

LE GÉNIE CIVIL

REVUE GÉNÉRALE HEBDOMADAIRE DES INDUSTRIES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

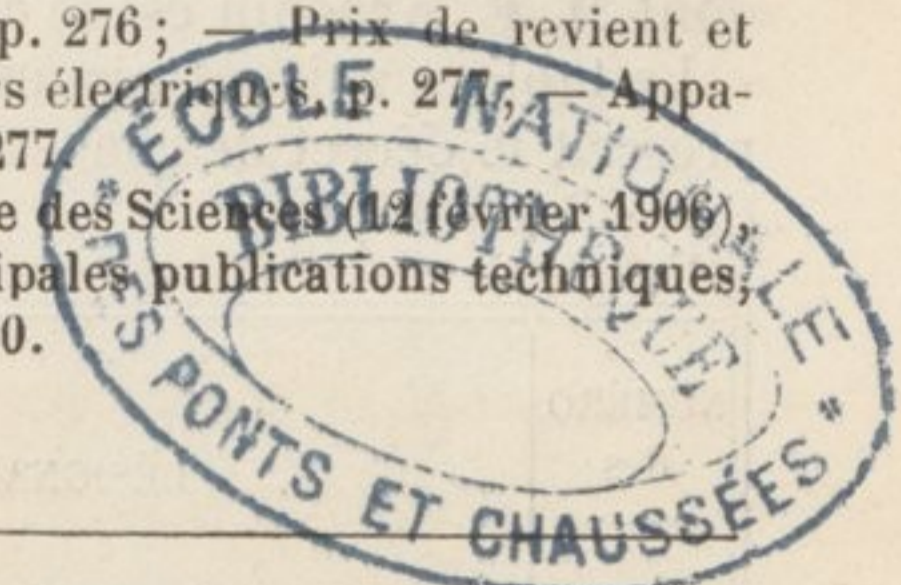
Prix de l'abonnement par an. — Paris : 36 francs; — Départements : 38 francs; — Étranger et Colonies : 45 francs. — Le numéro : 1 franc.

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

SOMMAIRE. — Travaux publics : Pont à transbordeur sur le Port-Vieux, à Marseille (*planche XVII*), p. 265; G. LEINEKUGEL LE COCQ. — Chemins de fer : Les chemins de fer en Chine, p. 271. — Distributions d'eau : La limitation automatique du débit dans les bornes-fontaines et robinets (*suite*), p. 274; P. Aristide BERGÈS. — Jurisprudence : Le caractère forfaitaire des indemnités d'accidents du travail, p. 276; Louis RACHOU. —

Variétés : Séparateur magnétique continu, p. 276; — Prix de revient et d'entretien du matériel roulant des tramways électriques, p. 276; Appareil à refroidir le lait fraîchement trait, p. 277. SOCIÉTÉS SAVANTES ET INDUSTRIELLES : Académie des Sciences (12 février 1906), p. 278. — BIBLIOGRAPHIE : Revue des principales publications techniques, p. 278; — Ouvrages récemment parus, p. 280.

Planche XVII : Pont à transbordeur sur le Port-Vieux, à Marseille.



TRAVAUX PUBLICS

PONT A TRANSBORDEUR SUR LE PORT-VIEUX à Marseille.

(*Planche XVII.*)

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — Dans une étude parue dans le *Génie Civil* (1) nous avons signalé qu'un pont à transbordeur du système dit

de montage utilisés antérieurement pour le pont à transbordeur de Nantes (1).

Il est d'abord utile de montrer, dans le cas actuel, à quels besoins le transbordeur du Vieux-Port correspond et quels sont les services qu'il est appelé à rendre à la population marseillaise.

L'examen du plan de la ville (*fig. 2*) montre combien sont difficiles les relations entre les quartiers et quais de la Joliette, de la Tourette et du Port avec les quartiers d'Endoume et des Catalans.

Les véhicules qui transportent les marchandises des commerçants et industriels de ces quartiers du sud ont de grands détours à faire

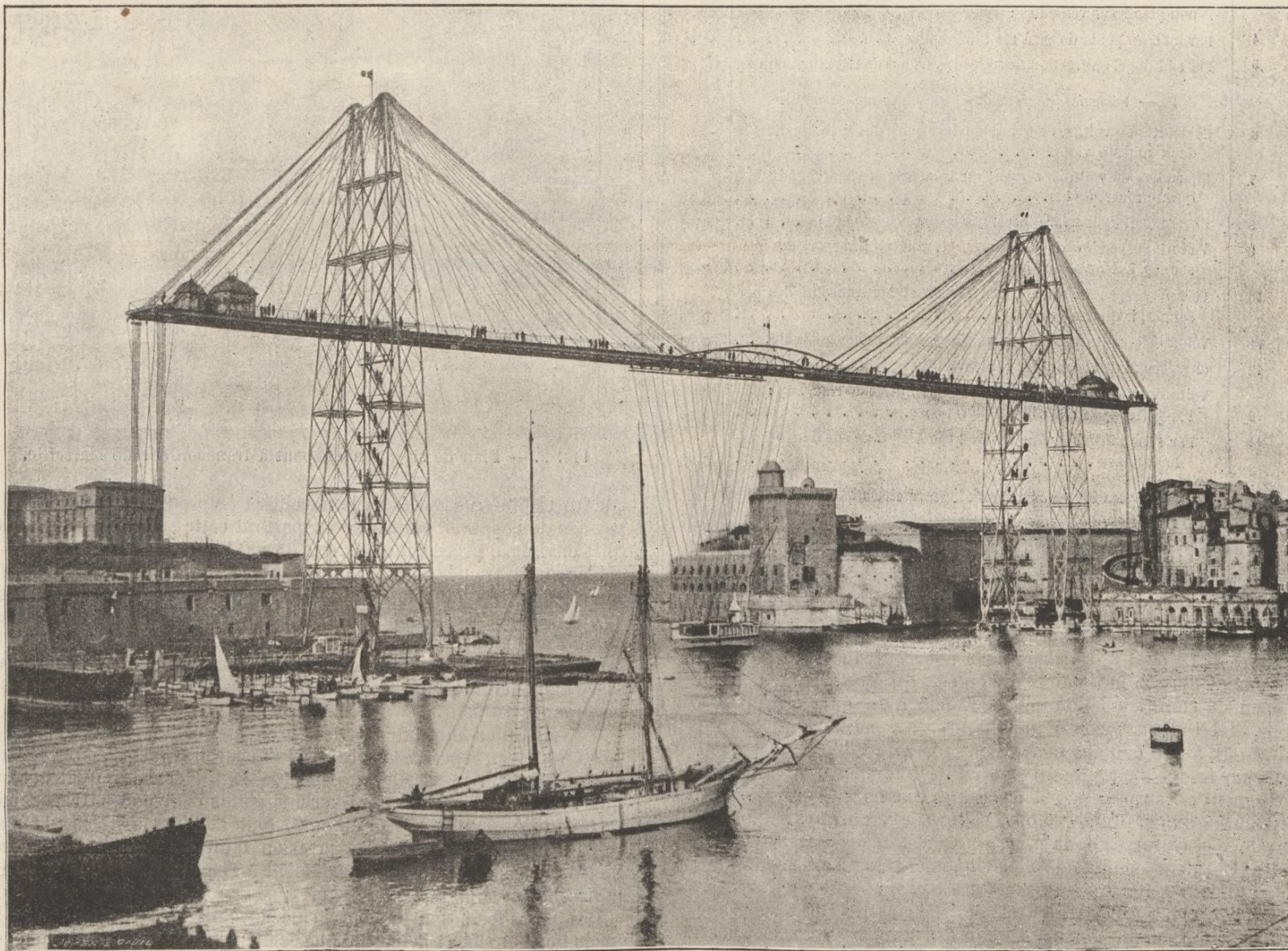


FIG. 1. — PONT A TRANSBORDEUR SUR LE PORT-VIEUX, A MARSEILLE : Vue générale.

« à contrepois et à articulations » était à cette époque en construction sur le Port-Vieux, à Marseille. Ce pont est maintenant terminé et il a été livré au service public le 24 décembre 1905, après avoir subi les épreuves que nous décrirons plus loin.

Il nous paraît intéressant de signaler les principaux éléments de sa construction et les nouveaux perfectionnements apportés aux procédés

pour se rendre aux quartiers nord. Ils ont, en effet, en partant des Catalans, à suivre le boulevard de la Corderie, le cours Pierre-Puget, la rue Paradis et la rue de la République pour se rendre aux quais de la Joliette qui est leur but principal. Ceci explique d'ailleurs pourquoi, dans Marseille, ces grandes artères sont très encombrées de véhicules qui ne peuvent pas toujours contourner le Port-Vieux en suivant ses

(1) Voir le *Génie Civil*, t. XLIV, n° 3, p. 33, et n° 4, p. 49.

(1) Voir le *Génie Civil*, t. XLIV, n° 4, p. 49.

quais, car ceux-ci sont souvent surchargés de marchandises de toutes sortes. Le nombre des chevaux composant ces attelages est toujours important, étant données les rampes à gravir.

C'est pour apporter une solution meilleure à cet état de choses, que le pont à transbordeur du Port-Vieux a été construit. Sa nacelle, reliant directement le quai de la Tourette au boulevard du Pharo, économise aux piétons et à tout le charroi qui transite entre les quartiers d'Endoume, des Catalans et les quais de la Joliette, un détour de plusieurs kilomètres.

Ce pont à transbordeur est, comme celui de Nantes, un pont à péage dont M. F. Arnodin est le concessionnaire et le constructeur.

Le tableau suivant résume le tarif des différentes unités, tel que l'a prescrit le décret de concession du 8 mars 1902, signé par le Président de la République :

NUMÉRO des TARIFS	DÉSIGNATION DES UNITÉS TARIFIÉES	PRIX par UNITÉ
	A. — Voyageurs à pied, à cheval, en voiture ou en véhicule quelconque.	francs
1	Par personne non chargée ou chargée d'un poids de 20 kilogr. au maximum	0,05
	B. — Animaux attelés ou non (non compris les conducteurs).	
2	Cheval, mulet, bœuf, âne, et autres bêtes bovines (par tête)	0,40
3	Veau, mouton, porc, chèvre (par tête)	0,05
	C. — Objets divers non placés sur véhicules.	
	Valises, colis, caisses, sacs, volailles et tous objets ou marchandises non placés sur véhicules :	
4	Par lot d'un poids de 20 à 100 kilogrammes	0,05
5	Par 50 kilogr. ou fraction de 50 kilogr. en sus de 100 kilogrammes.	0,05
	D. — Véhicules (conducteurs et animaux non compris).	
6	Charrettes ou voitures servant au transport des marchandises, à deux roues à vide	0,40
7	Charrettes ou voitures servant au transport des marchandises, à quatre roues, à vide	0,45
8	Chargement dans les voitures, par chaque cheval attelé	0,40
9	Voiture suspendue ou à ressorts, servant au transport des personnes, à deux roues, à vide	0,45
10	Voiture suspendue ou à ressorts, servant au transport des personnes, à quatre roues	0,25
11	Vélocipède, voiture à chiens, voiture à bras, brouette à vide	0,05
12	Chargement de chacun des véhicules du tarif n° 11	0,05
	Voitures automobiles à l'exception des voitures de tramway :	
13	Par voiture jusqu'à 5 000 kilogrammes	0,50
14	Par 1 000 kilogr. ou fraction de 1 000 kilogr. en sus de 5 000 kilogrammes	0,05
	E. — Voitures de tramways (conducteurs et wattman compris).	
15	Par voiture sans limite de poids	0,25
16	Par 1 000 kilogr. ou fraction de 1 000 kilogr. de marchandises formant le chargement	0,05

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE. — SURCHARGES PRÉVUES AU PROJET. — Le pont à transbordeur a pour but, tout en laissant complètement libre la navigation à l'entrée du Port-Vieux, d'établir un moyen de communication sûr et rapide d'un quai à l'autre. On a donc établi deux pylônes métalliques, un sur chaque quai, reliés entre eux à une hauteur de 50 mètres par un tablier supportant des rails sur lesquels circule un chariot de roulement. A ce chariot de roulement est suspendue par des câbles une nacelle qui, accostant au niveau des quais, prend piétons, voitures et tramways pour leur faire effectuer la traversée de la passe.

