

Zeitschrift:	Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band:	15 (1889)
Heft:	7 & 8
Artikel:	Grandes fernes du palais des machines de l'Exposition universelle de Paris
Autor:	Koechlin, R.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-15049

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: 10.01.2026

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

plate-forme qui avait servi à monter ce pylône central. Puis à l'extrémité de cette membrure on a installé un chariot mobile ou porte à faux U (fig. 11) sur lequel se trouvent deux grues, l'une à vapeur, l'autre hydraulique, servant au montage des différentes parties de l'ossature de la partie supérieure de la poutre H (fig. 11). Une plate forme suspendue à ce chariot servait aux ouvriers et garait contre la chute d'objets sur les chantiers inférieurs. Ce chariot mobile était avancé au fur et à mesure du montage de la membrure supérieure. Les diagonales étaient, pendant le montage, maintenues temporairement par des supports pour éviter le flambage. Le support temporaire K (fig. 10) formé des treillis destinés à constituer plus tard les pieds du pont supportant la voie, a été élevé jusqu'à la membrure supérieure afin de la soutenir avant son assemblage avec le premier brac c'est-à-dire avant qu'on eût ainsi constitué un nœud indéformable.

La partie centrale ou médiane reliant les deux consoles (cantilever) a également été montée en porte à faux en s'appuyant sur l'extrémité des consoles, l'extrémité de ces pièces étant soutenue par des câbles (haubans) arrimés sur la membrure supérieure. La jonction de ces pièces montées en deux parties s'est faite par le milieu.

Une machine à vapeur J (fig. 10) placée dans l'axe des pylônes et en bas, actionnait un treuil au moyen duquel, avec des câbles en fils d'acier, on montait les différentes pièces métalliques.

Quant à l'avancement des travaux, à la fin de septembre, la dernière travée-jonction de 106 m. entre les deux consoles du côté sud (Quennsferry) était en voie de montage et très avancée. Ce montage a été terminé dans le courant d'octobre et le pont ne doit pas tarder à être terminé et parcouru par les trains.

GRANDES FERMES DU PALAIS DES MACHINES

DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE PARIS

par R. KÖEHLIN, ingénieur.

(Planche N° 34.)

Le projet des fermes de 115 m. du Palais des Machines est dû à M. Contamin, ingénieur en chef, pour l'établissement des dimensions et des calculs, et à M. Dutert, architecte, pour la partie décorative. Ce projet a été présenté en septembre 1886 à la direction des travaux de l'exposition, qui l'accepta en le modifiant légèrement. En mars 1887 on procéda à une première adjudication en deux lots de la construction métallique de la nef centrale du Palais des Machines, chacun de ces lots comprenant la moitié de ce grand travail. La plus grande partie de la construction devait être en acier. La somme totale prévue était de 2754000 francs, le fer et l'acier de la construction proprement dite étant comptés à raison de 41 c. le kg., le fer des arcs verticaux à treillis, des parois latérales, des tympans et des planchers à 30 c. le kg. Cette adjudication n'ayant pas donné de résultat satisfaisant, on procéda au mois d'avril 1887 à une seconde adjudication, mais cette fois pour des fermes en fer. La somme totale prévue pour les deux lots était de 3227140 francs, le fer étant compté à 45 c. le kg. pour la construction proprement dite des fermes et à 38 c. pour les arcs verticaux, les parois latérales, les tympans et les plan-

chers. Le premier des deux lots fut adjugé à la Compagnie de Fives-Lille moyennant un rabais de fr. 0,20 %, le second à la Société des anciens établissements Cail, moyennant un rabais de fr. 0,10 %.

Nous donnons ici (fig. 1) une vue perspective de la Galerie des Machines. Nous ne parlerons pas des galeries adjacentes qui ne présentent qu'un faible intérêt et nous nous contenterons de donner quelques détails complémentaires sur la construction et le montage de la nef centrale.

