

d'un écrasement lent des appuis en béton fretté qui dissipe l'énergie de déformation emmagasinée dans le cintre Fig. 9.

Cette énergie est loin d'être négligeable, elle est de l'ordre de 300 tonnes mètres, et le décintrement est une des phases les plus délicates des opérations, bien qu'il ne présente absolument aucun risque grâce aux précautions prises. Aussitôt le décintrement fait, ce qui exige une



Fig. 10. Mise en place du cintre pour le coulage du 2<sup>e</sup> arc

journée, le cintre est nettoyé et remis en place (Fig. 10). Le coulage de la première voûte étant terminé le 3 août, le décintrement s'est fait le 5 août et la mise en place de la première voûte le 7 août.

Il s'est écoulé quatre mois entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>e</sup> transport du cintre.

Le cube de bois employé au cintre, est de 600 mètres cubes, soit 10% du cube total du béton qu'il sert à mettre en œuvre; la fatigue sous le poids propre du cintre est de 10 K<sup>0</sup> par cm<sup>2</sup>; avec le

poids du I<sup>0</sup> rouleaux elle atteint 70 K<sup>0</sup>/cm<sup>2</sup> et 110 K<sup>0</sup> sous la charge totale de l'arc.

Les flèches mesurées de cette voûte de bois ont été trouvées égales aux résultats du calcul en supposant  $E = 7,10^8$  soit 265 m/m.

Aucune déformation permanente n'a pu être décelée.

La seconde mise en place du cintre a été faite malgré un très fort vent, sans la moindre difficulté, en moins de 3 heures.

Prof. EUGENIO RIBERA, Madrid:

### Fondations par caissons en béton armé

Un des procédés de fondation le plus couramment employé en Espagne aujourd'hui, est celui de l'emploi des caissons en béton armé, soit pour la pénétration dans le terrain par havage, soit pour les fondations par air comprimé.

Déjà en 1909, nous employâmes, dans de nombreux ponts, des caissons du type représenté par la fig. 1.

L'on commençait les excavations à l'air libre, dans l'intérieur; le poids du caisson et au besoin des contre-poids, suffisaient pour l'enfoncer dans le terrain et nous épuisions l'eau qui se présentait, au moyen de pompes.

Lorsque l'épuisement n'était pas possible, l'on continuait l'excavation par des dragues ou cuillères et une fois le niveau de la fondation atteint, nous remplissions l'intérieur du caisson par du béton immergé, ou à sec, lorsque les filtrations étaient dominées.

Dans le béton de remplissage, composé en général de 150 kg de Portland, 0,800 m<sup>3</sup> de gravier et 0,400 m<sup>3</sup> de sable, nous ajoutons de gros blocs de pierre enveloppés toujours dans du béton, pour en diminuer ainsi le prix.

Quant à la chemise extérieure en béton armé, nous employons un dosage de ciment de 300 kg. Les parois extérieures s'enduisent avec du mortier de Portland de 1 x 3, pour obtenir l'imperméabilité et faciliter le fonçage. Lorsque le terrain

est très adhérent, nous donnons un fruit de  $1/20$  à  $1/30$  aux parois extérieures du caisson.

Il convient de construire les caissons *in situ* et nous l'obtenons jusqu'à des hauteurs d'eau de 2,50 m.

Pour cela, nous construisons un remblai dans le lit de la rivière jusqu'à un niveau de 0,20 m au-dessus de l'étiage (fig. 2). Sur ce remblai, qu'il faut quelquefois défendre contre les érosions du courant, avec une enceinte de palplanches ou avec des blocs de pierre, nous construisons le caisson en béton, que nous laissons durcir pendant une vingtaine de jours.

