salut: au revoir.

M. Max Lyon comme président et les membres du Comité de Paris composé pour la circonstance de M. M. Benker, Al. Schmid, Rechniewski, René Koechlin, Tachard et de Loenen-Martinet ont élaboré un programme des plus attrayantes; il fut approuvé sans réserve par M. Naville, président de la Société à Zurich et par tout le Comité dirigeant la Société.

M. le Dr. Lardy, Ministre de la Confédération Suisse à Paris et tout le personnel de la légation voulurent bien apporter à la réunion le concours de leur haute protection, et contribuèrent largement à faciliter les démarches auprès des autorités et des compagnies de chemin de fer.

Les Compagnies de Paris Lyon Méditerrannée, du Nord, de l'Est et de l'Ouest voulurent bien accorder des facilités spéciales aux prix les plus réduits aux ingénieurs qui devaient se rendre à la réunion à Paris.

M. le Dr. Lardy accepta le titre et les fonctions de président d'honneur du banquet, tâche qu'il accomplit avec la meilleure bonne volonté et la meilleure grâce du monde.

Plus de deux cent cinquante Ingénieurs, Architectes, Chimistes, Forestiers, Sculpteurs, Agriculteurs etc. avaient envoyé leur adhésion pour assister à la réunion, et plus de deux cent purent effectivement s'y rendre. L'arrivée à Paris