Tracé de l'arc (fig. 2 de la planche 34). L'arc à trois rotules du Palais des Machines a la forme d'une ogive surbaissée. Sa portée d'axe en axe est de 110^m60, la hauteur du tourillon supérieur au-dessus du sol est de 44^m99. La courbe de l'intrados se compose d'abord d'une partie droite verticale, puis d'un arc de cercle de 22^m679 de rayon, d'un arc de cercle de raccord de 186^m836 enfin d'une partie droite jusqu'au sommet. L'extrados a une forme analogue à celle de l'intrados. Le premier cercle a le même centre et 26^m379 de rayon, le cercle de raccord a 222^m799 de rayon et n'a pas le même centre que celui de l'intrados, de façon à faire varier la hauteur de poutre de l'arc de 3^m70 à la naissance, à 3 m. au sommet.

L'arc est divisé en grands et petits panneaux se succédant alternativement. Cette disposition, tout en rompant la monotonie qu'aurait un arc à panneaux égaux, permet de placer les pannes, qui sont dans des plans verticaux, au droit des croisillons des petits panneaux. La division en panneaux est faite de façon à maintenir le même écartement de 10^m59 entre deux pannes consécutives. Les montants concourent tous au centre de courbure de la portion de l'arc dans laquelle ils se trouvent. L'espacement d'axe en axe des fermes est de 21^m50.

Sections des éléments de l'arc (fig. 3). Les membrures de l'arc se composent chacune de 2 âmes de 450 × 9 laissant entre elles un vide de 400 mm. Ces deux âmes sont reliées entre elles par une semelle de 750 × 7 et 4 cornières de 100 × 100 × 10. Cette section courante est renforcée entre la panne 4 et la naissance de l'arc par plusieurs semelles. A l'endroit le plus fatigué de l'intrados, là où vient se raccorder le tympan, les semelles sont au nombre de 6, la semelle courante de 750 × 7, 4 semelles de 750 × 8, enfin une semelle de 750 × 10 qui ne règne que sur une longueur de 9^m30. L'extrados présente les mêmes sections, mais la sixième semelle est remplacée par les cornières d'attache du tympan, qui n'a pas été pris en considération dans les calculs de l'arc.

Les montants, qui viennent se fixer entre les deux âmes des membrures, se composent d'une âme de 382 × 7 et de 4 cornières de 80 × 60 × 7. Cette section est renforcée, à partir de la panne 5 par deux semelles de 200 × 10. Les croisillons ont une section analogue aux montants. Au croisement de 2 croisillons, la barre comprimée est coupée pour laisser passer la barre tendue. L'assemblage se fait au moyen de deux couvre-joints et de 4 fers plats pliés en équerre à l'angle voulu.

Panneau supérieur et panneau inférieur (fig. 4 et 5). Le panneau supérieur qui vient s'appuyer sur le tourillon de 35 cm. de diamètre, présente la disposition indiquée dans la figure 4. La poussée horizontale agissant sur ce tourillon est de 74950 kg. au cas ordinaire, de 114300 kg. dans le cas d'une surcharge de neige et de 119840 kg. dans le cas d'un vent d'une vitesse de 40 m. par seconde. Cette poussée est

transmise au panneau voisin par deux contrefiches en fer I composé, sur lesquels viennent s'attacher une série de fers plats supplémentaires. Sur ces âmes sont fixées au moyen de 6 boulons de 25 mm. les collarlettes en fonte sur lesquelles s'appuie le tourillon supérieur.

Le panneau inférieur est également plein et renforcé par plusieurs fourrures. De fortes cornières relient ces fourrures à la semelle inférieure de 200×12 qui repose sur le coussinet supérieur de la rotule auquel elle est fixée par 4 boulons de 50 mm. Le coussinet inférieur repose sur une plaque en fonte qui l'emboîte légèrement, cette plaque est fixée à la maçonnerie par plusieurs gros boulons d'ancrage. Le tourillon en acier sur lequel repose toute la construction a un diamètre de 590 mm. et une longueur de 1^m25. La charge maximum verticale, qu'il supporte est de 412 tonnes, la poussée horizontale de 114 tonnes.

Il y a trois lignes de longerons par travée. Ce sont des poutres pleines de 400 mm. de hauteur, formées par une âme et quatre cornières. Elles sont assemblées aux pannes sur toute leur hauteur au moyen d'oreilles, qui servent en même temps à entretoiser les pannes, ainsi que l'indique la coupe fig. 6.

