

NOUVEAU SYSTÈME DE MANŒUVRE

DES

PONTS TOURNANTS

PAR

A. WEYTS,

ingénieur des ponts et chaussées

Le système que nous allons exposer dans cette notice, s'appliquant surtout avec avantage aux ponts qui exigent pour la manœuvre *deux ou un plus grand nombre d'hommes* ou *des machines*, nous avons été amené à rechercher la limite de poids à partir de laquelle il cesse d'être possible d'ouvrir et de fermer les ponts avec le concours d'un seul agent. Cette limite varie d'ailleurs, avec le mode de rotation et le plus ou moins de rapidité exigée pour la manœuvre.

Ainsi le pont pour chemin de fer, récemment construit à Lokeren, pèse 72 tonnes et on n'arrive pas à le manœuvrer avec un seul homme, agissant de toutes ses forces sur les appareils commandés du centre du pont.

D'un autre côté, tous les essais que l'on a faits pour supprimer un des deux agents desservant un pont-route de 80 tonnes établi au Dam à Anvers ont été infructueux. Ce pont se manœuvre de la culasse.

Lorsque le poids du pont atteint 150, 200 tonnes et au delà, la manœuvre exige un plus grand nombre

d'hommes, ou l'emploi de machines : la solution que l'on adopte résulte dans chaque cas d'un calcul comparatif entre le salaire des pontonniers, d'une part, le salaire du machiniste, l'amortissement du matériel et les intérêts du capital, d'autre part.

Pour prendre un exemple dans notre pays, citons le pont de Boom qui pèse 262 tonnes. Cinq pontonniers sont appelés à le desservir. (En réalité, dix à cause du service de nuit.) Il faut 7 minutes pour faire le décalage et 3 minutes pour tourner le pont (soit 20 minutes pour l'ouverture et la fermeture). On voit à quelle perte de temps conduit la manœuvre, malgré le grand nombre d'hommes employés. Aussi l'administration des chemins de fer de l'État va-t-elle remplacer le système existant par des machines à air comprimé. Ce qui permettra de réaliser une certaine économie sur le salaire des ouvriers, et aussi de réduire notablement la durée de la manœuvre.

Citons encore comme exemple le pont tournant du Havre, qui pèse 120 tonnes ; il faut pour le décaler, le caler, l'ouvrir et le fermer, quatre hommes poussant à l'extrémité de la culasse et 4 minutes de temps.

Malgré le concours des engins mécaniques, il faut constater que le temps employé pour ouvrir et fermer les grands ponts est encore relativement considérable. Ainsi, le pont-roulant du Kattendyk, à Anvers qui pèse, sans son contrepoids, 264 tonnes, n'est ouvert qu'au bout de 3' 20". Pour le fermer, il faut 2' 10", soit au total pour la manœuvre : 5' 30".

Dans tous les cas, il va de soi que si l'on fait tourner à la main les grands ponts, c'est toujours au détriment de la navigation et de la circulation sur le pont. N'oublions pas, d'ailleurs, que la manœuvre ne comporte pas seulement l'ouverture et la fermeture, mais aussi le décalage et le calage : il faut, en effet, élever les extré-

mités de la culasse et de la volée de toute la flèche qu'elles présentent lorsque le pont est ouvert ; sinon, au passage des charges, les moments fléchissants qui sollicitent le *pont fermé* seraient augmentés d'une partie des moments fléchissants qui sollicitent le *pont ouvert* et les longerons, qu'on ne calcule pas dans cette hypothèse, pourraient ne pas résister. Il est d'ailleurs à noter que, lorsque la température s'élève, le métal fléchit davantage ; il s'ensuit qu'à certains moments il peut être plus difficile de caler ou de décaler un grand pont que de le tourner.

Avec le système en usage aujourd'hui, le travail absorbé par le frottement sur le pivot est proportionnel au poids du tablier. De plus, au fur et à mesure que les dimensions des ponts augmentent, il naît de nouvelles et plus grandes résistances passives : alors on est amené à installer, outre le pivot, un chariot de galets, qui, en même temps, a pour mission de limiter les oscillations pendant la manœuvre. De sorte que, pour opérer la rotation du pont, on doit vaincre non seulement les frottements de glissement sur le pivot, mais aussi les résistances au roulement sur les galets.

Selon l'importance de toutes ces résistances passives, selon les difficultés du calage et la rapidité plus ou moins grande exigée pour la manœuvre, il faudra recourir, soit à un certain nombre d'hommes, à l'installation de machines avec raccords, transmissions de mouvement, etc., ou à l'emploi de la pression hydraulique, laquelle exige des machines à vapeur pour activer les pompes foulantes, des accumulateurs, des conduites d'eau, etc.

Quoi qu'il en soit, la manœuvre des grands ponts est toujours très coûteuse et c'est en vue de réduire la dépense dans une large mesure que nous avons imaginé le nouveau système de manœuvre qui fait l'objet de cette notice.

Nous croyons avoir atteint ce but *en supprimant les machines et en n'employant qu'un seul homme pour manœuvrer les ponts les plus pesants.*

En vue de rendre facile et rapide la manœuvre des grands ponts, nous avons songé à réduire au minimum les frottements de glissement et les frottements de roulement qui constituent les résistances passives dans le système actuellement en usage. Pour cela nous avons installé sous le pont une cuve métallique dont le volume est tel que le pont flotte pendant la manœuvre. Cette cuve constitue le pivot du pont ; elle plonge dans une cuve concentrique découpée dans la maçonnerie ou constituée par des anneaux en métal et contenant un liquide jouissant de certaines propriétés spéciales sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Il ne reste donc plus à vaincre pendant la rotation du pont que les résistances qui se produisent au contact de la cuve métallique avec le liquide et l'on sait que ces résistances sont négligeables. Les frottements des liquides sur les solides ou réciproquement sont généralement à peine appréciables, mais dans le cas qui nous occupe, ces forces peuvent être considérées comme nulles. En effet, pendant la rotation la cuve tournera avec une faible vitesse dans le liquide, lequel, à cause de cette circonstance, ne se mettra pas en mouvement : donc, pas de déplacement du liquide. De plus, nous croyons qu'une mince couche de celui-ci restera adhérente à la paroi de la cuve et frotera pendant le mouvement, contre la couche qui suit immédiatement, de sorte que les seules résistances à vaincre deviennent les frottements du liquide sur lui-même, en d'autres termes, il ne reste à détruire que les forces de cohésion et on sait que ces forces peuvent être considérées comme nulles.

Une conséquence importante de cet état de choses,

c'est qu'on *tournera avec la même facilité un pont très lourd et un pont très léger*, ce qui paraît paradoxal. Seul, le travail à développer pour vaincre l'inertie augmentera en même temps que la masse du pont.

Nous reconnaissons d'ailleurs très volontiers que l'idée de supporter les constructions mobiles de grand poids, au moyen de flotteurs, n'est pas neuve. Elle fut, notamment, appliquée avec un plein succès à la coupole du grand équatorial de l'observatoire de Nice, et sur le chemin de fer destiné au transport des navires à travers l'isthme de Tehuantepec, où l'on a construit des plaques tournantes formées de pontons flottants dans des bassins circulaires.

Une autre application est celle des *ponts mobiles flottants* qu'il ne faut pas confondre avec notre système de ponts *tournants* flottants. Voici ce que nous lisons au sujet des premiers dans une note de l'ingénieur L. Barret, insérée dans le bulletin de la Société industrielle et scientifique de Marseille (année 1879).

“ *Ponts mobiles flottants.* Les ponts mobiles flottants
“ sont supportés par de forts caissons ou flotteurs pré-
“ sentant un déplacement assez grand pour que l'effet
“ de la surcharge résultant du passage des convois de
“ chemins de fer ou de camions ne produise, par le fait
“ de l'immersion du flotteur, aucune différence notable
“ entre le plan d'alignement des voies établies sur le
“ pont et celui de la terre ferme.

“ Il faut aussi que le flotteur soit muni de dispositions
“ particulières pour parer aux éventualités qui se pro-
“ duiraient à la suite d'un abaissement ou d'un exhaus-
“ sement du niveau de l'eau. Dans le cas seulement où
“ le pont mobile serait placé au milieu d'un pont de
“ bateaux, jeté sur une rivière ou sur un bras de mer,
“ on n'aurait pas à tenir compte de ces dénivellations,
“ attendu que les bateaux avoisinant le flotteur portant

« le pont mobile, seraient soumis eux-mêmes à l'action
« de ces variations de niveau.

« La manœuvre de ces ponts s'effectue soit en lais-
« sant pivoter le tablier sur le flotteur, qui sert alors de
« pile centrale, soit en déplaçant latéralement ce flot-
« teur d'une quantité suffisante pour dégager complète-
« ment la passe.

« Les ponts flottants sont évidemment moins stables
« que les ponts reposant et évoluant sur la terre ferme ;
« leur manœuvre donne lieu à plus de sujétions et né-
« cessite plus de temps. Aussi, on ne les emploie géné-
« ralement que dans le cas où la construction des piles
« serait un obstacle à la navigation et au mouvement
« des eaux, ou bien encore lorsque le terrain solide se
« trouve à de grandes profondeurs. »

Nous lisons encore dans la note de l'ingénieur
L. Barret « que pour *diminuer* l'action du poids d'un pont
« tournant sur un pivot, on a imaginé d'entourer le pivot
« d'un cylindre en métal plongé dans l'eau et dont le
« déplacement est presque égal au poids du pont. Dans
« ces conditions, l'action du pivot sur la crapaudine
« est presque nulle et cette dernière ne sert en quelque
« sorte que de point de centre sur lequel s'effectue la
« rotation ».

On voit donc, comme nous le disions plus haut, que
l'idée de supporter au moyen de flotteurs, les construc-
tions de grand poids, n'est pas neuve ; mais nous
revendiquons pour nous le mérite d'avoir imaginé une
application nouvelle de cette idée si ingénieuse, en
réalisant un système de manœuvre des ponts tournants,
qui présente, sur ceux appliqués jusqu'à ce jour, des
avantages considérables au point de vue de la rotation,
du calage et du décalage.

Nous ferons d'ailleurs remarquer que notre flotteur
a une forme *rationnelle* évasée dans sa partie supé-

rieure ; il ne flotte pas dans l'eau, mais dans un *liquide spécial* dont nous faisons varier le niveau à volonté et qui est contenu dans une cuve de même forme que le flotteur.

Dans notre système, le pont ne flotte que *pendant la manœuvre* ; il est aussi stable qu'un pont reposant et évoluant sur la terre ferme.

Le décalage et le calage ne donnent lieu à aucune sujétion, se font très rapidement, très facilement et d'une manière absolument originale.

Enfin, et ceci nous le démontrerons plus loin, notre système permet de réaliser une économie notable sur la dépense résultant de la manœuvre.

Nous allons exposer maintenant le *dispositif que nous avons adopté pour réduire les oscillations de la cuve-pivot et la guider dans sa rotation* : Pour cela, nous avons fixé sur la cuve-pivot et aux longerons du pont une série de forts galets qui roulent sur la cuve extérieure (fig. 1, 2 et 3, pl. XIX). Un jeu de 0^m,01 existe entre la cuve et les galets, qui sont facilement accessibles, de sorte que la visite, le graissage et la réparation se feront aisément.

Dans sa partie inférieure, la cuve est guidée par un bout de pivot constamment noyé dans le liquide et qui est logé dans une encoche pratiquée dans le fond de la cuve.

Un jeu de 0^m,01 existe aussi entre les parois de l'encoche et le petit pivot ; celui-ci ne porte jamais le pont, il ne fait que le guider.

Pendant la manœuvre, les galets supérieurs viendront frôler la cuve extérieure et le fond de la cuve frottera contre le pivot-guide ; mais les résistances qui en résultent pourront être considérées comme *insignifiantes*, à la condition que le pont, lorsqu'il flotte, se trouve en *équilibre stable*. On sait, en effet, que, lorsqu'une

force tend à déranger de sa position d'équilibre un corps flottant en équilibre *stable*, il naît immédiatement un couple appliqué au centre de gravité et au centre de carène (ou de poussée) qui tend à ramener le corps dans sa position d'équilibre. Donc, pendant la manœuvre du pont, il se produira une série de petites oscillations, forcément limitées par les galets-guides et par le pivot-guide et qui tendront toujours à ramener le pont dans sa position d'équilibre. Les frottements de la cuve avec le pivot-guide seront d'ailleurs encore réduits par ce fait que le métal de ces deux corps est constamment baigné par le liquide. Quant aux galets, on pourra les graisser autant que de besoin.

Au surplus, voici comment on calculerait l'effort P qu'il faut développer avec un bras de levier p , pour obtenir la rotation du pont.

Nous supposons que l'effort P se transmette sur un seul galet; en réalité, le contact s'établira à la fois entre la cuve et un certain nombre de galets, et peut-être en même temps entre le pivot-guide et l'encoche pratiquée dans le fond de la cuve, de sorte qu'une partie seulement de l'effort P agirait sur un galet.

Isolons la cuve et le galet (fig. 1).

Les états de sollicitation sont ceux que les figures indiquent.

Pour déterminer P et K , on a les relations suivantes :

$$fR \times \xi + P\delta = Kr$$

$$R = \sqrt{P^2 + K^2}$$

$$f = \frac{f}{\sqrt{1 + f^2}}$$

f est le coefficient du frottement

$$(1) \frac{f}{\sqrt{1 + f^2}} \times \sqrt{P^2 + K^2} \times \xi + P\delta = Kr$$

$$(2) Pp = P\delta + Kr' + (\text{moment du couple résistant}).$$

la distance du centre de gravité de la surface de la volée à ce même axe.

En réalité, dans l'équation (2), le moment du couple résistant a une certaine valeur, dont la connaissance nous permettrait de déterminer P et K . On peut affirmer que ces forces seront bien petites et qu'un seul homme suffira toujours pour tourner les plus grands ponts. On en sera certainement convaincu si l'on songe qu'un seul homme est capable de faire avancer, sans trop grand effort, un bateau de 500 tonnes, dans une eau très calme. Or, le pont n'est autre chose *qu'un bateau de forme spéciale qui ne doit que tourner sur place*. Le bateau, pour avancer, déplace l'eau ; le pont, pour s'ouvrir ou se fermer, tourne simplement dans le liquide sans le déplacer. Ce dernier mouvement s'obtiendra donc beaucoup plus aisément que le mouvement de translation d'un bateau de même poids.

Nous reproduirons ici un paragraphe intéressant que nous extrayons du rapport du jury international des récompenses à l'Exposition d'Anvers (1885).

Il s'agit de la *coupole de l'observatoire de Nice*, dont nous avons déjà parlé plus haut.

« On peut à volonté mettre la coupole en flottaison
« et dans cette position elle n'exige pour la faire tour-
« ner qu'un effort tangentiel de 3 kilogrammes appliqué
« au pourtour extérieur, ou la faire tourner sur les
« galets seuls avec un effort de 200 kilogrammes,
« quand, pour une réparation, on a besoin de vider
« la cuve du flotteur. »

L'écart si considérable qui a été constaté entre les efforts à développer selon que la coupole *flotte* ou *ne flotte pas* confirme pleinement tout ce que nous avons exposé précédemment.

