

LE GÉNIE CIVIL

REVUE GÉNÉRALE HEBDOMADAIRE DES INDUSTRIES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

Prix de l'abonnement par an. — Paris : 36 francs; — Départements : 38 francs; — Étranger et Colonies : 45 francs. — Le numéro : 1 franc.

Administration et Rédaction : 6, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.

SOMMAIRE. — Travaux publics : Ponts à transbordeur (*planche IV*) (*suite et fin*), p. 49; G. LEINERUGEL LE COCQ. — Matériaux de construction : Fabrication du ciment Portland artificiel, p. 56; M.-A. MOREL. — Électricité : Contrôleur électropneumatique, système Westinghouse, p. 58. — Jurisprudence : La clause d'interdiction de s'établir dans les conventions entre patrons et employés, p. 60; Louis RACHOU. — Variétés : Rhéostats en

graphite, p. 60; — Robinet de vapeur sans presse-étoupe, p. 61; — Échafaudage volant de sécurité, p. 61.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET INDUSTRIELLES : Académie des Sciences (16 novembre 1903), p. 62.

BIBLIOGRAPHIE : Revue des principales publications techniques, p. 62. — Ouvrages récemment parus, p. 64.

Planche IV : Pont à transbordeur de Nantes.



TRAVAUX PUBLICS

PONTS A TRANSBORDEUR

(Planche IV. — Suite et fin¹.)

Nouveau système de pont à transbordeur à contrepoids et à articulations. — Le système précédemment décrit, de pont à câbles paraboliques, a

aurait pu en être retardée. Il fallait donc tourner la difficulté et trouver une solution nouvelle.

Il ne pouvait être question de changer l'emplacement de ce pont, car c'était là le point impérieusement fixé par la Ville et la Chambre de Commerce. D'ailleurs, le développement industriel qu'ont pris le port de Nantes et toute la rive droite de la Loire, depuis une dizaine d'années, exige, pour ne pas gêner cette expansion toujours croissante du port, l'utilisation des terrains très vastes qui constituent la Prairie-

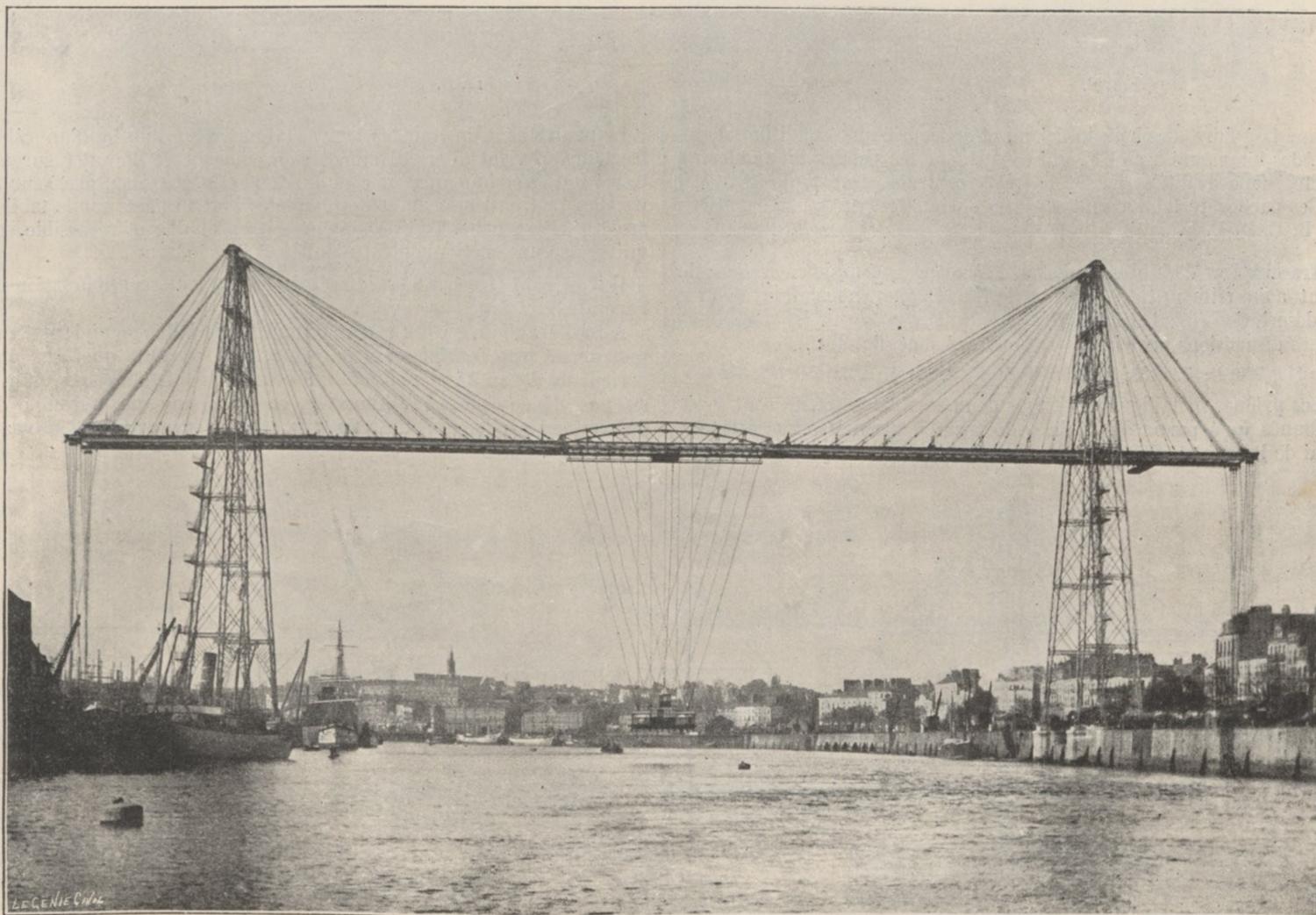


FIG. 1. — PONT A TRANSBORDEUR DE NANTES.

besoin de prendre ses points d'appui pour l'amarrage de ses câbles de retenue, dans des massifs de maçonnerie, dont l'importance du cube est en fonction des dimensions de l'ouvrage, de la nacelle et des charges que celle-ci est appelée à supporter.

Dans certains cas particuliers, comme celui du port de Nantes, pour faire communiquer le quai de la Fosse au quai de l'île Videment, l'emplacement de ces massifs d'amarrage ne pouvait être obtenu que par des expropriations tellement coûteuses, que l'utilisation de ce système

au-Duc, l'île Sainte-Anne, etc., et pour cela, il est nécessaire d'avoir un moyen rapide et sûr pour réunir l'île Videment au quai de la Fosse.

Le problème se posait donc de la façon suivante : franchir un débouché de 141 mètres, sans utiliser de massif d'amarrage placé à plus de 25 mètres en arrière de l'axe des pylônes.

La solution simple, imaginée par M. F. Arnodin, est basée sur le principe suivant :

Étant donné un pylône métallique, si, de chaque côté, on suspend par des câbles deux parties de tablier en porte à faux $abcd$, $a_1b_1c_1d_1$, égales et de même poids, on a un système en équilibre (fig. 2).

(1) Voir le *Génie Civil*, t. XLIV, n° 3, p. 33.

Si l'on suppose que l'on charge la partie $abcd$ du tablier d'un poids P placé à une distance l de l'axe du pylône, il faudra, pour maintenir le système en équilibre, placer en a_1 un poids P' tel que :

$$P' = \frac{Pl}{l'}$$

l' étant la distance du point a_1 à l'axe du pylône.

Au lieu de ce poids P' , on peut relier verticalement le point a_1 , grâce à des câbles, à un massif de maçonnerie sous le sol, dont le cube sera tel que son poids sera supérieur ou au moins égal à P' . Il est évident que le pylône, sous l'action des charges permanentes et roulantes, n'a à résister qu'à des efforts de compression verticale.

Partant de ce principe simple, on a donc, pour franchir un débouché

Le tablier, qui est une des parties de l'ouvrage intéressantes à étudier, forme une grande poutre horizontale composée, comme pour les ponts à transbordeur à câbles paraboliques, de deux poutres de rives en forme de π , contreventées entre elles. Ces poutres de rives, dites poutres porte-rails, sont distantes de 8 mètres, d'axe en axe.

