

Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 5 (1937-1938)

Artikel: Contribution à l'étude des tendances actuelles de la construction des grandes charpentes en béton armé: le Grand Palais de l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles 1935: grandes charpentes en arc en béton armé

Autor: Baes, L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-6147>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES TENDANCES ACTUELLES DE LA CONSTRUCTION DES GRANDES CHARPENTES EN BÉTON ARMÉ.

**LE GRAND PALAIS DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE ET INTERNATIONALE
DE BRUXELLES 1935.**

GRANDES CHARPENTES EN ARC EN BÉTON ARMÉ.

**ÜBER DIE NEUESTEN GESICHTSPUNKTE IN DER AUSFÜHRUNG
GROSSER EISENBETONHALLEN.**

**DAS „GRAND PALAIS“ DER WELTAUSSTELLUNG IN BRÜSSEL 1935.
EISENBETON-BOGENBINDER.**

**PRESENT TRENDS IN LARGE REINFORCED CONCRETE
CONSTRUCTION.**

**THE GRAND PALAIS AT THE BRUSSELS INTERNATIONAL EXHIBITION, 1935.
LARGE REINFORCED CONCRETE ARCHFRAMES.**

L. BAES, Ingénieur, Professeur à l'Université de Bruxelles*).

Introduction.

Le Grand Palais qui est décrit ci-après est la plus importante des constructions qui furent édifiées à l'occasion de l'Exposition de Bruxelles 1935. Cette construction est d'ailleurs définitive.

Elle a abrité pendant l'Exposition la section des transports par Chemins de fer et fut organisée en une sorte de gare modèle.

Par son ossature fondamentale ce grand palais constitue un important exemple de construction architecturale à charpentes en béton armé de grande portée.

La figure 1 montre la vue d'ensemble extérieure. Ce Grand Palais fait partie de l'ensemble des cinq bâtiments qui entourent la grande esplanade comprenant au centre une vaste pièce d'eau et un miroir d'eau; cette esplanade a constitué le centre de l'Exposition et forme le grand espace qui a reçu le nom de Place du Centenaire.

Principe architectural.

L'architecte Van Neck, architecte en chef du Comité exécutif de l'Exposition, a conçu ce Palais central sous une forme très moderne.

La façade (Fig. 1) comprend au centre une masse puissante formée de quatre grands pilastres en pierre bleue de petit granit, s'élevant verticalement jusqu'à 40 m. de hauteur et surmontés de statues en bronze.

De chaque côté de cette masse, une façade basse en pierre bleue, décorée par sept statues en pierre sert d'assise aux retours des terrasses latérales. Celles-ci se présentent en gradins qui courent tout le long des grandes façades latérales.

*) Conférence libre présentée au 2ème Congrès de l'A. I. P. C., Berlin, octobre 1936.

La masse centrale de la façade s'empatte donc par gradins successifs jusqu'à la largeur totale du bâtiment.



Fig. 1.

Gesamtansicht des Grand Palais (8. Oktober 1935).
 Vue d'ensemble du Grand Palais (8 octobre 1935).
 General view of the Grand Palais (October 8th, 1935).

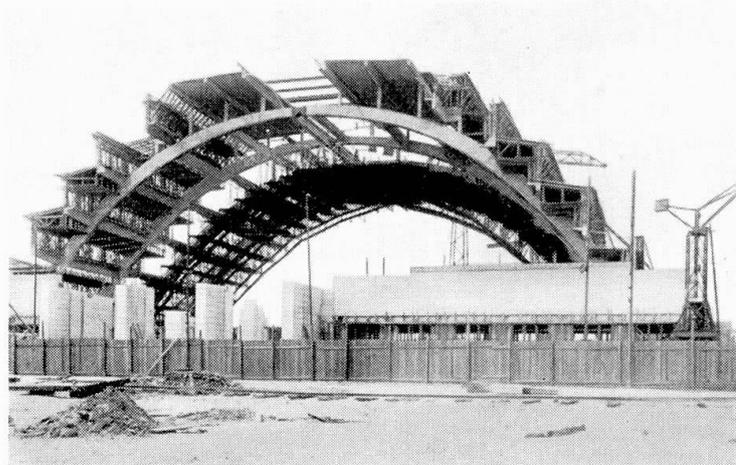


Fig. 2.

Die erste Gruppe der ausgerüsteten Bogen mit bereits verschobenem Lehrgerüst (Mai 1934).

Le premier groupe d'arcs décimétré, le cintre déjà déplacé (mai 1934).

Centreing struck from first group of arches, and already removed (May 1934).

Cet ensemble est original et très moderne, il résoud bien le difficile problème de présenter un ensemble architectural à l'échelle d'une vaste esplanade de 160 m. de largeur sur 180 m. de profondeur, créée à l'extrémité d'un très beau boulevard de 800 m. de longueur s'élevant successivement de la côte 33 m. à la côte 73 m.

Cet ensemble attire l'attention à près d'un kilomètre de distance et domine tout le quartier.

Sa forme a frappé tous les visiteurs de l'Exposition, le jour comme le soir.

Le soir cette construction éclairée à l'extérieur par des projecteurs qui mettaient en valeur la façade, était en outre éclairée de l'intérieur et apparaissait ainsi, grâce à ses nombreuses verrières, comme un centre de lumière, couronné d'ailleurs par un faisceau de grands rayons lumineux se détachant sur le ciel.

Certains soirs d'été, l'aspect architectural de ce Grand Palais tout éclairé, laissait une très forte impression monumentale.

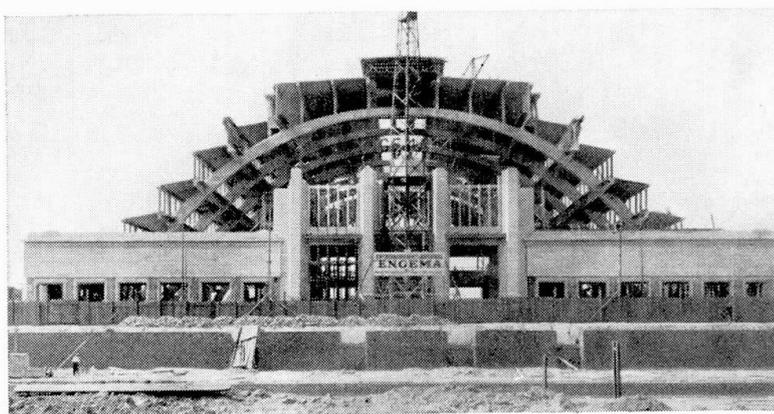


Fig. 3.

Drei Gruppen von bereits fertiggestellten Bogen.

Trois groupes d'arcs déjà terminés.

Three groups of arches completed.

La conception architecturale de l'ossature du bâtiment.

Le Grand Palais couvre une surface rectangulaire de 90 m. de largeur et de 160 m. environ de longueur, soit 14 220 m²; il est destiné à de grandes exposition et à des cérémonies, fêtes et concours.

Il a répondu largement à ce rôle pendant l'Exposition de 1935 et continue à y répondre depuis. En effet beaucoup de grandes cérémonies se sont déjà succédées dans ce Palais, qui est devenue un centre très important.

Il s'y prête d'ailleurs remarquablement par sa grande ampleur, par son éclairage naturel extraordinairement abondant qui donne une impression toute particulière, par la facilité de son éclairage indirect le soir, par la facilité d'y organiser aisément des dispositions décoratives accrochées aux passerelles longitudinales régnant le long des poutres-entretoises.

Le parti architectural a été commandé notamment par les points de vue suivants:

Eviter tout appui intermédiaire et laisser donc tout le champ du hall complètement dégagé;

Eviter l'aspect souvent trop industriel des charpentes métalliques en treillis à grandes mailles;

Eviter d'autre part l'aspect peu heureux, sans envergure, trop uniforme et en outre sans intérêt ni architectural ni technique pour le visiteur, des énormes plafonds plats, partiellement vitrés et d'entretien difficile;

Réaliser un éclairage naturel exceptionnellement abondant, avec cependant une réelle facilité d'accès à toutes les verrières, pour permettre aisément leur entretien et leur nettoyage;

Rechercher les formes simples des éléments constructifs, tout l'effet architectural de l'intérieur devant être atteint par la pureté et l'ampleur des lignes et la compréhension claire de leur rôle constructif;

Réaliser un ensemble dont les éléments constructifs essentiels soient quasi à l'abri de l'incendie et dont l'entretien soit réduit au minimum.

