

Dr. Ing. CRAEMER:

Die Bedenken von Herrn Prof. BORTSCH erklären sich zum größten Teil durch Mißverständnisse, die auf die gedrängte Fassung des mündlichen Vortrags und die kurze dafür zur Verfügung stehende Zeit zurückzuführen und durch Vergleich mit dem vorliegenden Text ohne weiteres als solche erkennbar sind.

Ich bemerke im einzelnen nach Einsichtnahme in die Abhandlung von Prof. BORTSCH:

1. Die Lösung des Verfassers ist *keine* Näherung, sondern auf Grund der strengen Elastostatik unter Anwendung der Airyschen Spannungsfunktion abgeleitet. Sie gilt für beliebige Verhältnisse $h:l$. Abb. 6 dient nur zur Veranschaulichung sowie als Grundlage für ein *außerdem* vom Verfasser ausgearbeitetes Näherungsverfahren.

2. Die angezogene Arbeit von Herrn Prof. BORTSCH behandelt *Vollast* sämtlicher Felder, während meine Arbeit, von der Abb. 5 einige Ergebnisse zeigt, *Wechselast* behandelt.

3. Die von Herrn Prof. BORTSCH für Vollast ausgewerteten Spannungsbilder beziehen sich auf ein Schlankheitsverhältnis $l:h = 4:18$, meine Abb. 5 dagegen auf Wechselast bei $h:l = 1:1$; mein Verfahren gilt für beliebige Verhältnisse $h:l$ und gibt bei stark gedrunghenen Scheiben, etwa bei $h > 2l$ die auch von Herrn Prof. BORTSCH gefundene starke Konzentration der Biegungsspannungen am belasteten Rande bei fast verschwindenden Biegungsspannungen nahe dem unbelasteten Rande.

LOUIS BAES, Ingénieur, Professeur à l'Université de Bruxelles

Un Vérin à Sable de 700 Tonnes pour Décintrement de Ponts en Arcs
(Application au Viaduc de Renory en construction près de Liège)

1^o Description sommaire du viaduc

Un grand viaduc pour chemin de fer à double voie est en construction à Renory, en amont de Liège, il franchit toute la largeur de la vallée de la Meuse, il a une longueur totale de culeé à culeé de 712 m. et comprend dix arches dont neuf identiques de 61,40 m. de portée et une dixième de 34 m. de portée; trois des arches de 61,40 m. franchissent le fleuve proprement dit.

Le rail est à 17,30 m. au-dessus de la route de Liège à Ougrée, la largeur du tablier, comptée entre garde-corps, est de 9,20 m.

Les arcs sont à trois rotules, les rotules sont du type ordinaire comprenant l'axe en acier battu et deux sommiers en acier coulé; à la clef et aux naissances il y a une file de dix rotules alignées.

Les arcs sont en béton de ciment non armé, ils sont bétonnés par claveaux indépendants réservant entre eux des joints de 6 cm. de largeur bourrés après coup. Les piles sont en béton armé et sont complétées par des parties en pierre appareillées.

2^o Description sommaire des cintres

Pour la petite travée de 34 m. le cintre est en bois.

Pour les neuf grandes travées les cintres sont métalliques.

Il y a un jeu de trois cintres complets, qui resservent donc trois fois.

Les cintres comprennent quatre fermes du type à trois rotules.

Les rotules de pied des cintres sont matérialisées par des surfaces courbes à grand rayon, elles posent sur des dés-butées spéciales en béton armé, solidaires des piles et qui devront être enlevées après coup. Les photographies montrent très bien ces détails.

Ces dés sont fortement chargés, ils sont exécutés en béton fretté, la photographie prise de l'intérieur d'une pile montre l'armature frettante de ces dés.

La rotule de clef des cintres est matérialisée par le vérin à sable dont il va être question.

Les rotules de pied des cintres transmettent environ 650 tonnes, le vérin à sable transmet environ 500 tonnes, mais pourrait sans danger transmettre 700 tonnes.

Pour certaines arches, il a fallu monter les cintres par tronçons sur une charpente provisoire en bois.

Pour les autres arches, on a pu monter les cintres en faisant pivoter chaque demi-cintre autour de sa rotule de pied.