Les pannes secondaires qui portent les fers à vitrage sont également des poutres en I de 150 mm. de hauteur constituées par une âme et quatre cornières.

Les fermes sont entretoisées à leur partie inférieure par des arcs latéraux et de grandes poutres en treillis portant le plancher des galeries latérales.

Le contreventement des fermes, qui se trouve dans neuf travées seulement, est formé par des croix en fer rond.

Fondations. L'emplacement au Champ de Mars qu'occupe le Palais des Machines eût été excellent au point de vue des fondations, si le sol n'en avait pas déjà été remué en diffé-

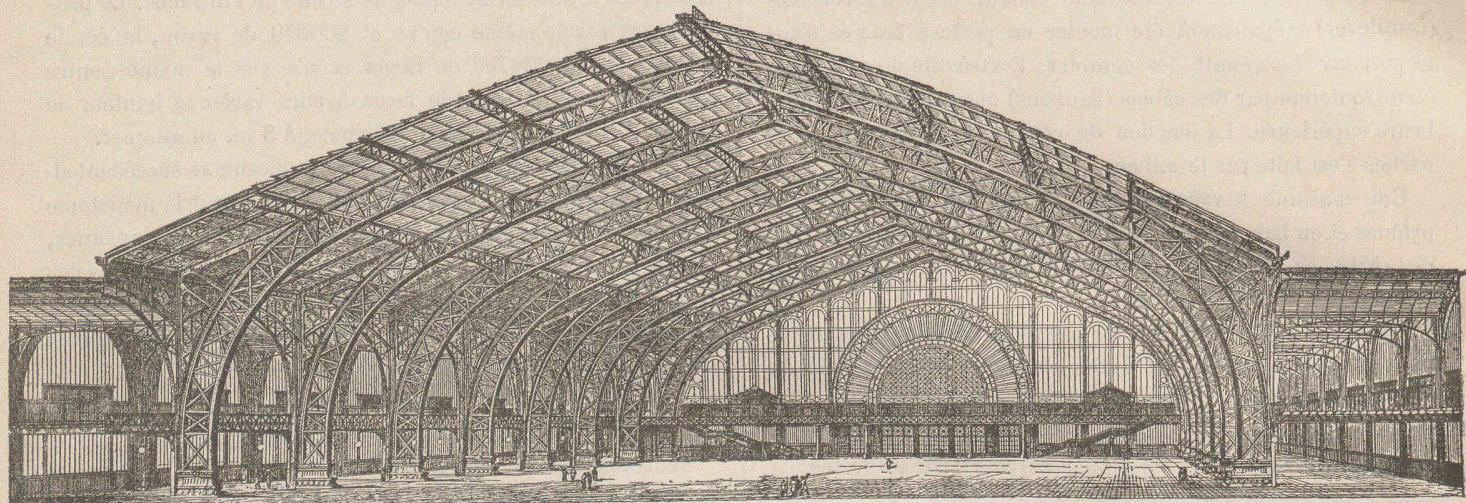


Fig. 1.

Couverture. Les fermes du Palais des Machines dépassant les proportions ordinaires, on a dû faire un double système de pannes. Les pannes principales, au nombre de 12 par travée, portent 3 lignes de longerons, qui servent en même temps à l'entretoisement. Sur ces longerons reposent les pannes secondaires qui portent elles-mêmes les fers à vitrage.

Les pannes principales, ainsi que nous l'avons dit plus haut, sont toutes dans des plans verticaux, ce qui était indispensable pour une aussi grande portée. Ce sont des poutres à treillis de 21^m50 de longueur et de 1^m80 de hauteur au milieu (fig. 6). Par suite de considérations d'architecture, leur hauteur va en augmentant vers les appuis. Cette disposition permet d'attacher la panne sur toute la hauteur de la ferme, qui est ainsi bien entretoisée. Les intersections des plans des pannes avec la ferme ayant des hauteurs variables, on a, afin de simplifier la construction, conservé les mêmes dimensions de B à B' pour toutes les pannes; la courbe de jonction A B seule varie. Le joint avec l'arc a été fait de façon à permettre un léger jeu pour la dilatation. Les pannes ont été calculées comme des poutres reposant librement sur les deux appuis.