La nacelle, qui a 10 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur, est suspendue de façon que son tablier soit à la hauteur des quais. Sa suspension se compose de vingt câbles porteurs ou latéraux et de dix câbles diagonaux, qui sont rattachés à un cadre de roulement de 32 mètres de longueur. Ce cadre est porté par trente paires de galets qui circulent sur les poutres porte-rails.

Les câbles diagonaux sont là pour porter la nacelle en son entier quand le vent souffle en tempête.

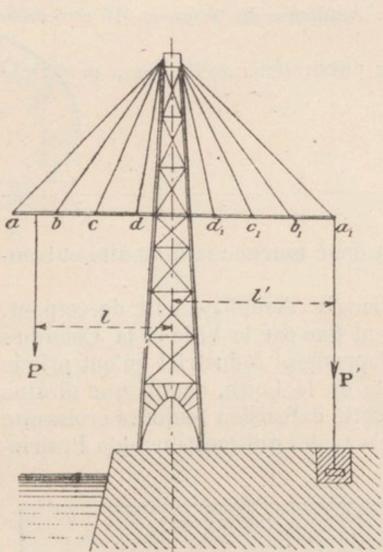


FIG. 2.

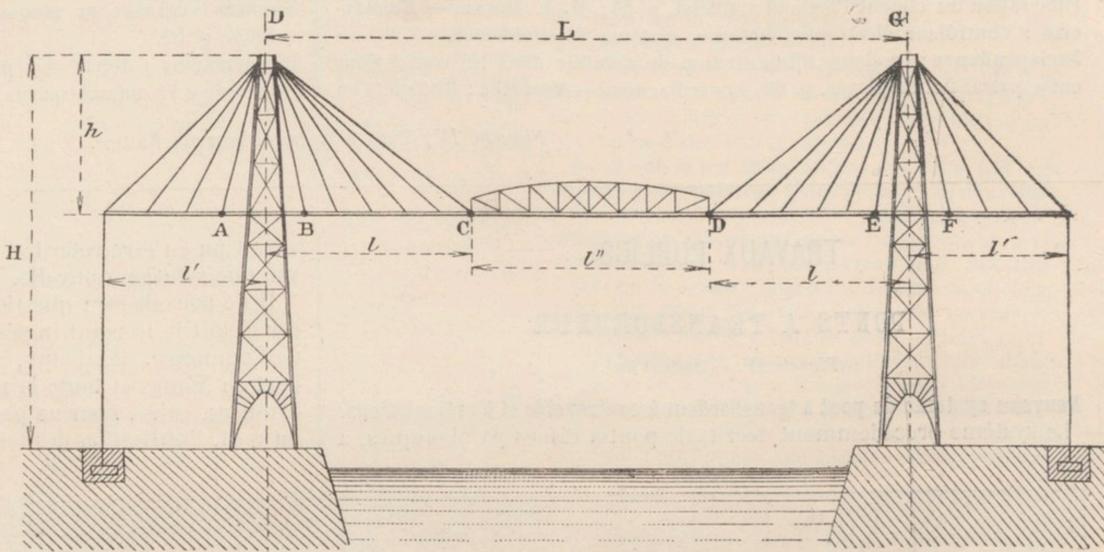


FIG. 3.

donné L , à faire un choix judicieux et approprié aux conditions locales, des longueurs l , l' et l'' , qui constituent les parties du tablier en porte à faux avant, arrière et la travée centrale parabolique (fig. 3).

Ces parties du tablier sont séparées entre elles par des articulations A, B, C, D, E, F .

Transbordeur de Nantes. — La première application de ce système de pont a été faite au transbordeur de Nantes, dont nous allons donner la description (fig. 1 à 4, pl. IV).

Les dimensions principales de l'ouvrage sont (fig. 3) :

$L = 140^m 996$; $l = 58^m 188$; $l' = 25^m 00$; $l'' = 34^m 620$; $H = 75^m 650$; $h = 31^m 400$.

Les pylônes métalliques sont tous deux semblables et ne sont croissonnés qu'à partir du tablier, de façon à permettre l'accostage à quai de la nacelle. Sur la rive gauche seule, la nacelle au garage pé-

Le mouvement du transbordeur est obtenu au moyen d'un câble tracteur qui vient alternativement s'enrouler et se dérouler sur un treuil mû électriquement et commandé par le wattman placé sur la nacelle. Le treuil moteur et ses dynamos sont disposés sur le tablier arrière, rive gauche. Tout le système est en double et réversible, ce qui assure un fonctionnement régulier, à l'abri des arrêts.

Il n'est peut-être pas sans intérêt de donner ici la consommation de l'énergie électrique par voyage.

A Nantes, elle n'est pas encore connue, mais à Rouen, où le système moteur est très sensiblement le même, on a constaté que, sur une période du 1^{er} au 31 mars 1903, qui comprend 6 184 voyages, il y a eu une dépense de 1 747 kilowatts, ce qui donne une moyenne de 200 voyages par jour en chiffres ronds, et une dépense de 0,28 kilowatt par voyage.

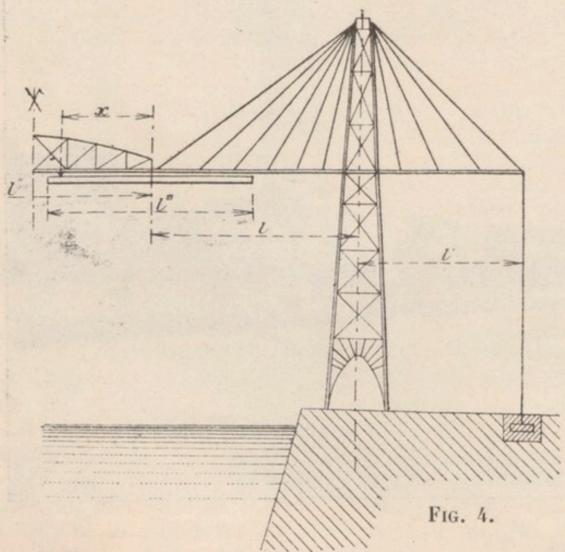


FIG. 4.

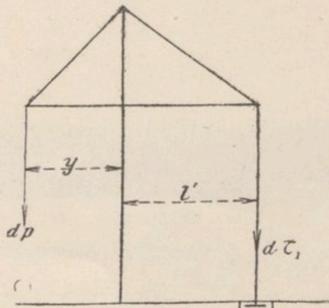


FIG. 5.

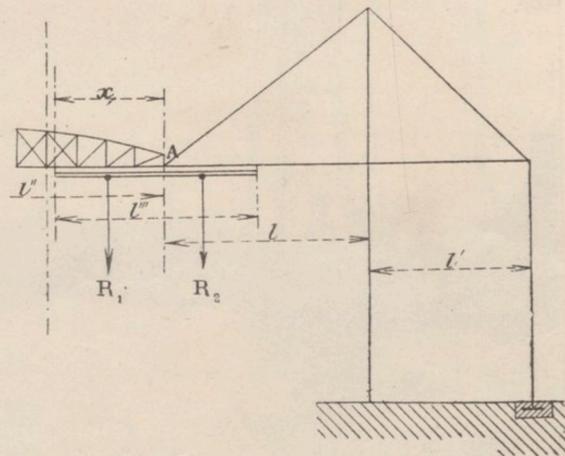


FIG. 6.

nêtre entièrement dans le pylône et ne fait ainsi nullement saillie sur les piliers de fondation.

Ces pylônes portent à leur sommet des chariots de dilatation.

A ces chariots, et sur des goujons en acier de 170 millimètres de diamètre, viennent se fixer les étriers des câbles qui soutiennent le tablier tous les 4 mètres, ainsi que ceux des câbles de retenue en arrière des pylônes, qui contre-balaient l'excès de poids situé en avant.

A cet effet, ces câbles de retenue se fixent à l'arrière du tablier, sur des goujons d'où partent les câbles verticaux de contreponds qui viennent, eux, prendre leur appui dans le massif de maçonnerie, sous le sol (fig. 1, pl. IV).