3^o Méthode de réglage des cintres et de décintrement

L'une et l'autre de ces opérations se font à l'aide du vérin à sable placé à la clef, donc en soutirant du sable, ce qui permet le mouvement horizontal du piston du vérin dans le cylindre; un certain mouvement angulaire est en outre possible comme le montre la coupe du vérin.

Quant à l'enlèvement du cintre, il se fait en principe par pivotement de chaque demi-cintre autour de sa rotule de pied, tout en le soutenant par des mouflages passant dans les trous réservés à cet effet dans la voûte en béton.

4^o Description du vérin à sable de 500/700 tonnes

Le cahier des charges de l'entreprise prévoyait l'emploi de vérins hydrauliques; par raison de facilité et surtout d'économie, l'entrepreneur proposa à l'Administration des Chemins de fer de substituer aux vérins hydrauliques des vérins à sable.

Mais jamais l'expérience n'avait été faite de vérins à sable aussi puissants; il importait de démontrer qu'aucun inconvénient ne pouvait résulter d'utiliser des vérins chargeant le sable à 150 à 200 kilogs par cm^2 , alors que l'expérience n'avait guère dépassé jusqu'ici 50 à 70 kilogs par cm^2 .

Il fallait en effet prévoir des pressions l'ordre de 150 kilogs par cm^2 sous peine d'arriver à des diamètres de cylindres inadmissibles et peu maniables.

Le constructeur voulut bien me demander de procéder à des essais sur modèle réduit.

Ces essais eurent lieu au laboratoire de l'Université de Bruxelles en présence des ingénieurs de l'Administration et du constructeur.

Les essais furent effectués au moyen d'un fort cylindre en acier dont le diamètre intérieur est de 133,3 mm. ce qui donne une section transversale d'environ 140 cm^2 .

Le piston en acier avait à la tête, sur 20 mm. de longueur, un diamètre de 131,8 mm., ce qui correspond à un jeu de 1,5 mm. sur le diamètre.

Le guidage du piston était assuré.

Le joint à la tête du piston était fait au moyen d'un cuir replié vers le fond du cylindre et fixé au piston au moyen d'un anneau en cuivre.

Le sable utilisé était du sable blanc très fin de Moll en Campine, ce sable est tout à fait pur, constitué exclusivement de grains de quartz.

La composition granulométrique de ce sable est celle indiquée à la seconde colonne du tableau du § 8.

5^o Résultats des essais

La boîte à sable fut essayée dans une machine verticale d'Amsler d'une force maximum de 100 tonnes, montée pour la compression.

Un premier essai a été conduit jusque 33 tonnes, ce qui correspond à une pression moyenne de 246 kilogs par cm^2 .

Sous cette charge, la couche de sable, qui avait 120 mm. de hauteur, a subi un tassement de 5,8 mm.

Les trous d'extraction du sable ont été débouchés, au moment du débouchage le sable n'a pas été expulsé, le sable s'est simplement établi suivant un talus naturel dans l'épaisseur de la paroi du cylindre.

La charge de 33 tonnes s'est ainsi maintenue à une tonne près, les deux trous étant ouverts. On a pu revisser sans difficulté les bouchons des trous.

L'extraction du sable s'est faite par grattage, sans à coup, sans difficulté aucune.

Le sable n'avait pas changé d'aspect ni de composition granulométrique.

Un second essai, d'ailleurs refait plusieurs fois, a été conduit jusque 66 tonnes, soit 468 kilogs par cm^2 .

Sous cette charge la couche de sable de 120 mm. de hauteur a subi un tassement total de 13,7 mm.

Ici encore, ayant enlevé les bouchons des trous la charge s'est maintenue, trous ouverts, jusqu'à ce que l'on ait commencé à extraire le sable par grattage.

Mais le sable extrait était *réduit en fine poussière*, chaque grain ayant été fragmenté. La finesse est telle que si on laisse couler le sable de 50 cm. de hauteur, un léger nuage blanc s'élève, ce qui ne se produisait pas avec le sable avant l'essai.

Le joint de cuir a bien fonctionné.

Troisième essai: Le troisième essai a porté la charge à 98200 kilogs ce qui correspond à 700 kilogs par cm^2 .

La couche de sable qui avait 150 mm. de hauteur a subi un tassement total de 19,5 mm.