Évidemment, dans ce cas, l'on augmente le fonçage du caisson de toute la hauteur du remblai; mais comme celui-ci est constitué avec des terres et des graviers

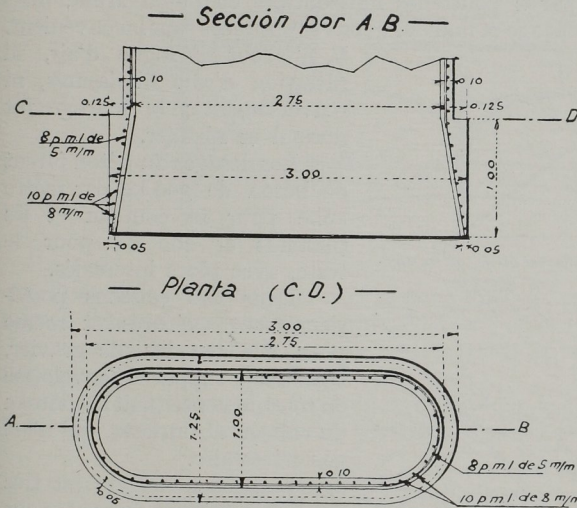


Fig. 1

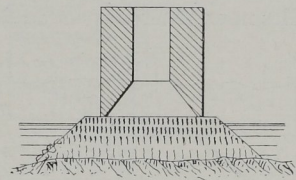


Fig. 2

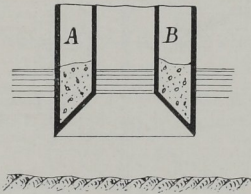


Fig. 3

de faible consistance, la petite dépense de cette excavation supplémentaire est compensée par les avantages de la construction des caissons *in situ*.

Lorsque la hauteur d'eau est supérieure à 3 m, il convient de construire des caissons en béton armé sur un plan incliné, construit au bord de la rivière, avec une disposition à double parvis (fig. 3) que l'on lance à l'eau comme un bateau.

Une fois le caisson transporté au lieu d'emploi, l'on remplit avec du béton maigre les creux « A » et « B » jusqu'à ce que le caisson s'appuie sur le terrain et l'on procède alors à son fonçage, comme pour les caissons construits *in situ*.

Nous avons employé les mêmes principes pour les caissons fonçés par l'air comprimé.

Nous connaissons tous le procédé des caissons avec voûtes en maçonnerie employé, nous semble-t-il, la première fois, par Mr. SEJOURNÉ, au pont de Marmande, l'année 1883.

Il y a 30 ans que j'emploie des caissons analogues, mais avec des perfectionnements sensibles, en substituant le rouet métallique constitué par des tôles et des consoles en cornières, qui sont d'un prix assez élevé, par de simples armatures en fer rond qui transforment les voûtes de maçonnerie en un caisson en béton armé. Nous avons réalisé par ce procédé plus de 60 fondations et entre autres, j'en citerai deux :

La fig. 4 représente le caisson que nous avons employé l'année 1918 pour la fondation d'une culée du pont d'Amposta, sur l'Ebre, qui devait atteindre une profondeur de 30 m à travers différentes couches de sables plus ou moins vaseux.

L'armature des parois se prolonge sur toute la hauteur des caissons, pour obtenir ainsi la solidarité et le monolithisme de l'ensemble et empêcher que les 4 étages de 7,50 m de hauteur, que nous avons employé pour atteindre la hauteur totale du caisson de 29,50 m, puissent se décoller les uns des autres; il faut en effet tenir compte que l'adhérence latérale dans un terrain de cette espèce, peut être considérable et les décollements des différents tronçons de caisson peuvent occasionner de graves accidents.

Comme la longueur de la chambre de travail était de 15 m, nous avons entretoisé les deux plus longues parois par 2 poutrelles horizontales en béton armé; mais elles nous gênèrent pendant le fonçage et nous les avons supprimées sans inconvénient.

Il n'y eut ni fugue d'air, ni filtration d'eau ni fissures, ni renversements; le fonçage fut normal et régulier.

Les dosages du béton furent de béton de 300 kg par mètre cube pour le couteau et les plafonds et 200 kg pour le reste, avec blocs intercalés.