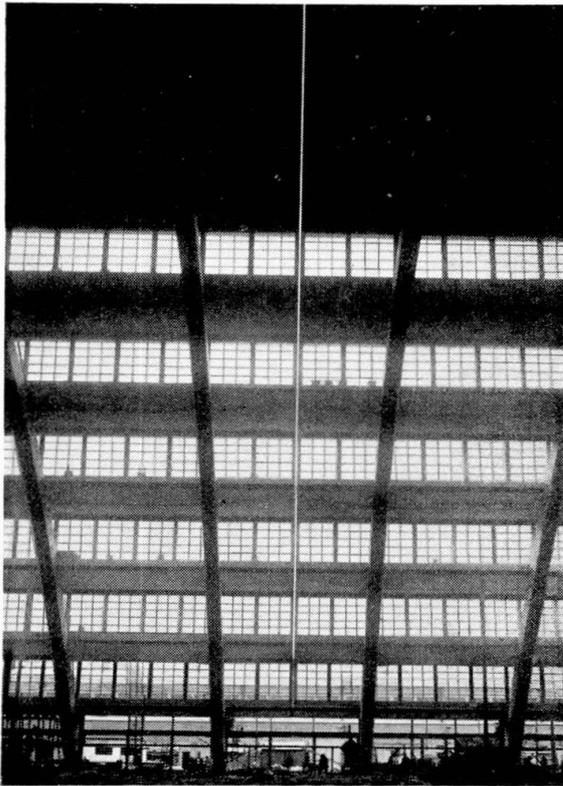


Fig. 4.

Innenansicht mit Ausdehnungsfuge vor Anbringen des biegsamen Fugenschlusses. Vue intérieure montrant une coupe de dilatation, avant la pose du joint souple. Inside view showing an expansion joint before erection of the flexible joint.

Ces diverses considérations, jointes au désir de donner à la grande halle une grande allure architecturale et à la nécessité de créer au haut du boulevard du Centenaire un bâtiment important, ont conduit l'Architecte Van Neck à concevoir de franchir la largeur de la halle au moyen de grands arcs en béton armé de 86 m. de portée et de 31 m. sous clef, espacés d'axe en axe de 12 m.

Ces arcs devaient être reliés par des entretoises horizontales courant d'un bout à l'autre de la halle.

Les verrières devaient être réalisées par des châssis verticaux en ciment armé, à double vitre, courant tout le long du bâtiment; la tête de l'une étant reliée au pied de l'autre par une terrasse en béton, légèrement inclinée.

La coupe transversale du bâtiment conçu par l'architecte comportait donc les arcs, des entretoises légères mordant à peine les arcs, puis un jeu de gradins dont les flancs verticaux constituent des verrières et les flancs presque horizontaux des terrasses, celles-ci recouvertes de feuilles de cuivre fixées au bitume.

Le long des entretoises, des petites passerelles en porte-à-faux devaient assurer l'accès des verrières du côté intérieur, tandis que l'accès extérieur était assuré par les terrasses.

L'extérieur du bâtiment conçu par l'architecte montre donc les grands alignements horizontaux des verrières et des terrasses courant longitudinalement dans toute la longueur, chaque niveau étant en retrait par rapport au précédent; enfin vers l'avant chaque gradin de terrasse fait retour pour venir se buter à la grande masse constituée au centre de la façade par les grands pilastres en pierre montant d'une seule venue jusqu'à 40 m. de hauteur.

Les arcs tracés par l'architecte avaient pour fibre moyenne une parabole du second degré à axe vertical, forme souvent recherchée aujourd'hui, quoique souvent à tort, par les architectes modernes, pour les grandes charpentes.

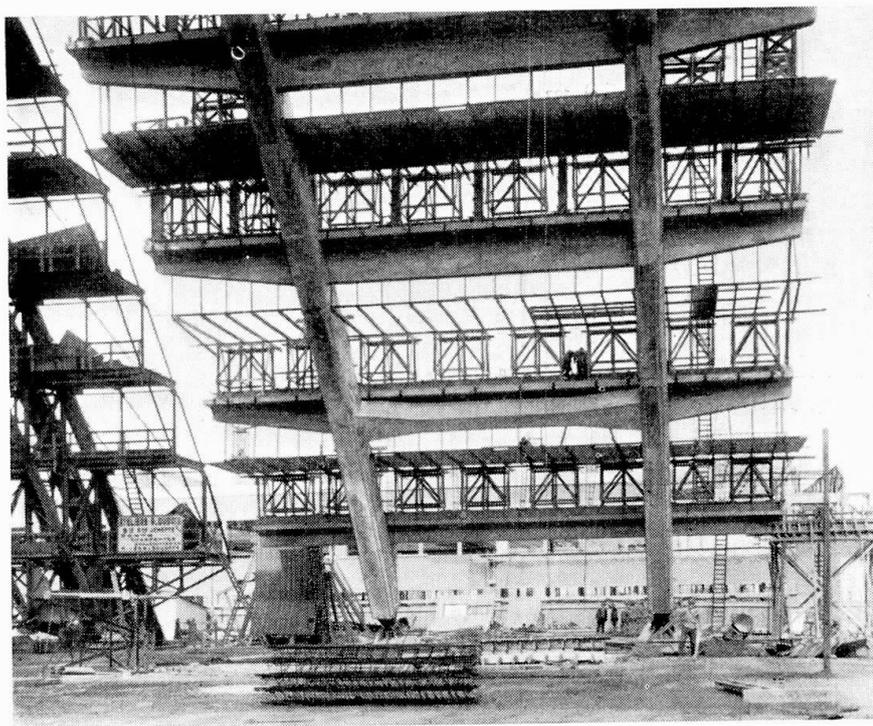


Fig. 5.

Die erste Gruppe der ausgerüsteten Bogen (5. Mai 1934).
Le premier groupe d'arcs décintré (5 mai 1934).
Centring struck from first group of arches (May 5th, 1934).

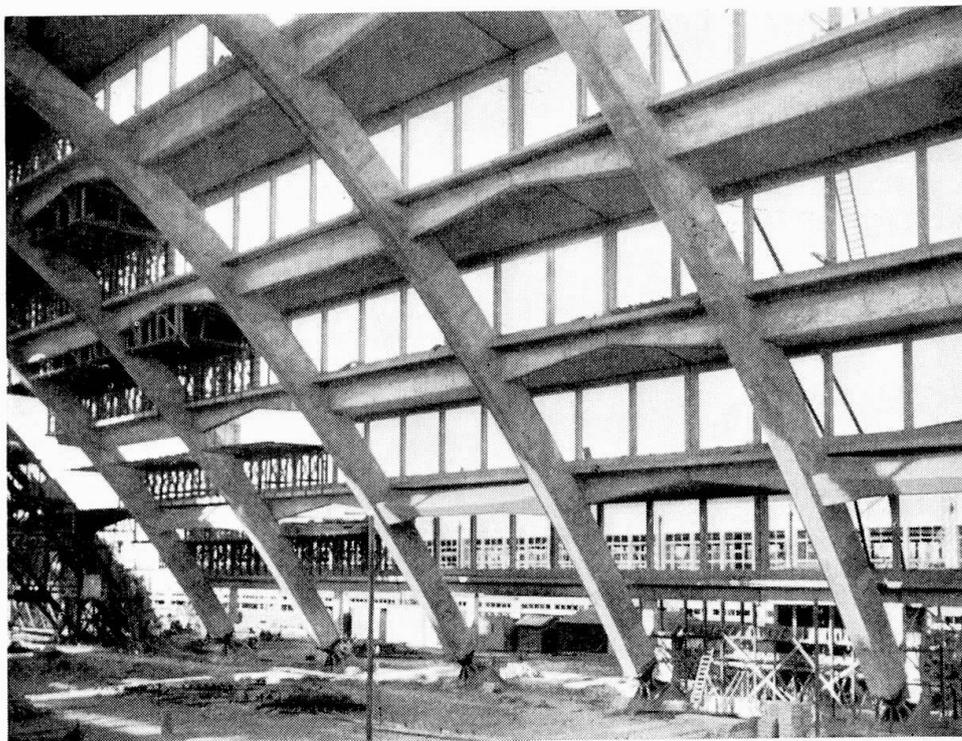


Fig. 6.