Les trous du cylindre étant débouchés, la charge a tenu jusqu'au moment où l'on a commencé le grattage du sable.

Le sable était complètement fragmenté, réduit en poussière très très fine, chaque grain étant fragmenté.

Le cuir a très bien fonctionné mais a montré cependant une légère coupure.

Le sable ne présente pas la moindre trace de coagulation, même près du cuir qui était légèrement gras.

6° Conclusions techniques de ces essais

Jusque vers 250 kilogs par cm^2 , le sable blanc fin de Moll employé ne se fragmente guère; au delà de cette pression le sable se transforme successivement en une fine farine.

Même dans cet état il reste parfaitement pulvérulent.

Mais sous ces fortes pressions, le sable subit un tassement appréciable, déjà sous 250 kilogs par cm^2 le tassement est de l'ordre de 5%, soit 15 mm. pour une couche de 300 mm. de hauteur.

Ce tassement est terminé au bout de quelques instants.

Le sable s'extrait sans aucune difficulté.

Au moment de l'ouverture des trous, l'expulsion du sable ne se produit pas d'elle-même tout au moins dans les conditions de l'essai.

Il a été décidé, à la suite de ces essais:

1° Qu'il n'était pas désirable d'atteindre la pression à partir de laquelle les grains se fragmentent, on a admis que l'on pouvait atteindre 185 kilogs par cm^2 .

2° Que si l'on réalisait des vérins à sable donnant de telles pressions, il fallait, pour éviter tout mouvement du cintre en cours de bétonnage des claveaux, mettre les vérins remplis de sable en charge à l'usine avant leur montage et les maintenir sous charge en réunissant le piston et le cylindre par quatre tendeurs à vis bloqués au moment où la charge est atteinte.

3° Que pour éviter la coupure du cuir, il fallait tracer le détail de la tête du piston de telle manière que le coude du cuir embouti soit soutenu.

4^o Que pour toute précaution il fallait permettre de rendre le vérin bien étanche, de manière à empêcher toute pénétration d'eau qui pourrait être un facteur de coagulation du sable.