Dans des caissons postérieurement exécutés et même pour des terrains de gravier, nous avons supprimé l'enveloppe en tôle qui constituait le couteau du caisson d'Amposta, qui n'est pas nécessaire.

Lorsque le terrain est très dur, et que nous soupçonnons de fortes secousses dans la descente, nous renforçons les armatures. Ces caissons doivent

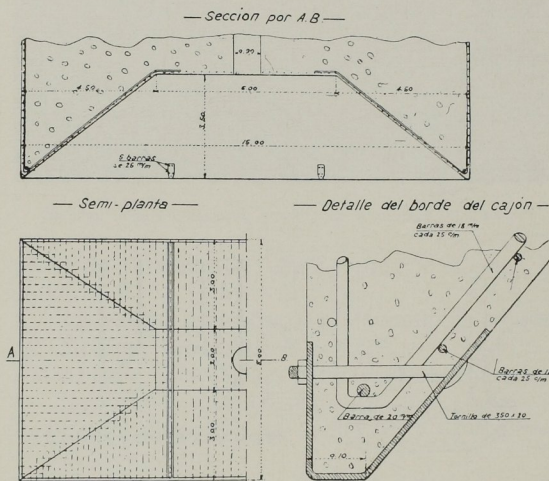


Fig. 4

être exécutés à sec et c'est ainsi que nous en avons construit plusieurs pour le pont de Mora sur l'Ebre, au moyen de remblais de 2,50 m de hauteur, établis comme nous l'avons expliqué antérieurement.

Mais comme nous avons dit, les caissons en béton armé peuvent s'employer même pour de plus grandes hauteurs d'eau, comme dans le pont de San Telmo à Séville, avec un niveau d'eau en étiage de 7,50 dont le projet a été publié dans le Béton et Eisen du 26 mai 1922.

Nous avons foncé 8 caissons de  $14,60 \times 8,30$  (fig. 5 et 6).

Pour en faciliter la construction et la flottaison, les parois ont été prévues avec le moindre poids compatible avec la rigidité indispensable.

A cet effet, la chambre de travail est recouverte par une double coupole dont les clefs correspondent aux cheminées des écluses. Les parois du caisson sont entretoisées comme un navire.

Malgré cela, chaque caisson avec les 2 écluses montées et le moule extérieur en bois, qui prolonge les parois en béton armé, pèse 60 tonnes et son centre de gravité se trouve à 2,40 m sur le bord du couteau et cale 4,30 m.

Mais ce tirant d'eau peut être diminué à volonté (et c'est une des originalités de cette disposition) en injectant l'air comprimé dans les chambres de travail. Il

est vrai qu'à mesure que le niveau d'eau baisse dans cette chambre, la surface de flottaison interne augmente, la hauteur métacentrique diminue et le métacentre s'abaisse par dessous le centre de gravité; mais le caisson ne coule pas, car lorsqu'il s'incline, l'air s'échappe de la chambre par dessous le bord le plus élevé, bien avant

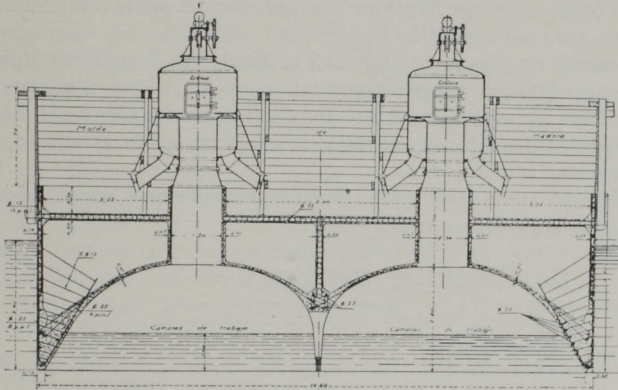


Fig. 5

que l'eau puisse s'embarquer par le bord opposé supérieur et automatiquement le caisson reprend une position stable.

Nous avons construit ce caisson sur le rivage et nous l'avons foncé dans le chantier jusqu'à 1 m par dessous la basse mer.