Innenansicht — Vue intérieure — Inside view.

La section transversale donnée à l'arc était un simple rectangle; la largeur indiquée aux premiers tracés n'étaient que de 60 cm.; la hauteur variait, mais ne dépassait guère 1,50 m.

Telles étaient les données architecturales fondamentales imposées, auxquelles venait se joindre la condition importante d'avoir à faire en sorte que les crêtes des corniches des diverses terrasses d'un même côté devaient être dans un même plan; cette sujétion était difficile à marier avec la forme en arc et la nécessité d'entretoiser convenablement les arcs.

Le problème technique conditionné par la conception architecturale était donc ramené en fait à ceci: réaliser de grands arcs en béton armé de 86 m. de portée, de section transversale très réduite, entretoisés par des poutres horizontales et servant de support à une couverture en gradins dont toutes les faces verticales sont des châssis vitrés, assurant un éclairage diurne intérieur remarquable et inversement le soir un très bel effet lumineux tant de l'intérieur que de l'extérieur. Le tout devait en outre être exécuté dans un délai très court, cette question du délai était essentielle.

Réalisation technique.

L'avant-projet soumis à l'adjudication subit plus tard d'importantes modifications.

L'étude définitive et la construction furent confiées à la Société d'Entreprises Générales et Matériaux (Engéma), de Bruxelles. L'ouvrage réalisé répond aux dispositions suivantes:

Dans le sens longitudinal, le bâtiment se compose de huit parties indépendantes séparées par des joints de dilatation:

a) L'avant-corps et la façade principale, constituent un bâtiment résistant par lui-même aux efforts du vent, il comprend deux portiques d'environ 30 m. de hauteur et 30 m. de portée et de grands pilastres en béton armé;

b) Six groupes formés chacun de deux arcs, espacés de 12 m. d'axe en axe et solidarisés par des poutres entretoises prolongées en porte-à-faux sur une distance de 6 m. de part et d'autre, la longueur totale d'un groupe étant donc de 24 m.;

c) La façade postérieure, autostable au vent, et constituée par un véritable mur-masque, avec grands contreforts.

La décision de créer des coupes de dilatation tous les 24 m. est importante pour ce type d'ouvrages, pour lequel le principe des formes souples dans le sens longitudinal (hangars d'Orly ou autres) était impossible à cause du parti architectural imposant des arcs très minces et de grandes verrières horizontales continues.

Dans le sens transversal (Planche I) le bâtiment, dans sa partie courante, présente l'aspect d'un gigantesque escalier, soutenu par des arcs et dont les contre-marches verticales constituent de grandes surfaces vitrées.

Les arcs franchissent une portée de 86 m., avec une flèche de 30 m. Ce sont des arcs fort déliés, leur section transversale pleine est rectangulaire, mais à coins coupés, l'épaisseur est uniformément de 1 m.; la hauteur est de 1,50 m. aux pieds, de 1,80 m. en pleins reins, de 1 m. à la clef.

La fibre moyenne des arcs a été établie sans idée préconçue, sinon d'une part que la forme devait être agréable à la vue, ce qui est essentiel, et d'autre part que les moments fléchissants devaient être aussi faibles que possible.

La forme parabolique ne convenait nullement.

La forme qui a donné satisfaction à tous les points de vue, y compris la sujétion de la position des entretoises, est tout simplement une sorte d'anse de panier à trois centres seulement. Cette forme est très réussie au point de vue de l'aspect.

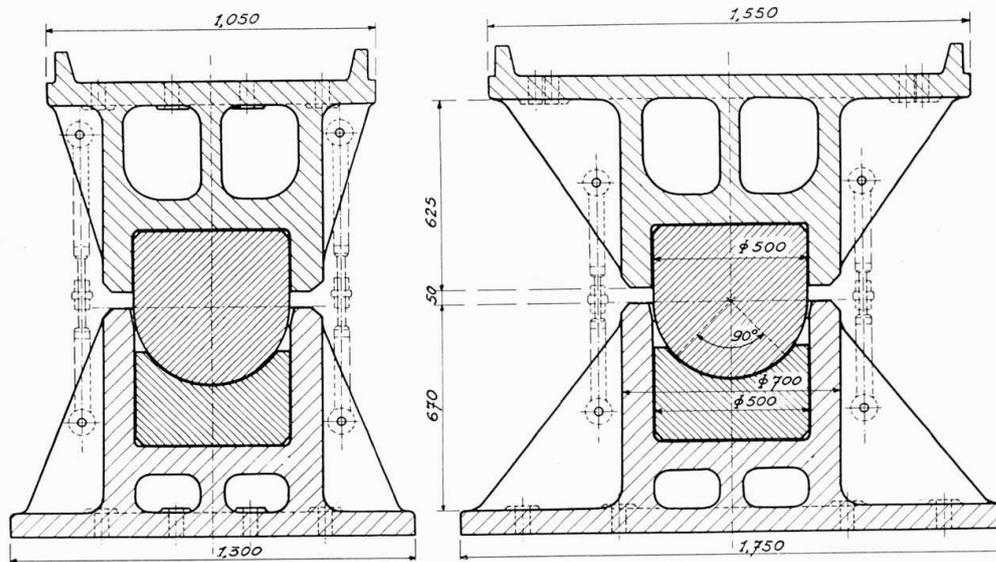


Fig. 7.

Anordnung eines Fußgelenkes mit Lagerkörpern.
Dispositions d'une rotule de pied et de ses sommiers.
Arrangement of foot hinge and pedestal.

Les chanfreins abattant les angles de la section transversale concourent à faire apparaître les arcs plus légers qu'ils ne sont, tout en soulignant la forme par une ligne plus puissante que l'arête vive.

Les deux arcs constituant un groupe, entre joints à dilatation, sont entretoisés par des poutres dont plusieurs ont une section en Γ , l'aile horizontale formant passerelle d'accès aux verrières.

Les châssis de fenêtres des verrières longitudinales sont en ciment armé à double vitre.

Les terrasses sont formées de dalles de faible épaisseur, donc souples, de telle sorte que l'arc joue à lui seul le rôle d'élément résistant fondamental.

Ces dalles sont armées de Farco-métal et de barres rondes.

Elles sont recouvertes d'une mince feuille de cuivre rouge, posée au bitume.



Fig. 8.

Lagerkörper eines Fußgelenkes auf seiner Fundation — Sommiers d'une rotule de pied présentée sur sa fondation — Pedestal for foot hinge on foundation.