A Nantes, la nacelle, sa suspension et son cadre de roulement, pèsent environ 50 000 kilogr. et la surcharge prévue est de 32 400 kilogr., avec un vent soufflant à l'intensité de 150 kilogr. de pression par mètre carré de surface frappée. Comme on ne peut produire pratiquement aucun effet équivalant à cette influence du vent, on y supplée en surchargeant la nacelle de telle façon que l'ensemble du poids voyageur maximum maximorum atteigne au total 139 600 kilogr. Ce poids correspond, par tête de pont, à 69 800 kilogr. et comprend ainsi la charge permanente, la surcharge et l'influence du vent.

Il est à remarquer que la surface de la nacelle étant de 120 mètres carrés, la surcharge qui lui sera imposée sera, par mètre superficiel,

de $\frac{32\,400 + 57\,200}{120} = 746\text{kg } 66$, surcharge bien supérieure à celle imposée par la Circulaire ministérielle du 29 août 1891 pour les ponts métalliques, qui n'est que de 400 kilogr. par mètre carré.

Nous allons montrer quels sont les problèmes intéressants que soulève l'étude de cet ouvrage et, par suite, de tout pont de ce système, soit comme pont-route, soit comme pont de chemin de fer.

a) *Tension totale maximum dans les câbles de contrepoids.* — D'abord, pour que l'équilibre du système soit toujours assuré, il faut connaître exactement le maximum de tension qui puisse se produire dans les câbles de contrepoids.

Cette tension définit, en effet, le cube minimum de maçonnerie du massif de contrepoids, qui doit nécessairement être construit de façon à former un monolithe. C'est pour cette raison que ce massif est toujours armé.

Trois éléments interviennent pour le calcul de la tension maximum des câbles de contrepoids.

Les deux premiers sont constants. Ce sont :

- 1° Le poids du tablier dans la partie non équilibrée ;
- 2° La moitié du poids de la travée centrale.

Quant à l'influence de la charge roulante, qui est la nacelle en surcharge d'épreuve, dans le cas d'un transbordeur, elle est variable et dépend essentiellement de sa position sur l'ouvrage.

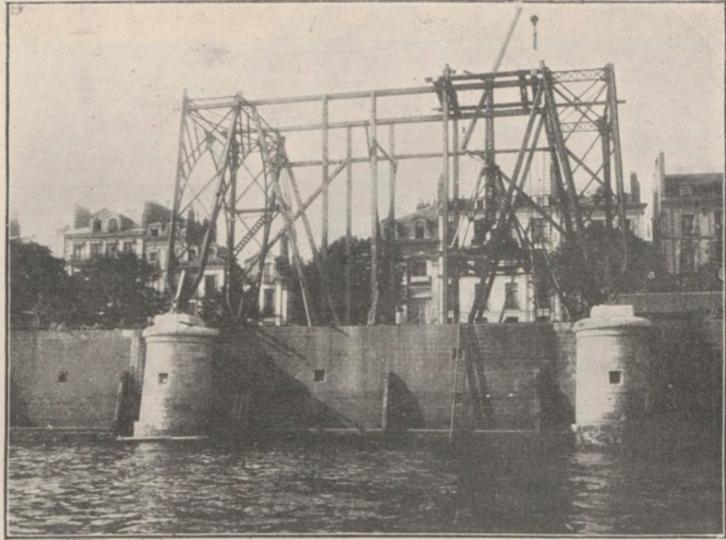


FIG. 7. — Ascension de la grue de montage.

Nous allons montrer comment on peut déterminer simplement la valeur de la tension totale, et la position de la nacelle qui y correspond (fig. 4 à 6) :

Dans tout ce qui suit, nous désignerons par :

p le poids par mètre courant de tablier, accessoires compris ;

P le poids de la travée centrale ;

P' le poids total de la nacelle du transbordeur en surcharge d'épreuve, y compris la charge remplaçant l'influence du vent.

1° La valeur de la tension $d\tau_1$, dans les câbles de contrepoids faisant équilibre à un poids dp en avant du pylône ($l \geq y > l'$) est évidemment (fig. 5) :

$$d\tau_1 = \frac{y}{l'} dp.$$

Or, $dp = p dy,$

et, par suite : $\tau_1 = \frac{p}{l'} \int_{y=l'}^{y=l} y dy = \frac{p}{2l'} (l^2 - l'^2),$

ceci pour l'ensemble des deux têtes de pont ;

2° Le poids de la travée centrale donne, lui, une tension égale :

$$\tau_2 = \frac{P}{2} \times \frac{l}{l'};$$

3° Nous désignerons par x la distance du point A au galet extrême situé sur la travée centrale, et nous supposons que le poids total P' est uniformément réparti sur toute la longueur l'' du cadre de roulement. Nous en concluons donc le poids p' par mètre courant de surcharge (fig. 6) :

$$p' = \frac{P'}{l''}.$$

Ceci posé, nous voyons que la surcharge $R_1 = p'x$, due à la position de la nacelle située sur la travée centrale, sur une longueur égale à x , donne en A une composante égale à :

$$r_1 = \frac{p'x \left(l'' - \frac{x}{2} \right)}{l''}.$$

Quant à la force R_2 , sa valeur est :

$$R_2 = p'(l'' - x).$$

La tension résultante de ces deux composantes r_1, R_2 dans les câbles de contrepoids est donc :

$$\tau_3 = \frac{p'x}{l''} \left(l'' - \frac{x}{2} \right) \frac{l}{l'} + \frac{p'}{l'} (l'' - x) \left(l - \frac{l'' - x}{2} \right).$$

Pour trouver la position de x qui rend cette expression maximum, il suffit d'écrire l'équation :

$$\frac{d\tau_3}{dx} = 0.$$

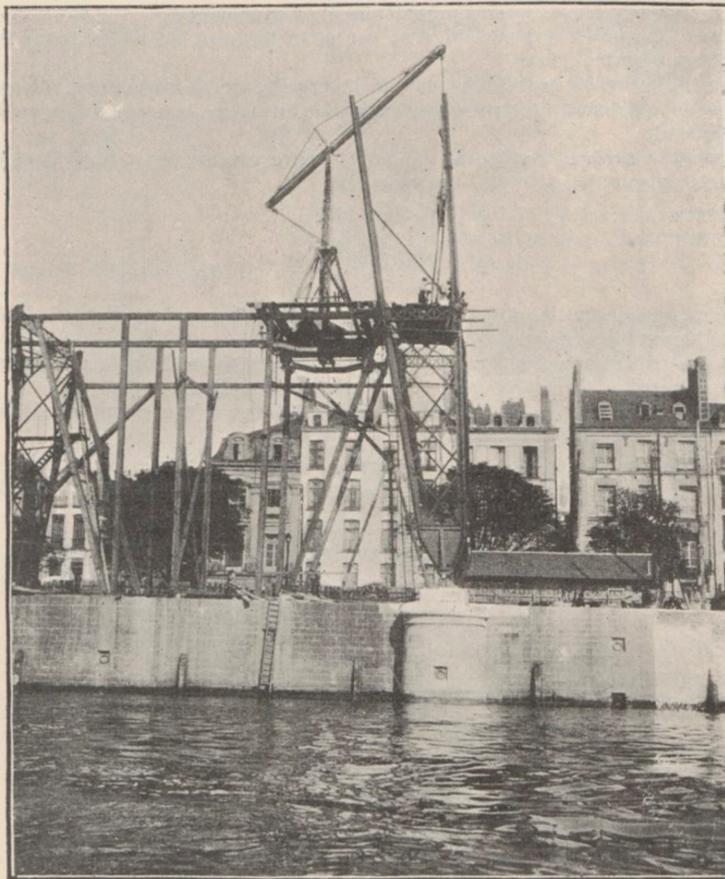


FIG. 8. — Position de la grue de montage au premier étage.