Nous avons dragué le fond de la rivière par le côté du caisson coïncidant avec le rivage, pour que l'eau entoure le caisson et nous l'avons fait flotter en injectant de

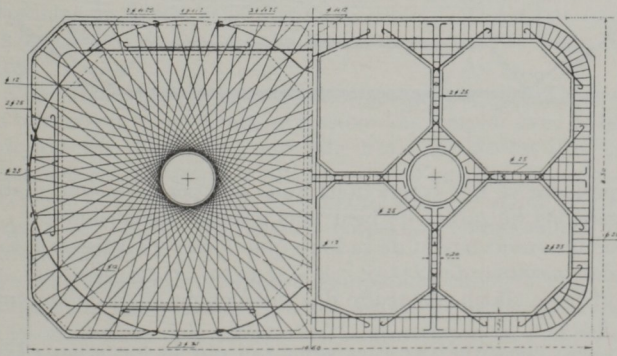


Fig. 6

l'air comprimé dans les coupes, de façon à pouvoir le décoller à la pleine mer, en le manoeuvrant alors comme un bateau quelconque et en le transportant sur place pour l'appuyer sur le terrain.

Nous n'avons pas eu le moindre mécompte pendant la construction des huit caissons, dont le fonçage s'est réalisé très régulièrement, en élevant à mesure de leur enfoncement les parois latérales et en soulevant les écluses pour chacun des 3 étages de caissons, pour atteindre des profondeurs de 13 à 14 m sous les basses eaux.

Nous avons ainsi démontré la facilité pratique des caissons en béton armé pour exécuter des fondations à l'air comprimé à n'importe quelle profondeur d'eau.

Il n'existe plus aucune raison pour employer des caissons métalliques et enfouir dans le sol ces énormes masses de métal, car les armatures pour un caisson de ce genre sont de l'ordre *d'un vingtième au quarantième* du poids d'un caisson métallique ordinaire.

Le béton armé de 300 à 350 kg de Portland que l'on doit employer pour les parois et la coupole, collera parfaitement bien au béton maigre de 200 kg de remplissage, même en incorporant à celui-ci un grand volume de blocs de pierre. Les parois verticales de béton riche, constituent une solide armature, une véritable cuirasse de toute la fondation.

Ce procédé sera donc plus solide et plus durable que les caissons métalliques, avec une dépense supplémentaire moindre.

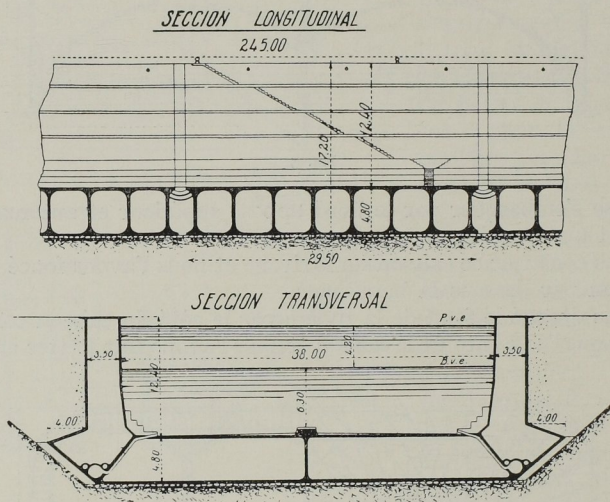


Fig. 7

Notre expérience et nos convictions nous ont permis même d'aborder la construction de caissons flottables de bien plus grandes dimensions.

Ainsi, pour un grand bassin de radoub que nous construisons à CADIX, capable de recevoir des navires de  $235 \times 32 \times 9,30$  m, nous n'avons pas hésité à les employer et nous allons construire des caissons de 53 m de largeur par 29,50 m en plan (voir fig. 7).

Le bassin sera constitué par 8 caissons qui ont la forme en « U » de tous les bassins creux intérieurement, pour permettre sa flottaison; ils seront construits dans un bassin flottant.