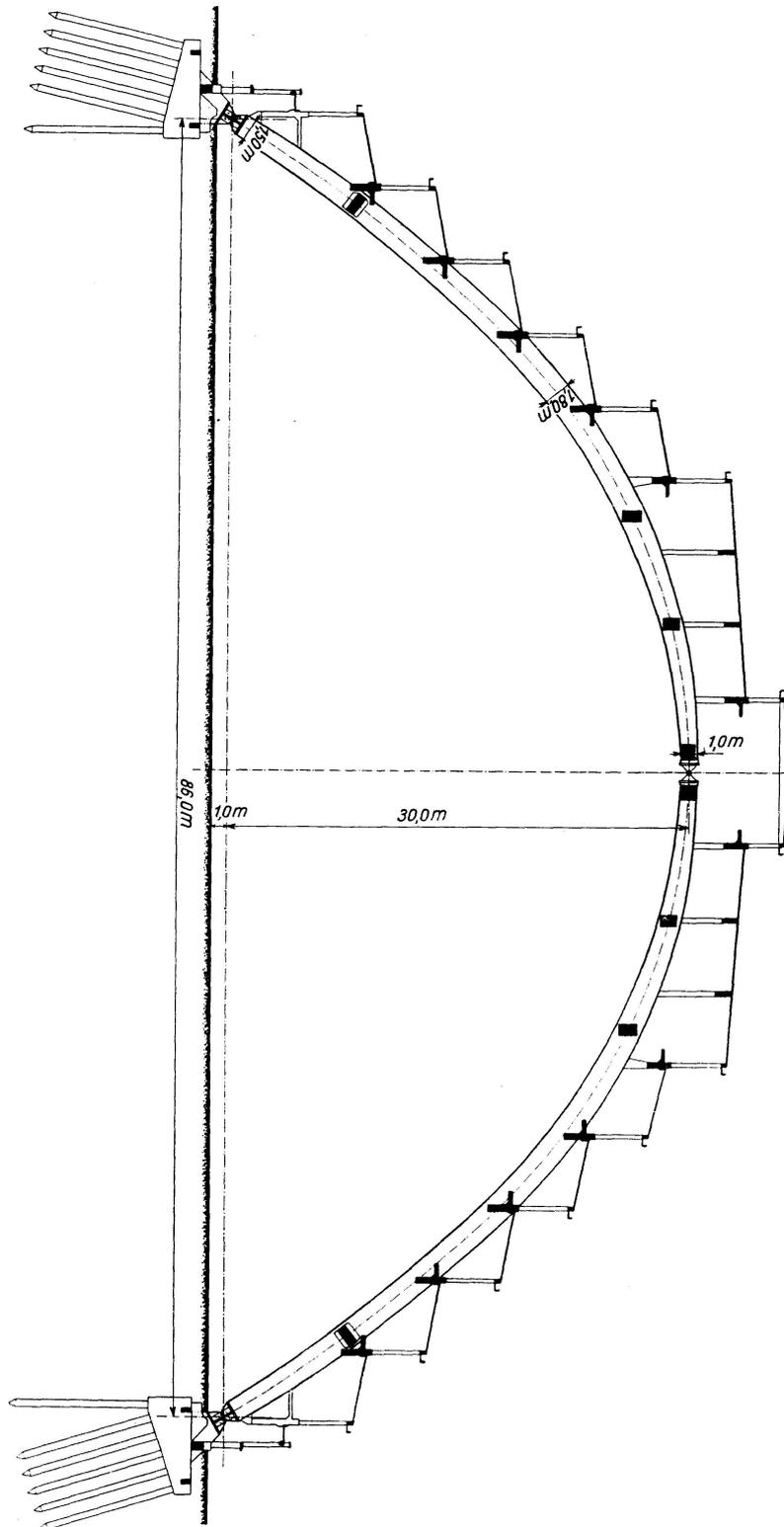


PLANCHE I



Fig. 9.

Gründung eines der Bogen mit den Gelenklagern der Stahl-Lehrgerüstbinder (11. Februar 1934) — Fondation d'un des arcs, avec les sommiers d'appuis des fermes métalliques du cintre (11 février 1934) — Foundation for one of the arches showing skewbacks for steel arch centres (February 11th, 1934).

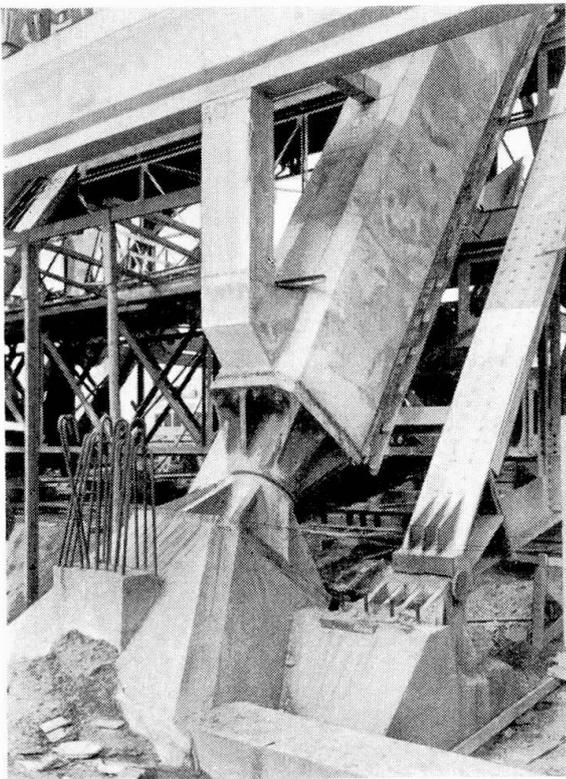


Fig. 10.

Ansicht eines Bogenkämpfers und des Kämpfers eines Gerüstbinders — Vue du pied d'un des arcs et du pied d'une des fermes du cintre — Springing of one of the arches and of centreing frame.

Etant donné la présence des joints de dilatation, sauf en période de construction, les groupes de deux arcs ne subissent jamais l'action du vent dans le sens normal à leur plan moyen.

Les figures 2 et 3 montrent très bien le principe constructif adopté pour les arcs. En particulier la figure 2 montre le premier groupe d'arcs décintré et dégagé (Mai 1934).

Cette figure fait voir les échafaudages employés pour le bétonnage des terrasses, posant sur les entretoises.

La figure 4 est une vue intérieure, montrant une coupe de dilatation. Les figures 5 et 6 sont deux vues intérieures montrant la grande légèreté des arcs et le rôle des entretoises.

La nature du terrain a imposé de fonder les massifs d'appuis des arcs sur des pieux (Planche I).

Chaque massif de fondation en béton armé reçoit une réaction de l'ordre de 850 tonnes et est porté

par 29 pieux du type Rotinoff, dont 25 inclinés à 25° sur la verticale et 4 verticaux.

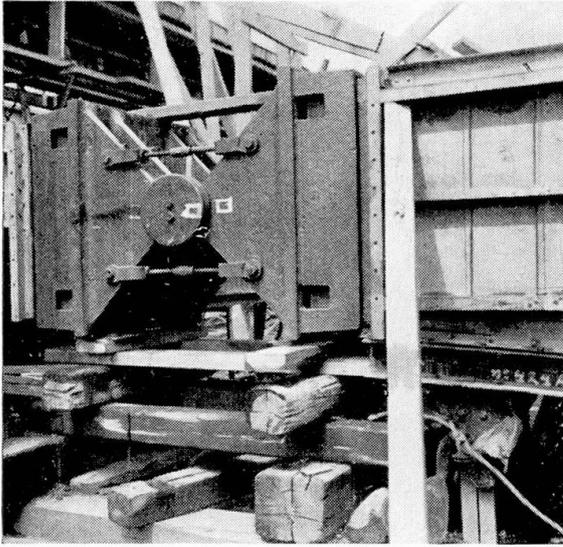


Fig. 11.

Ein Scheitgeljenk, fertig verlegt vor dem Betonieren des Bogens — Une rotule de clef en place avant le bétonnage de l'arc — Key hinge in position before concreting.

Le type d'arc adopté est l'arc à trois rotules.

Les rotules des naissances sont hémisphériques, la surface de contact étant une calotte sphérique de 500 mm. de diamètre (Fig. 7). Ces pièces sont en acier au chrome-nickel ayant une limite d'élasticité d'au moins 60 kg par mm².

Elles sont engagées dans des sommiers nervurés en acier moulé.

La figure 8 montre les sommiers d'une rotule de pied présentée sur le massif de fondation.

De part et d'autre de cette rotule on voit les surfaces cylindriques *T* prévues pour le portage des sommiers d'appuis des fermes métalliques du cintre.

La figure 9 montre les sommiers d'appuis des fermes du cintre posés sur ces surfaces, butées sur la même fondation que l'arc, de part et d'autre de celui-ci.

La figure 10 montre le pied d'un arc en béton armé et d'une des fermes du cintre.