Seule la panne portant le chénau diffère des autres. C'est une poutre pleine avec âme de 1050×8 , quatre cornières de $70 \times 70 \times 7$ et deux semelles de 300×9 . L'âme est raidie par des montants servant d'attache aux longerons ou chevrons.

rents endroits lors des expositions et fêtes qui y furent données.

On trouve en effet à une faible profondeur un banc de graviers de 5 à 7 m. d'épaisseur, qui forme une base de fondation excellente; malheureusement cette couche est en bien des endroits remplacée par du remblais. Au-dessous de ce banc de graviers se trouve une couche d'argile de 7 m., puis une couche de sable quartzeux de 1^m50, enfin des couches d'argile plastique et de marne.

Suivant l'épaisseur du banc de graviers, les fondations ont été faites de trois types différents. Partout, où la couche d'alluvion a plus de 3 m. d'épaisseur, la fondation se compose d'un massif rectangulaire de maçonnerie de 7 m. de long, 3^m 50 de large et 3^m70 de haut, qui repose lui-même sur une assise de béton de 50 cm. à 80 cm. d'épaisseur débordant de 25 cm. au pourtour. On obtient de cette façon une pression de 3 kg. par cm²; 25 piles sur 40 sont ainsi construites. Lorsque l'épaisseur des graviers est de 1^m50 à 3 m. on a augmenté l'importance de la couche de béton, jusqu'à 1^m35 en intercalant un massif intermédiaire de maçonnerie, de façon à ne pas dépasser une pression de 2 kg. par cm². 5 piles sont ainsi construites.

Là où la couche de graviers faisait défaut ou n'avait que peu d'importance, on a fait reposer le massif de béton, sur 28 pieux, de 33 cm. de diamètre battus en quinconce sur 5 rangs jusque

Exposition universelle de Paris

Les grandes fermes du Palais des Machines

Fig. 2 Tracé de l'arc

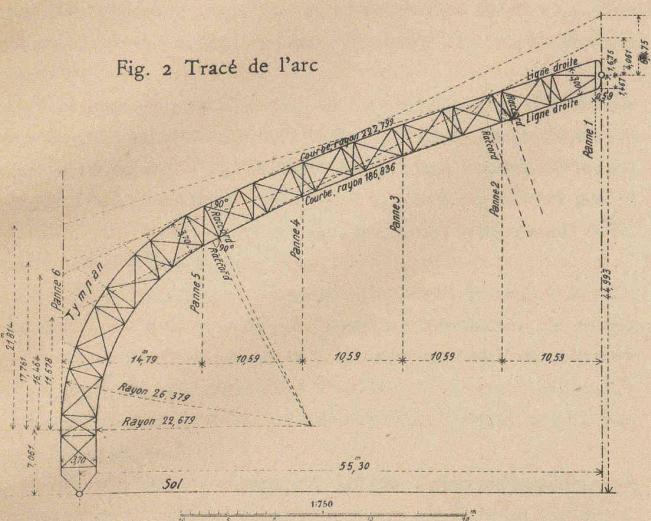


Fig. 3 Détails des panneaux d'arc

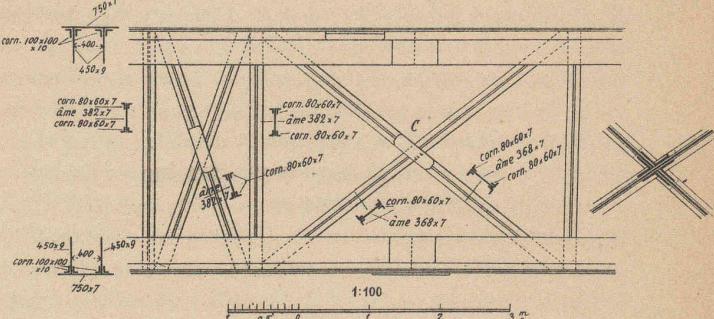


Fig. 6 Panne principale

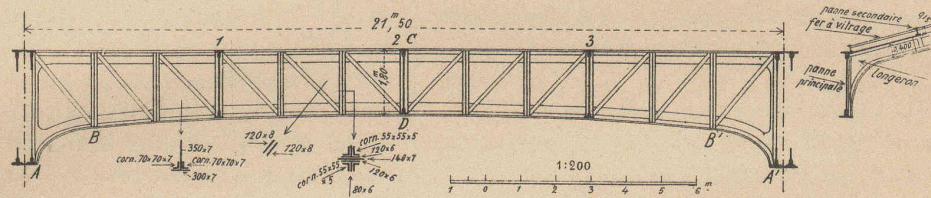


Fig. 7 Montage (Système Fives - Lille)