Les parois intérieures et armatures de chaque caisson, sont divisées par des parois transversales d'entretoisement à 4 m de distance, qui constituent, avec les parois, de fortes poutres en double « T ».

Pour réduire le poids de la structure de ce caisson et par conséquent obtenir ainsi un moindre tirant d'eau qui permette un plus facile lancement, nous emploierons le ciment fondu; nous aurons ainsi un plus rapide durcissement, mais encore nous pourrons soumettre le béton à un travail de 100 kg par mètre carré pour un

dosage de 300 kg de ciment mélangé avec la composition granulométrique de sable et gravier la plus favorable.

Comme il est presque impossible de déterminer l'importance des sous-pressions, qu'il faut *supprimer* ou auxquelles il faut *résister*, nous avons calculé le radier pour la sous-pression totale, ce qui assure le bassin contre toute flexion ou fissure du radier.<sup>1</sup>

Les caissons vont se construire dans un grand bassin flottant que nous avons acheté à Lübeck, de 2000 tonnes de force et, au moyen de ce bassin, seront mis à flot puis remorqués à leur emplacement, préalablement dragué.

Nous araserons le fond avec des sacs de sable et nous unirons les caissons par leurs joints, en remplissant les creux de béton immergé et en consolidant l'ensemble par des injections de ciment.

Les cellules du radier seront remplies de béton; les cellules des parois latérales se rempliront de sable.

Nous croyons que ces caissons en béton armé, sont les plus grands que l'on ait construits jusqu'à ce jour; ils seront évidemment beaucoup plus économiques que les caissons totalement en acier, comme on les a employés dans d'autres bassins de radoub.

Et surtout, les structures de béton armé avec ciment fondu, offrent un autre avantage; qu'ils ne pourront être détruits par l'eau de mer par suite de la décomposition du ciment Portland ordinaire, qui aujourd'hui préoccupe les Ingénieurs maritimes, car notre structure cuirasse, pour ainsi dire, le monolithe qui constitue le bassin, qui au besoin pourrait se compléter en substituant au sable des parois latérales avec du béton maigre ou une maçonnerie de remplissage quelconque.

EDUARDO TORROJA, Madrid:

### L'emploi des câbles d'acier dans les constructions en béton armé

Les câbles en acier se sont employés depuis quelques temps dans les constructions espagnoles en béton armé, mais en général on n'a pas encore bien fixé l'attention aux avantages de leur emploi et aux prescriptions qu'on doit accomplir pour en profiter.

On croit d'habitude, que la grande déformation que ces câbles subissent lors de leur mise en tension rend tout à fait impossible leur emploi avec le béton, mais on peut voir pratiquement, d'un côté, que dans beaucoup de cas il n'est pas difficile de mettre en tension les câbles avant le bétonnage, et d'autre côté que les déformations diminuent fortement lorsque le câble est emboîté dans le béton, ce qui empêche le mouvement relatif des fils, de même qu'il empêche l'élargissement d'un fer rond mal dressé dans le béton.

Une preuve des avantages qui rapporte l'emploi des câbles en acier préalablement mis en tension dans les constructions en béton armé, et que ces câbles se comportent aussi bien que les armatures courantes, c'est la description de l'Aqueduc de « Saint-Patrice » qui vient d'être construit en Andalousie, et des essais sur lui, avec le but d'étudier, justement, comment ils se comportent.

L'Aqueduc en question a une longueur totale de 280 m. composée pour onze travées de 20 m. et une de 57 m. type « cantilever ». Cette travée est constituée par une poutre de 17 m. appuyée sur les bouts de deux « cantilevers », chacun desquels est formé par deux poutres de 20 m. appuyées par ses bouts en contact sur la pile

<sup>1</sup> Les calculs de ces caissons ont été faits par l'Ingénieur Monsieur EDUARDO TORROJA et la construction du bassin de radoub de Cadix et dirigée par l'Ingenieur Monsieur JOSE ENTRECANALES, tous deux membres du Congrès de Vienne.