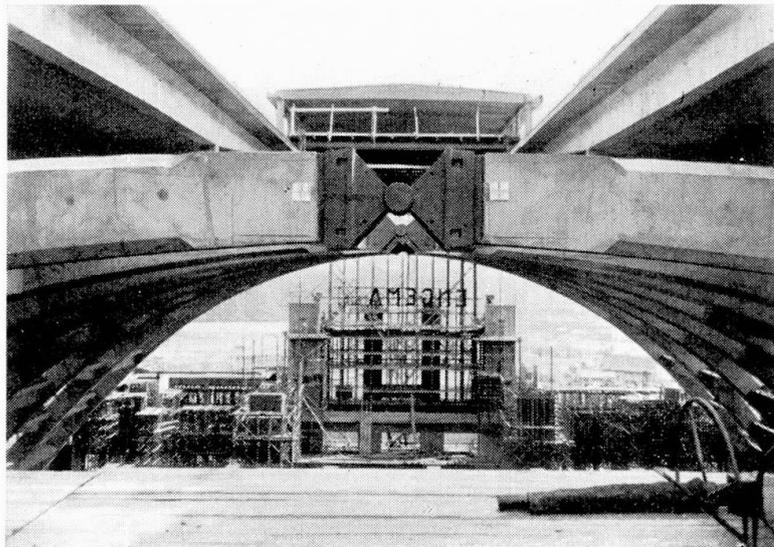


Fig. 12.

Ansicht des Versetzens der Scheitgeljenke von acht Bogen (14. August 1934).

Vue d'enfilade des rotules de clef de huit des arcs (14 août 1934).

View of key hinges of eight arches in line (August 14 th, 1934).

La rotule de clef de chaque arc est cylindrique, mais avec des dispositions spéciales en vue du décintrement (Fig. 11).

La figure 12 montre d'enfilade les rotules de clef de huit des arcs (14 Août 1934).

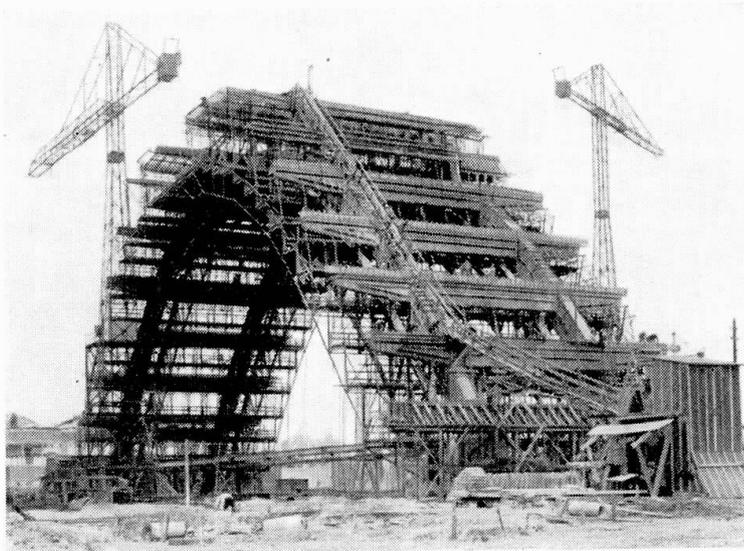


Fig. 13.

Die erste Bogengruppe auf dem Stahl-Lehrgerüst. Man erkennt die Stahlschalungen und den Durchgang des Röhrenwerkes der Betonpumpe (14. April 1934).

Le premier groupe d'arcs sur le cintre métallique. On voit les coffrages métalliques et la passerelle de la tuyauterie de la pompe à béton (14 avril 1934).

First group of arches on steel centreing, showing the steel forms and the pipe bridge for the concrete pump (April 14 th, 1934).



Fig. 14.

Gesamtansicht von drei Bogengruppen mit Stahl-Lehrgerüst im Hintergrund, auf den bereits die Bewehrungen des folgenden Bogens montiert werden (7. Juli 1934).

Vue d'ensemble de trois groupes d'arcs, avec dans le fond le cintre métallique sur lequel on monte déjà les armatures des arcs suivants (7 juillet 1934).

General view of three groups of arches. In the background the reinforcements for following arches are already being erected on the steel centreing. (July 7 th, 1934)

Dans un travail pareil les problèmes d'exécution sont essentiels.

La démonstration est faite que des arcs aussi élancés peuvent être construits par groupe de deux convenablement entretoisés, à la condition de prévoir une organisation spéciale du cintre et le décintrement en montant.

L'exécution par deux arcs à la fois a pu être menée avec une grande rapidité. L'ensemble des opérations s'écoulant du décintrement d'un groupe jusqu'au décintrement du suivant, n'a pris que 30 jours.

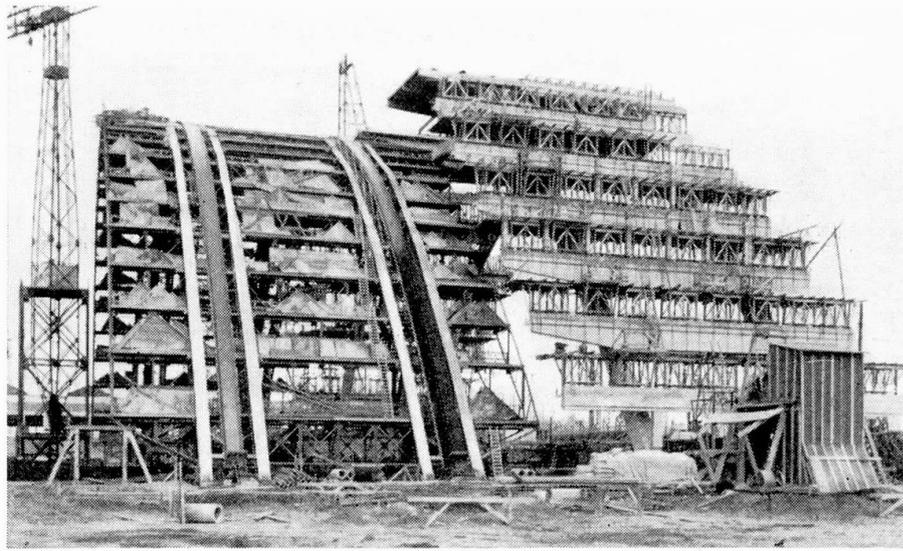


Fig. 15.

Die erste Bogengruppe ist ausgerüstet, das Lehrgerüst ist für die zweite Bogengruppe bereitgestellt; man erkennt auf den Arbeitsbühnen die Blechschalungen. Ein erster Teil der Bewehrungen eines der Bogen ist schon verlegt (5. Mai 1934).

Le premier groupe d'arcs est décintré, le cintre est en place pour le deuxième groupe d'arcs, on voit ses planchers de travail portant les tôles des coffrages. Un premier tronçon d'armatures d'un des arcs est déjà en place (5 mai 1934).

Centering has been struck from first group of arches and is in position for the second group, showing the working scaffolds with the sheets for the forms. The first section of reinforcement for one of the arches is already in position (May 5th, 1938).

Cela supposait notamment:

- un cintre métallique puissant, susceptible de porter deux arcs et leurs entretoises, avec de nombreux planchers de travail;
- un cintre ne devant pas être démonté et pouvant rouler d'une seule pièce, porteur sur ses planchers de tous les coffrages démontés;
- des coffrages métalliques;
- une mise en place des armatures des arcs par grands tronçons;
- une mise en place du béton par des pompes à béton.

La figure 13 montre le premier groupe d'arcs sur le cintre métallique (14 Avril 1934).

On remarque l'importance exceptionnelle du cintre.

Il comportait quatre fermes, jumelées deux à deux de part et d'autre d'un des arcs et entretoisées.

Ces fermes étaient à trois rotules, les rotules de naissances étaient espacées de 85 m., la rotule de clef était à 28,25 m. au-dessus des autres.

Les rotules de naissance portaient sur des secteurs en acier moulé posés en *T* sur le massif de fondation de l'arc (Fig. 8 et 9).

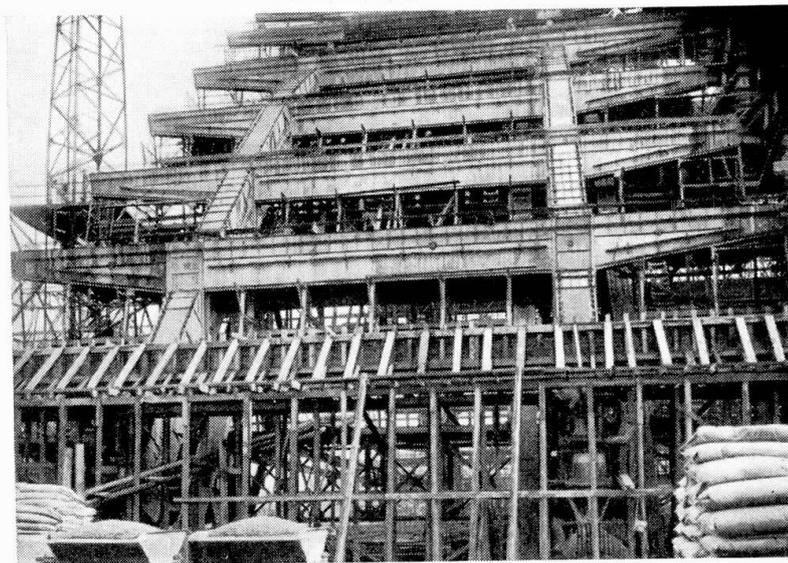


Fig. 16.