Un wattman commande électriquement le mouvement de va-et-vient de la nacelle.

Le débouché à franchir est de 165 mètres d'axe en axe des pylônes; la hauteur entre le niveau des plus basses mers observées à Marseille (soit — 0^m 13 par rapport au zéro de l'échelle du fort Saint-Jean) et la partie inférieure du tablier du pont est de 50^m 08 (fig. 1, pl. XVII).

On a été ainsi conduit à prévoir des pylônes dont le sommet est à 86^m 625 au-dessus du niveau des plus basses mers.

Quant au tablier, il est constitué entre les deux pylônes par une travée parabolique de 34^m 60 de longueur et par deux parties en porte-à-faux de 65^m 20, portées chacune par quinze couples de câbles obliques.

Pour les parties arrière du tablier, côté nord, étant données les dispositions d'ancrage des câbles de contrepoids, la tête à l'est du tablier a 40^m 180 de longueur, et la tête à l'ouest 41^m 780. Pour le

côté sud, le tablier en arrière du pylône a la même longueur sur les deux têtes, soit 36^m 50. Ces parties arrière du tablier sont également portées par des câbles obliques.

La nacelle a les mêmes dimensions que celle du transbordeur de Nantes, soit 10 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur, dont 8 mètres de voie charretière, et deux trottoirs de 2 mètres chacun.

La surcharge prévue sur la nacelle était de : deux voitures à un essieu de 11 000 kilogr. et une surcharge de 11 200 kilogr. uniformément répartie sur les trottoirs, et cela, en supposant la nacelle en service avec un vent soufflant à une intensité de 150 kilogr. par mètre superficiel frappé.

Comme il est impossible de procurer lors des épreuves un effet semblable à la poussée d'un tel vent, on est conduit par le calcul, pour s'en rapprocher, à prévoir une surcharge de 94 000 kilogr. répartie

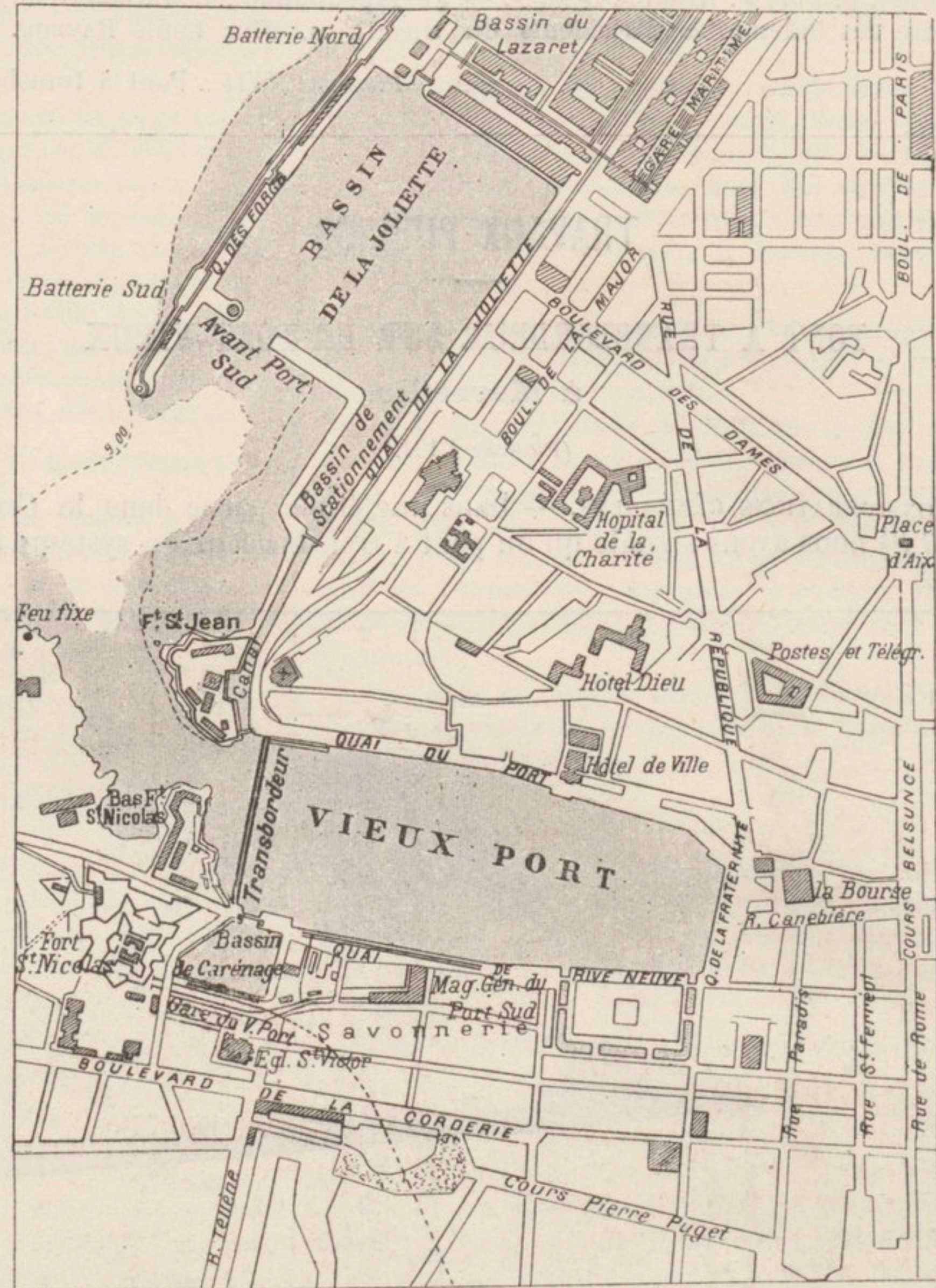


FIG. 2. — Plan de situation du pont à transbordeur de Marseille.

sur les 120 mètres carrés de la nacelle et à éprouver le pont sous le passage de l'appareil transbordeur portant cette surcharge, au lieu de celle envisagée précédemment, soit 33 200 kilogr. en temps calme.

L'appareil transbordeur comprenant la nacelle, sa suspension et son cadre de roulement, était prévu au projet comme devant peser 49 690 kilogr., c'est donc la surcharge totale de 144 000 kilogr. en chiffre rond, circulant sur le tablier du pont et répartie sur les 32 mètres de longueur du cadre de roulement, que nous avons envisagée dans l'étude technique du projet pour la détermination de tous les organes du pont.

On verra plus loin que lors des épreuves, c'est en réalité le poids de 149 000 kilogr., représentant celui de l'appareil transbordeur et la surcharge mise sur la nacelle, qui effectua la traversée du quai nord au quai sud, en stationnant en différents points pour permettre de faire certaines observations. Par ailleurs, tout l'ouvrage est calculé pour résister en toute sécurité à la pression d'un vent de 270 kilogr. par mètre carré soufflant transversalement à l'ouvrage; mais dans ce cas la nacelle est supposée au garage.

Des plates-formes en ciment armé forment voies d'accès entre les quais nord et sud et la nacelle placée dans l'axe de chaque pylône.

Pour ces voies d'accès les surcharges roulantes étaient autant de files de voitures à un essieu de 11 000 kilogr. que la chaussée pouvait en contenir, et un poids de 420 kilogr. sur les portions non occupées par ces voitures.

Nous diviserons l'étude de cet ouvrage en cinq parties :

- I. L'exécution des piliers de fondation et des massifs de contrepoids.
- II. Les voies d'accès en ciment armé.
- III. Le montage des pylônes et du tablier.
- IV. Les épreuves du pont.
- V. L'installation électrique.

Nous ne nous occuperons dans cette étude que des quatre premières parties, réservant pour un peu plus tard, c'est-à-dire lorsque l'ascenseur qui doit donner accès au tablier du pont aura été construit, la description de la partie électrique.

I. PILIERS DE FONDATION ET MASSIFS DE CONTREPOIDS. — *Piliers de fondation.* — Les dimensions de l'ouvrage et les conditions de charge et de surcharge ont conduit, pour assurer la complète stabilité des pylônes, à prévoir sur chaque rive, pour les quatre piliers en maçonnerie sur lesquels ils reposent, un écartement de 20 mètres d'axe en axe des piliers dans le sens transversal et de 10 mètres d'axe en axe dans le sens longitudinal (fig. 2, pl. XVII).

Ces piliers en maçonnerie ont été fondés à l'air comprimé au moyen de caissons métalliques à section circulaire, dont le plafond de la