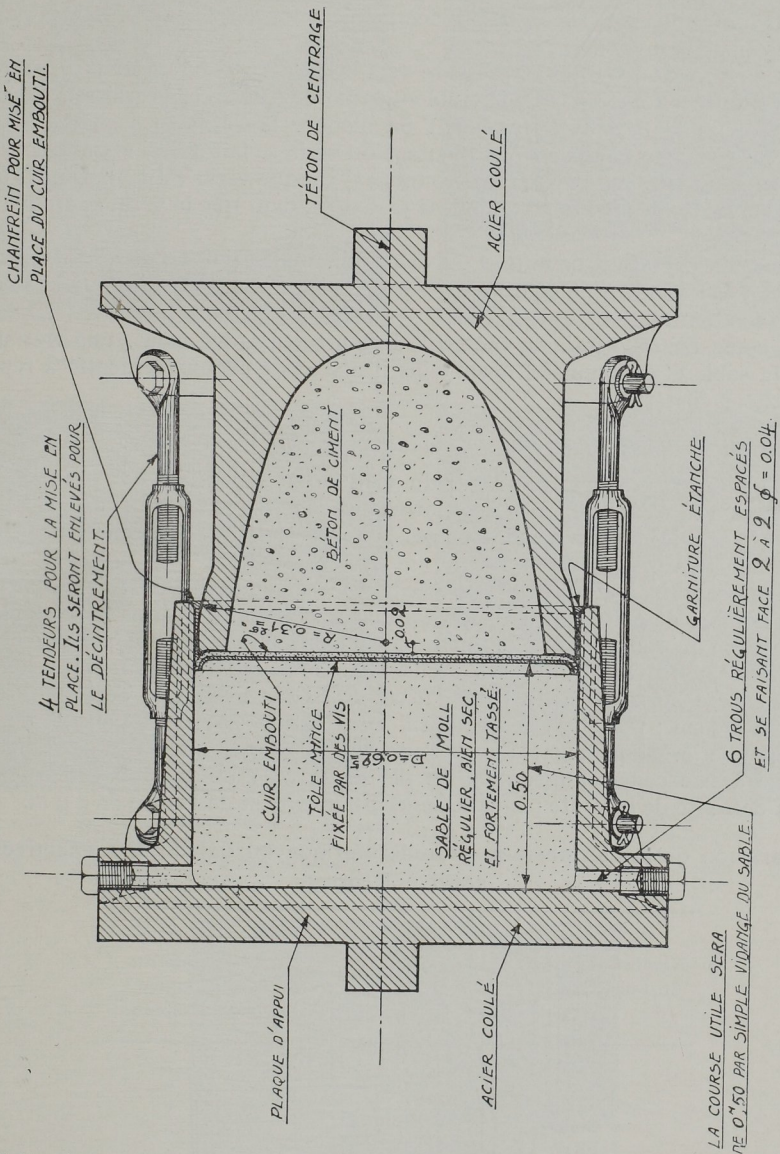


Fig. 1. Coupe dans le Vérin à sable de 700 tonnes

7^o Réalisation

Les vérins à sable pour 500/700 tonnes ont été construits sur les bases suivantes:
Le cylindre et le piston sont en acier coulé.

Le diamètre intérieur du cylindre a 625 mm.

La pression sur le sable est donc de 163 kilogs par cm^2 sous 500 tonnes, et de 229 kilogs par cm^2 sous 700 tonnes.

La course maximum permise au piston est de 500 mm.

Le diamètre extérieur des embases du cylindre et du piston est de 1,20 m., ces embases présentent un téton de centrage.

Le cylindre présente six trous de vidange de 4 cm. de diamètre, fermés par des bouchons filetés.

Le bouchon du trou qui se présente vers le bas est percé d'un trou de 10 mm. de diamètre obturé par une broche en bois bloquée par un couvercle de graisseur Stauffer.

Quatre tendeurs à vis permettent de bloquer le vérin sous charge.

La mise en charge préalable au montage du vérin se fait à l'usine qui a construit les vérins, à l'aide d'une presse de 1500 tonnes; chaque vérin est comprimé à 650 à 850 tonnes, les tendeurs à vis bloquant le piston pendant que le vérin se trouve sous la presse.

Avant l'acceptation définitive du dispositif, un essai fut fait aux Ateliers de la Meuse à Sclessin, au moyen d'un vérin complet qui a été chargé verticalement jusque 1200 tonnes.

Au cours de cet essai, au moment de l'ouverture des trous, une très petite partie du sable était expulsée, néanmoins il n'y avait aucune difficulté à replacer les bouchons filetés.

8° Constatations faites en service au viaduc de Renory

A l'heure actuelle quatre arches du viaduc ont été décintrées. Les vérins à sable placés à la clef des fermes des cintres ont fonctionné sans aucun incident.

Le réglage des cintres à l'aide de ces boîtes s'est fait extrêmement facilement et avec une très grande finesse.

La course horizontale du piston utilisée pour le réglage du cintre est d'environ 23 cm.

Le nombre de godets de sable de 300 cm³ à extraire des vérins pour ce réglage est de 290, ce qui montre toute la finesse de l'opération et la grande facilité d'assurer le synchronisme du réglage des quatre fermes métalliques constituant un cintre complet.

La course horizontale du piston nécessaire pour assurer le décintrément est d'environ 5,5 cm.; pour cette opération il faut extraire environ 70 godets de sable de chaque vérin, ce qui montre que l'extraction d'un godet de sable correspond en moyenne à une course horizontale du piston de 0,8 mm. environ.

La descente de la voûte pendant le décintrément est de l'ordre de 8 mm.

Comparaison de la composition granulométrique du sable qui a effectivement servi à Renory

Nombre de mailles du tamis par cm ²	Sable n'ayant pas servi Résidu retenu	Sable retiré des boîtes lors du décintrément Résidu retenu
64	0,6%	0,2%
144	2,0%	0,4%
200	6,0%	0,6%
484	34,2%	6,8%
760	61,4%	10,2%
900	62,8%	10,6%
3 900	99,2%	89,6%
4 900		93,2%
6 400		95,2%
10 000		97,2%

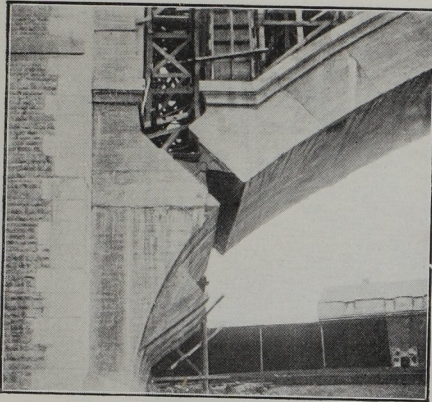


Fig. 2. Le pied d'une arche décintrée, cintre enlevé, montrant la rotule ordinaire