Il nous reste à traiter du *mode de calage et de décalage*. Le principe en est d'une grande simplicité. Pour

décaler le pont, nous le détachons de ses appuis en élevant le niveau du liquide dans lequel il plonge, le tablier flottant monte évidemment en même temps que le niveau de flottaison.

Inversement, pour obtenir le calage, nous abaissons ce niveau, le tablier descend et vient se caler par son propre poids sur ses appuis.

Pour faire varier à volonté le niveau du liquide, nous avons installé à l'intérieur du flotteur un certain nombre de cylindres faisant l'office de réservoirs et dans lesquels nous emmagasinons une partie du liquide de la cuve, lorsque le pont est fermé et calé.

S'agit-il maintenant de faire le décalage, nous expulsions le liquide contenu dans les cylindres pour le restituer à la cuve. Il se fait ainsi que le niveau s'élève dans cette cuve en entraînant dans son mouvement le flotteur et partant le tablier qu'il supporte.

Pour caler le pont, on laisse simplement rentrer le liquide dans les cylindres; le niveau s'abaisse dans la cuve et le tablier redescend sur ses appuis.

Il est à remarquer que le remplissage et la vidange des cylindres s'obtiennent sans difficultés: nous avons disposé, dans l'axe de chacun d'eux, un cylindre de petit diamètre et de même course. La tige du piston du grand cylindre sert de piston au cylindre de petit diamètre. Dès lors, en admettant de l'eau sous pression à l'intérieur des petits cylindres, on refoulera le liquide contenu dans les grands; c'est ainsi que se fera le décalage.

Il suffira de laisser tomber suffisamment la pression de l'eau comprimée contenue dans les petits cylindres, pour que les pistons reculent à fond de course et que les grands cylindres se remplissent de nouveau au moyen du liquide de la cuve; c'est ainsi que se fera le calage du pont.

Il faut donc, au moment de faire la manœuvre, disposer d'une certaine quantité d'eau sous pression.

Pour cela, nous avons installé au centre de la cuve-pivot un accumulateur où l'eau se trouve à une pression telle qu'elle soit capable de vaincre la poussée du liquide dans la cuve, plus les frottements.

Un second accumulateur est disposé concentriquement au premier ; celui-là est chargé par le travail de descente du pont au calage. La pression de l'eau dans cet accumulateur est telle que la poussée du liquide de la cuve puisse vaincre cette pression, plus les frottements.

Le pontonnier pompe au commencement de la journée et pendant les intervalles compris entre les passages des bateaux, l'eau sous pression du second accumulateur pour charger le premier.

Par ce moyen, l'homme développe un minimum de travail, et nous consommons pour la manœuvre un minimum de force motrice.

Nous entrerons plus tard dans les détails des mécanismes. Il y a lieu pour le moment d'exposer les

Conditions qui doivent être réalisées pour que l'application de notre système soit pratique. — Ces conditions peuvent se résumer comme suit :

1° Le liquide, dans lequel plonge la cuve-pivot, ne peut pas se congeler par les températures les plus basses, si le pont est établi sur un cours d'eau où la navigation n'est jamais interrompue. Ce liquide ne peut pas attaquer le fer ou l'acier ; il faut qu'il ne s'évapore guère ; enfin, il doit être à bon marché autant que possible ;

2° Le volume de la cuve-pivot doit être tel que le pont flotte pendant la manœuvre sans heurter le fond, ni les parois latérales de la cuve contenant le liquide dans lequel il plonge. Lorsque le pont est fermé, il ne

peut plus flotter ; il doit être calé au centre et à ses extrémités ;

3^o Le pont flottant doit être en *équilibre stable* ; pour cela, il faut que le centre de gravité de tout le système tombe en dessous du métacentre ;

4^o Il faut que le tablier du pont, lorsqu'il est fermé, reste au même niveau, malgré les variations de poids résultant des circonstances atmosphériques ;

5^o De même que la rotation, le calage et le décalage doivent pouvoir se faire avec assez de facilité pour n'exiger qu'un seul homme.

Il ne sera pas inutile d'entrer dans quelques développements au sujet des diverses conditions brièvement énoncées ci-dessus.

La première est relative à la

Nature du liquide servant à la flottaison. — Dans le but de réduire autant que possible le volume du flotteur, nous avons recherché un liquide de grande densité. De plus, il était essentiel qu'il ne fût pas susceptible de se congeler. Le chlorure de calcium en dissolution dans l'eau nous a fourni, sous ce rapport, des résultats très satisfaisants.

En effet, les expériences que nous avons faites sur le degré de congélation des solutions suivantes, nous ont démontré que :

Le chlorure de calcium en dissolution dans l'eau, de manière à présenter une densité : 1,368, ne se congèle pas à 20 degrés en dessous de zéro. Nous n'avons pu déterminer à quel moment exact se produit la congélation, parce que la température du mélange réfrigérant, dont nous disposions, ne descendait pas en dessous de ($- 20^{\circ}$).

Lorsque la densité devenait égale à 1,388, la solution se congelait à 15 degrés en dessous de zéro.

Nous adoptons comme liquide dans lequel plonge la cuve-

pivot, une solution de chlorure de calcium dont la densité est 1.36.

Il sera prudent de ne pas dépasser ce chiffre, parce que le chlorure de calcium du commerce renferme beaucoup d'impuretés, qui peuvent abaisser jusqu'à (-10°) le point de congélation d'une solution dont la densité est 1.36. S'il se produisait des températures extraordinairement basses, on aurait d'ailleurs la ressource d'allumer à l'intérieur du flotteur un réchaud qui empêcherait toute congélation.

Lorsque la solution est à la densité 1.36, 100 grammes d'eau absorbent 57 grammes de chlorure de calcium.

Le prix du mètre cube de ce liquide est de fr. 39-50; le chlorure de calcium pourrait être fourni à raison de 8 francs les 100 kilogrammes, par les usines Solvay qui en possèdent des quantités très considérables provenant de la fabrication de la soude, dont il est un sous-produit.

Le chlorure de calcium ainsi obtenu n'est pas du tout acide, il est plutôt basique, c'est-à-dire qu'il n'attaque pas à froid le fer, ni le mastic de fer, ni les enduits, tels que le minium de plomb et le goudron de gaz, dont on recouvre usuellement les tôles.

Étant donnée la nature essentiellement déliquescente du chlorure de calcium, on peut affirmer que le liquide ne s'évaporerait guère; cependant, pour plus de sécurité on le mettra complètement à l'abri de la vaporisation en le recouvrant d'une couche de 5 millimètres d'huile minérale russe de densité 0.90, qui n'est pas siccative, n'attaque pas le fer, ne se congèle pas à (-20°) et ne coûte que 30 francs les 100 kilogrammes. Cette mince couche d'huile aura en outre pour effet de préserver la surface du liquide contre les grands froids de l'extérieur.

Nous allons maintenant montrer comment on satisfait aux conditions énumérées aux 2°, 3°, 4° et 5°, en faisant l'application de notre système à un

Pont de 500 tonnes. — Pour que le poids d'un pont soit aussi considérable, il faut que le tablier ait des dimensions exceptionnelles dans le sens transversal aussi bien que dans le sens longitudinal.

Nous prendrons comme exemple un pont pour chemin de fer de 60 mètres de longueur donnant passage à quatre voies.

La largeur d'axe en axe des longerons est 14^m,00, les entretoises auraient 1^m,40 de hauteur, sauf au droit de la cuve-pivot, où cette hauteur est réduite, les semelles ayant une largeur plus grande, ce qui favorise le bon assemblage de la cuve avec les entretoises. Celles-ci présentent d'ailleurs la forme la plus convenable pour résister au passage des charges sur le pont.

Le centre de gravité du tablier se trouve à 0^m,80 environ en dessous de l'arête supérieure des entretoises.

Disons immédiatement que c'est en vue de faire monter le centre de carène le plus haut possible que nous avons réduit la hauteur des entretoises au droit du pivot.

Flotteur constituant la cuve-pivot. — L'examen du plan et des coupes dans le pont (fig. 1, 2 et 3, pl. XIX) indique suffisamment la forme et la disposition du flotteur pour que nous puissions nous dispenser d'en faire une longue description.

Nous dirons simplement qu'il se compose de deux parties cylindriques de diamètre différent reliées par une partie tronconique. Le fond présente la forme d'une calotte sphérique avec une encoche au centre.

En ce qui concerne l'épaisseur des tôles, le calcul de

stabilité démontre que la calotte sphérique, qui forme le fond de la cuve-pivot, doit avoir 8 millimètres, tandis que les tôles constituant les parois latérales ont, à partir du fond, respectivement 8, 7, 7, 7, 7, 6, millimètres d'épaisseur.

Au droit des cylindres, l'épaisseur de la tôle est renforcée.

Les rivets sont assez rapprochés pour former une couture parfaitement étanche, et le matage des joints se fait aisément à l'intérieur de la cuve.

Le fond et les parois du flotteur sont consolidés au moyen de raidisseurs, comme on le voit (fig. 1, 2 et 3, pl. XIX).

Le fond et son entretoisement pèsent 7,257 kilogrammes.

Le reste du flotteur pèse 28,858 kilogrammes; cette charge est très sensiblement appliquée au centre de carène.

Les deux accumulateurs d'eau sous pression pèsent ensemble 18,851.5 kilogrammes, y compris le lest et l'eau.

Les cylindres-réservoirs pèsent 8,323 kilogrammes.

Les colonnes-guides des accumulateurs, la pompe, les petites consoles, la tuyauterie et le robinet pèsent ensemble 2,143 kilogrammes.

Enfin, un réservoir en fonte qui pèse 2,071 kilogrammes et qui contient 11 tonnes de lest est rattaché au flotteur au moyen d'une forte barre en acier, très rigide, présentant vers ses extrémités deux parties filetées en sens inverse.

Le métal de cette barre travaille à peine à 2 kilogrammes par millimètre carré, de sorte que la probabilité d'une rupture pourrait être écartée. Nous avons néanmoins cherché le moyen d'atteindre à la tige et au lest en cas d'accident. Dans ce but nous avons ménagé

le trou d'homme et les cheminées d'accès que les dessins indiquent. Pour faire une réparation à la tige, il faudra au préalable épuiser la solution de chlorure de calcium.

La tige avec ses assemblages pèse 432 kilogrammes.

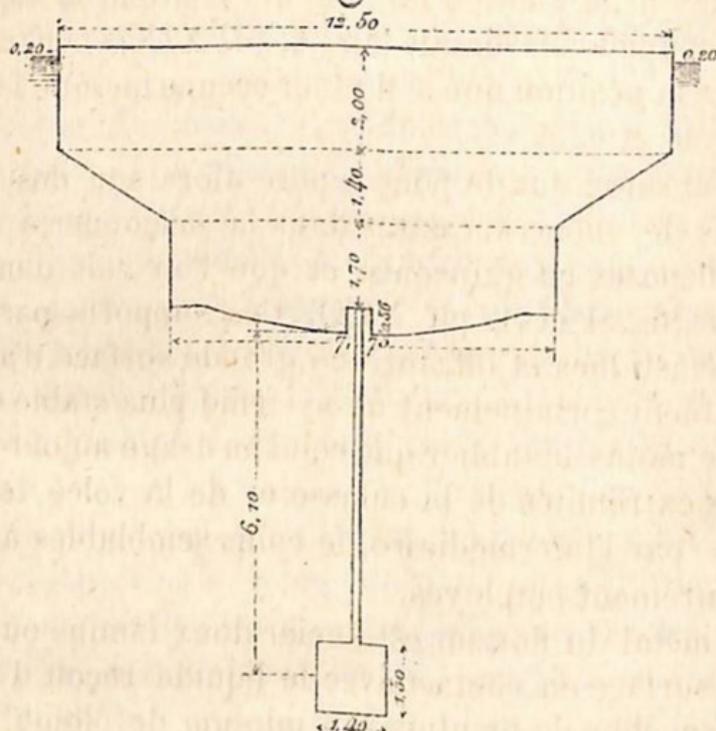
Lorsqu'on élèvera les maçonneries de la pile, on placera le lest dans le logement qui lui est réservé ; et on vissera le premier tronçon de la barre dans le siège faisant partie du plateau supérieur qui recouvre le lest. On mettra en outre deux boulons indéserrables du système Flamache et Picard. Puis au fur et à mesure de la construction de la pile on assemblera les différents tronçons de la barre. Enfin, au moment d'installer le tablier du pont on enlèvera la plaque en acier coulé qui forme le fond de l'encoche pratiquée dans la partie inférieure de la cuve ; on soulèvera de quelques centimètres la barre et le lest, on vissera la plaque sur la partie filetée supérieure de la barre et on la fixera sur l'encoche de la cuve-pivot. On aura soin de placer en outre deux boulons indéserrables de manière à empêcher la barre de tourner sous les efforts de torsion qui se produisent pendant la manœuvre du pont.

Nous avons placé 2,564.5 kilogrammes de lest dans le fond de la cuve-pivot. On pourra augmenter ou diminuer à volonté ce poids pour régler l'immersion du flotteur lors de l'installation du pont.

On arrive ainsi à un poids total de 581.5 tonnes qui exige un déplacement de $427^m^3,57$ pour flotter dans un liquide dont la densité est 1.36.

Si nous admettons que le niveau doive rester à $0^m,20$ en dessous de l'arête supérieure du flotteur pour éviter le débordement du liquide pendant la manœuvre, il devient facile de calculer le volume immergé V (fig. 2).

Fig. 2.



On trouve ainsi :

$$\begin{aligned}
 V = & 3,1415 \left\{ \frac{12,50^2}{4} \times 1,80 + \left(\frac{12,50^2 + 7,75^2 + 7,75}{12} \right. \right. \\
 & \left. \left. \times 12,50 \right) \times 1,40 + \frac{7,75^2}{4} \times 1,70 + \frac{1}{6} \times 0,56 \left(3 \times \right. \right. \\
 & \left. \left. \times 0,88^2 + 3 \times 3,14^2 \times 0,56^2 \right) + \frac{0,10^2}{4} \times 6,00 + \frac{1,40^2}{4} \times \right. \\
 & \left. \times 1,50 - \frac{0,58^2}{4} \times 0,45 \right\} = 427^{\text{m}^3}, 573.
 \end{aligned}$$

C'est exactement le volume exigé pour le déplacement dans le liquide que nous employons.

Il est donc démontré que tout le système flotte pour la position indiquée dans la coupe longitudinale (fig. 3, pl. XIX). De plus, l'examen du dessin fait voir que,

dans ce cas, le flotteur ne saurait heurter les parois latérales ni le fond de la cuve qui contient le liquide.

En coupe transversale (fig. 1, pl. XIX), nous avons dessiné la position que le flotteur occupe lorsque le pont est fermé et calé.

On observe que le pont repose alors sur des blocs de bois de chêne encastrés dans la maçonnerie de la pile, disposés en quinconce et que l'on voit dans les coupes (fig. 1 et 3, pl. XIX). Ces supports parfaitement élastiques et offrant une grande surface d'appui, constituent certainement un système plus stable et qui fatigue moins le tablier que celui en usage aujourd'hui.

Aux extrémités de la culasse et de la volée, le pont repose par l'intermédiaire de coins semblables à ceux ordinairement employés.

Le métal du flotteur est l'acier doux laminé ou rivé.