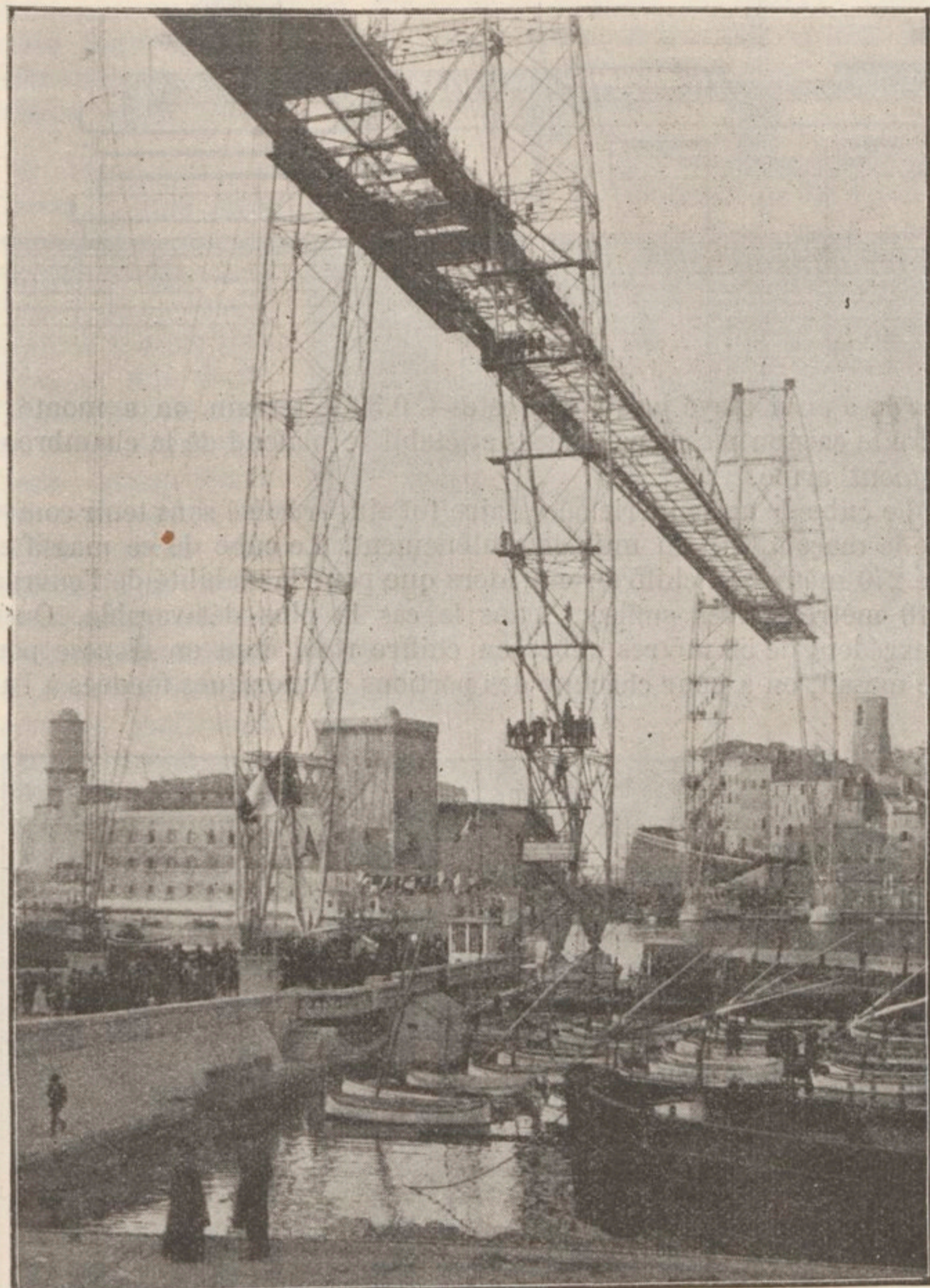


FIG. 3. — Vue en dessous du pont à transbordeur.

chambre de travail était en ciment armé. Pour les côtés nord et sud les dimensions d'exécution et les cotes de base des piliers sont résumées dans le tableau suivant :

EMPLACEMENT DES PILIERS	DIAMÈTRE DES CAISSONS	COTE DE BASE DES PILIERS
Côté nord	3 mètres.	Pilier nord-est — 9 ^m 96
		— nord-ouest — 9 ^m 00
	5 ^m 50	— sud-est — 10 ^m 63
		— sud-ouest — 10 ^m 00
Côté sud	5 ^m 50	Pilier nord-est — 11 ^m 50
		— nord-ouest — 10 ^m 75
	5 ^m 25	— sud-est — 11 ^m 00
		— sud-ouest — 11 ^m 75

Tous ces piliers sont encastrés de plus de 3 mètres dans le sol.

Côté nord, on a rencontré à la cote — 8 mètres en moyenne un calcaire argileux très dur; on a arrêté la fondation après vérification de l'épaisseur du banc sur plus de 2 mètres de hauteur au moyen d'un sondage, lorsque le sol était assez résistant pour qu'un rond de 22 millimètres de diamètre frappé à coups de masse ne pénétrât dans le sol que de 2 millimètres.

Dans le pilier sud-est, côté nord, le travail de fonçage a été rendu difficile par des émanations ammoniacales. Ces émanations occasion-

naient chez les travailleurs des ophtalmies pénibles; on les combattit au moyen de solutions de sulfate de fer répandues sur le sol et en renouvelant souvent l'air de la chambre de travail.

Dans le caisson du pilier nord-est, on a rencontré des pieux et palplanches en sapin. Ces pieux, de 4 à 5 mètres de longueur et espacés de 1^m 20, dataient de la construction du bâtiment de la Santé, soit de cent-soixante-dix ans, et étaient parfaitement conservés; certains d'entre eux avaient encore leur écorce. Ces bois n'avaient donc pas

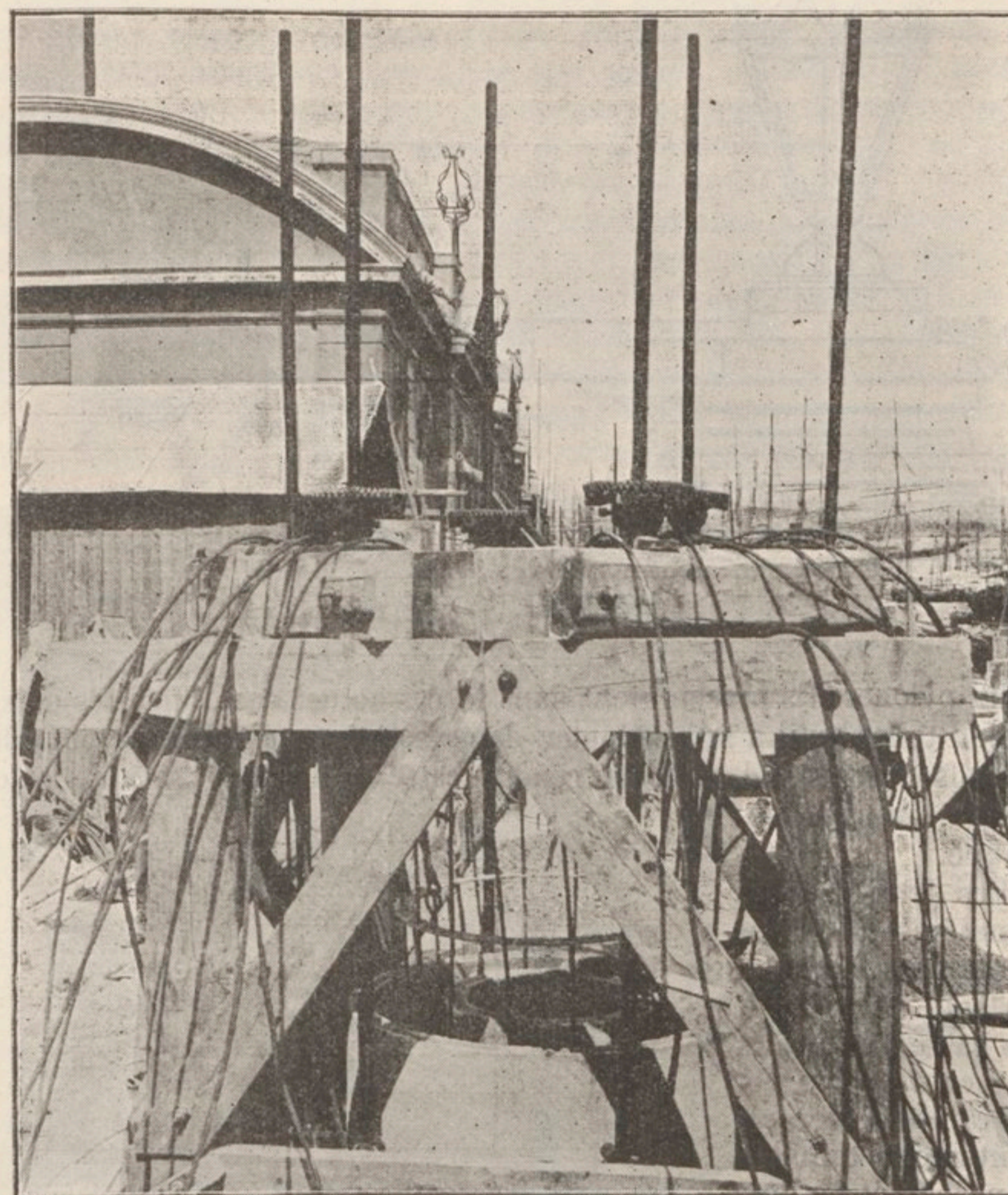


FIG. 4. — Exécution d'un pilier en ciment armé.

subi les atteintes du taret, si funeste dans la Méditerranée; ceci tient sans doute à ce qu'ils étaient complètement enfoncés dans le sol.

Au contraire, dans les pieux utilisés pour les passerelles provisoires qui furent établies à l'emplacement actuel des voies d'accès en ciment armé, le taret fit en moins d'une année des ravages énormes. Tous

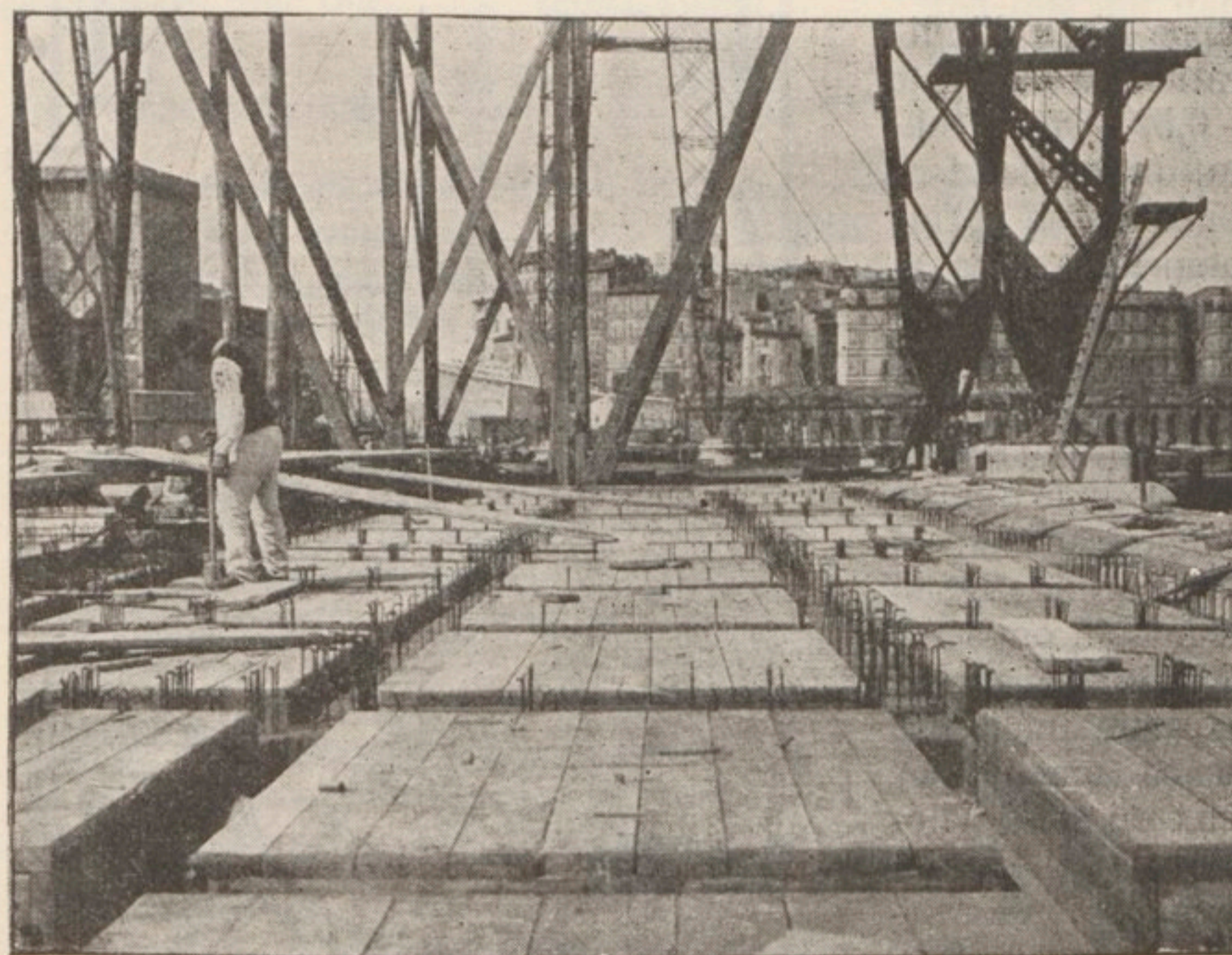


FIG. 5. — Construction de la chaussée d'accès en ciment armé.

ces pieux, dans leur partie comprise entre le sol et le niveau de l'eau, ont été absolument percés intérieurement et de haut en bas par une multitude de trous cylindriques de 3 millimètres de diamètre environ, traces du passage des tarets.