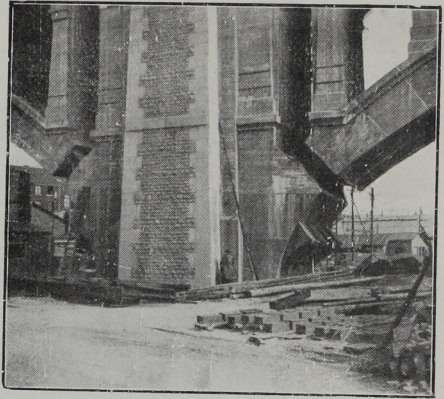


Fig. 3. Le pied de deux arches contiguës, cintres enlevés

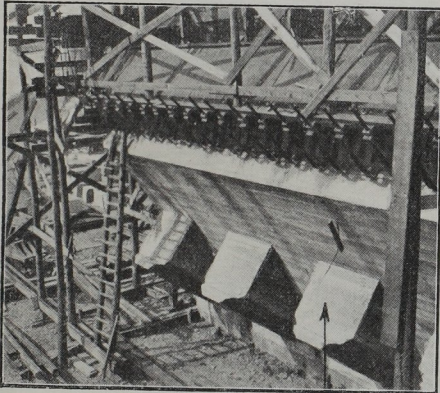
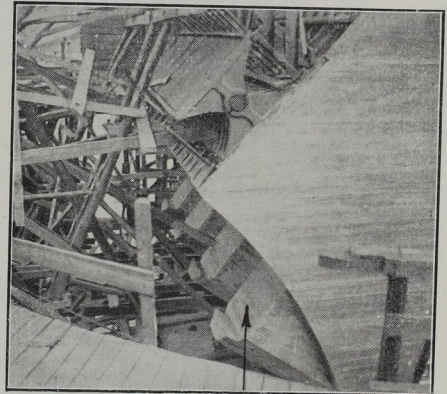


Fig. 4. Premier étape après construction de la pile, mise en place et fixation des rotules de pied des arches (vue de face et de haut). On voit les sommiers en béton pour l'appui des cintres



Sommiers en béton pour appui des cintres

Fig. 5. (vue de profil)

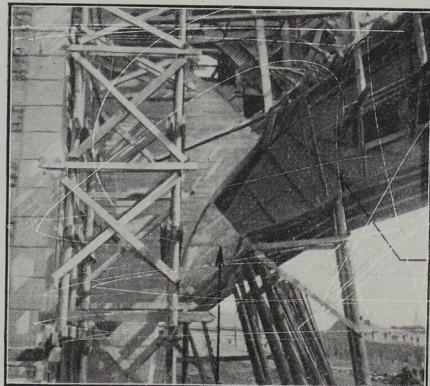


Fig. 6. Le pied du cintre et la rotule de pied de la voûte

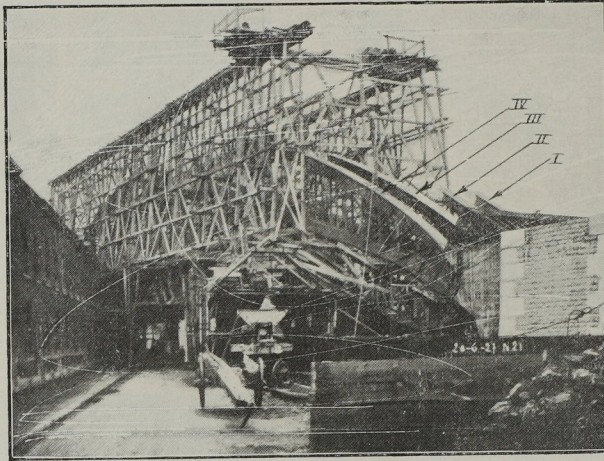
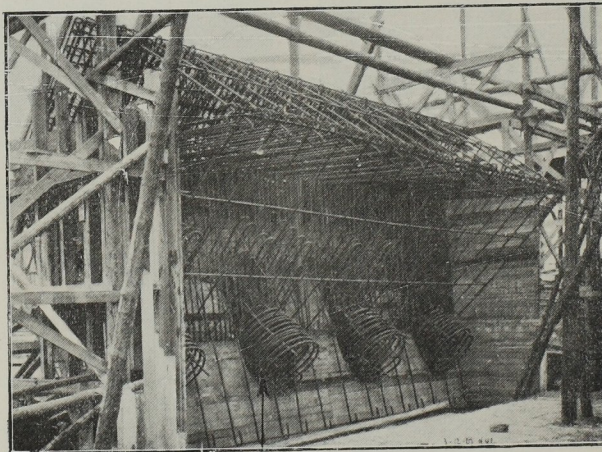