La surface en contact avec le liquide reçoit d'abord deux couches de peinture au minium de plomb, puis deux couches de goudron de gaz. Ces enduits préservent complètement le fer contre toute attaque du liquide; nous en avons fait l'expérience en plongeant, pendant plusieurs mois, des tôles ainsi préparées dans une solution de chlorure de calcium de densité 1.36.

A l'intérieur, la cuve sera simplement recouverte au minium de plomb et l'on pourra renouveler facilement cette peinture et aussi fréquemment que de besoin.

Il sera, en effet, toujours possible de travailler dans le flotteur, sans interrompre la navigation ou la circulation sur le pont, la cuve-pivot constituant une véritable petite usine plongée dans le liquide de la

Cuve extérieure en métal. — Celle-ci est disposée concentriquement au flotteur, dont elle épouse la forme.

Le jeu entre le flotteur et sa cuve est de 0^m,10, cet espace est occupé par le chlorure de calcium en dissolution dans l'eau.

Le métal de la cuve extérieure est l'acier doux laminé, les anneaux superposés sont au nombre de sept; les joints, tant dans le sens horizontal que vertical, sont matés avec soin ce qui assure une étanchéité absolue.

Le calcul de stabilité démontre que les épaisseurs suivantes sont très amplement suffisantes :

Pour le 1^{er} anneau, à partir du fond, 0^m,008 ;

Pour le 2^e, 3^e, 4^e et 5^e anneau, 0^m,007 ;

Pour le 6^e et 7^e anneau, 0^m,006.

Nous avons renforcé l'épaisseur des deux anneaux supérieurs, parce que cette partie de la cuve doit pouvoir résister aux efforts qu'elle recevra pendant la manœuvre de la part des galets-guides du pont.

La cuve extérieure en acier pèse 16.9 tonnes.

Nous allons maintenant nous occuper de la condition relative à l'

Equilibre stable du système. — Lorsque le piston de l'accumulateur qui a la plus grande charge de lest est au sommet de sa course, les pistons de l'autre accumulateur se trouvent au bas de leur course. C'est évidemment la *position la plus défavorable* au point de vue de l'équilibre du pont.

Dans ce cas, le centre de gravité du premier accumulateur tombe à 3^m,40 au dessus de la tangente en B (fig. 4); et le centre de gravité de l'autre accumulateur tombe à 1^m45, au dessus de cette même droite.

Nous démontrerons que, même pour la position la plus défavorable, la condition de l'équilibre stable est largement assurée; pour cela nous ferons voir que le centre de gravité de tout le système tombe en dessous du métacentre.

Centre de carène ou de poussée. — Une équation de moments par rapport à l'horizontale passant par le centre de gravité A du lest (fig. 3), nous donne facile-

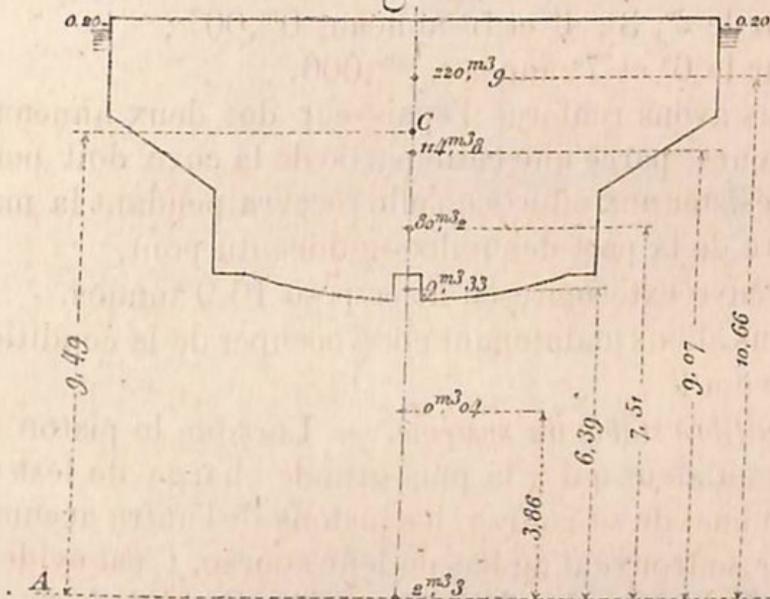
ment la distance inconnue x du centre de carène C de tout le système au dessus de cette droite.

Nous trouvons :

$$220^{\text{m}^3,9} \times 10,66 + 114^{\text{m}^3,8} \times 9,07 + 80^{\text{m}^3,2} \times 7,51 + 9^{\text{m}^3,33} \times 6,39 + 0^{\text{m}^3,04} \times 3,86 = 427^{\text{m}^3,57} \times x.$$

D'où $x = 9^{\text{m}},49$.

Fig. 3.



Donc le centre de carène est à $9^{\text{m}},49$ au dessus de l'axe des moments.

Centre de gravité. — Nous allons encore considérer comme axe des moments l'horizontale passant par le point A (fig. 4).

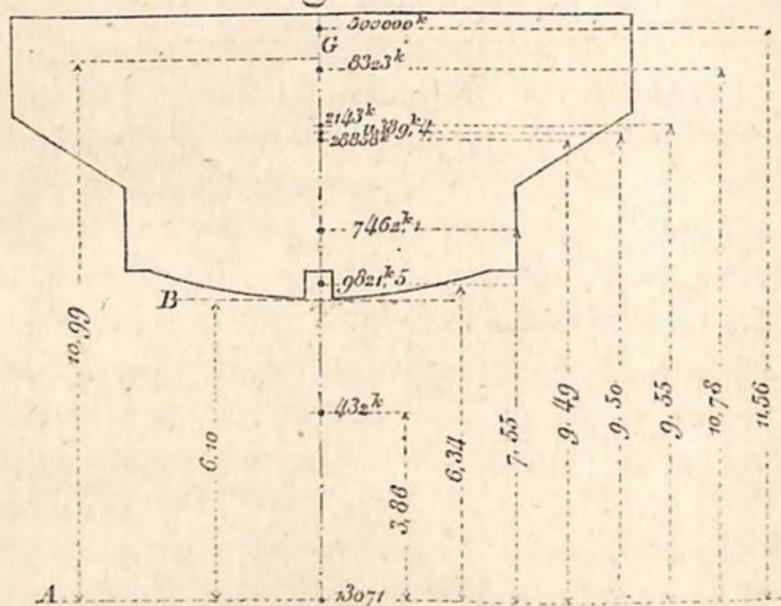
La distance inconnue x du centre de gravité G de tout le système, au dessus de cette droite est donnée par l'équation :

$$50000^{\text{k}} \times 11,56 + 8323^{\text{k}} \times 10,78 + 2143^{\text{k}} \times 9,55 + 11389^{\text{k},4} \times 9,50 + 28858^{\text{k}} \times 9,49 + 7462^{\text{k},1} \times 7,55 + 9821^{\text{k},5} \times 6,34 + 432^{\text{k}} \times 3,86 = 581500 \times x.$$

D'où $x = 10^{\text{m}},99$.

Donc, le centre de gravité de tout le système est pour la position considérée à 10^m,99 au dessus de l'axe des moments.

Fig. 4



Métacentre. — La distance ρ qui sépare le centre de carène du métacentre est :

$$\rho = \frac{I}{V}$$

I est le moment d'inertie de la section à la flottaison.

V est le volume immergé.

Nous avons :

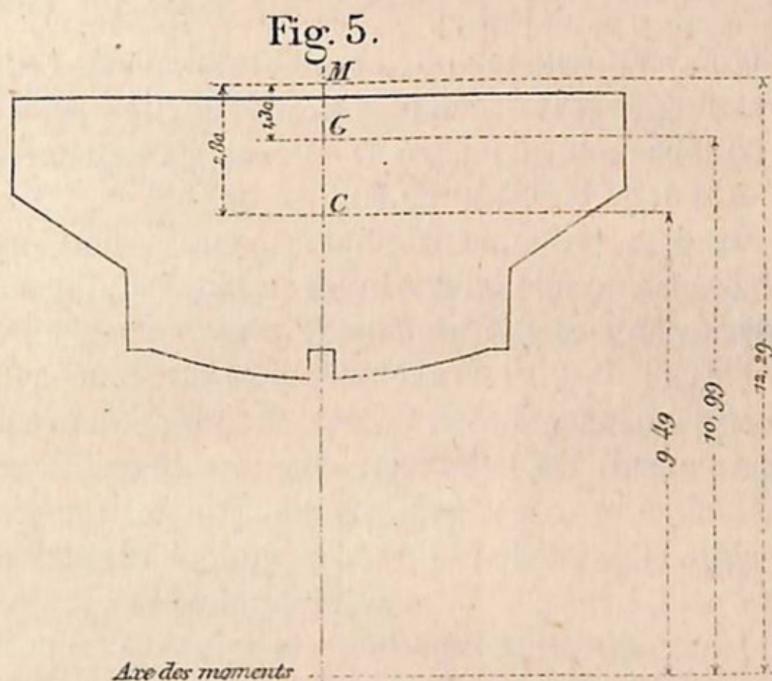
$$I = 0,0491 D^4 = 0,0491 \times 12,50^4 = 1199$$

Le volume immergé est :

$$V = 427^m,57$$

D'où

$$\rho = \frac{1199}{427,57} = 2^{\text{m}},80$$



Donc le métacentre M se trouve à $2^{\text{m}},80$ au dessus du centre de carène ou à $9,49 + 2,80 = 12^{\text{m}},29$ au dessus de l'axe des moments (fig. 5).

Le centre de gravité de tout le système est à $10^{\text{m}},99$ au dessus de ce même axe, par conséquent, il tombe à $12^{\text{m}},29 - 10^{\text{m}},99 = 1^{\text{m}},30$ en dessous du métacentre.

Il s'ensuit que l'équilibre stable du système est très largement assuré. Il est reconnu en effet que des navires prennent la mer avec un écart de $0^{\text{m}},35$ seulement, entre le centre de gravité et le métacentre. Donc notre flotteur sera en quelque sorte rivé sur place pendant la manœuvre attendu qu'il tourne dans un liquide très calme, et qu'il est en outre guidé haut et bas.

Nous pensons que l'expérience démontrerait qu'il y a lieu de réduire la quantité de lest que nous avons prévue.

La formule $\rho = \frac{I}{V}$ montre que pour un même volume V , on a tout intérêt, au point de vue de l'équilibre stable, de prendre la plus grande section possible à la flottaison, le diamètre D entrant à la quatrième puissance dans la valeur de I .

Il est donc rationnel d'adopter pour le flotteur la forme évasée vers le haut que les dessins indiquent.

Influence des variations dans le poids du tablier. — Dans les calculs que nous venons d'établir, nous avons considéré un pont qui pèse au maximum 500 tonnes ; ce chiffre suppose implicitement que le tablier est couvert de neige ou trempé par la pluie. Par des temps de sécheresse le poids de 500 tonnes va donc diminuer et pourra peut-être se réduire à 495 tonnes.

Au point de vue de l'équilibre stable, cette réduction d'une charge, placée à la partie supérieure de la construction, est évidemment une circonstance favorable et la stabilité n'en peut être que rendue plus grande.

D'un autre côté, lorsque le pont décalé flotte, le tablier sera un tant soit peu plus haut au dessus de ses appuis ; ce qui est fort indifférent.

Mais on peut se demander si, par suite de la diminution dans le poids du pont, celui-ci, qui ne flottait pas lorsqu'il était fermé et calé, ne pourrait pas, à un moment donné, devenir flottant, ce qui présenterait des inconvénients pour la circulation sur le pont.

On verra de toute évidence que cela est impossible ; nous démontrerons, en effet, à propos du calage, que le poids du liquide contenu dans les cylindres et qui applique le flotteur sur les blocs de bois est de 12,022 kilogrammes.

Il faudrait donc diminuer le poids du pont de cette quantité pour que la cuve-pivot devînt en état de flotter.

Or, en supposant un écart de 5 tonnes provoqué par les variations atmosphériques, nous nous plaçons certainement dans des circonstances défavorables et en admettant qu'elles se réalisent, le pont fermé resterait encore appliqué en son milieu par un effort de $12,022^k - 5,000^k = 7,022^k$.

Calage et décalage. — Nous rappelons que les seuls appareils dont nous faisons usage pour caler le pont sont de simples coins installés sous les extrémités de la culasse et de la volée.

La manœuvre des coins ne donnera lieu à aucune difficulté, si nous commençons par détruire la pression que le pont exerce sur ces appareils : *Pour cela, il suffit de relever les extrémités de la culasse et de la volée de la quantité dont elles ont fléchi.*

Lorsqu'il s'agit d'un grand pont de 500 tonnes, présentant une rigidité convenable ; la flexion des longons ne dépassera pas $0^m,06$ ou $0^m,07$. Dans les calculs qui vont suivre, nous admettons que le maximum de la flèche aux extrémités libres du pont est de $0^m,07$. Dès lors, pour élever ou abaisser de cette quantité le flotteur et, par conséquent, le tablier, il faut ajouter au liquide contenu dans la cuve extérieure, ou soustraire de ce liquide, un volume égal à :

$$\frac{3,1415 \times 12,70^2}{4} \times 0,07 = 8^m,867$$

Exposons comment nous avons résolu cette partie du problème.

Dans la cuve-pivot, nous avons installé quatre cylindres de $1^m,25$ de diamètre, que l'on voit représentés en plan et dans les coupes. La course des pistons est

égale à 1^m,80. Ces cylindres sont en communication avec la solution de chlorure de calcium et sont pleins de ce liquide lorsque le pont est *calé* ou *fermé*.

Pour *décaler* le pont, nous expulsions le liquide contenu dans les quatre grands cylindres, de sorte que le pont perd de son poids, et en outre le niveau du liquide, dans lequel il plonge, monte. Pour ces deux raisons, le tablier métallique s'élève, le pont se décale, flotte et on peut le tourner très facilement.

Pour *caler* le pont, on laisse rentrer le liquide dans les quatre grands cylindres ; le poids du pont augmente, tandis que le niveau du liquide dans lequel la cuve plonge, s'abaisse. Pour ces deux raisons, le tablier métallique et la cuve descendent, le pont se cale, cesse de flotter et la circulation sur le pont est rétablie.

Nous allons montrer comment on peut à volonté laisser rentrer le liquide dans les grands cylindres, ou l'en expulser.

Pour cela nous avons disposé dans l'axe de chaque grand cylindre, un cylindre de 0^m,18 de diamètre et de même course : 1^m,80. De plus, au centre de la cuve, nous avons placé un accumulateur d'eau à 6 atmosphères de pression. Le piston supporte, à sa partie supérieure, un plateau portant des guides et auquel est attaché un réservoir en tôle, terminé par un fond en fonte dans lequel on met le lest évalué à 7,636 kilogrammes.

Le piston est guidé dans son mouvement vertical par quatre colonnes formant glissières et des guides adaptés à la partie inférieure du réservoir en tôle. Un tuyau part du cylindre de l'accumulateur à 6 atmosphères pour distribuer l'eau sous pression dans les petits cylindres par l'intermédiaire d'un robinet à trois voies, d'où part également le tuyau pour l'échappement de l'eau sous pression, laquelle, après avoir servi

à décaler le pont, se rend dans un accumulateur à 3 1/2 atmosphères; d'où elle est reprise à un moment donné au moyen d'une petite pompe à bras *P* (fig. 3, pl. XIX) pour être foulée de nouveau dans l'accumulateur à 6 atmosphères de pression.