La pression à la base de chacun de ces piliers est, en temps normal, de 1^{kg} 5 par centimètre carré; sous l'action simultanée de la température et d'un vent soufflant transversalement à l'ouvrage avec une pression de 270 kilogr. par mètre carré, la pression maximum est de 4 kilogr. par centimètre carré.

Massif de contrepoids, côté nord. — Les massifs de contrepoids ont comme fonction d'assurer la stabilité de l'ouvrage en formant réaction aux efforts provoqués par la charge circulant sur le tablier entre les

truit sur pilotis. On a donc été amené à étayer sérieusement ce mur, pour éviter tout glissement, sur les parties avoisinantes des demi-calottes sphériques de 5^m 50 de diamètre qu'on avait à enlever. Lors-

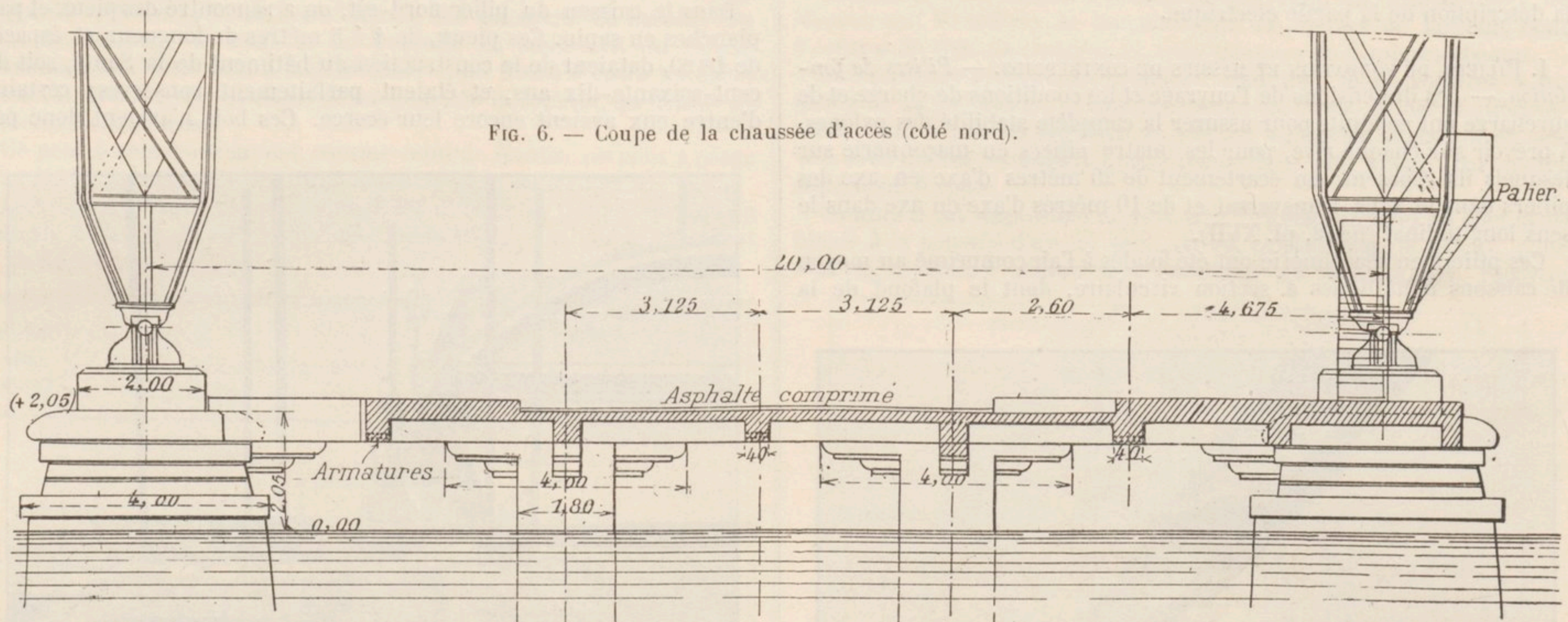


FIG. 6. — Coupe de la chaussée d'accès (côté nord).

deux pylônes. Ils présentaient dans le cas actuel des difficultés d'exécution telles qu'il a fallu adopter deux solutions différentes pour les massifs nord et sud, afin de rendre cette exécution pratique et en même temps économique.

Des deux côtés les massifs sont placés au-dessous du niveau du sol. Côté nord, les câbles verticaux de contrepoids et les câbles de contreventement tombent dans le fruit du mur de soutènement (fig. 3 à 6, pl. XVII); on n'encombre ainsi ni le quai, ni le trottoir. Un sondage fait préalablement à l'exécution de ce massif révéla la nature du terrain et la présence d'une nappe d'eau d'infiltration à la cote + 0,59. On en conclut qu'il fallait fonder ce massif à l'air comprimé pour la portion située au-dessous de la cote précédente. Comme on ne pouvait songer à démolir le mur de soutènement sur la longueur de 15^m 83 du massif, on a été conduit à constituer la partie inférieure de ce massif par deux caissons cylindriques à section circulaire, descendus à la cote - 2^m 88 et réunis entre eux à partir de la cote + 0,59 jusqu'au niveau du trottoir par un massif de maçonnerie, dont la partie inférieure, sur 1 mètre de hauteur, est en ciment armé.

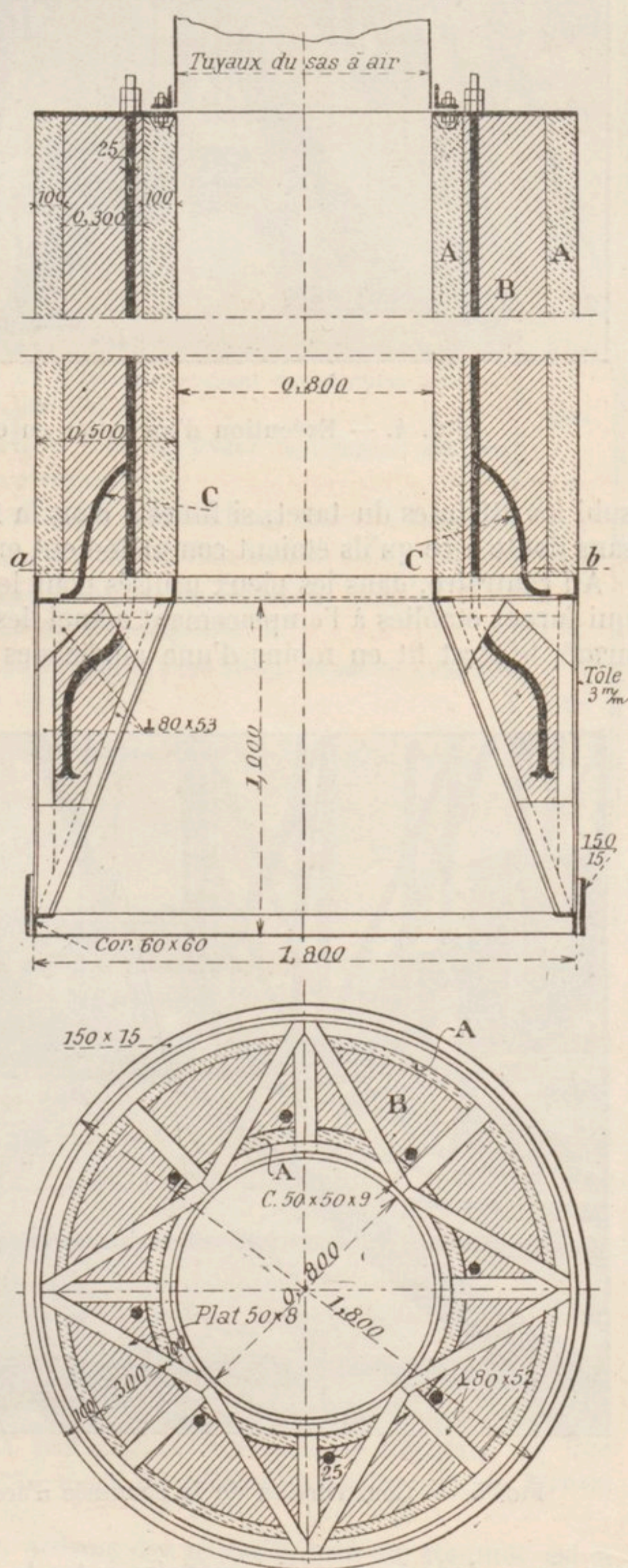


FIG. 7 et 8. — Coupe et plan d'un pilier en ciment armé et béton.

A, ciment armé; — B, béton de chaux hydraulique; C, armature réunissant la chambre de travail à la partie supérieure.

qu'on a eu déblayé jusqu'à la cote + 0,59 le terrain, on a monté et rivé le caisson pièces par pièces et établi le plafond de la chambre en ciment armé.