Generalansicht der Stahlschalungen der Bogen und der Querträger.
Aspect général des coffrages métalliques des arcs et des entretoises.
General view of steel forms and bracing for the arches.

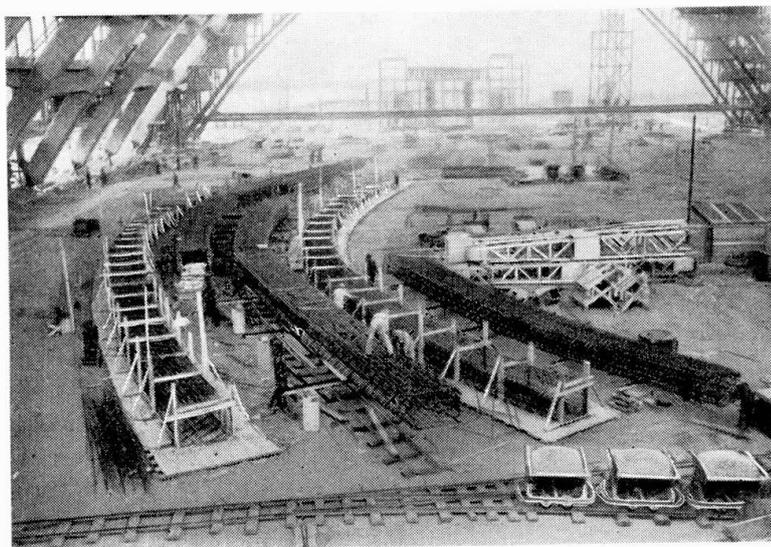


Fig. 17.

Vorbereitung der Bogenarmierungen auf Arbeitsbühne am Boden. Man sieht die aufeinanderfolgenden Teile der Bewehrungen.
Préparation générale à terre des armatures des arcs, préparées sur plancher. On voit les tronçons successifs d'armatures.
Reinforcements for the arches being made ready on the ground.

Les fermes du cintre comportaient un tirant métallique nécessaire au moment de l'opération du décalage du cintre et de son ripage.

Le poids total de béton armé et de bois à porter par le cintre est de l'ordre de 1800 tonnes.

Les figures 13, 14, 15 et 16 montrent suffisamment les dispositions principales de ce cintre exceptionnel et des coffrages métalliques.

Il a déjà été dit que la coupe transversale des arcs est un rectangle à coins coupés.

Cette forme est très favorable à l'organisation des armatures qui ont été adoptées.

Celles-ci comprennent des barres longitudinales principales de 40 mm. de diamètre, en nombre variable et des barres secondaires de 25 mm. de diamètre le long des flancs latéraux.

En outre un double réseau de barres de 16 mm. de diamètre forme un double enroulement hélicoïdal à pas variable, disposé tout le long de l'arc. Une des hélices est enroulée de gauche à droite à l'extérieur, l'autre de droite à gauche à l'intérieur.

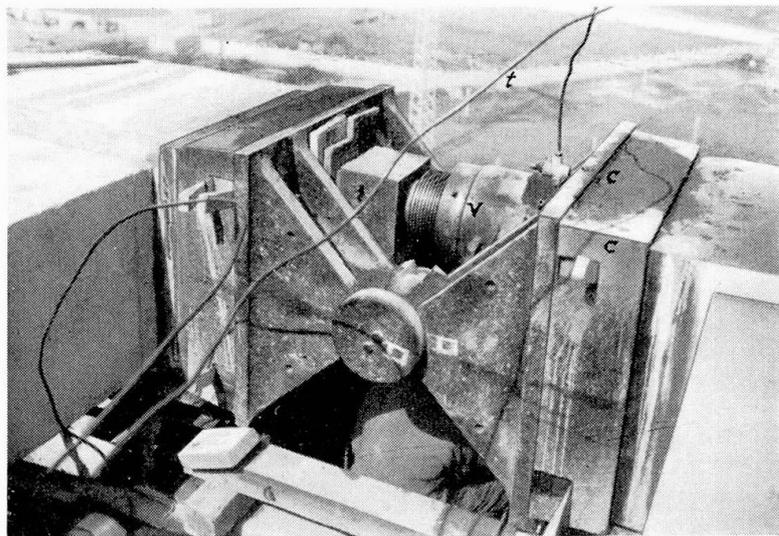


Fig. 18.

Ein Scheitgeltenk kurz nach dem Ausrüsten und nach dem Lagerhinterguß.

Une rotule de clef — un instant après l'opération du décintrement et du bourrage du béton des sommiers.

One of the key hinges, taken immediately after striking the centres and packing the concrete of one of the pedestals.

V = obere Presse — vérin supérieur — upper jack.

t = Druckrohr für die Pumpe — tuyauterie de la pompe — piping of pump.

C = Hinterbetonierung der Lager — logements remplis du béton de bourrage — recesses filled with concrete.

Les hélices sont inclinées à 45° sur les barres longitudinales.

Enfin des étriers réunissent les armatures des faces opposées de la section.

Un espace suffisant est prévu du côté de l'extrados des arcs, entre les armatures longitudinales, pour permettre le passage du béton.

Ce ferrailage, très efficace, mais compliqué, n'aurait pu être mis en place sur cintre, ce qui aurait d'ailleurs pris trop de temps. Il a été préparé au sol sur un grand plancher de travail (Fig. 17).

Chaque demi-arc comporte 30 tonnes d'acier.

L'armature de chaque demi-arc a été exécutée au sol en trois tronçons d'environ 10 tonnes chacun.

Chaque tronçon était hissé d'une pièce par une grue Titan appropriée, monté jusqu'au haut du cintre puis mis en place par descente par glissement le long de la tôle de fond du coffrage. La figure 15 montre un tronçon en place.

Ce ferrailage s'est montré très efficace, ainsi que le procédé employé pour sa mise en place.

En principe l'armature des arcs ne comporte aucun crochet ni aucun recouvrement.

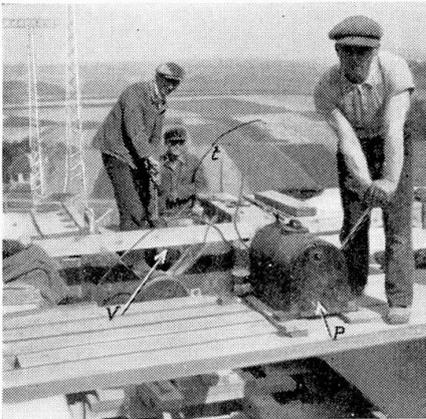


Fig. 19.

Eigentlicher Ausrüstungsvorgang. (Man rüstet zwei Bogen gleichzeitig aus; hier sieht man nur die Gelenkpartie des Bogens). Man mißt mit Latten und mit Hilfe von Tachymetern vom Boden aus.

L'opération même du décentrement. (On décentre deux arcs à la fois, ici on ne voit que la tête d'un des arcs). On contrôle par des lattes de repère et par des visées au tachéomètre faites du sol.

On the left: the actual operation of striking the centres. (This is done on two arches at a time, but only the end of one arch is seen here). The adjustment is checked by reference to laths suitably marked, and by sighting with a tachemeter from the ground.



Fig. 20.

Kurz nach dem Ausrüsten; Ausbetonieren der Scheitelfuge.

Un instant après le décentrement, on met en place le béton de calage C.

On the right: taken immediately after striking the centres, while packing in the concrete C.

Toutes les liaisons de barre à barre ont été réalisées bout à bout, par soudure autogène à l'arc électrique.