Il est à remarquer que le piston de l'accumulateur à 6 atmosphères ne pourra jamais dépasser la hauteur assignée à sa course, car lorsque cet accumulateur sera complètement chargé, celui de 3 1/2 atmosphères sera totalement vidé, et le pontonnier s'apercevra qu'il ne vient plus d'eau par le tuyau d'aspiration de la pompe.

La course de nos accumulateurs est égale à 2,28, de sorte que pour les positions limites des pistons (au bas et au sommet de leur course), la pression de l'eau varie de 4/10 d'atmosphère environ. Dans les calculs nous considérerons cette différence comme négligeable.

Démontrons maintenant que les dispositions projetées donnent un résultat pratique.

Nous avons admis que la flexion aux extrémités des longerons était de 0^m,07. Or, la capacité des quatre grands cylindres dont le diamètre intérieur est 1^m,25, la course : 1^m,80, mesure

$$4 \times \frac{3,14 \times 1,25^2}{4} \times 1,80 = 8^{\text{m}^3},84$$

ce qui représente précisément le volume nécessaire pour relever ou abaisser le pont d'une quantité égale à 0^m,07.

De plus, la densité de la solution du chlorure de calcium que nous employons étant 1.36, ce volume représente en poids :

$$8,84 \times 1360 = 12022 \text{ kilogrammes.}$$

Donc, le pont ayant cessé de flotter, se trouvera appliqué sur l'appui du milieu par une force de

12,022 kilogrammes. Or, les circonstances atmosphériques ne peuvent réduire le poids du tablier de plus de 5 tonnes, donc le pont *fermé* et *calé* ne pourra jamais flotter.

Lorsqu'il s'agit de décaler le pont, l'eau sous pression de l'accumulateur à 6 atmosphères vient agir dans quatre cylindres de 0^m,18 de diamètre intérieur, la course étant 1,80.

La puissance dont on dispose ainsi est :

$$4 \times \frac{3,14 \times 0,18^2}{4} \times 10330 \times 6 = 6310 \text{ kilogrammes.}$$

La plus grande résistance qu'il faut vaincre se calcule comme suit : la poussée maximum exercée par la solution de chlorure de calcium (fig. 1, pl. XIX)

$$4 \times 1360 \times \left(\frac{1,25}{2} + 0,14 \right) \times \frac{3,14 \times 1,25^2}{4} = 5111 \text{ kilog.}$$

Le frottement du cuir embouti pour quatre garnitures de 0^m,02 de hauteur, dans les cylindres de 0^m,18 de diamètre (d'après Claudel) :

$$4 \times 3,14 \times 0,18 \times 0,02 \times 0,23 \times 10330 \times 6 = 644 \text{ kil.}$$

La pression étant 6 atmosphères, et 0,23 le coefficient du frottement pour des cuirs emboutis onctueux et mouillés d'eau. De même le frottement du cuir embouti pour quatre garnitures de 0^m,04 de hauteur dans les cylindres de 1^m,25 de diamètre est égal à :

$$4 \times 3,14 \times 1,25 \times 0,04 \times 0,23 \times \frac{1277}{1,23} = 149 \text{ kilogs,}$$

Le maximum de la pression par mètre carré étant

$$\frac{1277}{1,23}$$

Le frottement de glissement des quatre pistons :

$$4 \times 357,5 \times 0,18 = 257 \text{ kilogs.}$$

Le poids d'un piston étant $357^k,5$, le coefficient de frottement : $0,18$.

La résistance totale est donc :

$$5111^k + 644^k + 149^k + 257^k = 6161 \text{ kilogs.}$$

La puissance dont nous disposons est $6,310$ kilogrammes, de sorte qu'elle dépasse la résistance de $6,310 - 6,161 = 149$ kilogrammes.

Nous pourrions donc aisément expulser le liquide des grands cylindres pour obtenir le *décalage* du pont.

Après le passage des bateaux il faut fermer le pont et le caler.

Nous allons démontrer que le *travail de la descente du pont au calage* est capable de refouler dans un accumulateur à $3 \frac{1}{2}$ atmosphères, l'eau sous pression dont nous nous sommes servi pour obtenir le décalage.

La puissance devient maintenant la poussée minimum exercée par la solution de chlorure de calcium.

Elle vaut :

$$4 \times 1360 \times \left(\frac{1,25}{2} + 0,07 \right) \frac{\times 3,14 \times \overline{1,25^2}}{4} = 4640 \text{ kil.}$$

Calculons la résistance qu'il faut vaincre ; elle résulte de l'action de l'eau sous pression à $3 \frac{1}{2}$ atmosphères dans les cylindres de $0^m,18$ de diamètre :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,18^2}}{4} \times 10330 \times 3,5 = 3679 \text{ kilogs.}$$

Le frottement du cuir embouti pour quatre garnitures de $0^m,02$ de hauteur dans les cylindres de $0^m,18$ de diamètre (d'après Claudel) :

$$4 \times 3,14 \times 0,18 \times 0,02 \times 0,23 \times 10330 \times 3,5 = 375 \text{ kil.}$$

La pression étant $3 \frac{1}{2}$ atmosphères, et $0,23$ le

coefficient pour des cuirs emboutis onctueux et mouillés d'eau.

De même, le frottement du cuir embouti, pour quatre garnitures de 0^m,04 de hauteur dans les cylindres de 1^m,25, est égal à

$$4 \times 3,14 \times 1,25 \times 0,04 \times 0,23 \times \frac{1160}{1,23} = 136 \text{ kilogs.}$$

La pression par mètre carré étant $\frac{1160}{1,23}$.

Le frottement de glissement des quatre pistons : 257 kilogrammes.

La résistance totale est donc :

$$3679^k + 375^k + 136^k + 257^k = 4447 \text{ kilogs.}$$

La puissance dont nous disposons est 4,640 kilogrammes, de sorte qu'elle dépasse la résistance de 4,640 — 4,447 = 193 kilogrammes.

Ceci démontre que le seul travail fourni par le pont au calage permet de refouler dans un accumulateur à 3 1/2 atmosphères l'eau sous pression à 6 atmosphères dont nous avons fait usage pour obtenir le décalage du pont.

D'après ce qui précède, il est facile de reconnaître que le volume d'eau à 6 atmosphères de pression, nécessaire pour décaler le pont est égal à :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,18^2}}{4} \times 1,80 = 0^m,1832.$$

Au calage ce volume rentre dans l'accumulateur à 3 1/2 atmosphères.

Le diamètre du piston de l'accumulateur à 6 atmosphères mesure 0^m,453. La course est 2^m,28. Le volume :

$$\frac{3,14 \times \overline{0,453^2}}{4} \times 2,28 = 0^m,3675,$$

soit deux fois le volume nécessaire pour faire un décalage du pont.

Le poids du piston avec la charge de lest doit être égal à :

$$\frac{3,14 \times \overline{0,453}^2}{4} \times 10330 \times 6 = 9989 \text{ kilogs.}$$

Le cylindre avec l'eau pèsent ensemble $1400^k,4$.

Le poids de l'accumulateur à 6 atmosphères est donc :

$$9989^k + 1400^k,4 = 11389^k,4.$$

En ce qui concerne l'accumulateur à $3 \frac{1}{2}$ atmosphères, il se compose de quatre cylindres communiquant entre eux par la partie inférieure.

Le diamètre des pistons est $0^m,226$, la course $2^m,28$.
Le volume :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,226}^2}{4} \times 2,28 = 0^m,366,$$

il a donc la même capacité que l'accumulateur à 6 atmosphères.

Le poids des pistons avec la charge de lest doit être égal à :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,316}^2}{4} \times 10330 \times 3,5 = .\text{kil. } 5801,4$$

Les cylindres pèsent 1660,7

Le poids de l'accumulateur à $3 \frac{1}{2}$ atmosphères est donc kil. 7462,1

Le travail nécessaire pour remplir l'accumulateur à 6 atmosphères au moyen de l'eau sous pression contenue dans l'accumulateur à $3 \frac{1}{2}$ atmosphères est égal à

$$9989 \times 2,28 - 5801,4 \times 2,28 = 9548 \text{ kilogrammètres.}$$

En comptant que l'homme peut pendant plusieurs heures développer 9 kilogrammètres par seconde (ce que l'expérience confirme), il faut, pour remplir l'accumulateur à 6 atmosphères, un temps égal à

$$\frac{9548}{9 \times 60} = 17'40''.$$

En d'autres termes, pour disposer d'une somme de force motrice capable de manœuvrer deux fois le pont, l'homme doit pomper pendant 17'40''.

En admettant qu'un grand pont de 500 tonnes soit manœuvré douze fois par jour, il faudrait que le pontonnier pompât au commencement de la journée et pendant les intervalles compris entre le passage des bateaux pendant un temps total égal à $17'40'' \times 6 = 1^{\text{heure}}, 46'$.

Il nous reste à exposer comment, dans la pratique, se feraient le décalage et le calage du pont.

On remarquera (fig. 1, 2 et 3, pl. XIX) que tous les cylindres de petit diamètre sont réunis au moyen d'un tube circulaire qui les met en communication, et sur lequel est monté le robinet à trois voies dont nous avons parlé plus haut. Ce robinet est commandé par le pontonnier au moyen d'une transmission et d'un levier figurés dans les dessins. La course du levier est limitée par deux petits taquets.

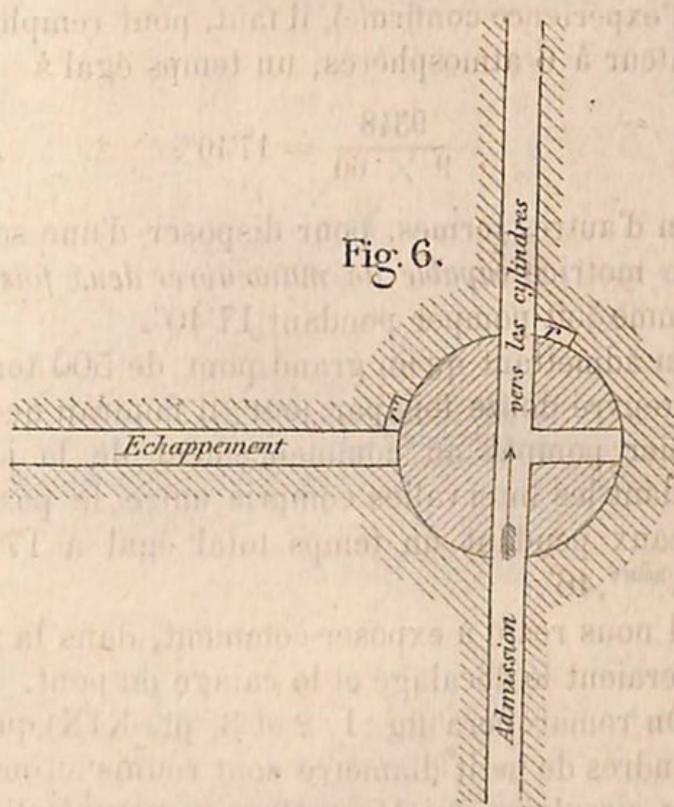
Dans la position que la coupe transversale indique, le pont est fermé, tous les grands cylindres sont remplis de liquide.

On veut décaler le pont, en d'autres termes expulser le liquide contenu dans les grands cylindres.

Pour cela, le pontonnier place le levier dans la position oblique n° 1 figurée dans la coupe longitudinale.

Le robinet est alors disposé comme le montre la figure 6.

L'eau sous pression passe de l'accumulateur à 6 atmosphères par le tuyau d'admission, se dirige dans



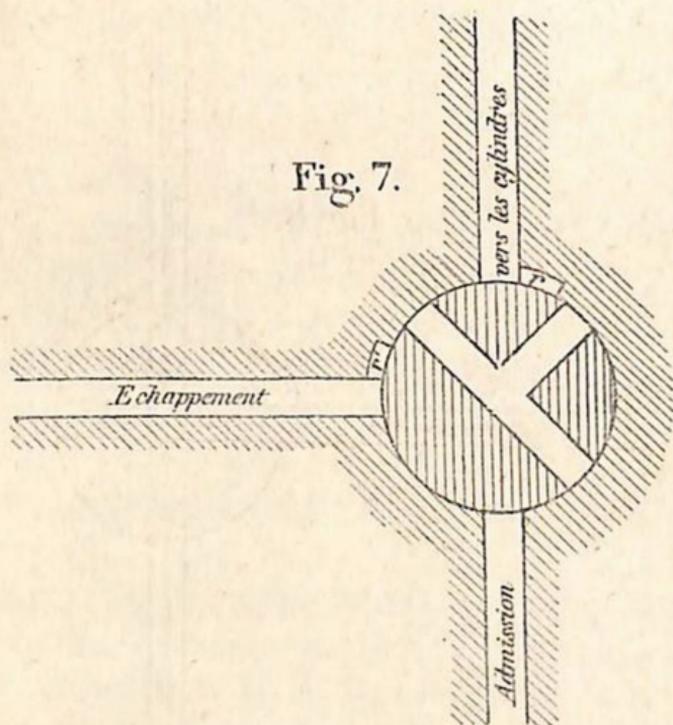
le tuyau circulaire qui réunit tous les petits cylindres, agit sur les pistons de ces derniers et expulse simultanément le liquide contenu dans les grands cylindres.

Arrivé à peu près à fond de course, le piston de l'un des cylindres de petit diamètre entraîne avec lui une tringle qui est en connexion avec le robinet à 3 voies : *R* (fig. 3, pl. XIX) et place le levier dans la position verticale.

Le robinet est alors disposé comme l'indique la figure 7.

Il se fait donc ainsi que l'admission et l'échappement sont automatiquement fermés. L'eau sous pression cesse d'arriver aux petits cylindres, mais elle ne peut pas encore s'échapper. Le pont reste décalé et flottant. On peut donc le tourner après avoir retiré les coins de leurs rainures.

Après le passage des bateaux on ferme le pont, on glisse les coins de calage dans leurs rainures, ce qui



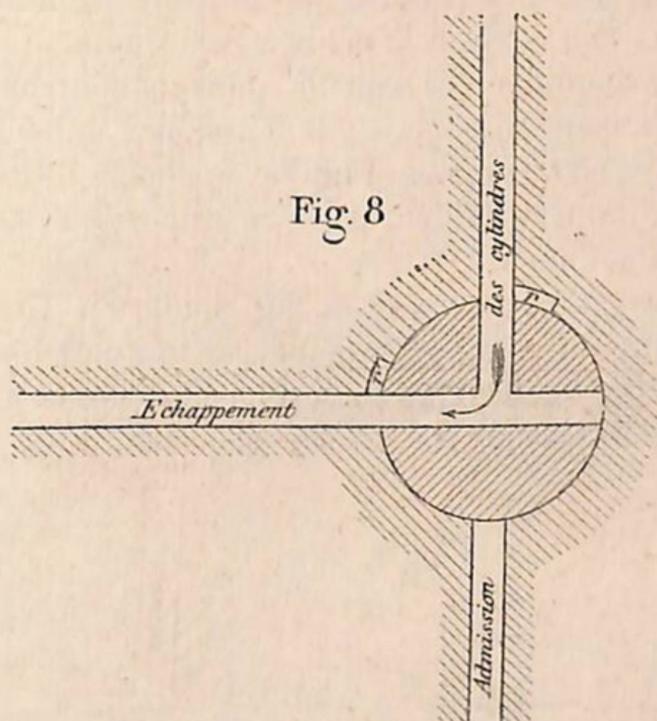
se fait sans aucune difficulté puisque le tablier n'exerce aucune pression sur ces appareils. Puis on cale le pont en le faisant descendre sur ses appuis, tant aux extrémités que dans son milieu.