Le cube de maçonnerie nécessaire fut ainsi réalisé sans tenir compte de la maçonnerie du mur de soutènement. Le cube de ce massif est de 270 mètres en chiffre rond, alors que pour la stabilité de l'ouvrage 210 mètres cubes suffisent dans le cas le plus défavorable. Outre l'excédent de 50 mètres cubes en chiffre rond dont on dispose pour ce massif, on a pour chacune des portions cylindriques fondées à l'air

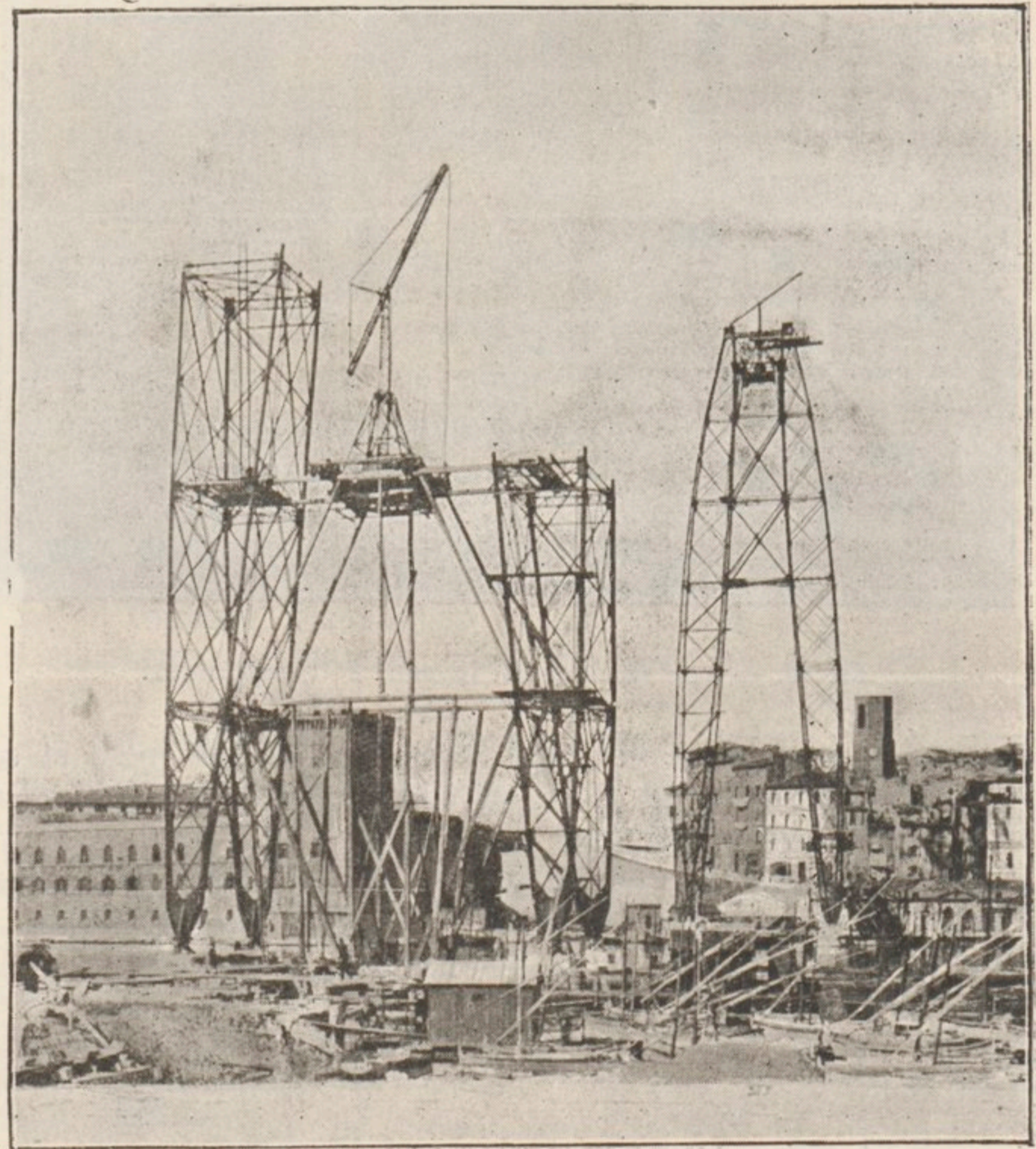


FIG. 9. — Vue prise pendant la première période du montage.

comprimé un surcroît de sécurité dû à l'adhérence du sol à leur paroi : d'autant plus qu'on a construit ces maçonneries avec un peu de fruit pour faciliter la descente. On a pu d'ailleurs se rendre compte de l'adhérence du sol sur les parois au moment où le caisson et sa maçonnerie pesaient 68 tonnes : on a, en effet, été obligé de lâcher complètement l'air et de charger de 27 tonnes (soit au total 95 tonnes) pour que la descente puisse s'opérer. On se rend compte ainsi de la résistance à l'arrachement sur laquelle on peut compter.

On a pu effectuer la construction de ce massif en limitant l'encombrement au contour du trottoir.

Comme ce travail fut exécuté au mois d'août 1904, on fut obligé, pour éviter la chaleur dans la chambre d'équilibre, d'installer au-dessus une toile constamment arrosée d'eau.

Massif de contrepoids, côté sud. — Du côté sud, le massif situé à l'extrémité de la voie d'accès en ciment armé tombait à un endroit où la profondeur d'eau était d'environ 5 mètres; aussi fut-on conduit à construire le massif dans un caisson (fig. 10 et 11, pl. XVII). Ce caisson en bois étanche de 6 mètres de largeur, 16 mètres de longueur et 4^m 20 de hauteur fut construit et amené à l'emplacement voulu. On avait au préalable, à cet emplacement, battu à refus 32 pieux de 0^m 30 de diamètre, que l'on avait recepés exactement à la cote — 3^m 68. Entre ces pieux du remblai bien tassé avait été régalaé à cette cote. On construisit à sec la maçonnerie constituant le massif de contrepoids en y réservant les gaines, les chambres d'amarrage et un puits central avec une galerie pour permettre la visite des organes d'amarrage. On obtint ainsi un massif étanche.

Grâce aux dispositions adoptées pour la fabrication du caisson, les parois verticales en bois ont pu être retirées. La portion de maçonnerie en contact avec les ancrs d'amarrage des câbles de contrepoids et de contreventement est, sur 1^m 30 de hauteur, en béton de ciment armé, pour donner une meilleure répartition des efforts dans tout l'ensemble; la partie supérieure, n'intervenant que pour son poids propre, est en maçonnerie de chaux hydraulique.

II. VOIES D'ACCÈS EN CIMENT ARMÉ. — *Voie d'accès, côté nord.* — Entre l'arête du quai reliant le fort Saint-Jean au bâtiment de la Santé et

la position de la nacelle placée dans l'axe du pylône nord, il y avait lieu d'établir une plate-forme donnant accès au transbordeur. Cette plate-forme fut exécutée en ciment armé au moyen d'un hourdis reposant sur des poutres maitresses et secondaires. Ces poutres maitresses de 400 × 400 s'appuient d'un côté sur les murs du quai, et de l'autre sur une poutre de 600 millimètres de hauteur reposant sur les piliers sud-est et sud-ouest du pylône nord et sur deux piliers secondaires de 1^m 80 de diamètre fondés à l'air comprimé.

Les figures 7 et 8 montrent les dis-

positions adoptées pour la chambre de travail et les tubes extérieurs et intérieurs en ciment armé qui constituent ces piliers secondaires formant colonnes pour porter la plate-forme; de la maçonnerie ordinaire remplit le vide laissé entre les tubes. Un enduit en ciment riche a été appliqué sur les tubes intérieurs en ciment armé, ce qui a permis de se dispenser de tuyaux en tôle d'acier pour relier la chambre de travail à la chambre d'équilibre.

L'armature inférieure des poutres maitresses de la plate-forme d'accès, côté nord, est composée de douze barres en acier rond de 32 millimètres de diamètre; dans les sections d'encastrement, c'est-à-dire aux extrémités desdites poutres, la même armature a été noyée dans la face supérieure du hourdis. Quant aux poutres secondaires, elles ont 350 × 350 millimètres; leur armature inférieure est constituée par dix barres en acier rond de 20 millimètres de diamètre, elles possèdent également des armatures d'encastrement de même section à leurs extrémités.

La plus grande portée des poutres maitresses est de 10 mètres entre les points d'appui, si l'on ne tient pas compte des consoles placées en ces points. Le panneau de hourdis qui a les plus grandes dimensions, de 2^m 431 × 3^m 125, a 150 millimètres d'épaisseur sans compter les 50 millimètres d'épaisseur des pavés en asphalte comprimé qui forment pavage. Des armatures d'encastrement disposées dans le hourdis à sa face supérieure, au-dessus des poutres, ont permis de considérer ces panneaux comme encastres sur leurs quatre côtés, et par suite de déterminer le moment fléchissant maximum par la formule :

$$M = \pi \cdot \frac{E_2}{8} \cdot \frac{l_1^2}{l_1 + l_2}$$

dans laquelle $\pi = 2105$ kilogr. le poids mort et surcharge par mètre superficiel; $l_1 = 3^m 125$; $l_2 = 2^m 431$.

L'armature principale et inférieure de ce hourdis se compose de barres en acier rond de 15 millimètres de diamètre espacés tous les 100 millimètres, l'armature de répartition est formée de ronds en acier de 8 millimètres espacés tous les 180 millimètres. Ces panneaux ont été calculés pour résister à une surcharge de 1630 kilogr. par mètre superficiel.

Le poids total du métal qui entre dans les armatures de la plate-forme, côté nord, est de 15 500 kilogrammes.

Voie d'accès, côté sud. — Cette voie d'accès, en ciment armé, a 27 mètres de longueur sur 16 mètres de largeur; elle est divisée en un certain nombre de panneaux de 6^m 525 × 6^m 30. Chacun de ces panneaux de hourdis est porté par des poutres maitresses et secondaires qui forment entre elles des rectangles de 2^m 175 × 2^m 10 (fig. 1, pl. XVII), et qui s'appuient sur des piliers de 1^m 80 fondés à l'air comprimé, comme du côté nord. Les poutres maitresses ont 420 × 400 millimètres; elles ont comme armature inférieure six barres d'acier rond de 36 millimètres de diamètre, et les poutres secondaires de 260 × 220 dix barres d'acier rond de 20 millimètres avec des armatures d'encastrement de même section à leurs extrémités. Des consoles (fig. 6) diminuent la portée des poutres; les balustrades de cette voie d'accès sont également en ciment armé. Le hourdis a la même constitution que celui de la plate-forme côté nord. Le poids total du métal

qui entre dans les armatures de la voie d'accès côté sud est de 35 000 kilogrammes.

Lors des expériences d'épreuves, on fit stationner la roue d'un essieu de 11 000 kilogr. au centre d'un panneau de hourdis de 6^m 525 × 6^m 30 et on observa la flèche en ce point; elle fut de 0^{mm} 4, ce qui représente en chiffre rond $\frac{1}{16\ 000}$ de la portée.

Tous les éléments constitutifs des poutres et du hourdis ont été calculés par des formules basées sur le même principe que celles que nous avons données dans le *Génie Civil* à propos de la construction du tablier du pont suspendu