Il en a été de même de certains assemblages destinés à donner une raideur suffisante aux tronçons d'armature, au point de vue manutention.

Le béton employé pour les arcs a été le suivant:

Ciment Portland artificiel à durcissement rapide:	420 kgs,
Plaquettes de porphyre 5/25:	840 litres,
Sable du Rhin:	420 litres.

Ce béton donnait à la compression 300 kgs par cm^2 à vingt jours, sur cubes de 20×20 cm.

Ce béton a été mis en place au moyen de deux pompes à béton travaillant chacune sur une des moitiés.

Elles refoulaient dans des tuyauteries d'environ 150 mm. de diamètre, sur une distance horizontale de 200 m. et jusqu'à une hauteur de 40 m., au débit horaire de 13 m^3 par pompe.

Les 750 m^3 nécessaires pour deux arcs et leurs entretoises étaient mis en place en 2 jours environ.

Le damage du béton était favorisé par des vibrateurs électriques agissant sur les armatures et sur les coffrages et par un battage des coffrages métalliques.

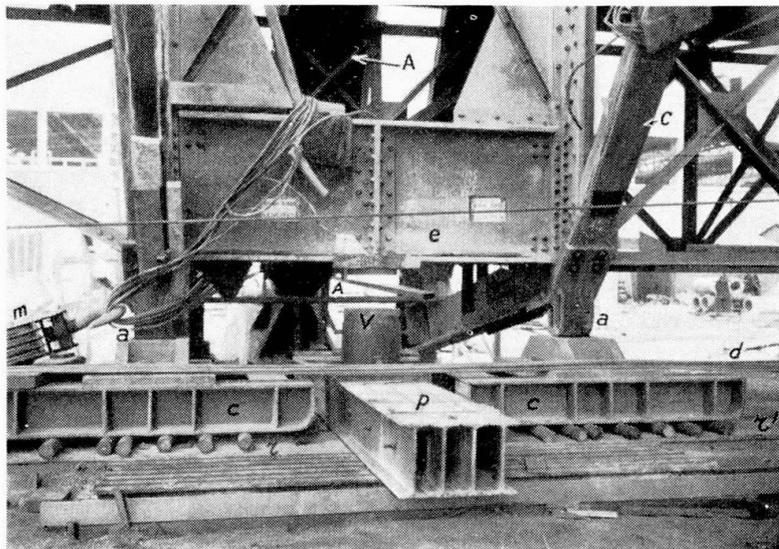


Fig. 21.

Vorbereitung zur Hebung der einen Seite des Lehrgerüsts nach der Freilegung in horizontalem Sinne.

Préparatif du soulèvement d'un des côtés du cintre, après son décalage au point de vue horizontal.

Preparations for lifting one side of the centreing after freeing it horizontally.

Le problème du décintrement des arcs par groupe de deux a constitué pour ce genre d'ouvrage une question absolument essentielle et déterminante des possibilités d'exécution.

Après une analyse sévère du problème du décintrement, et m'inspirant de l'expérience donnée par le viaduc de Renory dont j'avais suivi les opérations de décintrement¹⁾, j'avais déclaré au Comité technique de la Société de l'Exposition dès le mois de Mars 1933, que je ne concevais pas d'autre moyen sûr, pour des arcs aussi déliés et aussi déformables, que d'effectuer le décintrement en montant.

¹⁾ Voir à ce sujet: L. BAES: UN VÉRIN à sable de 700 tonnes. Application au Viaduc de Renory. „Compte-rendus du Congrès de Vienne de l'Association internationale des Ponts et Charpentes“. Dans le cas présent le problème du décintrement a été résolu par un procédé qui constitue en quelque sorte l'inverse du procédé employé à Renory.

Cette opération essentielle devait donc consister à créer un cintre puissant, auquel il ne serait touché que lorsque le décintrement serait terminé, puis à intercaler des vérins hydrauliques à la clef, entre les lèvres des deux demi-arcs.

En actionnant ces vérins, les lèvres des arcs devaient être écartées; les arcs, mis en charge, se déformeraient mais en même temps se soulèveraient en tournant d'ailleurs autour de leurs rotules de pied.

Ainsi les arcs se dégageraient petit à petit du cintre par montée; le cintre, pour son compte, remonterait un peu par reprise d'une partie de ses déformations élastiques.

Je considérais que seul ce procédé convenait pour le problème délicat qui était posé; que seul il était bien défini grâce notamment au caractère très logique de l'introduction lente de la poussée à la clef, qui successivement équilibre une partie croissante des charges de l'arc.

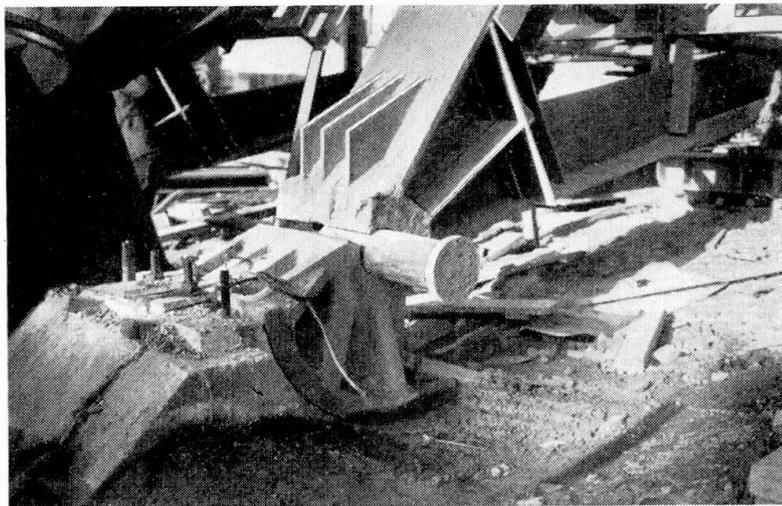


Fig. 22.

Entfernen eines Bogens des Lehrgerüst-Kämpfergelenkes nach Entfernen der Keile und nach der Hebung.

Enlèvement d'une des rotules de pied du cintre, après son décalage et son soulèvement.
Removal of one of the foot hinges of the centreing after lifting it.

Ce procédé permet d'éviter un décintrement mal défini, comme celui qui procède par décalage de coins ou de vérins sous cintre.

En outre ce procédé est le seul qui garde au cintre toute sa valeur portante et permet au besoin de faire reprendre contact de l'arc avec le cintre si une circonstance quelconque rend momentanément impossible l'achèvement de l'opération du décintrement. Enfin ce procédé ne fait intervenir les vérins qu'au moment même du décintrement et les fait agir activement et non pas passivement.

Cette manière de procéder, imaginée et appliquée en France par M. FREYSSINET, avait d'ailleurs fait déjà ses preuves en Belgique, en 1929, au pont de Coronmeuse à Liège et en 1934, au pont de Vroenhoven.

J'estimais qu'à plus forte raison ce procédé s'imposait pour les arcs très déliés et très déformables qui caractérisent le Grand Palais de l'Exposition de 1935. Toutefois ici le problème était plus spécial à cause de l'exigüité de la coupe transversale des arcs à la clef (1 m² au plus).

Pour des ponts, on a en général toute la place voulue pour intercaler entre les vérins momentanément porteurs, les blocs de rotules ou les scellements de continuité de la clef.

Ici le détail de placement des vérins ne pouvait être résolu que par l'entrepreneur, d'après les types de vérins dont il pourrait disposer et d'après leur encombrement.

Toutefois le projet soumis à l'adjudication pouvait prévoir le mode de blocage définitif des arcs à la clef, après le décintrement.

Le principe indiqué par les plans d'adjudication était celui-ci, qui a été appliqué:

Eviter, une fois les arcs décintrés par écartement des lèvres à la clef, de devoir laisser revenir les arcs pour reporter la poussée des vérins sur la rotule de clef.