Pour cela le pontonnier fait occuper au levier la position n° 3 figurée dans la coupe longitudinale *CE* pl. XIX.

Le robinet est alors disposé comme l'indique la figure 8.

L'admission est fermée, l'échappement est ouvert ; l'eau sous pression quitte les petits cylindres pour se rendre par le tuyau d'échappement dans l'accumulateur à 3 1/2 atmosphères. Dans le corps du robinet il y a deux rainures *r* et *r'* afin d'obtenir un échappe-

ment graduel de l'eau sous pression des cylindres de petit diamètre, vers le tuyau d'échappement.



Les pistons reculent par la pression du liquide extérieur et les grands cylindres se remplissent de nouveau. Le pont est fermé et calé.

Il ne sera pas sans intérêt de calculer le plus exactement possible quel serait le *temps nécessaire pour la manœuvre* d'un pont de 500 tonnes :

Nous supposons un pont symétrique de 30 mètres de rayon. Le tablier métallique, plus la cuve-pivot, les cylindres-réservoirs, les accumulateurs et le lest pèsent 581,500 kilogrammes.

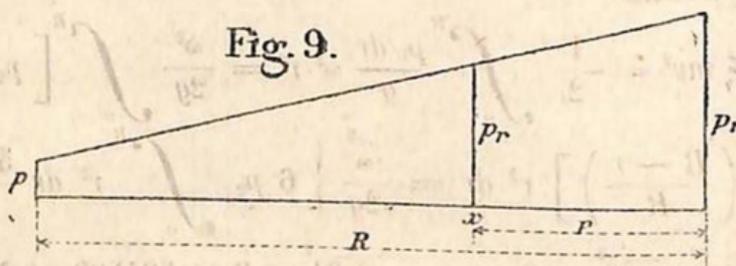
Imaginons la culasse rabattue sur la volée : le poids 581,500 kilogrammes n'est pas uniformément réparti suivant la longueur du pont.

Si nous tenons compte de la figure du lieu des moments fléchissants, et si nous observons que le lest

suspendu à la cuve-pivot, ainsi que le poids des accumulateurs, agissent exactement suivant l'axe du pont, nous arrivons à ce résultat que le poids au milieu est égal à six fois environ le poids à l'extrémité.

Pour simplifier les calculs nous admettrons que l'accroissement de poids ou de masse par unité de longueur a lieu d'une manière uniforme depuis l'extrémité du pont jusqu'au milieu, dans la proportion que nous venons d'indiquer.

Représentons par p_1 et p_2 les poids sur l'axe et à l'extrémité du pont ; p_r le poids par unité de longueur en un point quelconque x , situé à la distance r variable depuis O jusque R .



Nous avons

$$p_1 = 6 p_2$$

$$p_2 = p_2 + \delta p_2 \left(\frac{R - r}{R} \right)$$

$$7 p_2 \times \frac{R}{2} = 581500 \text{ kilogrammes.}$$

Soit ω la vitesse angulaire.

Pour que le pont puisse tourner en $2'30''$, ses extrémités doivent marcher avec une vitesse de :

$$\frac{3,1415 \times 60^{\text{m}},00}{4 \times 150} = 0^{\text{m}},31 \text{ par seconde.}$$

Pour faire passer le pont de l'état de repos à l'état

de mouvement uniforme avec vitesse à l'extrémité de 0^m,31 par seconde, le travail à développer doit être égal au travail des résistances, plus $\frac{1}{2} \leq mv^2$, m étant la masse au point de vitesse v .

Or, le travail des résistances est négligeable, car nous avons déjà montré que les frottements sont insignifiants, et que le couple résultant de l'action du vent pouvait être réduit ou détruit par une disposition convenable des longerons du pont.

Reste donc le travail nécessaire pour vaincre l'inertie :

$$\frac{1}{2} \leq mv^2$$

Nous avons

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \leq mv^2 &= \frac{1}{2} \int_0^R \frac{p_r}{g} \omega^2 r^2 = \frac{\omega^2}{2g} \int_0^R \left[p_2 + \right. \\ &+ 5 p_2 \left(\frac{R-r}{R} \right) \left. \right] r^2 dr = \frac{\omega^2}{2g} \left\{ 6 p_2 \int_0^R r^2 dr + \frac{5 p_2}{R} \right. \\ &\left. \int_0^R r^3 dr \right\} = \frac{\omega^2 R^2}{2g} \times \frac{3}{4} p_2 R = \frac{0,31^2 \times 3 \times 581500 \times 2}{2 \times 9,81 \times 4 \times 7} = \\ &= 610 \text{ kilogrammètres.} \end{aligned}$$

Si nous remarquons qu'un homme agissant sur un levier commandant des engrenages peut développer pendant quelques minutes 15 kilogrammètres par seconde, nous trouvons que le temps nécessaire pour faire passer le pont de l'état de repos à la vitesse uniforme de 0^m,31 à son extrémité est de :

$$\frac{610}{15} = 40 \text{ secondes.}$$

Le chemin parcouru pendant ce temps est :

$$\frac{0,31}{2} \times 40 = 6^m,20$$

Il reste donc à franchir, pour achever la rotation du pont :

$$\frac{3.1415 \times 60}{4} - 6^m,20 = 40^m,92$$

En marchant à la vitesse de $0^m,31$ par seconde, il faudrait donc encore :

$$\frac{40.92}{0.31} = 132 \text{ secondes.}$$

soit en tout $132'' + 40'' = 172''$ ou $2'52''$ pour tourner le pont.

En emmagasinant dans un butoir la puissance vive dont le pont est animé lorsqu'il arrive à la fin de sa course pour être fermé, on pourra utiliser ce travail lors du démarrage à l'ouverture du pont.

Cette circonstance nous permet de ne pas tenir compte du temps nécessaire pour ramener à zéro la vitesse de $0^m,31$ dont le pont est animé pendant la rotation.

Quant aux mécanismes pour la manœuvre : crémailière, roue et pignons, nous ne nous en occupons pas, attendu qu'ils ne présentent rien de nouveau sur ceux employés aujourd'hui.

Ce que nous venons de démontrer, c'est qu'un seul homme serait capable de tourner un grand pont de 500 tonnes en deux fois $2'52''$, soit $5'44''$.

Si on voulait obtenir une rotation plus rapide des ponts de très grande masse, on pourrait réaliser cette manœuvre mécaniquement en installant sur les parois du cylindre inférieur de la cuve-pivot deux hélices tournant dans la solution de chlorure de calcium et mises en mouvement au moyen de l'eau, sous pression des accumulateurs. Mais nous n'avons pas prévu cette installation dans les dessins, parce que le calcul que nous avons fait plus haut prouve qu'elle est inutile dans le cas qui nous occupe.

Quant au temps nécessaire pour produire le décalage et le calage, il dépend simplement de la manière dont on règle l'ouverture du robinet à trois voies. Il suffira vraisemblablement de quelques secondes pour expulser le liquide des grands cylindres, de même que pour le laisser rentrer dans ces réservoirs.

En résumé, il résulte de ce qui précède qu'en appliquant notre système à un pont de 500 tonnes, on arrive à une manœuvre facile et rapide avec le concours d'un seul agent.

Evaluation de la dépense et comparaison avec le système de manœuvre par la pression hydraulique. — Dans certains cas, il sera possible d'amener le pont flottant monté sur sa cuve-pivot, jusqu'à l'emplacement où il doit être établi. Il faudrait évidemment prendre quelques précautions et tenir compte de ce que les calculs ont été faits dans l'hypothèse d'un liquide de densité 1,36, alors que le poids de l'eau est 1.

Si le transport peut se faire par eau, il s'ensuivra une notable économie dont nous ne voulons pas cependant tenir compte, parce que les circonstances ne permettront pas toujours de la réaliser.

Le coût des installations nécessaires pour la manœuvre d'un pont de 500 tonnes, par notre système est évalué comme suit : (Voir le métré et le détail estimatif annexé au mémoire).

I La cuve-pivot en acier doux laminé et rivé	fr. 16,650-00
II La cuve-fixe en acier doux laminé et rivé	8,450-00
III Les cylindres-réservoirs en fonte	2,080-82
IV L'accumulateur à 6 atmosphères de pression	1,477-38
V L'accumulateur de 3 1/2 atmosphères de pression	1,508-21
VI Divers	6,070-92
Total.	fr. <u>34,237-33</u>

Pour compléter l'estimation de la dépense nous devons ajouter à ce chiffre :

Le capital dont les intérêts à 4 p. % représentent le salaire d'un pontonnier . fr.	25,000-00
Le capital dont les intérêts à 4 p. % représentent les frais d'entretien annuels. .	5,000-00
Total. . . fr.	66,237-33

Dans l'hypothèse de la manœuvre d'un pont de 500 tonnes au moyen de la pression hydraulique, d'après le système employé actuellement, la dépense peut être évaluée comme suit :

Le pont est supposé établi dans un endroit où l'on ne dispose pas d'eau sous pression.

La maison Armstrong de Newcastle auprès de laquelle nous nous sommes renseigné, nous a fait connaître qu'elle fournirait tous les mécanismes nécessaires, comprenant ceux pour ouvrir et fermer le pont, l'accumulateur avec 6 chevaux de force, la machine et la chaudière, les pompes et les conduites d'eau, en supposant 300 mètres de distance entre le pont et les bâtiments pour la somme de. . . . fr. 58,750-00

Si on employait le gaz au lieu de la vapeur, ce qui n'est pas toujours possible, ce chiffre serait réduit de 3,750 francs.

Nous tenons à signaler que le prix de 58,750 francs fixé par la maison Armstrong, pour manœuvrer un pont de 500 tonnes, est relativement bas. On en sera convaincu si l'on considère que cette maison a fait payer la somme de 70,750 francs pour les mécanismes, chaînes et rouleaux du pont roulant du Kattendijk qui ne pèse que

A reporter. . . fr. 58,750-00

Report. . . fr. 58,750-00

264 tonnes (sans le contrepoids) et alors qu'elle n'avait pas à établir les machines et l'accumulateur déjà installés par la ville d'Anvers.

La maison anglaise nous signale, en outre, qu'il faudra, pour abriter l'accumulateur, un bâtiment mesurant intérieurement $3^m,25 \times 3^m,25$ et 12 mètres de hauteur. Cette construction, avec les fondations pour l'accumulateur coûterait 5,000-00

Il faut, en outre, un bâtiment pour les machines, il mesurerait intérieurement $7^m,50 \times 3^m,50$ et 4 mètres de hauteur. La dépense, en tenant compte des fondations pour les machines serait de 3,000-00

La machine et les pompes peuvent charger l'accumulateur en 8 minutes. Alors, ce dernier contient assez d'eau pour manœuvrer *une fois* le pont sans le secours de la machine.

D'après les renseignements fournis par la maison Armstrong, la dépense en charbon serait de 1,500 kilogrammes par semaine, en supposant douze manœuvres du pont par jour. Il en résulterait une consommation annuelle de 78,000 kilogrammes à raison de 12 francs les 1,000 kilogrammes, ce qui donne une dépense de 936 francs, chiffre représentant les intérêts à 4 p. % d'un capital de 23,400-00

Le capital dont les intérêts à 4 p. % représentent les frais d'entretien annuels aux diverses installations, bâtiments, ma-

A reporter. . . fr. 90,150-00

Report. . . fr.	90,150-00
chine, accumulateur, tuyauterie, les frais d'éclairage et de chauffage des locaux en hiver, etc.	10,000-00
Le tambour en tôle fixé aux entretoises centrales du pont, et maintenu verticalement par un jeu de galets, comme il existe aux ponts tournants sur le bassin à flot de Bordeaux : 7 tonnes de fer laminé à 300 francs la tonne	2,100-00
Le cercle de galets	500-00
Le piston portant le pivot sur lequel agit la pression hydraulique, le pivot et ses attaches	1,000-00
Le capital, dont les intérêts à 4 p. % représentent le salaire d'un machiniste, en même temps chargé de veiller à la chaudière, aux pompes, à l'accumulateur, etc.	37,500-00
Le capital dont les intérêts à 4 % représentent le salaire d'un pontonnier	25,000-00
	<hr/>
Total. . . fr.	166,250-00

La différence en faveur de notre système est donc de :

$$166,250-00 - 66,237-33 = \text{fr. } 100,012-67.$$

Nous faisons remarquer, que dans l'estimation que nous venons de faire, nous n'avons pas tenu compte de l'économie réalisée dans les maçonneries en appliquant notre système à la manœuvre d'un pont de 500 tonnes : deux culées ordinaires et une pile de 8^m,00 de diamètre suffisent, tandis que les ponts tournants du bassin à flot de Bordeaux, qui ne pèsent que 310 tonnes,

sont supportés par un mur de 10 mètres de largeur. Dans le sens de la longueur de ce mur sont installés les fourreaux, les pistons, les chaînes, etc., nécessaires pour la manœuvre.

Nous citerons aussi le pont de Boom, pour chemin de fer à deux voies. Il pèse 262 tonnes, et la pile-pivot mesure 8^m,32 de diamètre en couronne.

Au pont roulant du Kattendijk, les maçonneries ont dû être aménagées d'une façon spéciale, elles ont coûté fr. 89,837-91. Nous ne saurions fixer exactement quelle serait la différence en faveur de notre système ; mais nous croyons pouvoir dire en nous basant sur l'examen des plans, qu'elle serait très notable.

Quoi qu'il en soit, il résulte, des calculs que nous avons établis plus haut, que l'application de notre système à un pont de 500 tonnes permettrait de réaliser certainement un minimum d'économie évalué à 100,000 francs.

Si le pont est établi dans un port maritime où l'on dispose de l'eau à 50 ou 60 atmosphères de pression, rien n'empêcherait de s'en servir pour produire le décalage : on amènerait facilement cette eau sous pression par le centre de la cuve-pivot, jusqu'au robinet à trois voies, qui permettrait de la distribuer dans des cylindres dont le nombre et le diamètre seraient calculés pour la haute pression dont on ferait usage.

Alors on supprimerait les accumulateurs que nous avons installés dans la cuve-pivot et l'homme n'aurait plus à pomper pour produire de la force motrice.

Dans ce système on perdrait, il est vrai, à chaque manœuvre, l'eau sous pression nécessaire pour effectuer le décalage, mais comme elle est à une grande pression, il faudrait en dépenser très peu et la quantité perdue serait minime. Cela paraîtra évident quand nous aurons rappelé que nous ne consommons que 0^{m3},1832

d'eau à 6 atmosphères de pression, pour produire le décalage d'un pont de 500 tonnes.

En employant de l'eau à 60 atmosphères, une trentaine de litres suffiraient vraisemblablement.

D'ailleurs, si on voulait réduire au minimum la perte de l'eau sous pression, il suffirait d'établir au centre de la cuve-pivot un *récupérateur*, mais nous estimons que cette installation est inutile, la perte de force motrice dans l'application de notre système étant insignifiante.