Elle nous fournit la valeur suivante de x :

$$x = \frac{l'' l'}{l + l''}.$$

Nous avons bien affaire à un maximum de tension dans nos câbles de contrepoids pour cette position de la nacelle, puisque la dérivée seconde est négative :

$$\frac{d^2\tau_3}{dx^2} = - \frac{p' l}{l' l''^2}.$$

La valeur de la tension correspondante est, d'ailleurs :

$$\tau_3 = \frac{p' l}{l'} \left\{ 1 - \frac{l'' l''}{(l + l'')^2} \right\},$$

pour l'ensemble des deux têtes de pont.

La somme $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ définit donc la tension totale maximum qui puisse se produire dans les câbles verticaux de contrepoids, et détermine ainsi exactement le cube minimum de maçonnerie nécessaire dans les massifs d'amarrage.

b) *Travail maximum du métal dans les poutres de rives.* — Le deuxième problème intéressant à résoudre est l'étude du travail maximum dans les poutres de rives qui supportent les voies ferrées, et que nous avons désignées sous le nom de poutres porte-rails. On a besoin, dans ce cas, d'envisager les deux hypothèses qui peuvent se présenter, pour savoir quelle est celle qui donne lieu au maximum de travail du métal.

La première hypothèse est celle où le vent souffle transversalement sur tout l'ouvrage, avec une intensité $\Phi = 270$ kilogr. de pression par mètre superficiel, la nacelle étant au repos.

La seconde est celle où le vent souffle transversalement sur tout l'ouvrage, avec une intensité $\Phi' = 150$ kilogr. de pression par mètre superficiel ; la nacelle étant en service avec sa surcharge d'épreuve, y compris sa suspension et son cadre de roulement, soit un poids P'' (qui diffère du poids P' considéré antérieurement, puisque nous tenons compte ici du vent, dans le travail du métal).

Dans la première hypothèse, la poutre est soumise à trois efforts

différents; le calcul est très simple et ne présente rien de particulier. Nous ne nous y arrêtons pas.

Dans la deuxième hypothèse, nous avons également :

1° Le travail de compression ou de tension sous l'action du vent d'intensité Φ' agissant sur tout l'ouvrage, la nacelle, sa suspension et son cadre de roulement;

2° Le travail de compression sous la charge permanente et roulante dû à la tension des câbles obliques;

3° Le travail de flexion dû à la charge permanente et roulante.

Nous nous proposons de déterminer, dans le cas le plus défavorable qui puisse se présenter, la position de la nacelle et la section où se produit le travail maximum maximorum du métal.

En conservant les notations précédentes et en désignant :

Par S_1 la surface exposée au vent par mètre courant de tablier, dans les parties en porte à faux;

Par S_2 la surface exposée au vent de la nacelle, de sa suspension, de son cadre de roulement et accessoires, rapportée au mètre courant du cadre de roulement;

Par S_3 la surface exposée au vent par mètre courant de tablier dans la travée centrale;

Nous avons :

$$p_1 = S_1 \Phi';$$

$$p_2 = S_2 \Phi';$$

$$p_3 = S_3 \Phi'.$$

Nous considérons le tablier comme reposant sur deux points d'appui situés dans les axes des pylônes.

Il est évident que c'est dans la poutre au vent que se produira le maximum de compression. C'est donc cette poutre que nous étudions.

Nous désignerons par x la distance du point A au galet extrême, situé sur la travée centrale (fig. 10).

1° Le moment fléchissant dû à l'action du vent sur le tablier, sur la travée centrale, sur la nacelle et ses accessoires en surcharge d'épreuve est, dans la

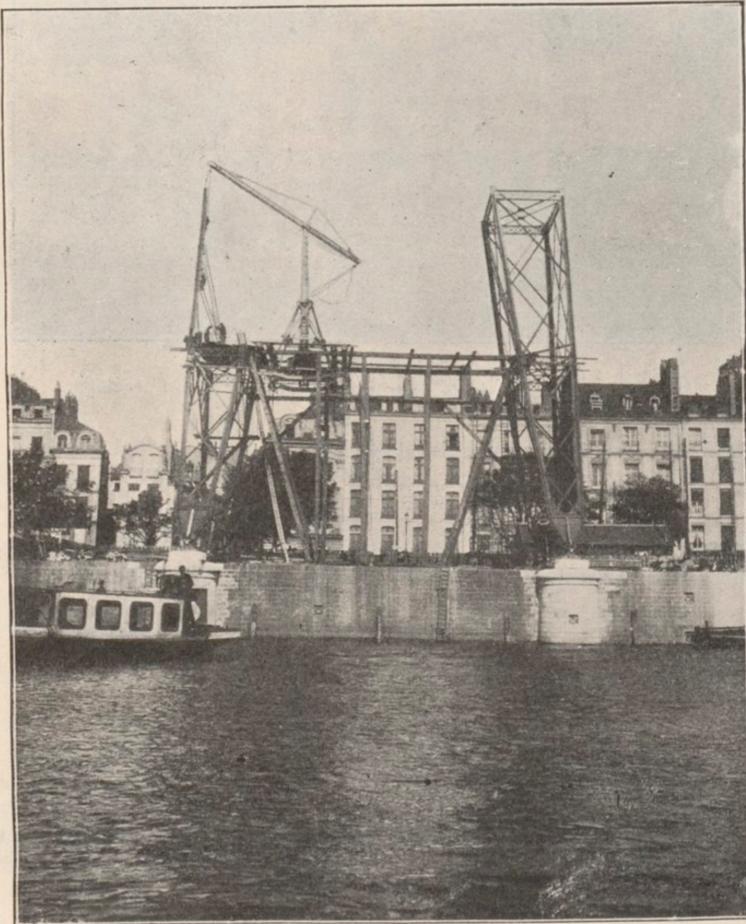


Fig. 9. — Fonctionnement de la grue de montage au premier étage.

section $z z'$ de la poutre, à une distance z de l'axe du pylône, donné par l'expression :

$$M_x = p_1 z (L - z) + (p_2 - p_1) l'' \frac{z}{2} + \frac{p_3 l''}{L} \left(l + x - \frac{l''}{2} \right) (L - z) - \frac{p_3}{2} (l + x - z)^2;$$

2° La compression est, dans cette section $z z'$, par poutre :

$$C_x = \frac{l}{h} \left[\frac{P}{4} + \frac{p'' x}{2l''} \left(l'' - \frac{x}{2} \right) \right] + \frac{p + p''}{2h} \int_{y=z}^{y=l} y dy$$

$$\text{ou : } C_x = \frac{l}{h} \left[\frac{P}{4} + \frac{p'' x}{2l''} \left(l'' - \frac{x}{2} \right) \right] + \frac{p + p''}{4h} (l^2 - z^2),$$

formule dans laquelle $l \geq z \geq l + x - l''$,

et $p'' = \frac{P''}{l''}$, P'' étant le poids défini précédemment;

3° On peut négliger, dans une première approximation, le travail de la poutre à la flexion dû à la charge permanente et roulante, les points d'attache des câbles obliques étant tellement rapprochés que ce travail est infiniment

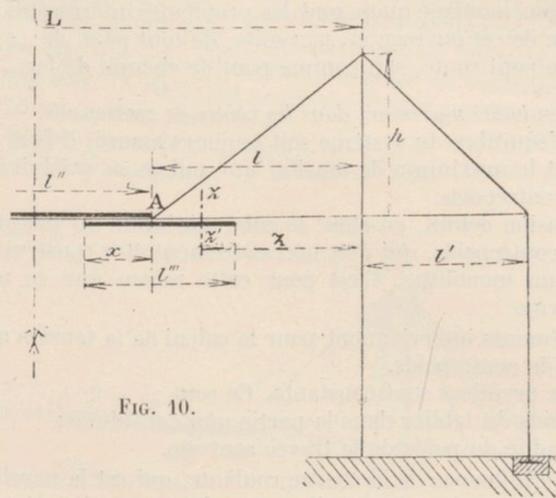


Fig. 10.

faible (1). On pourra en effectuer le calcul après la détermination de la section $z z'$ et de la position de la nacelle correspondant au cas le plus défavorable.

Il résulte de là que le travail dans la section $z z'$ est exprimé par la fonction :

$$T(x, z) = \frac{M_x}{I} + \frac{C_x}{S} \quad (2) \quad [\alpha]$$

S étant la section constante de la poutre.