Fig. 4 Détail du panneau supérieur

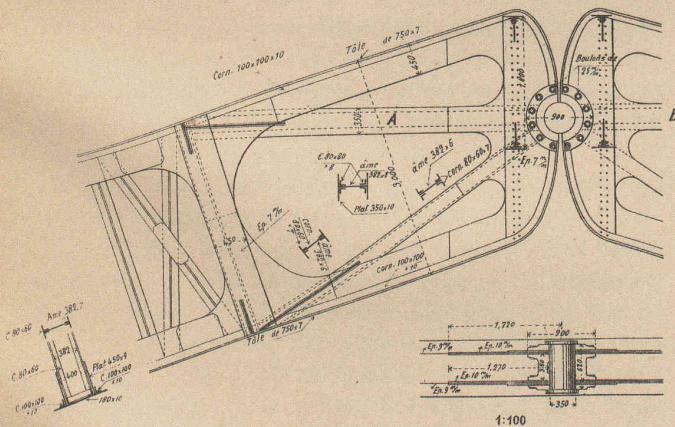


Fig. 5 Détail du panneau inférieur

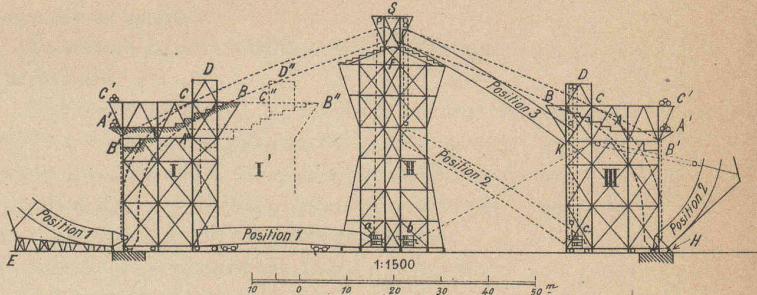
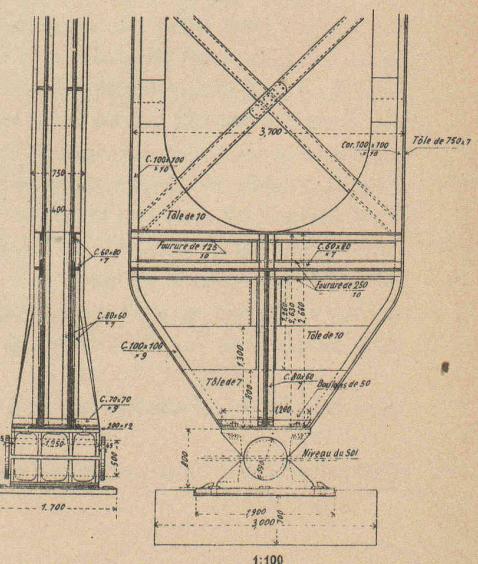
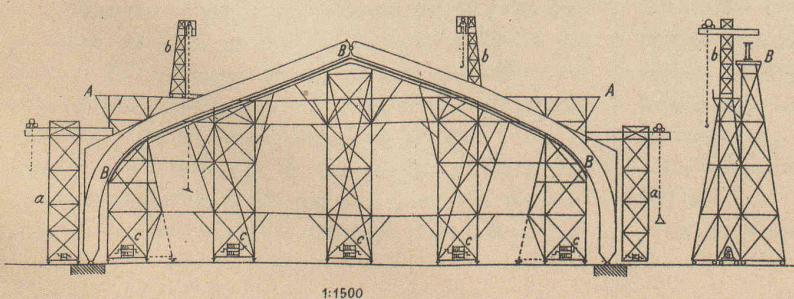


Fig. 8 Montage (Système Cail)



Seite / page

leer / vide /
blank

sur la couche de sable quartzeux. Dix piles sont ainsi construites.