Fig. 7. Montage du cintre par fragments sur charpente en bois, pour certaines arches qui passent au-dessus des routes; l'appui du cintre se fait par une surface à grand rayon. Il y a quatre fermes de cintre, I, II, III, IV



Frettes des sommiers d'appui des cintres

Fig. 8. Détail de l'armaturage d'un des côtés d'une pile. Les armatures en cylindre sont les frettes des appuis des cintres (vue prise de l'intérieur de la pile)

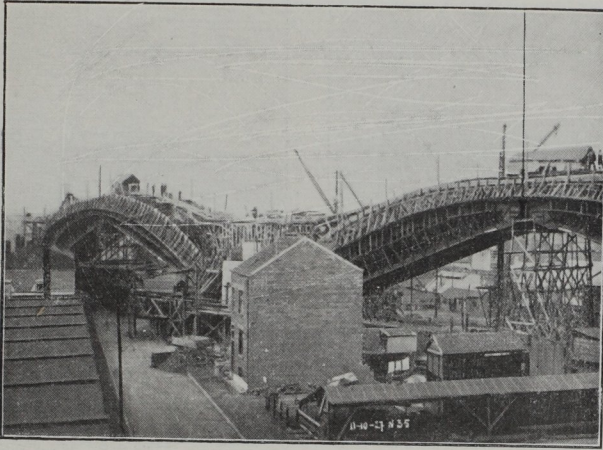


Fig. 9. Les cintres et le coffrage de deux arches contiguës. On voit que la rotule de tête des cintres est constituée par le vérin à sable

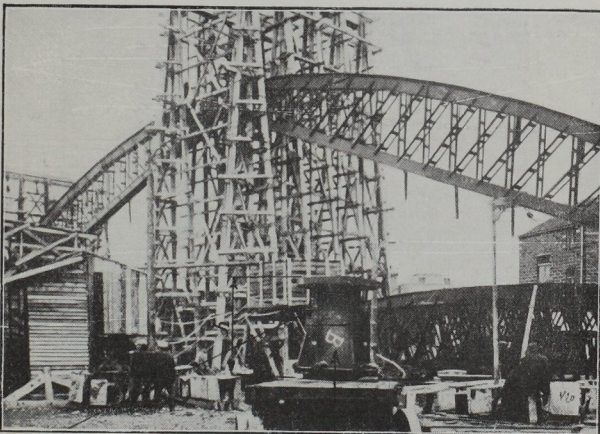


Fig. 10. Une ferme de cintre montée. La boîte en place. En B on voit un vérin à sable sur chariot

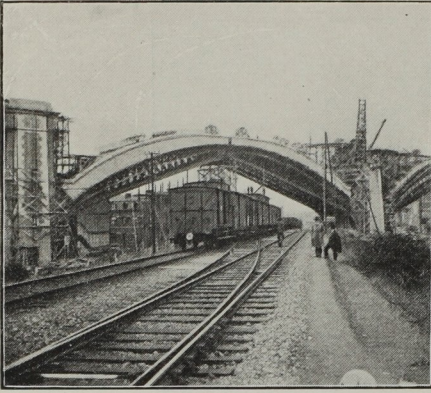


Fig. 11. Ensemble de la première arche. Cintre en place, voûte terminée, décintrée depuis quelques instants