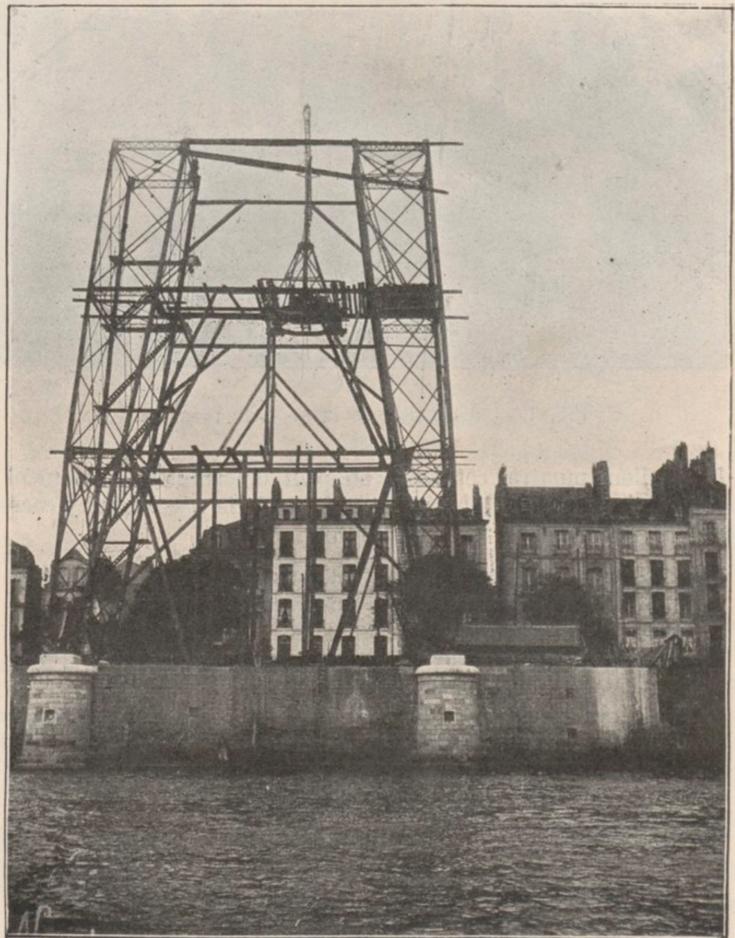


Fig. 11. — Fonctionnement de la grue au deuxième étage.

Le maximum du travail dans cette section $z z'$ aura lieu pour la valeur de x satisfaisant à l'équation :

$$\frac{dT(x, z)}{dx} = 0. \quad [\beta]$$

En remplaçant dans l'équation $[\alpha]$ cette valeur de x tirée de l'équation $[\beta]$, nous aurons une fonction de z qui nous permettra de déterminer dans quelle section se produira le travail maximum maximorum du métal, en égalant sa dérivée à zéro.

(1) Dans le cas particulier du transbordeur de Nantes, ce travail a comme maximum 0^{ks} 47 par millimètre carré de section.

(2) d étant la demi-distance d'axe en axe des poutres de rives, on prend, dans la pratique, pour le module de section :

$$\frac{I}{n} = Sd.$$

Or, en considérant x comme une fonction de z définie par l'équation [β], nous pouvons avoir de suite cette équation dérivée par rapport à z , qui est :

$$\frac{dT(x, z)}{dz} = \frac{dT(x, z)}{dx} \frac{dx}{dz} + \frac{dT(x, z)}{dz} = 0.$$

En tenant compte de l'équation [β], on a :

$$\frac{dT(x, z)}{dz} = 0. \quad [\gamma]$$

D'où nous concluons que la résolution des équations simultanées [β], [γ] nous fournit une valeur de z qui définit la section du travail maximum maximum, et une valeur de x donnant la position correspondante de la nacelle.

En portant ces résultats dans l'équation [α], nous aurons la valeur de ce travail.

Dans le cas particulier qui nous intéresse, nous avons ici les deux équations :

$$\begin{aligned} Ax - Bz - C &= 0, & [\beta'] \\ Dx - Ez + F &= 0, & [\gamma'] \end{aligned}$$

dans lesquelles :

$$A = \frac{p_3}{d} + \frac{p''l}{2hl''}, \quad B = \frac{p_3}{dL} (L - l'''), \quad C = \frac{p_3}{d} (l''' - l) + \frac{p''l}{2h},$$

$$D = B, \quad E = \frac{p_3 + 2p_1}{d} + \frac{p + p''}{2h},$$

$$F = \frac{1}{d} \left\{ p_1L + (p_2 - p_1) \frac{l''}{2} - \frac{p_3 l'''}{3L} \left(l - \frac{l'''}{2} \right) + p_3 l \right\},$$

qui déterminent x, z , linéairement, ce qui permet de trouver immédiatement

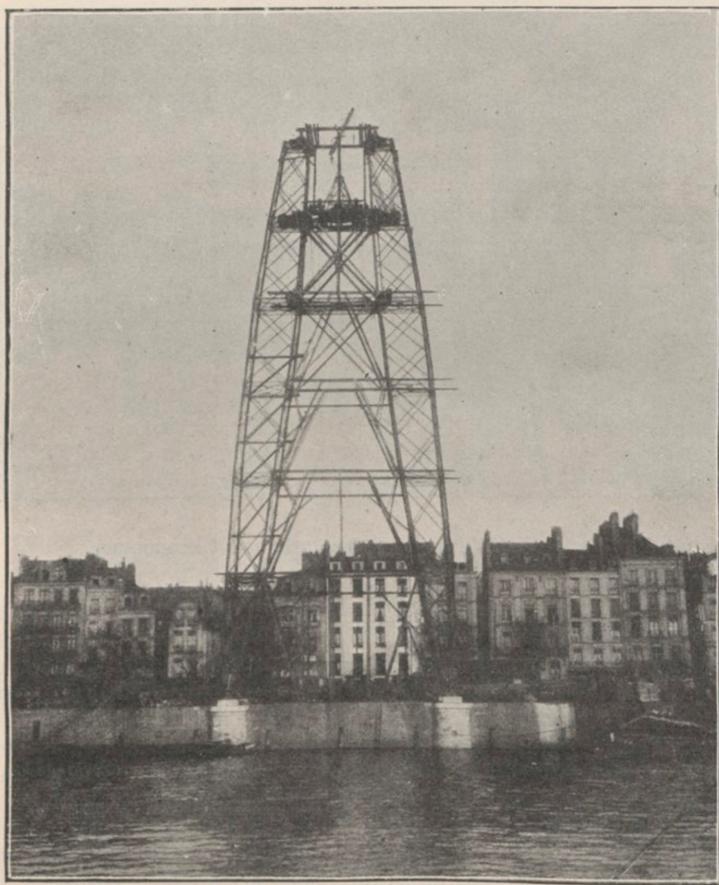


FIG. 12. — Fonctionnement de la grue au cinquième étage.

la valeur du travail maximum maximum, en remplaçant x, z , dans l'équation [α] par les résultats déduits des équations [β'], [γ'] (1) (2).

Nous ferons remarquer que :

$$\frac{d^2T(x, z)}{dx^2} = - \left[\frac{p_3}{d} + \frac{p''l}{2hl''} \right],$$

$$\frac{d^2T(x, z)}{dz^2} = - \left[\frac{p_3 + 2p_1}{d} + \frac{p + p''}{2h} \right],$$

termes essentiellement négatifs, ce qui indique bien un maximum maximum.

En appliquant la théorie précédente au cas particulier du transbordeur de Nantes, on a été amené à prendre pour les massifs de contre-poids un minimum de maçonnerie de 226 mètres cubes, et à donner aux poutres de rives une section minimum de 44 000 millimètres

(1) Ou mieux, en remplaçant x, z , dans l'équation :

$$\frac{dT(x, z, \theta)}{d\theta} = T(x, z, \theta),$$

θ étant la variable d'homogénéité de la fonction $T(x, z)$ définie par l'équation (3).

(2) Dans le cas du transbordeur de Nantes,

$$x = 21^m 41; \quad z = 53^m 46.$$

carrés (1) se décomposant comme l'indique la figure 13 et comprenant deux cours de rails de 85 × 70 et une semelle de 332 × 40, interposée entre la semelle supérieure et le barrot, qui est nécessaire pour les assemblages des barres de contreventement.