Montage. Le montage des grandes fermes a été exécuté par les deux adjudicataires d'une façon totalement différente. Nous allons donner une description sommaire des deux systèmes employés.

Système Fives-Lille. (fig. 7). La Compagnie de Fives-Lille a assemblé et rivé sur le chantier de montage la ferme en quatre tronçons : les deux pieds droits pesant chacun 48 tonnes et les deux arbalétriers adjacents à la rotule supérieure pesant chacun 38 tonnes. Pour le levage de ces tronçons on s'est servi des échafaudages suivants :

1^o Un pylône central II situé entre deux fermes et ayant à l'avant de la dernière ferme posée un contrefort S. Ce pylône porte également un plancher à gradins qui suit la courbure des fermes. Il est monté sur 18 galets de 80 cm. de diamètre roulant sur deux réseaux de rails suivant le grand axe du Palais des Machines.

2^o Deux pylônes latéraux I et III tout à fait semblables. Ces pylônes se composent de trois parties absolument distinctes. La partie avec le plancher à gradins B B' suivant à peu près l'arc est située entre deux fermes. La partie A A' est en arrière de la travée qu'on monte. Enfin la partie D C C' est située en avant de la dernière ferme posée. Pour passer d'une travée à la suivante, on dégage d'abord l'échafaudage en le faisant rouler parallèlement au plan des fermes jusqu'à la position I' indiquée en pointillé dans la figure ; puis on la fait mouvoir perpendiculairement et parallèlement au grand axe du bâtiment jusqu'au droit de la prochaine travée où on le fait rentrer dans la position I.

A cet effet la base du pylône est munie de 50 galets de 80 cm. de diamètre dont 28 pour le mouvement parallèle à la ferme et 22 pour le mouvement perpendiculaire. Ces galets roulent sur 3 réseaux de rails, dont 2 transversaux et 1 longitudinal. Tous ces échafaudages sont mis en mouvement par des treuils placés à leur base tirant sur un câble dont l'autre extrémité est fixée au sol.

Il fallait environ une journée et demi pour faire passer l'ensemble des échafaudages d'une travée à une autre.

Les 3 pylônes étant dans la position indiquée sur la figure, on procède au montage de la façon suivante : L'arbalétrier, dont les pièces ont été rivées et assemblées en E au droit de la ferme, et amené sur de petits wagonnets par une voie transversale dans la position 1. tandis que le pied-droit, qui a été assemblé un peu en dehors de l'alignement de la ferme afin de laisser le passage pour l'arbalétrier, est ripé au droit de la ferme dans la position 1. On procède alors au levage du pied-droit, qu'on fait basculer autour d'un axe auxiliaire H jusqu'à ce que le coussinet du pied de la ferme vienne emboîter le tourillon définitif, qui a été monté d'avance. Pour cette opération on se sert d'un treuil b agissant sur un palan dont une extrémité est fixée au haut du pied-droit, l'autre sur l'échafaudage III. Un second treuil, qui n'est pas indiqué sur le dessin, agissant également sur un palan, vient aider le treuil b pendant le levage, qui dure environ trois heures.

Le levage des arbalétriers se fait au moyen des treuils a et c actionnant chacun un palan situé à l'extrémité du tronçon, ainsi que le montre la figure. On monte l'arbalétrier dans

une position un peu plus inclinée que celle qu'il occupera définitivement jusqu'à ce qu'il soit arrivé dans la position 3. A ce moment on arrête le treuil a et on continue le levage avec le treuil c. L'extrémité K de l'arbalétrier continuant à se mouvoir sur une verticale, la tête de l'arbalétrier se rapproche de son tourillon jusqu'à ce qu'elle vienne l'emboîter. Pour faciliter ce mouvement on se sert d'un petit palan situé en S et mû par un treuil en F, qui n'est pas indiqué sur le dessin.

Les pièces servant à l'assemblage de l'arbalétrier et de son pied-droit sont montés par le treuil C' roulant sur le plancher C C'. Elles sont rivées sur le plancher en gradins B B'.