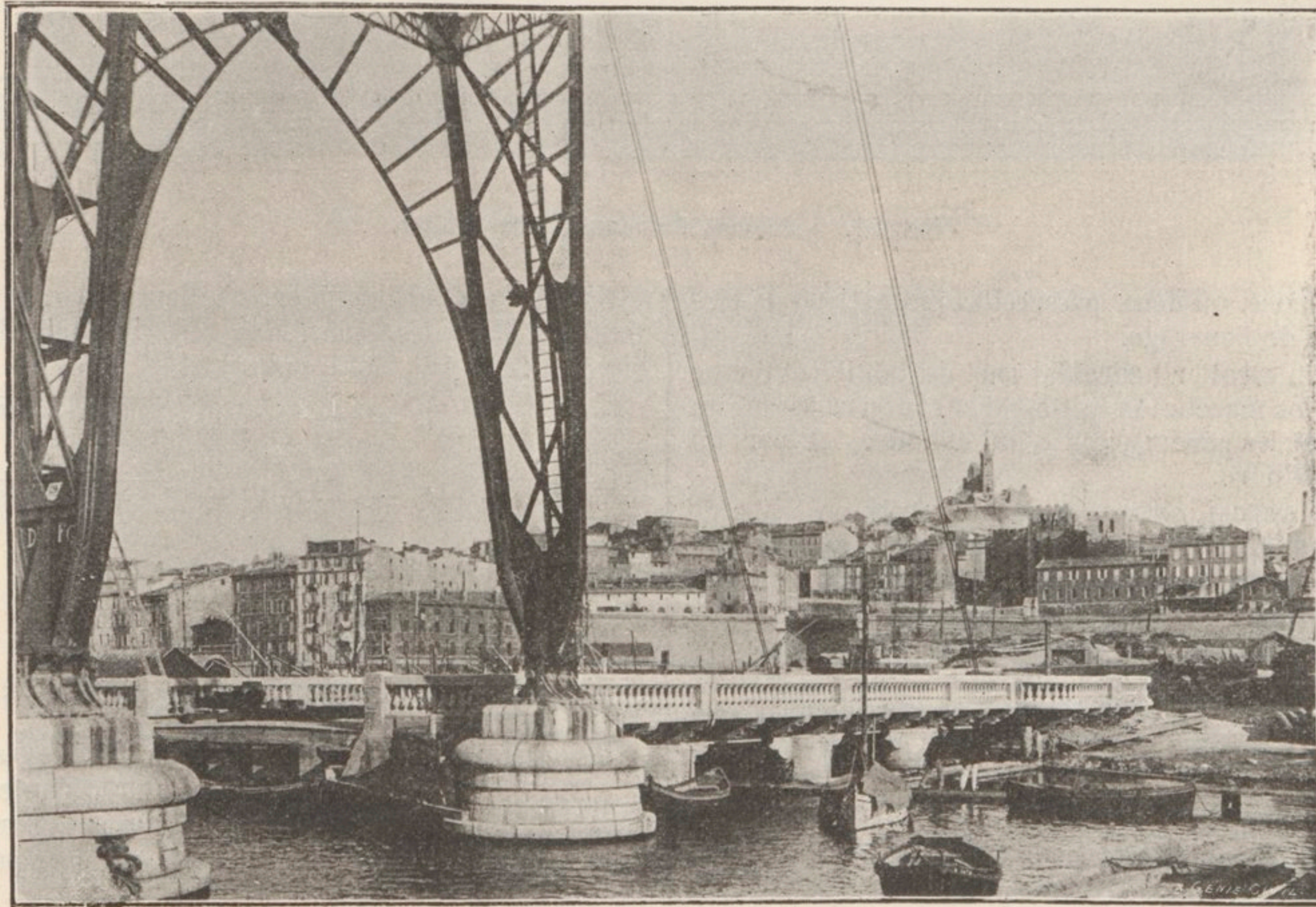


Fig. 10. — Vue de la chaussée d'accès (côté sud).

du Bonhomme, sur le Blavet, près de Lorient (1).

III. MONTAGE DES PYLONES ET DU TABLIER. — *Montage des pylônes.* — La hauteur du sommet de chacun des pylônes au-dessus du zéro de l'échelle du fort Saint-Jean est de 86^m 625. Les lignes externes et internes des arêtiers des fuseaux sont constituées, dans le plan des grandes faces, par deux arcs de paraboles osculatrices en leur point de raccordement au niveau du tablier; elles sont déterminées par la condition de donner pour les pylônes des solides d'égale résistance.

Les sections cruciformes des arêtiers, composées de cornières et de larges plats, sont telles que le travail du métal à la compression est constant dans toutes les sections. Ce travail, dans le cas le plus défavorable, sous l'action d'un vent de 270 kilogr. par mètre carré soufflant transversalement à l'ouvrage et coïncidant avec une augmentation de température de 25 degrés au-dessus de la normale, est de 6^{kg} 5 par millimètre carré de section, sans tenir compte de l'excès de flambage, qui a été déterminé par la relation :

$$dR = \frac{F}{\Omega} \cdot \frac{l^2}{r^2} \cdot \frac{28}{10^6}$$

F étant la compression; Ω , la section d'un arétier; l , la longueur libre; r , le rayon de giration minimum.

Le montage des pylônes s'est effectué aussi aisément que celui des pylônes du transbordeur de Nantes (2) au moyen de la grue électrique auto-élevatrice, système F. Arnodin.

Les pylônes nord et sud ont exactement la même constitution; chacun d'eux pèse 240 000 kilogrammes.

(1) Voir le *Génie Civil*, t. XLVI, n° 46, p. 253.

(2) Voir le *Génie Civil*, t. XLIV, n° 4, p. 49.

La dépense d'énergie électrique pour le montage complet du pylône nord s'est chiffrée par 344 kilowatts-heure, en comprenant le montage et le démontage des bois de charpente qui ont servi d'entretoises et de support pour la grue. On voit par là combien son emploi est économique.

Disposée au sommet du pylône, chaque grue a été utilisée pour monter tous les câbles de la suspension, ainsi que les chariots de dilatation, qui pèsent 4 000 kilogr. en chiffre rond.

Sur chaque pylône se trouve établi un escalier, qui donne accès au

ventement, pesait, avec les chariots élévateurs et les organes accessoires, 12 150 kilogrammes.

Le calcul de rails aériens flexibles devant porter une charge p , entre deux points A et B, est, théoriquement, des plus simples. En effet, les tensions dans les brins qui aboutissent aux points A, B, sont représentées graphiquement par les longueurs AC, BC, des droites normales aux rayons vecteurs BM, AM, d'une ellipse ayant A, B, comme foyers; la longueur AB représentant graphiquement la charge à porter.

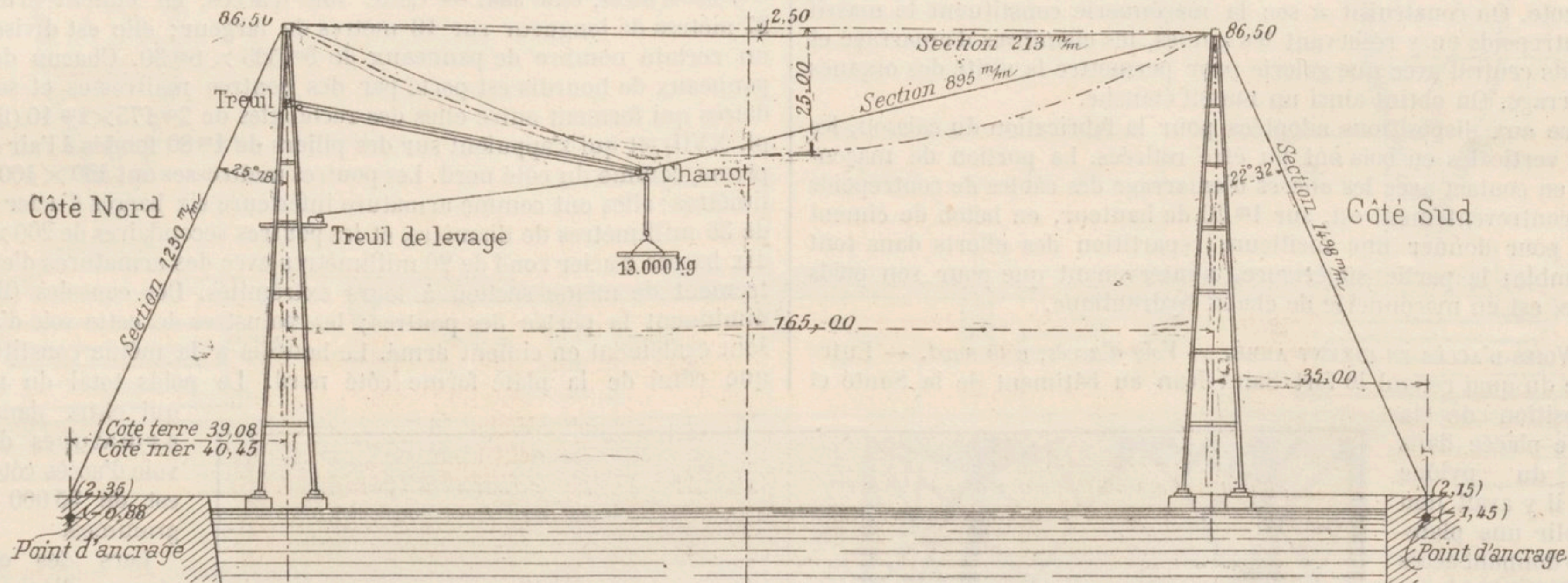


FIG. 11. — Schéma du montage du tablier.

public sur le tablier du pont, où deux passerelles permettent de circuler d'un bout à l'autre de l'ouvrage.

Sur le pylône nord, un escalier hélicoïdal part du tablier et donne accès au sixième étage; les marches de cet escalier sont portées par un groupe de câbles formant les génératrices d'un cylindre, et par un câble dans l'axe de ce cylindre.

Chaque pied de pylône repose, au moyen d'une rotule en acier de 200 millimètres de diamètre, sur un sabot en fonte, qui est ancré dans les piliers de maçonnerie au moyen de quatre tirants en acier de 65 millimètres de diamètre et de 4^m 50 de longueur. Le calcul de la stabilité des pylônes isolés, avant le montage du tablier, a montré que, grâce à cette disposition, on est en toute sécurité, même avec un vent soufflant avec une intensité de 270 kilogr. par mètre superficiel frappé.

Montage du tablier. — Pour les parties du tablier en arrière des pylônes, on employa des chèvres, comme celles qui furent utilisées pour le montage du tablier du transbordeur de Nantes.

Pour les panneaux du tablier en avant des pylônes, et qui forment, sur une longueur de 65^m 20, les parties en porte à faux, ils furent montés au moyen de deux chariots élévateurs (système F. Arnodin) courant sur deux rails aériens flexibles.