MONTAGE DU TRANSBORDEUR DE NANTES. — Le montage de la partie métallique du transbordeur de Nantes a été commencé le 25 août 1902 et a été terminé le 20 octobre 1903.

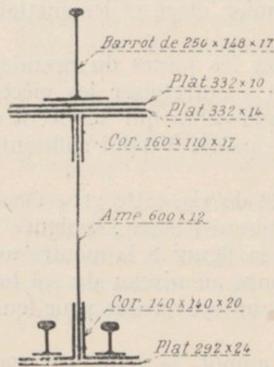


FIG. 13.

Par ce montage, nous entendons celui des pylônes métalliques, du tablier, du cadre de roulement, de la nacelle, l'installation de la machinerie et des conducteurs électriques. Nous allons donner un aperçu du montage des parties intéressantes de cet ouvrage, c'est-à-dire des pylônes, du tablier et de la travée centrale.

Montage des pylônes. — Le problème du montage de chacun des pylônes, dont la hauteur totale n'a pas moins de 75^m 65, du niveau du quai au sommet du chariot de dilatation qui le couronne, et auquel viennent se fixer

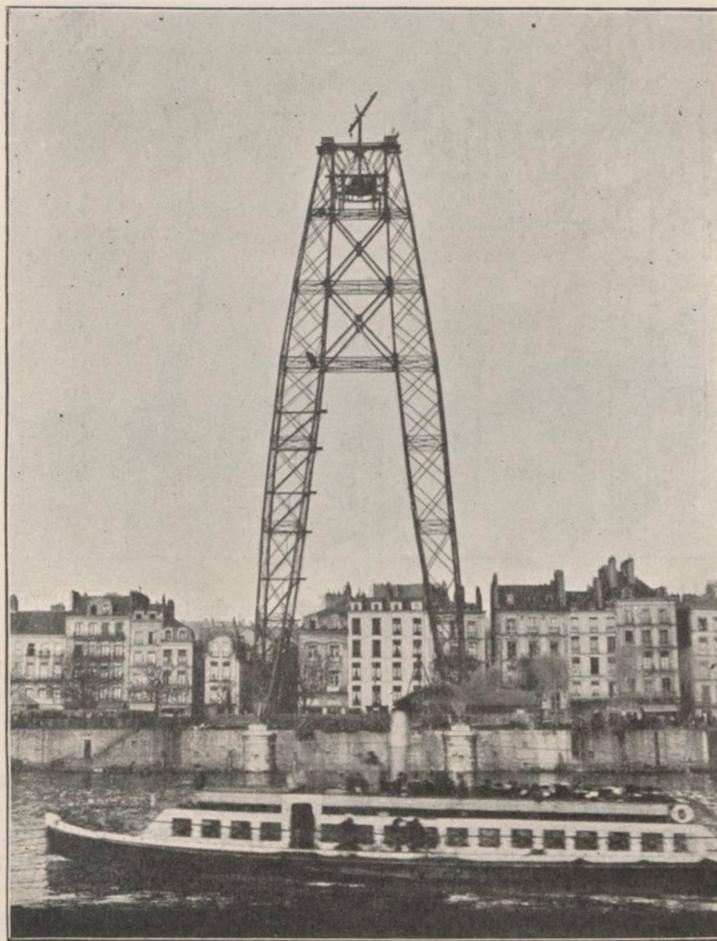


FIG. 14. — Vue du pylône de la rive droite.

les câbles de suspension, a été résolu pratiquement et économiquement au moyen de l'utilisation d'une grue électrique (système F. Arnodin) qui, outre différentes propriétés spéciales, a celle d'être auto-élévatrice.

Pour faire ressortir les avantages précieux qu'elle procure, nous passerons en revue les différentes phases du montage du pylône de rive droite du transbordeur de Nantes.

Chacun des pylônes a été monté, toutes les pièces assemblées entre elles, à l'usine de M. Arnodin, à Châteauneuf-sur-Loire, de façon qu'il ne pût y avoir ni imprévision, ni fausse manœuvre, ni perte de temps dans le montage.

De plus, toutes les pièces assemblées entre elles à l'usine ont été percées avec des foreuses multiples électriques, procédé d'usinage évidemment supérieur à celui du poinçonnage suivi d'un alésage, et qui permettrait certainement de demander au métal un taux de travail supérieur à ce qu'on exige couramment.

Toutes les pièces partaient donc de l'usine et arrivaient à pied

(1) Le travail maximum maximum du métal dans la poutre de rive atteint 5^k 17 par millimètre carré dans la section $z = 53^m 46$, l'axe de la nacelle étant à une distance de 37^m 40 de l'axe d'un pylône.

d'œuvre sur des voies ferrées qui suivent, soit, sur la rive droite, le quai de la Fosse, soit, sur la rive gauche, le quai de l'île Videment.

Sur la rive droite, on avait installé entre les quatre piliers, sur lesquels devaient reposer ultérieurement les quatre couples d'arêtières du pylône, une voie ferrée sur laquelle pouvait circuler la grue électrique animée d'un mouvement de translation. Cette grue prenait directement dans les wagons les pièces du premier étage et les mettait aussitôt en place.

On l'utilisa ainsi de façon à monter toutes les pièces du premier étage, les pièces de charpente qui servaient à entretoiser les pièces métalliques des deux têtes du pylône, et aussi celles qui servirent à créer, à la hauteur de ce premier étage, des points d'appui suffisants pour suspendre la grue.

Grâce à un système simple d'engrenages et de vis, cette grue électrique se monte alors automatiquement au premier étage; la figure 7 la représente au moment où elle s'élève et la figure 8 la montre au premier étage. De là, elle continue à prendre au niveau du sol les pièces métalliques et à les monter à la hauteur convenable pour leur mise en place.

Après avoir terminé à cet étage la tête amont, la grue, par son mouvement de translation, se déplace et se porte sur la tête aval pour en effectuer également le montage (fig. 9).

On continue ainsi d'étage en étage, et les figures 11 et 12 montrent

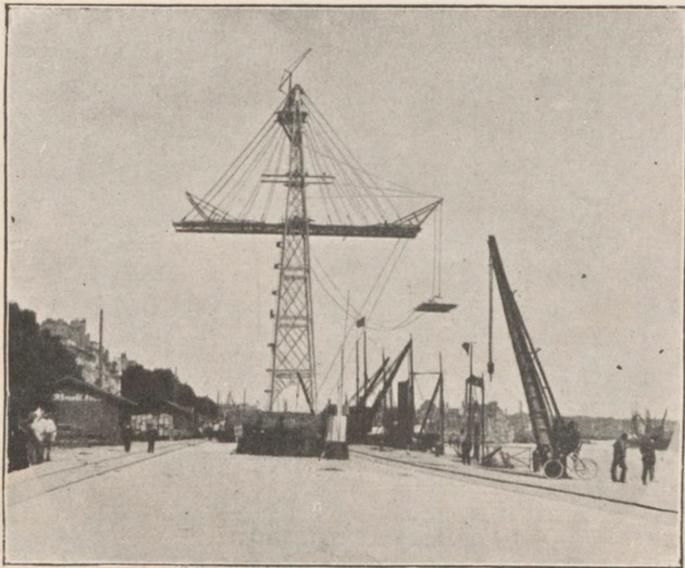


FIG. 15. — Montage d'un panneau du tablier.

que ce procédé emploie comme charpente provisoire uniquement les pièces de charpente nécessaires à l'entretoisement des deux têtes du pylône jusqu'au tablier, et celles qui sont utiles pour supporter la grue.

La figure 14 représente le pylône de rive droite débarrassé de ses pièces de charpente, et la grue électrique montée en porte à faux au septième étage. Dans cette position, cette grue a servi, d'ailleurs, à monter chacun des chariots de dilatation qui couronnent le sommet du pylône et qui ne pesaient pas moins de 4 000 kilogrammes.

A titre de curiosité, nous pouvons donner la dépense en énergie électrique nécessitée par le montage d'un de ces chariots, du niveau du quai au sommet du pylône. Cette dépense, qui a été enregistrée par le compteur, a été de 1 kilowatt.