Au surplus, on trouvera dans la note de l'ingénieur L. Barret, insérée dans le Bulletin de la *Société scientifique et industrielle de Marseille* (année 1879) la description détaillée de l'appareil récupérateur et on saisira très facilement l'application qui pourrait en être faite dans le cas qui nous occupe.

Pont de 80 tonnes. — Lorsque le poids d'un pont atteint 80 tonnes, il n'est plus possible dans de bonnes conditions pratiques de le manœuvrer avec *un seul homme*.

Nous allons très sommairement faire l'application de notre système à un semblable pont, et calculer l'économie qui en résulterait.

Considérons un pont pour chemin de fer à double voie. La distance d'axe en axe des longerons est de 8 mètres. Les entretoises auraient 0^m,80 de hauteur, sauf au droit de la cuve-pivot, où cette hauteur serait réduite à 0^m,30, les semelles ayant une largeur plus grande.

Nous faisons l'hypothèse que le centre de gravité du tablier tombe à 0^m,30 en dessous de l'arête supérieure des entretoises.

Nous verrons, à propos du décalage et du calage, qu'il faut installer dans le flotteur quatre cylindres servant de réservoirs pour emmagasiner le liquide de la

cuve extérieure et deux accumulateurs d'eau disposés concentriquement ; l'un à 4 et l'autre 2 1/4 atmosphères de pression.

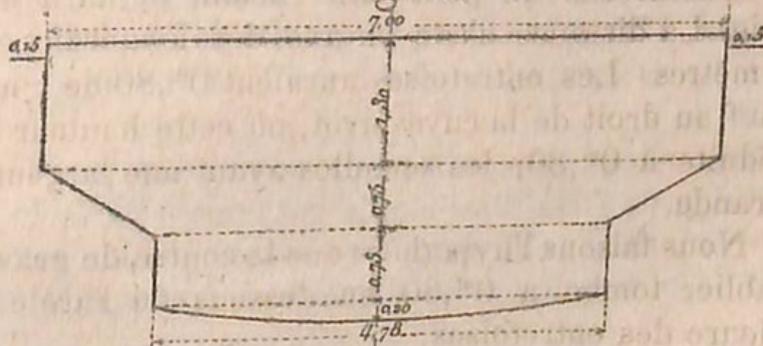
Flotteur en acier doux laminé constituant la cuve-pivot.

— Il nous paraîtrait peu intéressant de reproduire ici le métré détaillé des installations ; nous donnerons simplement le résultat de nos calculs :

	kilogr.
Le fond et son entretoisement	1,600
Le reste du flotteur	6,400
L'accumulateur à 4 atmosphères (lest et eau compris)	4,200
L'accumulateur à 2 1/4 atmosphères (lest compris)	3,200
Les cylindres-réservoirs et les petits mécanismes	1,600
Le lest, formé de gueuses de fonte disposé dans le fond de la cuve-pivot	12,000
Par hypothèse le tablier métallique pèse	80,000

On arrive ainsi à un poids total de 109,000 qui exige un déplacement de 80 mètres cubes pour flotter dans une solution de chlorure de calcium dont la densité est 1.36.

Fig. 10.



Si nous admettons que le niveau de ce liquide doit rester à 0.15 en dessous de l'arête supérieure du flot-

teur, pour éviter le débordement pendant la manœuvre, il devient facile de calculer le volume immergé V (fig. 10).

On trouve ainsi :

$$V = 3.1415 \left\{ \left(\frac{7.00^2 \times 1.15}{4} \right) + \frac{0.75}{15} \left(7.00^2 + 4.78^2 + 7.00 \times 4.78 \right) + \left(\frac{4.78^2 \times 0.75}{4} \right) + 0.20 \left(\frac{4.78^2}{8} + \frac{0.20^2}{6} \right) \right\} = 80^{\text{m}^3}, 19,$$

c'est exactement le volume exigé pour le déplacement dans le liquide que nous employons.

Cuve extérieure en acier doux laminé. — Le jeu entre le flotteur et sa cuve est de 0^m,10. Elle serait formée de quatre anneaux de tôle et pèserait 4,800 kilogrammes.

Équilibre stable du système. — Dans la position la plus défavorable, au point de vue de l'équilibre stable du pont, le centre de gravité de l'accumulateur à 4 atmosphères est à 2 mètres au dessus de la tangente en A (fig. 12); et le centre de gravité de l'accumulateur à 2 1/4 atmosphères tombe à 0,70 au dessus de cette droite.

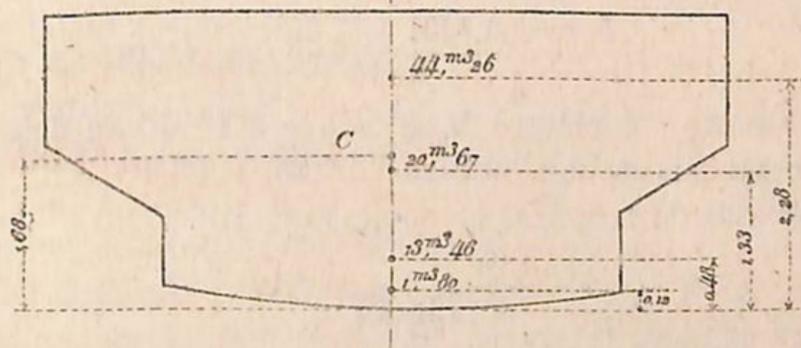
Nous allons démontrer que pour cette position la condition de l'équilibre stable est encore parfaitement assurée : pour cela, nous ferons voir que le centre de gravité de tout le système tombe en dessous du métacentre.

Centre de carène ou de poussée. — La distance inconnue x du centre de carène C , au dessus de la tangente en A est donnée par l'équation :

$$44^{\text{m}^3},26 \times 2,28 + 20^{\text{m}^3},67 \times 1,33 + 13^{\text{m}^3},46 \times 0,48 + \\ + 1^{\text{m}^3},80 \times 0,12 = 80^{\text{m}^3},19 \times x.$$

D'où $x = 1^{\text{m}},68$.

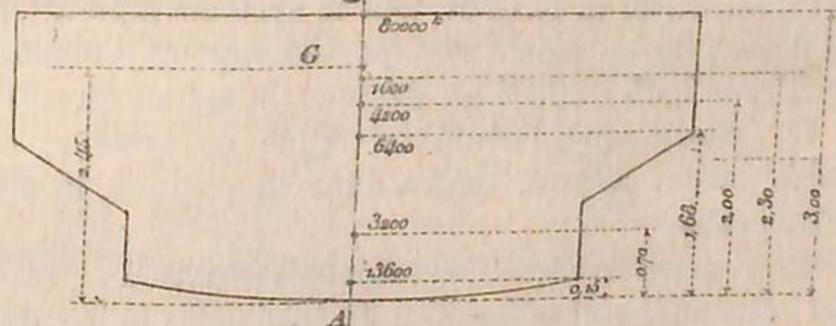
Fig. II.



Donc le centre de carène est à $1^{\text{m}},68$ au dessus de l'axe des moments.

Centre de gravité. — Une équation de moments, par rapport à la tangente en A , donne encore la distance inconnue x du centre de gravité G de tout le système au dessus de cette droite (fig. 12).

Fig. 12



Nous trouvons :

$$80^{\text{t}},000 \times 3,00 + 1^{\text{t}},600 \times 2,30 + 4^{\text{t}},200 \times 2,00 + \\ + 6^{\text{t}},400 \times 1,68 + 3^{\text{t}},200 \times 0,70 + 13^{\text{t}},600 \times 0,15 = \\ = 109^{\text{t}},000 \times x.$$

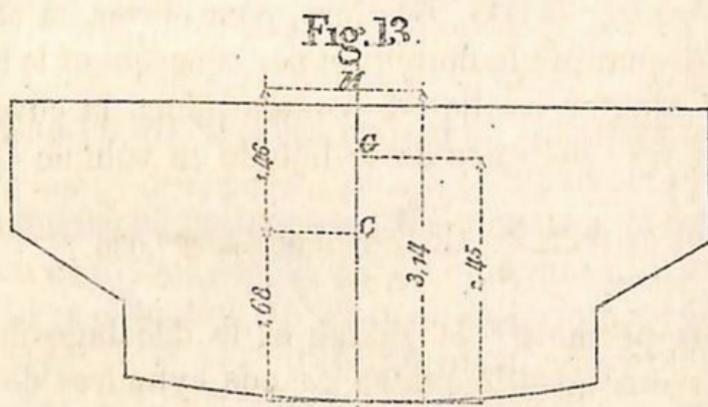
D'où $x = 2^{\text{m}},45$.

Donc le centre de gravité de tout le système est, pour la position considérée, à 2^m,45 au dessus de l'axe des moments.

Métacentre. — La distance qui sépare le centre de carène du métacentre est :

$$\zeta = \frac{I}{V} = \frac{0,0491 \times \overline{7.00^4}}{80,19} = 1^m,46.$$

Donc le métacentre *M* se trouve à 1^m,46 au dessus du centre de carène, ou bien à 1^m,68 + 1^m,46 = 3^m,14 au dessus de l'axe des moments (fig. 13).



Le centre de gravité de tout le système est à 2^m,45 au dessus de ce même axe, par conséquent il tombe à 3^m,14 — 2,45 = 0,69 en dessous du métacentre.

Il s'ensuit que l'équilibre stable du système est parfaitement assuré, même dans la position la plus défavorable.

On remarquera que nous sommes arrivés à ce résultat sans qu'il soit nécessaire de suspendre le lest dans la maçonnerie. On pourrait, à la rigueur, se contenter d'une stabilité notablement inférieure à celle que nous avons recherchée.

Influence des variations dans le poids du tablier. —

En supposant un écart de 1,500 kilogrammes provoqué par les variations atmosphériques, nous nous

plaçons certainement dans des circonstances défavorables ; en admettant qu'elles se réalisent, le pont fermé resterait encore appliqué en son milieu par un effort de $2769^k - 1500^k = 1269$ kilogrammes.

Nous verrons, en effet, que lorsque le pont est calé, le poids du liquide, qui est entré dans les cylindres, est de 2769 kilogrammes.

Calage et décalage. — L'installation est analogue à celle déjà décrite à l'occasion d'un pont de 500 tonnes.

Nous supposons que la flexion maxima aux extrémités des longerons d'un pont de 80 tonnes ne peut pas dépasser $0^m,05$. Dès lors, pour élever ou abaisser de cette quantité le flotteur et par conséquent le tablier, il faut ajouter au liquide contenu dans la cuve extérieure, ou soustraire de ce liquide un volume égal à :

$$\frac{3,14 \times \overline{7.20^2}}{4} \times 0,05 = 2^{m^3},036.$$

Pour permettre le calage et le décalage du pont nous avons installé quatre grands cylindres de $1^m,00$ de diamètre intérieur. La course est de $0^m,648$.

La capacité des cylindres en question doit être égale au volume que nous venons de calculer :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{1.00^2}}{4} \times 0,648 = 2^{m^3},036,$$

ce qui représente en poids : $2^{m^3},036 \times 1360 = 2769$ kilogrammes, comme nous avons dit plus haut.

Dans l'axe de chaque grand cylindre nous avons disposé un cylindre de $0^m,18$ de diamètre et de même course : $0,648$.

De plus, au centre de la cuve-pivot se trouve un accumulateur d'eau à 4 atmosphères de pression, d'où part un tuyau qui distribue l'eau dans les petits cylin-

dres, par l'intermédiaire d'un robinet à trois voies. Après avoir servi à décaler le pont, l'eau sous pression se rend par un tuyau d'échappement dans un accumulateur à 2 1/4 atmosphères; d'où elle est reprise au moyen d'une petite pompe à bras pour être foulée de nouveau dans l'accumulateur à 4 atmosphères de pression.

La puissance dont on dispose au décalage du pont est :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,18^2}}{4} \times 10330 \times 4 = 4206 \text{ kilogrammes.}$$

La résistance se calcule comme suit :

La poussée maxima exercée par la solution de chlorure de calcium.

$$4 \times 1360 \left(\frac{1,00}{2} + 0,28 \right) \times \frac{3,14 \times \overline{1,00^2}}{4} = \text{Kilog. } 3330$$

Les frottements des cuirs emboutis dans les cylindres de petit diamètre :

$$4 \times 3,14 \times 0,18 \times 0,02 \times 0,23 \times 10330 \times 4 = 430$$

Dans les cylindres de grand diamètre :

$$4 \times 3,14 \times 1,00 \times 0,04 \times 0,23 \times \frac{832}{0,783} = 122$$

Le frottement de glissement des pistons :

$$4 \times 200 \times 0,18 = 144$$

Total. . . 4026

La puissance dépasse la résistance de 4206^k — 4026 = 180 kilogrammes.

Au calage du pont, la puissance devient la poussée minima exercée par la solution de chlorure de calcium

$$4 \times 1360 \times \left(\frac{1,00}{2} + 0,23 \right) \times \frac{3,14 \times \overline{1,00^2}}{4} = 3117 \text{ kil.}$$

Calculons la résistance :

Nous avons d'abord l'eau sous pression à 2 1/4 atmosphères dans les quatre cylindres de 0^m,18 de diamètre :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,18^2}}{4} \times 10330 \times 2,25 = \text{Kilog.} \quad 2366$$

Le frottement des cuirs emboutis :

Dans les cylindres de petit diamètre :

$$4 \times 3,14 \times 0,18 \times 0,02 \times 0,23 \times 10330 \times 2,25 = 242$$

Dans les cylindres de grand diamètre :

$$4 \times 3,14 \times 1,00 \times 0,04 \times 0,23 \times \frac{779}{0,785} = 114$$

Le frottement de glissement des pistons. . . 144

Total. . . 2866

La puissance dépasse la résistance de 3117^k —
— 2866 = 251 kilogrammes.

Par conséquent, le *seul travail fourni par le pont au calage*, permet de refouler dans un accumulateur à 2 1/4 atmosphères l'eau sous pression à 4 atmosphères dont nous avons fait usage pour obtenir le décalage du pont.

D'après ce qui précède, il est facile de reconnaître que le volume d'eau à 4 atmosphères de pression, nécessaire pour *manœuvrer deux fois* le pont, est égal à :

$$2 \times 4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,18^2}}{4} \times 0,648 = 0^{\text{m}^3},132.$$

Pour que l'accumulateur à 4 atmosphères soit capable de contenir ce volume, il faut donner au piston 0^m,34 de diamètre. La course étant 1^m,46.

L'accumulateur à 2 1/4 atmosphères présente la même capacité. Il se compose de quatre cylindres, dont

les pistons ont 0^m,19 de diamètre, la course étant 1^m,17.