Le montage des pannes s'effectue d'une manière très ingénieuse. La première a été montée sans difficulté sur le plancher à gradins du pylône II. Il en est de même des pannes 5 et 6 montés sur le plancher B B'. Pour les pannes 2, 3 et 4, situées entre les deux échafaudages, on a procédé de la manière suivante. Ces trois pannes avec leurs longerons ont été amenées sur le plancher en gradins B B' par les grues roulantes C, et B'. Là ces deux travées de pannes et longerons ont été assemblées et tout ce système a été pourvu de galets fixés par une oreille en tôle aux extrémités des pannes et roulant sur l'extrados de l'arc. On a ensuite amené tout cet ensemble dans la position qu'il devait occuper, en le tirant par des câbles venant s'enrouler sur deux treuils placés au sommet du pylône central en S.

Le temps nécessaire pour monter une travée complète a été en moyenne de 10 jours. Sur les 32 000 rivures pour une ferme sans accessoires, 19 600 ont été faites aux ateliers, 10 300 sur le sol du chantier et 2 100 seulement sur les échafaudages. Il y a eu en moyenne 250 ouvriers employés sur le chantier de montage.

Le volume de bois total des trois échafaudages I, II, III est de 900 m³.

Système Cail. (fig. 8). La Société des anciens établissements Cail a procédé pour le montage des grandes fermes d'une façon absolument différente. On amenait de l'atelier les pièces constituant les fermes par petits tronçons n'excédant pas 3 tonnes, qui étaient assemblées sur l'échafaudage même.

Pour le montage des pieds-droits on se servait des deux grues roulantes a a, qui déposaient les pièces sur un échafaudage très simple entourant le pied-droit. Sur cet échafaudage qui n'est pas indiqué sur le dessin, on établissait des planchers pour le rivetage. Le montage s'est effectué ainsi jusqu'au tympan. A partir de là, l'assemblage des petits tronçons a eu lieu sur un plancher qui suit l'intrados de la ferme. Ce plancher est soutenu par 5 grands pylônes reposant chacun sur 12 galets de 60 cm. de diamètre. Ces galets roulent sur des rails placés parallèlement à l'axe du bâtiment. Les cinq pylônes sont reliés entre eux par plusieurs séries de moises horizontales. Ils portent, outre le plancher soutenant la ferme ; un plancher horizontal situé à l'avant de la dernière ferme posée et sur lequel roulent deux grues b b qui servent au montage des pièces. On déplace les échafaudages comme ceux de Fives-Lille par des treuils situés à la base de chaque pylône et tirant sur un câble fixé au sol.

Le volume de bois total des échafaudages est d'environ 700 m³.

Le levage des pannes a lieu au moyen de deux treuils placés

sur le sol. La corde de chaque treuil s'enroule autour d'une poulie fixée sur l'arc, un peu au-dessus du point que doit occuper la panne. L'extrémité de chaque corde est attachée à l'extrémité de la panne. Afin d'empêcher celle-ci de flamber pendant le montage, on l'a raidie par des pièces de bois. Le montage des longerons se fait d'une manière analogue.

Sur les 32 000 rivures que nécessite une ferme seule, 4000 seulement étaient faites aux ateliers, 8000 sur le sol et 20 000 sur les échafaudages. La moyenne des ouvriers était de 215. Il fallait environ dix jours pour monter une travée.

(*Schweizerische Bauzeitung.*)

LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

Le principe de la *conservation de l'énergie* est fort mal dénommé. Ce terme provient d'Angleterre, où le mot d'*énergie* a peut-être une acceptation qui permette de l'employer ainsi.

Traduit en français, où le mot *énergie* a surtout une acceptation animale et humaine, le terme de *conservation de l'énergie* cache une pétition de principe et s'enveloppe d'un brouillard.

L'énergie humaine, en effet, prend sa source dans les différences chimiques et physiques dont l'effacement dégage une force. Ces différences ne se conservent donc pas ; leurs transformations s'accompagnent toujours d'une perte irrémédiable.

Si donc la quantité motrice reste constante, d'autre part le mouvement s'uniformise au moins sous la forme de calorique et les accélérations disponibles diminuent chaque jour.

Lorsqu'on remonte à l'origine des accélérations on trouve leur source dans les longueurs qui séparent des matières susceptibles de se rapprocher.