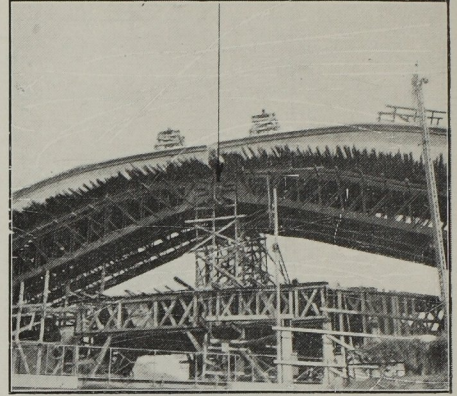
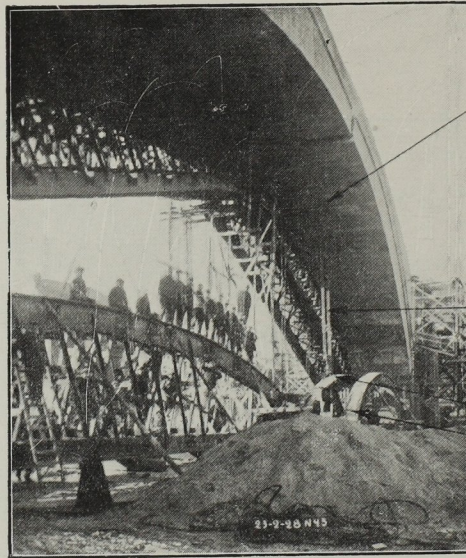


Fig. 12. Vue de la partie centrale d'un cintre. Le vérin à sable en place à la clef. On voit l'échaffaudage qui donne accès aux vérins à sable



trous dans
la voûte

mouflage

deux fermes

déjà descendues

Fig. 13. Démontage du cintre, par pivotement des $1/2$ fermes soutenues par des mouflages traversant des trous réservés dans la voûte. Il y a déjà deux fermes descendues. Il reste deux fermes encore montées

On voit par ce tableau qu'en fait, le sable a déjà subi une fragmentation dans les boîtes utilisées à Renory, malgré que la pression moyenne n'a guère dépassé 200 kilogs par cm^2 ; cependant le fonctionnement de ces boîtes a été parfait.

Certains cintres sont restés montés en plein hiver. — L'expérience indique qu'il n'y avait aucun intérêt à garnir le joint du piston d'un enduit quelconque.

9^o Conclusion

L'initiative de l'entrepreneur a été heureuse; l'expérience a démontré la possibilité d'étendre le procédé très économique des vérins à sable bien au delà des circonstances dans lesquelles ils avaient fait leur preuve jusqu'ici.

L'emploi des vérins à sable de 500 à 700 tonnes est de pleine sécurité avec un sable très fin, et la précision du réglage des cintres et de l'opération du décintrement est remarquablement assurée (1).

Prof. ANKER ENGELUND, Brückeningenieur der dän. Staatsbahnen:

Eisenbahn- und Straßenbrücke über Alssund (Dänemark) mit besonderer Berücksichtigung der Herstellung der Pfeiler.

Die Dänische Staatsbahn baut z. Z. eine Straßen- und Eisenbahnbrücke über den Alsensund bei Sonderburg.

Indem ich mich auf eine kurze Übersicht über die Hauptanordnung der Brücke (Abb. 1) beschränken werde, will ich im übrigen hauptsächlich über Konstruktion und Ausführung der Stropf Pfeiler berichten. Zu beiden Seiten des Sundes befinden



Abb. 1

sich eine Reihe Anschlußbrücken, teils für die Straße, teils für eine Hafenanlage, welche die Kaianlagen der Ostseite mit der Staatsbahnstation auf der Westseite verbinden soll. Diese Anschlußbrücken sind als Portalträger in Eisenbeton ausgeführt. Die Eisenbetonträger erstrecken sich durchgehend über je drei Felder,

(1) La construction du viaduc de Renory a été entreprise par la Société d'Entreprise Générale de Travaux «Engetra» et Léon Monnoyer et Fils, de Bruxelles pour le compte de la Société des Chemins de fer belges. Je remercie vivement la firme Monnoyer de l'obligeance qu'elle a mise à me donner tous les éléments de l'étude des vérins à sable, à me permettre d'assister aux opérations de décintrement et à m'autoriser à publier la présente note. La construction du viaduc de Renory a comporté bien d'autres initiatives intéressantes, mais la présente note doit se limiter au problème du vérin à sable.