Le poids du piston avec le lest sera, pour l'accumulateur à 4 atmosphères :

$$\frac{3,14 \times \overline{0,34^2}}{4} \times 10330 \times 4 = 3751 \text{ kilogrammes.}$$

Pour l'accumulateur à 2 1/4 atmosphères ce poids devient :

$$4 \times \frac{3,14 \times \overline{0,19^2}}{4} \times 10330 \times 2,25 = 2636 \text{ kilogrammes.}$$

Dès lors, le travail nécessaire pour remplir l'accumulateur à 4 atmosphères, au moyen de l'eau sous pression contenue dans l'accumulateur à 2 1/4 atmosphères se mesure comme suit :

$$3751 \times 1,46 - 2636 \times 1,17 = 2392 \text{ kilogrammètres.}$$

En comptant que l'homme peut développer 9 kilogrammètres par seconde, il faut, pour remplir l'accumulateur à 4 atmosphères, un temps égal à :

$$\frac{2392}{9 \times 60} = 4'25''.$$

En d'autres termes, *pour disposer d'une somme de force motrice capable de manœuvrer deux fois le pont, l'homme doit pomper pendant 4'25''.*

En admettant qu'un pont de 80 tonnes soit manœuvré vingt-cinq fois par jour, le pontonnier n'aura pas à pomper durant *une heure* pendant les intervalles compris entre le passage des bateaux.

Quant au temps nécessaire pour faire une manœuvre complète du pont, nous estimons qu'il sera très court.

Le travail qu'il faudra développer pour vaincre l'inertie devient beaucoup moins considérable que dans le cas d'un pont de 500 tonnes. Les résistances dues

aux frottements sont sensiblement nulles, grâce à la grande stabilité de l'installation et au système de flotteur que nous proposons.

Nous rappelons ici ce que nous avons déjà dit plus haut à propos de la coupole de l'Observatoire de Nice : « Alors qu'il faut un effort de 200 kilogrammes pour la tourner sur ses galets, un effort de 3 kilogrammes suffit pour obtenir la rotation dans le même temps quand la manœuvre a lieu sur flotteur ».

Évaluation de la dépense et comparaison avec le système en usage. — La manœuvre, par notre système, d'un pont de 80 tonnes donne lieu aux dépenses suivantes :

Le capital dont les intérêts à 4 p. % représentent le salaire d'un pontonnier	fr. 25,000 00
La cuve extérieure en acier doux laminé : 4,800 kilogrammes à fr. 0-50	2,400 00
La cuve-pivot en acier doux laminé : 8,000 kilogrammes à fr. 0-50	4,000 00
Le lest formé de gueuses de fonte, placées dans le fond de la cuve-pivot : 12,000 kilogrammes à fr. 0-12	1,440 00
Le lest formé de déchets de fer et de fonte brute, placés sur les plateaux des accumulateurs : 5,000 kilogrammes à fr. 0-05.	250 00
Les cylindres-réservoirs et les cylindres avec piston des accumulateurs : 2,987 kilogrammes à fr. 0-25	746 75
La pompe, la tuyauterie et le robinet	300 00
La solution de chlorure de calcium : 8 mètres cubes à fr. 39-50 le mètre	316 00
L'huile minérale russe, 10 kilogrammes à fr. 0-30	3 00
Les galets-guides et le petit pivot-guide	250 00
Total.	fr. 34,705 75

Cette somme comprend le prix du lest et du liquide évalués à fr. 2,006-00, il est à remarquer que ce capital n'aura subi aucune dépréciation lorsque le pont sera mis hors d'usage.

Dans l'hypothèse où l'on manœuvrerait un pont de 80 tonnes, d'après le système employé actuellement, la dépense serait :

Le capital, dont les intérêts à 4 p. % représentent le salaire de deux pontonniers . . . fr. 50,000 00

Un pivot ordinaire et ses attaches, le cercle de galets de roulement . . . 300 00

Le diamètre de la pile serait 6 mètres, et la maçonnerie devrait s'élever jusque près de la semelle inférieure des longerons. En supposant que la pile ait 4 mètres de hauteur sous la cuve-pivot, il en résulte un accroissement de 77 mètres cubes de maçonnerie à 20 francs 1,540 00

Si on peut amener le pont *flottant*, on obtiendra une économie notable sur les frais de transport. Nous n'en tiendrons pas compte.

La dépense totale serait donc . . . fr. 51,840 00

La différence en faveur de notre système : 51,840-00
— 34,705-75 = fr. 17,134-25.

C'est une économie qui mérite d'être prise en sérieuse considération, si l'on songe que les ponts de 80 tonnes se construisent fréquemment.

L'avantage est, il est vrai, beaucoup plus considérable lorsqu'on applique notre système à un pont de 500 tonnes, mais ces grands ouvrages se rencontrent rarement, peut-être en raison même de la dépense si élevée que leur manœuvre entraîne.

En terminant cette étude, nous ferons remarquer

qu'il serait aisé de faire l'application de notre système à des ponts dont le poids varie depuis 80 à 500 tonnes. La marche des calculs est toujours la même, et c'est uniquement pour ne pas tomber dans des redites que nous nous sommes borné à traiter les deux cas exposés dans cette notice.

Nous ajouterons que si on voulait appliquer notre système à des ponts de moins de 80 tonnes, pouvant, par conséquent, se manœuvrer par un seul homme, avec les moyens ordinairement employés, on serait amené à un accroissement de dépenses, mais on aurait en compensation une manœuvre *facile et rapide*, ce qui est, au point de vue de la circulation, un *desideratum* trop souvent peu ou mal réalisé.

Métré et détail estimatif.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
I. — La cuve-pivot en acier doux laminé et rivé.			
Le cylindre de 12 ^m ,50 de diamètre :			
$7800 \times 3,1415 \times 12,50 \times 2,00 \times 0,006.$	3,673	80	
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
$7800 \times 20 \times 2,00 \times 0,10 \times 0,06.$	187	20	
La partie tronc-conique; diamètres 12 ^m ,50 et 7 ^m ,75.			
$7800 \times 3,1415 \times 2,76 \times \left(\frac{12,50 + 7,75}{2}\right) \times 0,007.$	4,791	00	
Les recouvrements aux joints horizontaux :			
$7800 \times 3,1415 \times 10,92 \times 0,10 \times 0,007.$	187	22	
$7800 \times 3,1415 \times 9,33 \times 0,10 \times 0,007.$	159	96	
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
$7800 \times 2 \times 20 \times 0,97 \times 0,10 \times 0,007.$	211	85	
$7800 \times 20 \times 1,02 \times 0,10 \times 0,007.$	111	38	
Le cylindre de 7 ^m ,75 de diamètre :			
$7800 \times 3,1415 \times 7,75 \times 0,90 \times 0,007.$	1,195	82	
$7800 \times 3,1415 \times 7,75 \times 0,90 \times 0,008.$	1,366	65	
(Dans la hauteur : 0 ^m ,90 est compris le recouvrement du joint horizontal).			
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
$7800 \times 12 \times 0,90 \times 0,10 \times 0,007.$	58	97	
$7800 \times 12 \times 0,90 \times 0,10 \times 0,008.$	67	39	
Le fond de la cuve-pivot.			
La partie horizontale formant la surface d'appui supérieure :			
$7800 \times \frac{3,1415}{4} (\overline{7,75^2} - \overline{6,27^2}) \times 0,008.$	1,016	93	
Les recouvrements aux joints suivant les rayons :			
$7800 \times 10 \times 1,00 \times 0,10 \times 0,008.$	62	40	
La partie horizontale formant la surface d'appui inférieure :			
$7800 \times \frac{3,1415}{4} (\overline{1,76^2} - \overline{0,58^2}) \times 0,008.$	135	32	
Les recouvrements aux joints suivant les rayons :			
$7800 \times 2 \times 1,00 \times 0,10 \times 0,008.$	12	48	
A reporter. . .	13,238	37	

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . . .	13,238 37		
La partie en forme de zone sphérique :			
$7800 \times 2 \times 3.1415 \times 5.20 \times 0.56 \times 0.008.$	1,141 97		
Les recouvrements aux joints horizontaux :			
$7800 \times 3.1415 \times 0.10 \times 0.008 \times (5.80 + 4.08 + 2.30).$	238 65		
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
$7800 \times 1.00 \times 0.10 \times 0.008 \times (10 + 6).$	99 84		
Les tôles verticales formant l'encoche pratiquée dans le fond de la cuve :			
$7800 \times 2 \times 3.1415 \times 0,58 \times 0,45 \times 0.01.$	127 91		
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
$7800 \times 2 \times 0,45 \times 0.10 \times 0.01.$	7 02		
Fer  n° 24 Cockerill, reliant le cylindre de 12 ^m ,50 de diamètre aux entretoises du pont (couvre-joints compris) :			
41 ^m ,50 × 33 kilogrammes.	1,369 50		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 12 ^m ,50 de diamètre aux entretoises du pont (couvre-joints compris) :			
40 ^m ,50 × 15 kilogrammes.	607 50		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 12 ^m ,50 de diamètre à la partie tronc-conique de la cuve (couvre-joints compris) :			
40 ^m ,50 × 15 kilogrammes.	607 50		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant la partie tronc-conique au cylindre de 7 ^m ,75 de diamètre (couvre-joints compris) :			
25 ^m ,35 × 15 kilogrammes.	380 25		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 7 ^m ,75 de diamètre à la tôle du fond de la cuve (couvre-joints compris) :			
25 ^m ,03 × 15 kilogrammes.	375 50		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant la cuve aux parois de l'encoche :			
4 × 2,19 × 15 kilogrammes.	131 40		
Les raidisseurs disposés suivant les rayons dans le fond de la cuve.			
Ames :			
$7800 \times 8 \times \left(\frac{0.52 + 0.36}{2} \right) \times 3.07 \times 0.008.$	674 32		
Cornières n° 4 Cockerill :			
8 × 14.00 × 10 kilogrammes.	1,120 00		
A reporter. . . .	20,119 73		

DESIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . .	20,119	73	
Les entretoises des raidisseurs. Ames : 7800 × 8 × 0.40 × 1.50 × 0.008.		299	52
Cornières n° 4 Cockerill : 8 × 6.85 × 10 kilogrammes.		548	00
Le cylindre de 6 ^m ,75 de diamètre :			
7800 × 3.1415 × 6.75 × 0.90 × 0.006.		893	37
7800 × 3.1415 × 6.75 × 0.95 × 0.006.		943	00
7800 × 3 × 3.1415 × 6.75 × 0.95 × 0.007.		3,300	49
7800 × 3.1415 × 6.75 × 0.90 × 0.008.		1,190	97
(Les recouvrements aux joints horizontaux sont compris dans la hauteur des tôles).			
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
7800 × 12 × 0.90 × 0.10 × 0.006.		50	54
7800 × 12 × 0.95 × 0.10 × 0.006.		53	35
7800 × 3 × 12 × 0.95 × 0.10 × 0.007.		186	73
7800 × 12 × 0.90 × 0.10 × 0.008.		67	59
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 6 ^m ,75 de diamètre aux entretoises du pont (couvre-joints compris) :			
44 ^m ,50 × 15 kilogrammes.		667	50
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 6 ^m ,75 de diamètre au fond de la cuve (couvre-joints compris) :			
44 ^m ,50 × 15 kilogrammes.		667	50
Assemblage des deux parois de la cuve-pivot.			
Fer T n° 18 Cockerill :			
8 × 16,80 × 21 kilogrammes.		2,822	40
Petites barres des treillis :			
7800 × 8 × 8 × 0.35 × 0.08 × 0.008.		111	82
Fourrures entre ces barres :			
7800 × 8 × 8 × 0.08 × 0.08 × 0,012.		38	34
Fers  n° 21 Cockerill, supportant les cylindres-réservoirs :			
4 × 2.30 × 18 kilogrammes.		165	60
Grandes barres des treillis :			
7800 × 4 × 4.00 × 0.12 × 0.008.		119	81
7800 × 4 × 8.00 × 0.12 × 0.008.		239	62
A reporter. . .	32,485	68	

DÉSIGNATION	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.			
Report. . .	32,485 68		
Goussets :			
8 × 32 kilogrammes.	256 00		
Fers plats entretoisant les parois à leur partie supérieure.			
7800 × 8 × 2.77 × 0.12 × 0.008.	165 94		
Têtes de rivets, boulons, etc	392 38		
Total du chapitre I.	33,300 00	0 50	16,650 00
 II. — La cuve fixe en acier doux laminé et rivé contenant le Ca Cl en dissolution dans l'eau.			
Le cylindre de 12 ^m ,70 de diamètre :			
7800 × 2 × 3.1415 × 12 ^m ,70 × 1.05 × 0.006.	3,921 27		
(Dans la hauteur, 1 ^m ,05 est compris le recouvrement au joint horizontal).			
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
7800 × 2 × 20 × 1.05 × 0.10 × 0.006.	196 56		
La partie tronc-conique, diamètres 12 ^m ,70 et 7.95.			
7800 × 3.1415 × 2.76 × $\left(\frac{12.70 + 7.95}{2}\right) \times 0.007$.	4,888 23		
Les recouvrements aux joints horizontaux :			
7800 × 3.1415 × 11.32 × 0.10 × 0.007.	194 22		
7800 × 3.1415 × 9.73 × 0.10 × 0.007.	166 92		
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
7800 × 2 × 20 × 0.97 × 0.10 × 0.007.	211 85		
7800 × 20 × 1.02 × 0.10 × 0.007.	110 29		
Le cylindre de 7 ^m ,95 de diamètre :			
7800 × 3.1415 × 7.95 × 0.98 × 0.007.	1,336 63		
7800 × 3.1415 × 7.95 × 0.98 × 0.008.	1,527 58		
(Dans la hauteur, 0 ^m ,98 est compris le recouvrement au joint horizontal).			
Les recouvrements aux joints suivant les génératrices :			
7800 × 12 × 0.98 × 0.10 × 0.007.	64 21		
7800 × 12 × 0.98 × 0.10 × 0.008.	73 38		
A reporter. . .	12,691 14		

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . .	12,691 14		
Le fond de la cuve :			
$7800 \times \frac{3.1415}{4} \times (\overline{7.95^2} - \overline{6.95^2}) \times 0.008.$	730 20		
Les recouvrements aux joints suivant les rayons :			
$7800 \times 10 \times 0.50 \times 0.10 \times 0.008.$	31 20		
Cornières n° 8 Cockerill, terminant à sa partie supérieure le cylindre de 12 ^m ,70 de diamètre (couvre-joints compris) :			
42 mètres \times 6 kilogrammes.	252 00		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 12 ^m ,70 de diamètre à la partie tronc-conique (couvre-joints compris) :			
42 mètres \times 15 kilogrammes.	630 00		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant la partie tronc-conique au cylindre de 7 ^m ,90 de diamètre (couvre-joints compris) :			
26 ^m ,50 \times 15 kilogrammes.	397 50		
Cornières n° 1 Cockerill, reliant le cylindre de 7 ^m ,90 de diamètre à la tôle du fond (couvre-joints compris).			
26 ^m ,50 \times 15 kilogrammes.	397 50		
Plat de roulement au droit des galets.			
$7800 \times 3.1415 \times 12.70 \times 0.50 \times 0.01.$	1,556 10		
Têtes de rivets, boulons, doguets	214 36		
Total du chapitre II.	16,900 00	0 50	8,450 00
III. — Cylindres-réservoirs en fonte.			
Pour un cylindre.			
Le corps du cylindre :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times (\overline{1.29^2} - \overline{1.25^2}) \times 1.96.$	1,128 96		
Les rebords :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{1.53^2} - \overline{1.29^2}) \times 0.02.$	76 46		
$7200 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{1.45^2} - \overline{1.29^2}) \times 0.02.$	49 54		
Report.	1,254 96		