De là proviennent deux thèses présentées par M. Pellis dans la *Philosophie de la mécanique*, thèses qu'on peut résumer comme suit :

1^o. En remontant à l'origine des mouvements, on finit par rencontrer une abstraction, comme il arrive toujours en pareil cas à l'esprit humain. Cette abstraction prend ici la forme d'une surface dont M. Pellis écrit la formule algébrique et qu'il nomme *influx métrique*.

2^o. Cet influx métrique se transforme incessamment en calorique dans la nature, et une partie de ce calorique s'uniformise sans cesse.

Au principe si mal nommé de la conservation de l'énergie, il convient donc d'adoindre, pour le rectifier, un principe nouveau : celui de la *dissolution incessante et irréparable de l'influx métrique en calorique uniformisé dans l'espace*.

P.

BIBLIOGRAPHIE

NOTES SUR LA RAIDEUR DES CORDAGES, par *L. de Longraire*, ingénieur-civil.

Les câbles sont employés toujours plus fréquemment dans les installations des mines, des chemins de fer funiculaires, des transmissions télédynamiques et comme câbles aériens. L'étude de l'une ou l'autre de ces applications oblige ordinairement l'ingénieur à évaluer les résistances passives du système. Celles-ci ne sont guère connues que d'une manière

approximative et l'on doit applaudir aux efforts qui tendent à apporter plus de précision et de rigueur dans certaines formules.

A ce titre, les notes que M. de Longraire a présentées en octobre 1889 à la Société des ingénieurs civils de France ont un grand intérêt.

L'auteur relate l'histoire des recherches faites par divers savants sur la raideur des câbles et notamment les expériences de Coulomb et de Weissbach, puis il soumet à un examen critique les diverses formules empiriques auxquelles ces expériences ont servi de base.

Cette discussion, d'une logique serrée, appuyée par des déductions tirées de la théorie de l'élasticité, aboutit à rejeter les formules de Redtenbacher, de Weissbach, de Grashof et d'Eitelwein. M. de Longraire propose enfin diverses formules que nous donnons ci-dessous. Celle relative aux cordes de chanvre est déduite des expériences de Coulomb. Ses résultats diffèrent peu de ceux que donnent les formules de Morin, mais elle a le mérite d'être plus simple sans être moins fidèle.

Pour les câbles métalliques, l'auteur a utilisé les remarquables expériences faites par M. l'ingénieur Murgue, en 1887, et qui ont porté sur des câbles de fabrication moderne. (Voir *Annales des ponts et chaussées*, second semestre de 1887.)

Avant de donner les résultats, il est nécessaire de préciser ce qu'on entend par raideur d'un câble. L'auteur la définit comme suit d'après M. Résal.

Lorsque sur une poulie mobile autour de son axe, ou sur un cylindre roulant sur un plan, passe une corde sollicitée respectivement à ses deux brins extrêmes par une résistance T et une puissance T' , l'expérience prouve que, soit pendant le mouvement uniforme, soit à l'instant où le mouvement est sur le point de naître, la puissance T' est supérieure à T d'une quantité qui excède le frottement du tourillon de la poulie sur les coussinets ou la résistance au roulement du cylindre.

Cette différence, quelle que soit l'explication qu'on lui donne, s'appelle la *raideur de la corde*.

Soit S l'intensité de la raideur de la corde ;

D le diamètre en mètre de la poulie ou du tambour, rouleau ou cylindre sur lequel s'enroule le cordage ;

p le poids en kilogrammes du mètre linéaire du câble ;

T sa tension en kilogrammes.

M. de Longraire propose les formules suivantes :

Pour les câbles en chanvres, blancs ou goudronnés :

$$S = 0,04 T \frac{p}{D}$$

$$\text{Câbles en fil de fer : } S = (2 + 0,0032 T) \frac{p}{D}$$

$$\text{Câbles en fil d'acier : } S = (3,50 + 0,0032 T) \frac{p}{D}$$

Un câble neuf mais un peu rouillé a donné

$$S = 3,00 + 0,0032 T \frac{p}{D}$$

le même câble soumis aux expériences après avoir subi un bain d'huile pendant 60 heures a donné

$$S = 0,65 (3,00 + 0,0032 T) \frac{p}{D}$$