Cette installation comprenait (fig. 11) : deux câbles, un par tête de

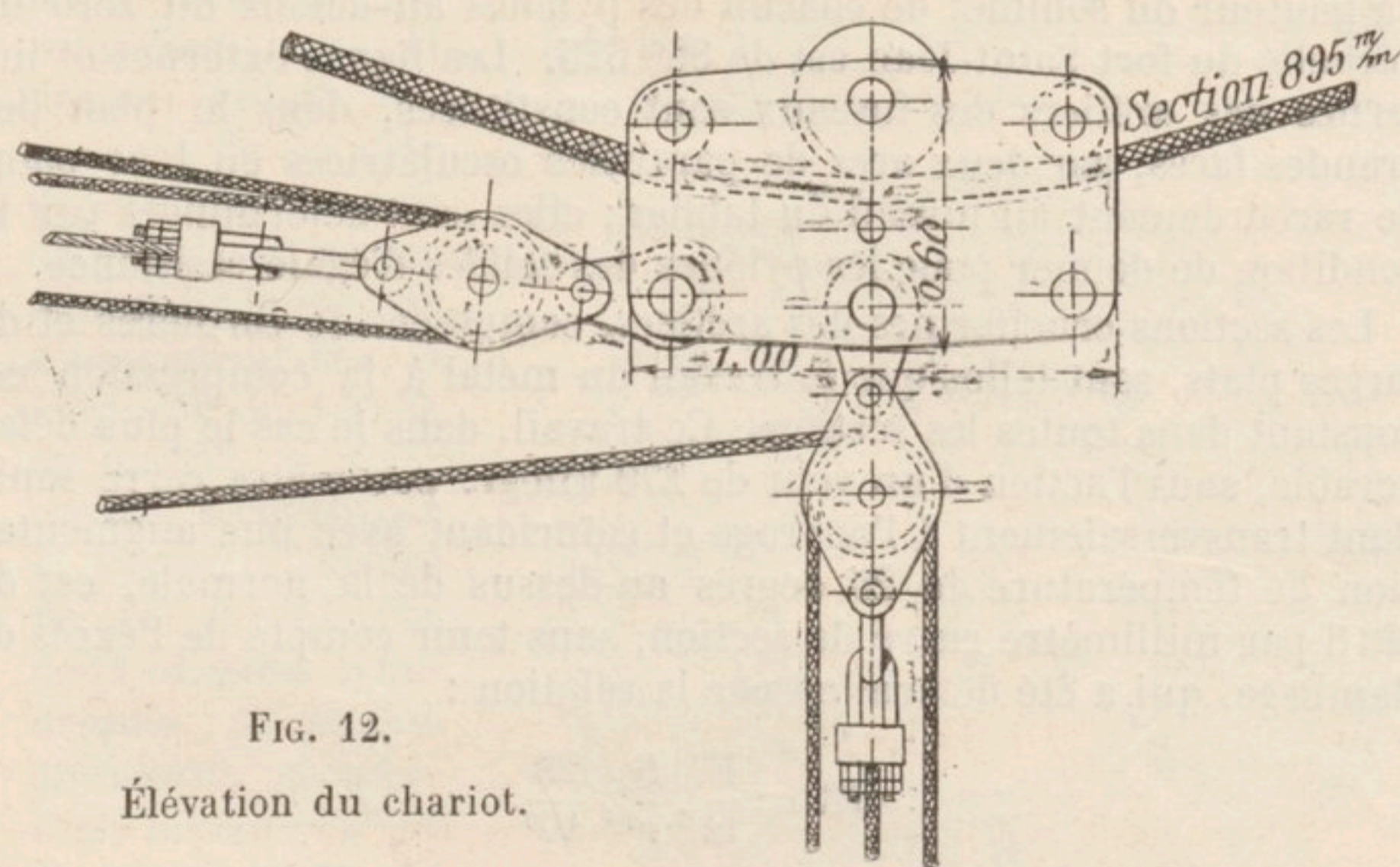


FIG. 12.

Élévation du chariot.

pont, formant rails aériens flexibles, de 895 millimètres carrés de section chacun; deux câbles de retenue, de 1 230 millimètres carrés de section chacun; quatre haubans de tête, de 213 millimètres carrés de section, et deux chariots élévateurs.

Deux treuils, commandés par des électromoteurs, donnaient : l'un, le mouvement de translation des chariots sur leurs rails, l'autre, le levage du panneau.

Chaque panneau du tablier, de 8 mètres de longueur, comprenant les deux poutres porte-rails, les pièces de pont et les barres de contre-

Si l'on veut déterminer, d'ailleurs, par le calcul, les valeurs des tensions dans les brins MA, MB, il suffit d'utiliser les formules simples :

$$\left. \begin{aligned} t_a &= \frac{p}{4cy} (c-x) \sqrt{y^2 + (c+x)^2} \\ t_b &= \frac{p}{4cy} (c+x) \sqrt{y^2 + (c-x)^2} \end{aligned} \right\} \quad [a]$$

formules dans lesquelles (fig. 13) :

$$\begin{aligned} 2c &= 165 \text{ mètres.} & \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2 - c^2} &= 1. \\ f &= 25 \text{ mètres.} & 2a &= 2c + \frac{4}{3} \frac{f^2}{c}. \end{aligned}$$

Il était intéressant de vérifier si la théorie était d'accord avec l'expérience, c'est-à-dire si les formules précédentes étaient d'une exactitude suffisamment approchée bien que négligeant :

1° L'influence du poids des câbles porteurs par rapport au poids de la charge p ;

2° L'écart qui existe entre les courbes décrites par les câbles, de M en A et de M en B, avec les droites MA, MB.

Dans ce but, lors du montage du panneau n° 4 de la partie sud du

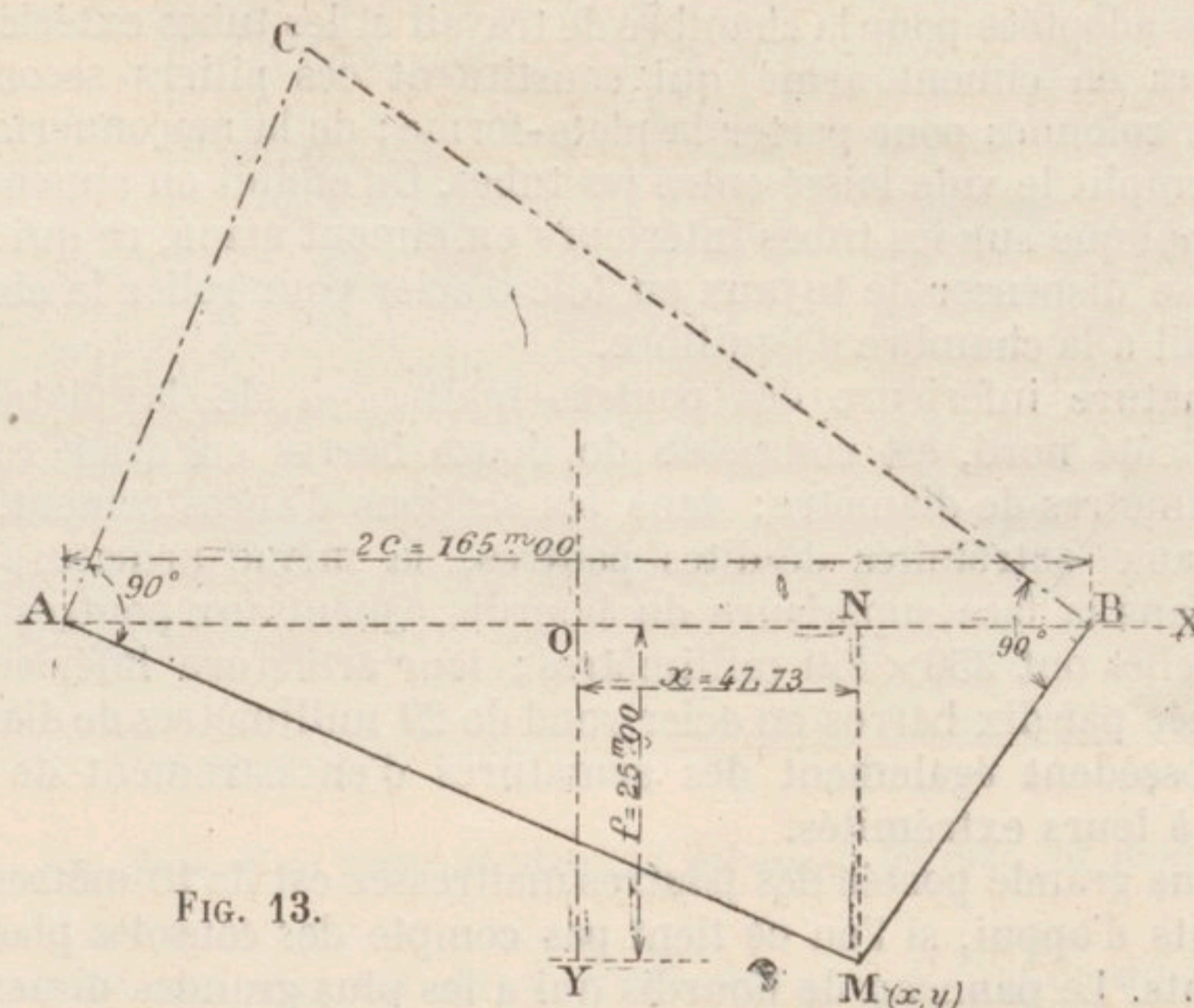


FIG. 13.

tablier, une expérience très précise fut faite par le directeur du montage du pont. Elle consistait à amener ce panneau, pesant $p = 12 150$ kilogr., à une distance de 34^m 77 de l'axe du pylône sud, de déterminer la hauteur du point bas des rails par rapport au niveau des points d'appui A, B, soit 25^m 04, et, enfin, de mesurer la tension dans le brin MA du câble. Pour la détermination de cette tension, on a employé le procédé dit « du câble témoin », qui a permis de conclure que les fils constituant ce câble travaillaient au taux de 7^{kg} 27 par millimètre carré de section.

Pour comparer les résultats d'expériences aux résultats des cal-

culs, nous voyons qu'en faisant, dans les formules [α] données plus haut :

$$x = 82^m 50 - 34^m 77 = 47^m 73, \quad p = 12150 \text{ kilogr.},$$

on trouve :

$$y = 25^m 34,$$

alors que l'expérience a donné 25^m 04, ce qui est suffisamment concordant, et

$t_a = 6700$ kilogr., pour un câble, d'où un travail de :

$$\frac{6700}{895} = 7^k 48,$$

ce qui est très voisin du travail de 7^k 27 accusé par l'expérience (1).

Après le montage des parties en porte à faux du tablier, on procéda au montage de la travée centrale, qui fut hissée en une seule opération, du niveau de la mer au niveau du tablier, comme on avait opéré au transbordeur de Nantes.

Son poids était de 50000 kilogr.; avant de faire cette opération, on éprouva un seul couple de palans à chaque extrémité du tablier, en soulageant au-dessus de l'eau un chaland chargé de sable et pesant 28000 kilogrammes.

Comme on avait, pour le levage de la travée centrale, deux couples de palans par extrémité du tablier, on disposait d'organes qui, ensemble, pouvaient soulever 112000 kilogr., alors qu'il suffisait d'en enlever 50000; on était donc assuré du résultat.

Cette travée centrale fut amenée sur trois chalands, à l'aplomb de la position qu'elle devait occuper, et fut hissée à 50 mètres de hauteur en moins de quatre heures. Sur chaque extrémité du tablier, quatre palans fixés

sur deux chèvres et actionnés par des treuils électriques commandaient le levage (fig. 15).

Malgré les conditions de grande sécurité dans lesquelles s'effectuait le

montage de la travée centrale, on avait, à Marseille, introduit un nouveau perfectionnement, par l'installation de parachutes. Un câble par tête du tablier était installé à chaque extrémité de la partie en porte à faux et descendait au niveau de l'eau; ce câble passait dans une pièce en acier coulé fixée sur la travée métallique; des ressorts maintenaient des coins en acier dans l'intérieur de ce parachute et permettaient le montage de la pièce; en cas de descente, les coins jouaient et la travée centrale était portée par ses quatre câbles.

Ce montage s'est effectué sans aucun arrêt pour la navigation.

Lorsque le vent souffle en tempête et transversalement au pont, le tablier transmet aux pylônes l'effort qu'il supporte sans lui occasionner aucun effort de torsion, grâce à une disposition d'assemblage entre le contreventement du pylône et celui du tablier à cette même hauteur. Ces deux contreventements sont, en effet, réunis par une cheville ouvrière de 166 millimètres de diamètre, dont le travail au cisaillement est, dans le cas le plus défavorable, de 3^k 42

par millimètre carré de section, et qui concentre l'effort total pour le transmettre au pylône sans provoquer d'effort de torsion.

G. LEINEKUGEL LE COCQ,
Ingénieur de la Marine.

(A suivre.)

CHEMINS DE FER

LES CHEMINS DE FER EN CHINE

Depuis quelques années, une modification sensible s'est produite dans l'état d'esprit du Gouvernement chinois, en ce qui concerne les constructions de voies ferrées. Ce symbole de notre civilisation fut, en effet, longtemps repoussé par le mandarinat avec un véritable fanatisme, comme l'attestent la destruction, en 1877, de la ligne de Shanghai à Ausoung et, plus récemment, celle des lignes de Pékin à Paoting-Fou et de Pékin à Tientsin; aujourd'hui, au contraire, il lui apparaît comme une source de prospérité.