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . .	1,254 96		
Le disque du piston :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{1.25^2} \times 0.110$	971 93		
A déduire les évidements :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \left\{ \begin{array}{l} (\overline{1.10^2} - \overline{0.28^2}) \times 0.02 \\ (\overline{1.12^2} - \overline{0.15^2}) \times 0.06 \\ (\overline{1.16^2} - \overline{0.13^2}) \times 0.02 \\ (\overline{0.07^2}) \times 0.08 \\ (\overline{1.25^2} - \overline{1.19^2}) \times 0.05 \end{array} \right\}$	702 00		
Reste. . .	269 93	269 93	
La tige du piston :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{0.18^2} \times 1.90.$	348 11		
A déduire les évidements :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.07^2}) \times 1.85 \\ (\overline{0.18^2} - \overline{0.11^2}) \times 1.80 \\ (\overline{0.18^2} - \overline{0.13^2}) \times 0.03 \end{array} \right\}$	260 52		
Reste. . .	87 59	87 59	
Le couvercle du cylindre-réservoir venu de fonte avec le cylindre de 0 ^m ,18 de diamètre intérieur :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \left\{ \begin{array}{l} (\overline{1.45^2}) \times 0.02 \\ (\overline{0.46^2}) \times 0.02 \\ (\overline{0.22^2}) \times 1.86 \\ (\overline{0.26^2} - \overline{0.22^2}) \times 0.08 \\ (\overline{0.38^2} - \overline{0.22^2}) \times 0.02 \end{array} \right\}$	790 33		
A déduire l'évidement :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{0.18^2} \times 1.90.$	348 11		
Reste. . .	442 22	442 22	
A reporter. . .	2,054 70		

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . .	2,054	70	
Le couvercle du cylindre de 0 ^m ,18 de diamètre intérieur :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times (\overline{0.38^2} - \overline{0.06^2}) \times 0.02.$	15	92	
Ensemble pour un cylindre-réservoir	2,070	62	
Pour deux cylindres-réservoirs semblables	4,144	24	
Le quatrième cylindre-réservoir			
Le corps du cylindre et les rebords	1,254	96	
Le disque du piston	269	93	
La tige du piston :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{0.18^2} \times 2.16$	395	75	
A déduire les évidements :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.02^2} \times 2.11) \\ (\overline{0.18^2} - \overline{0.11^2}) \times 2.00 \\ (\overline{9.12^2} - \overline{0.15^2}) \times 0.03 \end{array} \right\}$	297	57	
Reste. . .	98	18	
Le couvercle du cylindre-réservoir venu de fonte avec le cylindre de 0.18 de diamètre intérieur.			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \left\{ \begin{array}{l} (\overline{1.45^2} \times 0.02) \\ (\frac{1}{2} \times \overline{0.46^2} \times 0.02) \\ \overline{0.22^2} \times 2.12 \\ \frac{1}{2} (\overline{0.26^2} - \overline{0.22^2}) \times 0.08 \\ (\overline{0.38^2} \times \overline{0.22^2}) \times 0.02 \end{array} \right\}$	845	18	
A déduire l'évidement.			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{0.18^2} \times 2.16$	395	75	
Reste. . .	449	43	
Le couvercle du cylindre de 0 ^m ,18 de diamètre intérieur :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times (\overline{0.38^2} - \overline{0.06^2}) \times 0,02$	15	92	
Logement de la tringle et presse étoupe	20	00	
Total du chapitre III.	8,323	28	0 25 2,080 82

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
IV. — Accumulateur d'eau sous pression à six atmosphères.			
ACIER DOUX LAMINÉ ET RIVÉ.			
Tôle extérieure du réservoir contenant le lest :			
7800 × 3.1415 × 1.70 × 2.84 × 0.004	473	26	
Tôle intérieure de ce réservoir :			
7800 × 3.1415 × 0.76 × 2.72 × 0.004	202	52	
Fer T raidisseur n° 28 Cockerill :			
3.1415 (1.70 + 0.76) × 5 kilogrammes.	38	65	
Les tringles d'attache	12	00	
Ensemble pour l'acier laminé. . .	726	43	0 50 363 21
FONTE.			
Le fond du réservoir contenant le lest.			
La partie horizontale :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times (1.69^2 - 0.68^2) \times 0.02$	270	72	
Les rebords :			
7200 × 3.1415 × 1.69 × 0.12 × 0.02	91	75	
7200 × 3.1415 × 0.68 × 0.12 × 0.02	36	98	
Le croisillon placé à la partie supérieure du piston.			
Le plateau :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \left\{ \begin{array}{l} (1.80^2 \times 0.04) \\ (0.55^2 - 0.35^2) \times 0.07 \\ (0.55^2 - 0.45^2) \times 0.10 \end{array} \right\}$	860	40	
A déduire les évidements :			
7200 × 4 × 0 ^m .232 × 0.05	460	50	
Reste. . .	399	60	
Les nervures :			
$7200 \times 4 \times \left(\frac{0.13 + 0.17}{2} \right) \times 0.57 \times 0.04$	98	50	
Les pattes d'attache au réservoir en tôle :			
7200 × 4 × 0.50 × 0.13 × 0.05	93	60	
A reporter. . .	991	15	363 21

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Le piston :	Report. . .	991 15	363 21
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.453^2} - \overline{0.413^2}) \times 2.60 \\ (\overline{0.453^2} - \overline{0.373^2}) \times 0.10 \\ (\overline{0.373^2} - \overline{0.293^2}) \times 0.07 \\ (\overline{0.453^2} - \overline{0.16^2}) \times 0.03 \\ (\overline{0.453^2} \times 0.03) \\ (\overline{0.16^2} \times 0.015) \end{array} \right.$	635 28		
Le support du cylindre :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.90^2} - \overline{0.47^2}) \times 0.02 \\ (\overline{0.51^2} - \overline{0.47^2}) \times 0.16 \\ (\overline{0.71^2} - \overline{0.47^2}) \times 0.02 \end{array} \right.$	134 13		
Les nervures du support :			
$7200 \times 8 \times \left(\frac{0.20 + 0.10}{2} \right) \times 0.16 \times 0.03$	41 47		
Le cylindre.			
Les parois :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.51^2} - \overline{0.47^2}) \times 2.28 \\ (\overline{0.53^2} - \overline{0.453^2}) \times 0.10 \\ (\overline{0.53^2} - \overline{0.47^2}) \times 0.14 \\ (\overline{0.67^2} - \overline{0.47^2}) \times 0.08 \end{array} \right.$	698 91		
Le fond :			
$7200 \times \frac{3.14}{4} \times \overline{0.71^2} \times 0.12.$	57 01		
Les nervures :			
$7200 \times 8 \times \frac{0.10 \times 0.10}{2} \times 0.02.$	11 52		
Ensemble pour la fonte. . .	2,559 47	0 25	612 37
La garniture du piston en acier	90 00	1 00	90 00
Le lest formé de déchets de fer ou de fonte brute. . .	7,630 00	0 05	381 80
Total du chapitre IV. . .			1,477 38

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
V. — Accumulateur d'eau sous pression à 3 1/2 atmosphères.			
ACIER DOUX LAMINÉ ET RIVÉ.			
Pour un cylindre de l'accumulateur.			
Tôle protégeant le cylindre :			
7800 × 3.1415 × 0.50 × 2.20 × 0.004.	107	76	
Fers raidisseurs :			
7800 × 2 × $\frac{0.60 \times 0.60}{2}$ × 0.004.	11	23	
Cornières n° 8 Cockerill :			
2 × 2.20 × 6 kilogrammes.	26	40	
Les tringles d'attache		8	00
La tôle extérieure du réservoir contenant le lest :			
7800 × $\frac{1}{5}$ × 3.1415 × 3.40 × 0.50 × 0.004.	33	54	
La tôle extérieure du réservoir contenant le lest :			
7800 × $\frac{1}{5}$ × 3.1415 × 2.50 × 0.50 × 0.004.	24	50	
Ensemble pour l'acier laminé. . .	211	43	0 50
Pour trois systèmes semblables . .	634	29	0 50
			105 71
			317 14
FONTE.			
Le fond du réservoir contenant le lest :			
7200 × 0 ^m ²,82 × 0.01.	59	04	
Les rebords :			
7200 × $\frac{1}{5}$ × 3.1415 × 3.40 × 0.09 × 0.01.	13	84	
7200 × $\frac{1}{5}$ × 3.1415 × 2.50 × 0.09 × 0.01.	10	18	
Le croisillon placé à la partie supérieure du piston.			
Le plateau :			
7200 × $\frac{3.1415}{4}$ × $\left\{ \begin{array}{l} \frac{0.60^2}{(0.29^2 - 0.17^2)} \times 0.04 \\ \frac{0.60^2}{(0.29^2 - 0.23^2)} \times 0.08 \\ \frac{0.60^2}{(0.29^2 - 0.23^2)} \times 0.03 \end{array} \right\}$	120	38	
A reporter. . .	203	44	422 85

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . .	203 44		422 85
Les nervures :			
$7200 \times 8 \times \frac{0.15 \times 0.16}{2} \times 0.02.$	13 82		
Le piston :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.226^2} - \overline{0.196^2}) \times 2.60 \\ (\overline{0.226^2} - \overline{0.166^2}) \times 0.10 \\ (\overline{0.166^2} - \overline{0.106^2}) \times 0.07 \\ (\overline{0.226^2} - \overline{0.08^2}) \times 0.02 \\ (\overline{0.226^2} \times 0.02) \\ (\overline{0.08^2} \times 0.01) \end{array} \right\}$	217 00		
Le support du cylindre :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.55^2} \times 0.02) \\ (\overline{0.28^2} - \overline{0.25^2}) \times 0.16 \\ (\overline{0.46^2} - \overline{0.25^2}) \times 0.015 \end{array} \right\}$	61 55		
Les nervures du support :			
$7200 \times 8 \times \frac{0.16 \times 0.12}{2} \times 0.02.$	11 06		
Le cylindre.			
Les parois :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \left\{ \begin{array}{l} (\overline{0.28^2} - \overline{0.25^2}) \times 2.28 \\ (\overline{0.30^2} - \overline{0.226^2}) \times 0.10 \\ (\overline{0.30^2} - \overline{0.25^2}) \times 0.14 \\ (\overline{0.42^2} - \overline{0.25^2}) \times 0.08 \\ (\overline{0.46^2} - \overline{0.25^2}) \times 0.015 \end{array} \right\}$	312 96		
Les nervures du cylindre :			
$7200 \times 8 \times \frac{0.10 \times 0.10}{2} \times 0.015.$	4 60		
Ensemble pour la fonte. . .	824 43	0 25	206 11
Pour trois systèmes semblables . . .	2,473 29	0 25	618 32
Les garnitures en acier des quatre pistons. . .	100 00	1 00	100 00
Le lest formé de déchets de fer ou de fonte brute . .	3,218 67	0 05	160 93
Total pour le chapitre V. . .			1,508 21

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
VI — Divers.			
FONTE.			
Les colonnes-guides des accumulateurs et leur entretoisement :			
$7200 \times 4 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{0.15^2} - \overline{0.12^2}) \times 6.40$	1,172	16	
Le pied avec le patin d'attache. 4 × 40 kilogrammes.	160	00	
Le croisillon reliant les colonnes à leur partie supérieure.			
Le plateau.			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{2.40^2} \times 0.03$	977	16	
A déduire les évidements.			
$7200 \times 4 \times 0m^2,80 \times 0.03$	691	20	
Reste. . .	285	96	
Les nervures du croisillon.			
$7200 \times 4 \times \left(\frac{0.20 + 0.12}{2} \right) \times 1.00 \times 0.03$	138	24	
Ensemble pour les colonnes-guides. . .	1,756	36	0 20
La pompe, les deux petites consoles en fonte, les quatre manchons et le robinet.	200	00	2 00
Le plateau inférieur du réservoir pour lest, logé dans la maçonnerie de la pile :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{1.40^2} \times 0.06$	665	02	
$7200 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{0.96^2} \times 0.02$	104	23	
Le plateau supérieur de ce réservoir :			
$7200 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{1.40^2} - \overline{0.12^2}) \times 0.06$	660	13	
$7200 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{0.32^2} - \overline{0.12^2}) \times 0.14$	69	67	
Les nervures :			
$7200 \times 8 \times \frac{0.14 \times 0.40}{2} \times 0.06$	96	77	
	1,595	82	0 20
A reporter. . .			319 16
			1,070 43

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report. . .			1,070 43
ACIER DOUX LAMINÉ ET RIVÉ.			
La tôle constituant les parois latérales du réservoir pour lest logé dans la maçonnerie de la pile :			
$7800 \times 3.1415 \times 1.40 \times 0.01$	343 04		
Cornières n° 15 Cockerill reliant la tôle aux deux pla- teaux.			
$2 \times 3.1415 \times 1.40 \times 15$ kilogrammes.	131 94		
Les grands plats pour l'assemblage des entretoises du pont avec la cuve-pivot.			
$7800 \times 15^m,01 \times 0.008$	936 62		
Ensemble. . .	1,411 60	0 50	705 80
Les tuyaux pour la distribution de l'eau sous pression : diamètre intérieur : 30 millimètres, épaisseur des parois : 3 millimètres.			
$24^m,50 \times 2^k,41$	59 04		
Les tuyaux d'aspiration et de refoulement de la pompe : diamètre intérieur : 50 millimètres, épaisseur des parois : 3 millimètres.			
$15^m,00 \times 3^k,87$	58 05		
Les tuyaux reliant inférieurement les 4 cylindres de l'accumulateur à 3 1/2 atmosphères : diamètre intérieur : 80 millimètres, épaisseur des parois : 4 millimètres.			
$8^m,50 \times 8^k,18$	69 53		
Ensemble. . .	186 62	1 50	279 93
Les tuyaux en fonte logés dans la maçonnerie de la pile.	2,304 kil.	0 20	460 80
ACIER COULÉ.			
La plaque dans laquelle est vissée la partie supérieure de la tige supportant le lest.			
$7800 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{1.00^2} - \overline{0.12^2}) \times 0.08$	483 03		
$7800 \times \frac{3.1415}{4} (\overline{0.45^2} - \overline{0.12^2}) \times 0.10.$	115 23		
La tige supportant le lest :			
$7800 \times \frac{3.1415}{4} \times \overline{0.12^2} \times 6.40.$	392 07		
A reporter. . .	990 33		2,516 93

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET DES FOURNITURES.	Quantités.	Prix de l'unité.	Sommes.
Report.	990 33		2,516 93
Les manchons et boulons d'assemblage.	40 00		
Les galets de roulement avec leurs axes et les plaques d'assemblage :			
8 × 160.	1,280 00		
Le pivot-guide, encastré dans la maçonnerie de la pile .	1,700 00		
Ensemble.	4,010 33	0 30	1,203 10
Le lest formé de gueuses de fonte, placé dans le fond de la cuve-pivot.	2,197 00	0 12	263 64
Le lest formé de déchets de fer ou de fonte brute, placé dans le réservoir logé dans la pile	11,000 00	0 05	550 00
BOIS DE CHÊNE.			
Les pièces d'appui de la cuve-pivot lorsque le pont est calé.	0 ^m 3,36	250 00	90 00
CHLORURE DE CALCIUM.			
La solution de chlorure de calcium comptée au prix des usines Solvay.	36 ^m 3,36	39 50	1,442 75
Huile minérale russe	15 kil.	0 30	4 50
Total pour le chapitre VI.			6,070 92