Il n'est peut-être pas non plus sans intérêt de signaler ici que la dépense d'énergie électrique pour le déchargement des pièces métalliques qui entrent dans la construction d'un pylône, leur montage à hauteur convenable, leur mise en place, le montage des bois ayant servi d'entretoises et leur démontage, n'a atteint que 280 kilowatts pour le pylône de la rive droite. Ce chiffre est insignifiant, étant donné que chaque pylône est constitué par un peu plus de 200 000 kilogr. d'acier laminé, et que les pièces sont élevées à la hauteur moyenne de 38 mètres.

C'est là une preuve de plus, et indiscutable, des résultats que peut procurer l'emploi de l'énergie électrique. Aussi est-on amené à penser que, pour opérer d'une façon économique, tous les ports maritimes seront conduits à se servir bientôt de grues électriques pour le chargement et le déchargement des navires.

A ce sujet, nous citerons les résultats obtenus avec l'une des grues électriques, la moins perfectionnée des deux qui ont servi au montage du transbordeur de Nantes. Le 11 décembre 1902, une expérience fut faite devant les représentants de la Chambre de Commerce, et on déchargea avec cette grue, dans le port de Nantes, en une heure, 35 tonnes de charbon. La hauteur de descente et de montée était en moyenne de 8 mètres et la consommation d'énergie électrique a été de 24 hectowatts.

Montage du tablier. — Ce tablier est constitué par des panneaux dont la longueur moyenne est de 8 mètres.

Le panneau dans l'axe du pylône, qui n'a que 6^m 28 et qui porte à ses extrémités des goujons d'articulation, a été préalablement monté et rivé sur le sol; puis, au moyen de garants en fils d'acier de haute résistance qui passaient dans des palans prenant leurs points d'appui sur le pylône, ce panneau a été hissé à la hauteur voulue par des treuils mus électriquement. Des câbles obliques, fixés préalablement aux goujons du chariot du sommet du pylône, ont embrassé au moyen de culots et d'étriers les goujons des articulations de ce panneau.

Sur ce panneau définitivement fixé, on a placé deux couples de chèvres mobiles, munies à leurs extrémités de palans à cinq poulies.

Les garants en fil d'acier passés dans ces palans et utilisés pour le levage de ces panneaux venaient s'enrouler sur des treuils placés dans les pylônes et mus électriquement.

Tandis que l'un des panneaux montait en avant, pour équilibrer la charge qui, de ce côté, était plus considérable qu'à l'arrière, on chargeait les chèvres placées sur l'arrière du panneau équivalent en poids, et on empêchait ainsi tout mouvement en avant du pylône de se produire.

Toutefois, quand on eut dépassé le quatrième panneau, comme le montage était terminé sur l'arrière, on a commencé à fixer les câbles de contrepoids aux massifs d'amarrage, pour équilibrer les nouvelles charges que l'on mettait sur le tablier du côté du fleuve.

Pour les panneaux éloignés de l'axe du pylône, on soulevait d'abord le panneau, au moyen de garants qui étaient montés sur des palans à

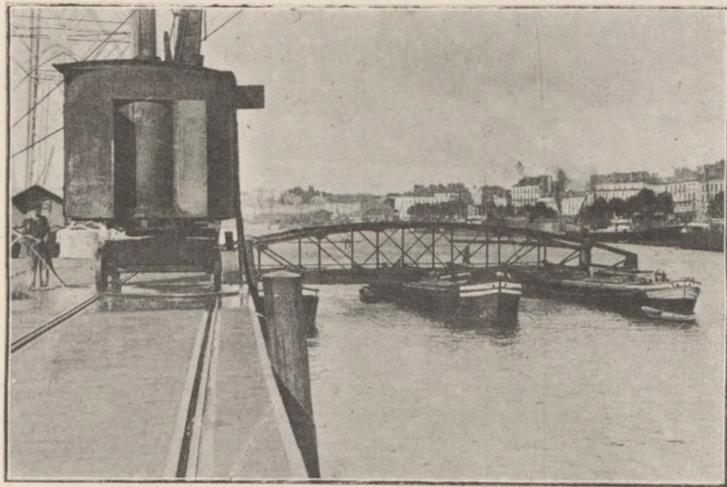


FIG. 16. — Vue de la travée centrale avant le montage.

10 brins et allaient ensuite s'enrouler sur des treuils placés dans l'axe du pylône. Ce panneau une fois soulevé était appelé du côté de la rivière par d'autres garants allant sur des palans fixés aux chèvres mobiles placées à l'extrémité du tablier (fig. 15). Il résulte de cette disposition que cette manœuvre double amenait ainsi le panneau à l'aplomb de la position qu'il devait occuper définitivement. On n'avait plus qu'à le hisser à la hauteur voulue, à l'accrocher au câble qui devait le porter et à le river.

On a ainsi monté les portions du tablier qui étaient afférentes à chaque pylône, sur une longueur de 53^m 188 en avant du côté du fleuve et sur une longueur de 25 mètres en arrière.

Des dispositions spéciales de martingales obliques amarrées, d'une part, sur le tablier et, d'autre part, en des points fixes spécialement créés sur le quai, furent prévues selon les indications très judicieuses de M. Lebert, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, pour parer à l'éventualité d'un coup de vent soufflant transversalement à l'ouvrage tant que la travée centrale parabolique qui solidarise les deux portions du tablier en porte à faux ne fut pas mise en place. Pendant cette période difficile du montage, un ouragan souffla transversalement à l'ouvrage, à la date du 2 mars 1903, avec un vent d'une vitesse de 30 à 35 mètres à la seconde; grâce à ces martingales, l'amplitude totale du déplacement observé ne fut que de 14^{mm} 9 à la hauteur du tablier, c'est-à-dire à 44 mètres au-dessus du quai.

Montage de la travée centrale parabolique. — Cette travée parabolique rigide, dont la longueur entre ses montants extrêmes est de 34^m 620, fut d'abord assemblée et rivée sur trois grands chalands (fig. 16). Son poids atteint 46 000 kilogrammes.

Comme on devait la monter en une seule opération, on avait placé comme appareils de levage, à chacune des extrémités du tablier en porte à faux, les deux chèvres doubles qui ont servi au montage du tablier. A l'extrémité de chacune de ces chèvres étaient amarrées sur des goujons deux paires de palans à 10 brins.

Les palans primaires à 10 brins qui étaient ainsi au nombre de quatre, et dans lesquels passaient des garants de 18 millimètres de

diamètre, formés de 8 torons en fils d'acier de haute résistance, étaient suffisants à eux seuls pour effectuer le montage.

Mais, par surcroît de sécurité, les quatre palans secondaires à 10 brins formaient des palans de secours et, pour cela, leurs garants devaient suivre exactement le mouvement d'ascension des palans primaires.

Pour bien éprouver tous les organes, la veille du montage de la travée centrale, le 3 août 1903, on souleva successivement à chaque extrémité de tablier en porte à faux, et avec deux paires de palans seulement, soit les primaires, soit les secondaires, un chaland dont le poids

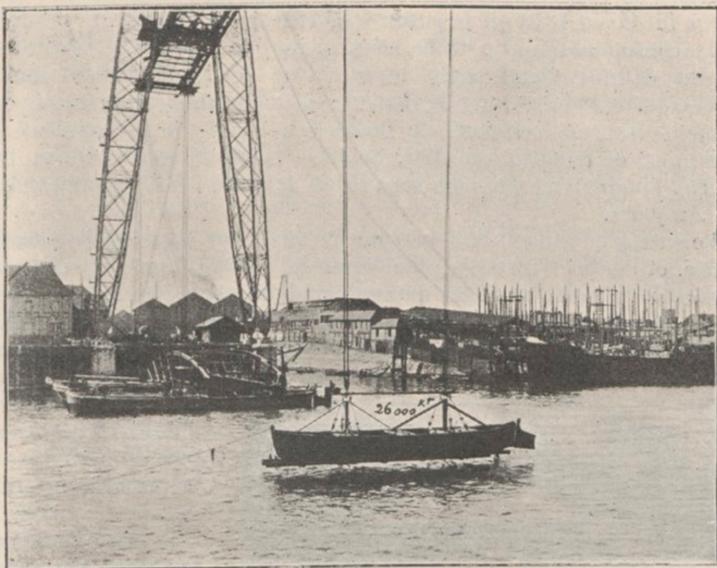


FIG. 17. — Épreuve de soulèvement d'un chaland de 26 tonnes.

avec son chargement de sable était de 26 000 kilogr. (fig. 17), c'est-à-dire un poids bien supérieur à celui que ces garants et cette extrémité de tablier auraient à supporter lors de la montée de la travée.