Ces dispositions nouvelles semblent ouvrir un champ d'action presque indéfini aux ambitions et à l'activité européennes; mais il ne faudrait pas s'illusionner outre mesure: les Chinois s'affinent au contact des Européens, leur confiance en leur propre crédit s'accuse

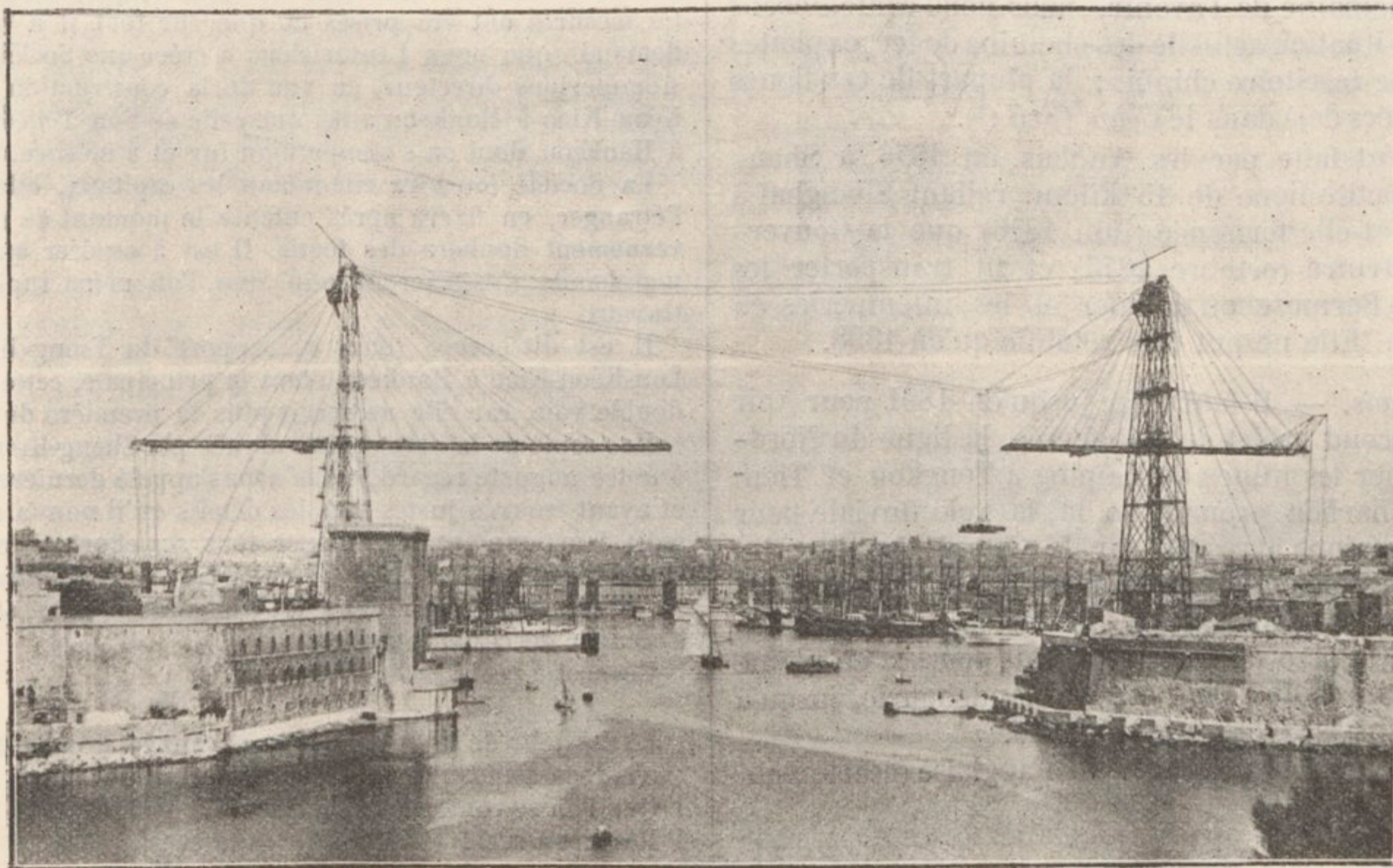


Fig. 14. — Vue prise pendant le montage du tablier.

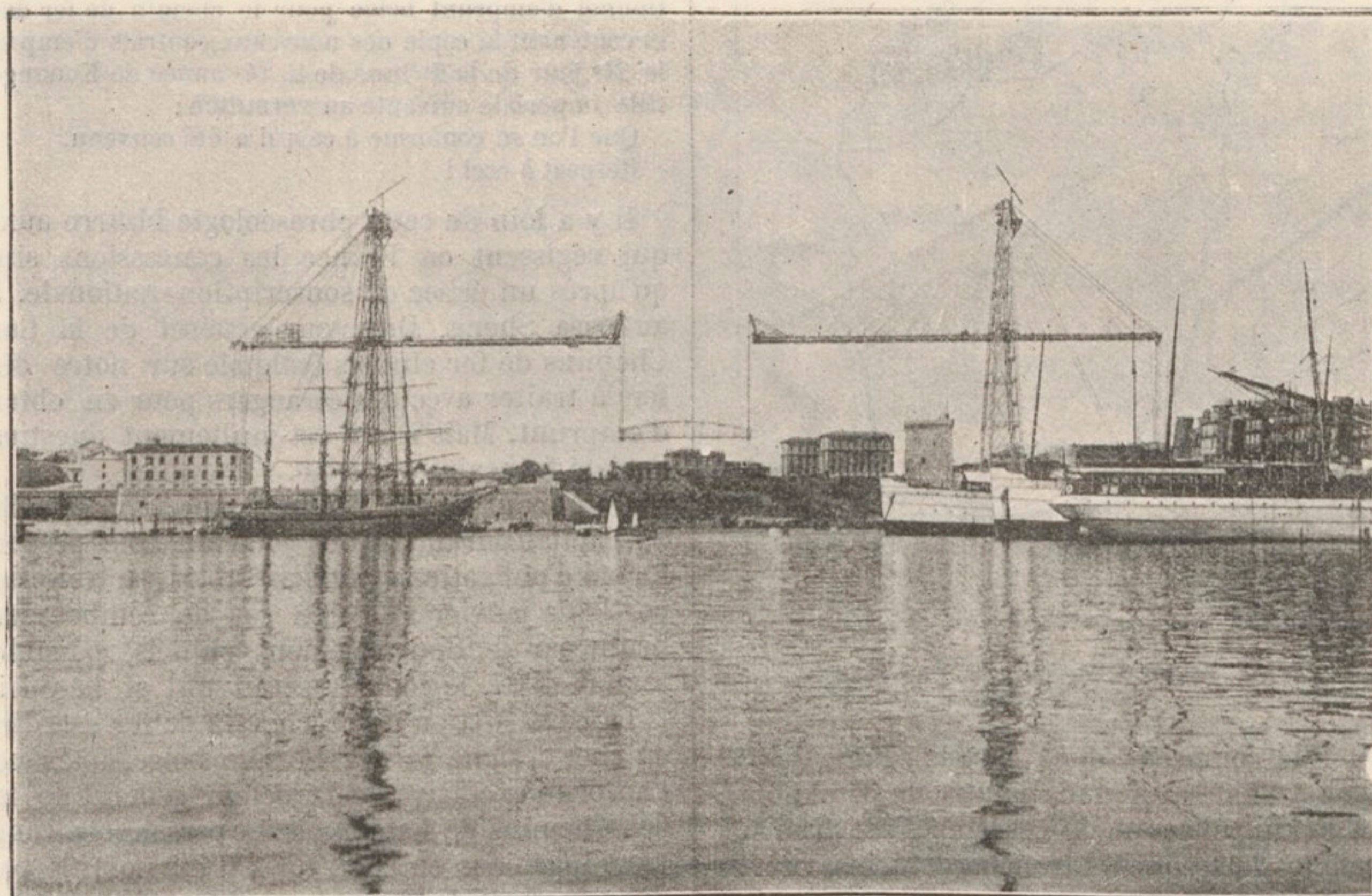


Fig. 15. — Vue prise pendant le montage de la poutre centrale.

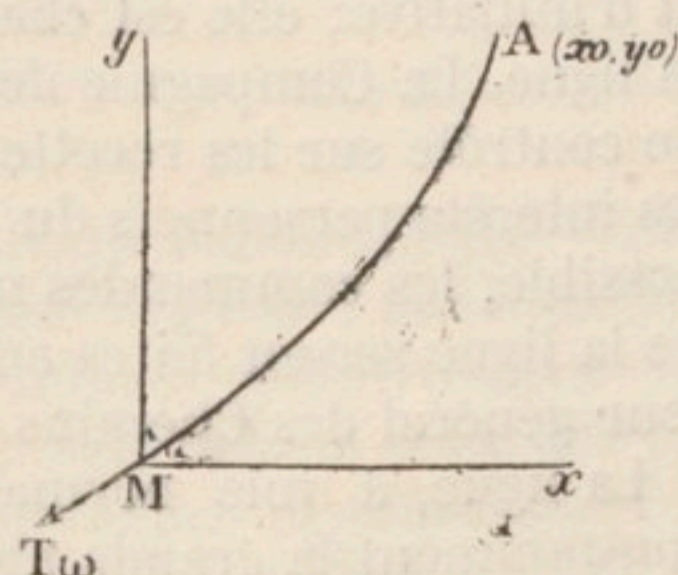
(1) Ce procédé, dit « du câble témoin », dû à M. Arnodin, et employé maintenant dans les épreuves des ponts suspendus pour mesurer la tension dans un câble, repose sur ce principe simple de mécanique, que tout câble en équilibre, de poids p' au mètre courant, fixé en A, subissant une tension T_0 au point M, décrit une courbe exponentielle, dont l'équation est :

$$y = \frac{c}{2p'} \left[\frac{p'}{c} x + a + e^{-\frac{p'}{c} x} + e^{\frac{p'}{c} x} \right] + c_1,$$

les constantes c, c_1, a étant des fonctions de p' , des coordonnées du point A et de la tension T_0 .

Or, si deux câbles décrivent entre deux points M et A des courbes exponentielles superposables, c'est-à-dire si leur flèche est la même, ou si leurs tangentes, en ces points M, A, se confondent, les tensions respectives de ces câbles, pour une même abscisse x , seront évidemment proportionnelles à leur poids par mètre courant, ou, ce qui revient au même, à leurs sections, si ces câbles sont constitués par le même métal. Dans le cas de l'expérience citée, le fil d'acier avait 1 millimètre de diamètre, et la tension de ce fil, au moment où la courbe qu'il décrivait était identique à celle du câble MA, fut mesurée au dynamomètre, et trouvée égale à 6 kilogr.; comme, par ailleurs, le câble formant rail flexible était à torsions alternatives, on en conclut que, par millimètre carré de section

dans ce câble, le taux de travail est $\frac{6}{0,7854 \times 1,05} = 7^k 27$ par millimètre carré.



Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères

| . Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères. 1906-02-24.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'œuvres 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.