Les palans primaires et secondaires permettant donc de soulever 52 000 kilogr. chacun, on avait acquis toute la sécurité désirable pour la manœuvre, avec tous les palans réunis, de la travée centrale qui ne pesait que 46 000 kilogr. Les garants des palans primaires venaient s'enrouler sur des treuils mus électriquement, fixés sur le tablier dans les pylônes; les garants des palans secondaires s'enroulaient sur des treuils mus à bras d'homme.

La vitesse moyenne de montée de cette travée parabolique a été de

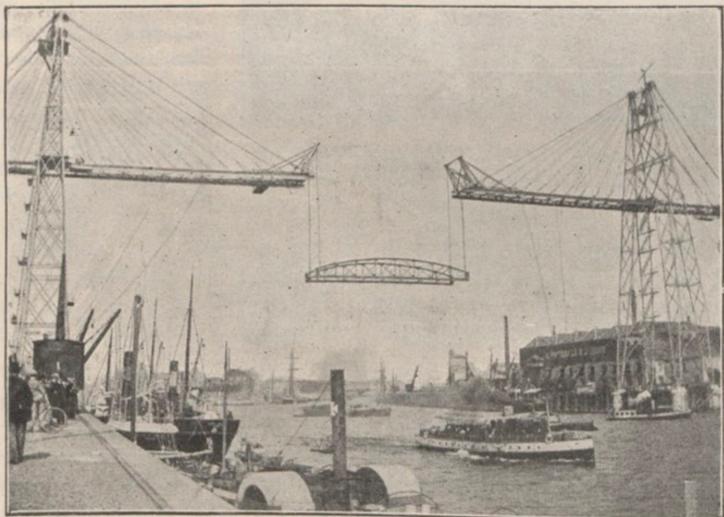


FIG. 18. — Montage de la travée centrale.

12 mètres à l'heure et la consommation de l'énergie électrique a été de 300 hectowatts.

L'opération (fig. 18) qui consiste à monter une pareille pièce à cette hauteur de 50 mètres au-dessus de l'eau et sur des porte à faux de 53^m 188 de longueur, sans point d'appui en rivière, sans échafaudage, tout en laissant libre cours à la navigation, est d'une hardiesse telle qu'elle n'a jamais été tentée jusqu'ici, à notre connaissance.

Pendant cette opération, dont les moindres détails avaient été étudiés soigneusement, des appareils de précision placés sur les câbles soutenant le porte à faux et sur les pylônes, ont permis de se rendre compte de la fatigue réelle que subissait chaque organe intéressé, et de juger par là de la confiance qu'il convenait d'apporter aux dispositions admises.

Ce montage a été exécuté sous les ordres de M. F. Arnodin, avec une expérience consommée, par M. Baudin, directeur des travaux du

montage, et sous le contrôle de MM. Lefort, Ingénieur en chef, et Cosmi, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le transbordeur de Nantes est en service depuis un mois. La figure 1 permet de se rendre compte que la sveltesse de ses pylônes et la simplicité de ses lignes en rendent l'aspect agréable à l'œil.

On accède au tablier par des escaliers qui sont disposés sur chaque pylône, et sur chaque tête de pont sont installées des passerelles d'où l'on a une vue panoramique superbe, et qui permettent au public d'y circuler.

Les taxes perçues pour la traversée sont de :

5 centimes pour les personnes; 5 ou 10 centimes pour les animaux; 10 à 25 centimes pour les charrettes et voitures, et 1 franc pour les automobiles.

Un pont à transbordeur du même système est actuellement en construction à Marseille, à l'entrée du Port-Vieux, pour réunir le quai de la Tourette au boulevard du Pharo. Nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement sur cet ouvrage dont voici les caractéristiques, comparées à celles du pont à transbordeur de Nantes :

	Nantes.	Marseille.
Longueur totale du tablier mètres.	190,996	235,000
Débouché d'axe en axe des pylônes —	140,996	165,000
Hauteur du tablier au-dessus des plus hautes mer —	50,000	50,080
Hauteur totale des pylônes —	75,650	84,600
Dimensions de la nacelle —	10 × 12	10 × 12
Poids de la nacelle en surcharge d'épreuve kilogr.	139 800	144 000

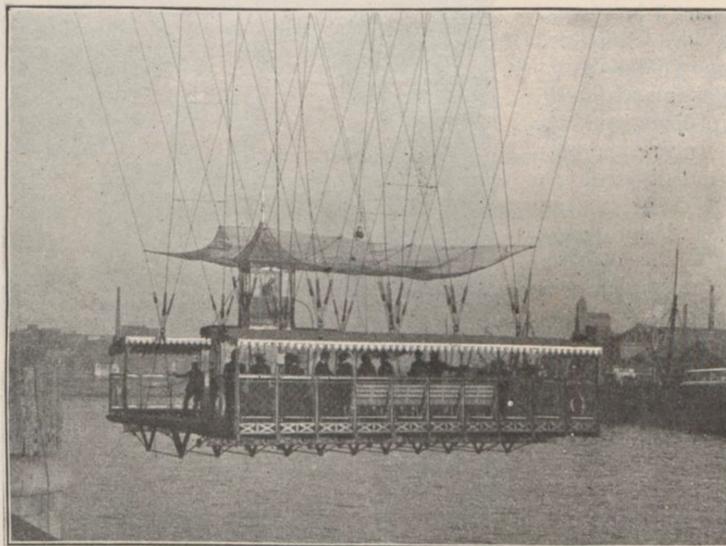


FIG. 19. — Vue de la nacelle en service.

CONCLUSION. — Le système de pont à contrepoids et à articulations que nous venons de décrire convient aux ouvrages d'une portée moyenne, mais on peut envisager avec toute sécurité la construction d'ouvrages de très grand débouché, avec un nouveau système de pont suspendu actuellement à l'étude.

Il serait, en effet, bien peu logique de croire que l'Ingénieur ne saurait pas utiliser les progrès de la métallurgie, dont il obtient actuellement, à des prix qui en rendent l'emploi pratique, des fils d'acier dont la résistance atteint jusqu'à 180 kilogr. par millimètre carré de section et avec une limite d'élasticité voisine de 100 kilogr. Combien ce métal laisse, en effet, loin derrière lui les aciers profilés dont la résistance est de 42 kilogr. par millimètre carré de section avec une limite d'élasticité égale à 22 kilogrammes.

En outre, tous les ponts métalliques rigides de grands débouchés sont des ponts en arcs, c'est-à-dire en équilibre instable, alors que les ponts suspendus sont en équilibre stable. Il s'ensuit que sous l'action du vent, par exemple, le coefficient de sécurité à donner aux éléments des ponts en équilibre instable doit être au moins double de celui qu'on doit exiger des ponts en équilibre stable.

Ces deux considérations amènent à prévoir que l'avenir est réservé, pour les ponts à grand débouché, à la plus grande utilisation possible du métal sous la forme de fil d'acier.

De plus, un autre avantage considérable des ponts suspendus modernes sur les ponts métalliques, c'est que leurs organes essentiels sont amovibles, ce qui permet à tout instant de les déposer, vérifier et reposer. Cette remarque, due à un constructeur français, a provoqué, en 1885, les remarquables études théoriques de M. Maurice Lévy, et donné l'essor, en France et à l'étranger, à la construction d'ouvrages à grands débouchés.

G. LEINEKUGEL LE COCQ,
Ingénieur de la Marine.

Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères

1. Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères. 1903-11-28.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

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

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

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter utilisation.commerciale@bnf.fr.