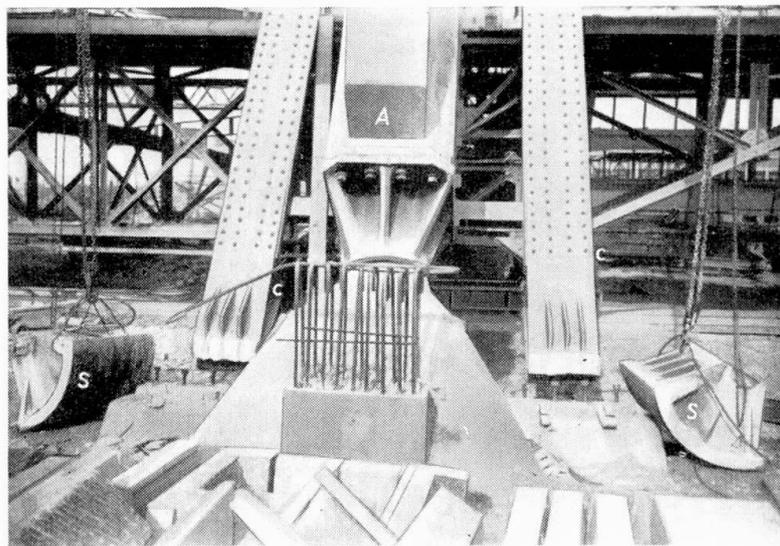


Fig. 23.

Entfernen der Lagerkörper S des Lehrgerüstbinders nach Entfernen der Keile und nach Hebung des Lehrgerüstbinders C und nach Entfernen der Gelenkbolzen.

Après décalage et soulèvement du cintre C, et enlèvement de ses rotules d'appuis, enlèvement des secteurs S d'appui de celles-ci.

After lifting the centreing C and removing its bearing hinges the thrust segments S of the latter are in process of removal.

Il y avait plusieurs raisons à cela: l'exiguité très grande de la section des arcs à la clef, le désir de ne pas devoir faire agir les vérins passivement pour faire redescendre les arcs après leur décintrement et le désir de ne pas devoir démonter le cintre, ce qui eût rendu difficile son parfait réglage à nouveau et eût provoqué des pertes de temps importantes, que les délais imposés n'autorisaient guère. Il était désirable de permettre si possible le déplacement du cintre d'une seule masse.

Tous ces éléments étant considérés, les plans d'adjudication y satisfaisaient en donnant les dispositions suivantes à la clef: le groupe constitué par la rotule de clef et les deux sommiers en acier coulé qui en empâtent l'action sur les sections des demi-arcs, fait un, c'est-à-dire que grâce à des portages venus de fonderie avec les sommiers et à un chapeau-rondelle, ces

trois pièces restent en contact et ne peuvent se déboîter l'une de l'autre. Elles sont d'ailleurs hissées en une fois (Fig. 11).

D'autre part les sommiers en acier coulé sont prolongés vers l'arrière par des boîtiers venus de fonderie.

Dans ces boîtiers peuvent coulisser d'autres boîtiers *A* en acier coulé dans lesquels les armatures et le béton de la tête des demi-arcs viennent s'engager. Ces boîtiers sont traversés par les boulons d'ancrage. Ceux-ci traversent d'ailleurs aussi les plateaux des sommiers de la rotule, qui peuvent momentanément coulisser par rapport à ces boulons (voir planche II).

De chaque côté de la rotule, les boîtiers de la tête des demi-arcs sont écartés de quelques centimètres du fond des boîtiers des sommiers de la rotule.

Le décentrement étant terminé par l'écartement convenable des lèvres et donc des boîtiers des demi-arcs, et par coulissement de ceux-ci par rapport

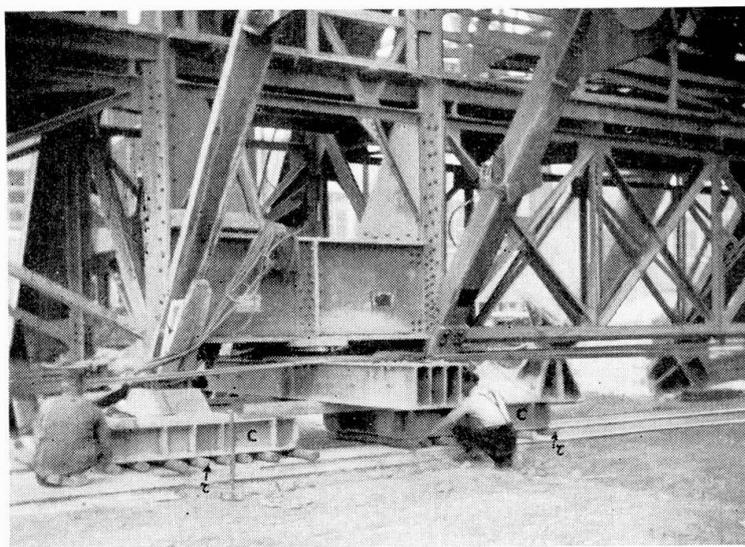


Fig. 24.

Das Lehrgerüst rollt, getragen von einem Rollwagen *c* und von Rollen *r*.

Le cintre roule, porté par les chariots *c* et les rondins *r*.

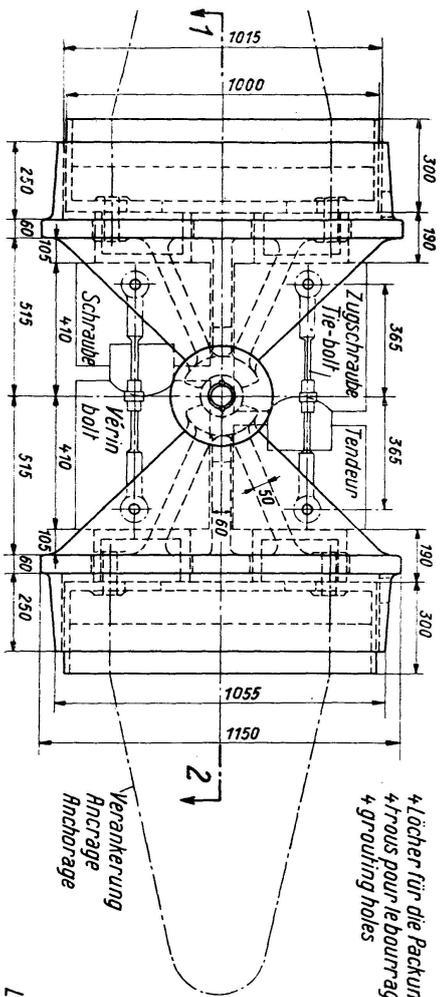
The false arch being shifted on trolleys *c* and rollers *r*.

aux boîtiers du bloc de la rotule, on vient bloquer le tout en bourrant de chaque côté l'intervalle *C* entre les boîtiers. Ce bourrage se fait au moyen d'un béton au ciment fondu, ciment alumineux, qui donne en vingt-quatre heures de très fortes résistances. Ce béton est donc emprisonné entre des pièces en acier coulé et est ainsi isolé du béton de l'arc, ce qui est désirable étant donné leur nature très différente et la nécessité d'éviter toute introduction de trace de chaux dans le béton alumineux.

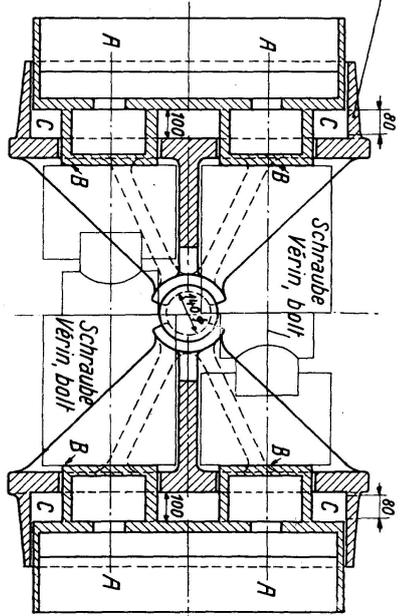
Telles étaient les dispositions que j'avais prévues dans les plans d'adjudication, toutefois étant donné que cela concernait les procédés d'exécution, le cahier des charges n'imposait pas formellement ces dispositions, laissant ainsi les entrepreneurs soumissionnaires libres de proposer d'autres principes de décentrement.

La Société Engéma, adjudicataire de l'entreprise, proposa définitivement le décentrement en montant et maintint le principe du bourrage en béton au

Ansicht - vue de face - elevation

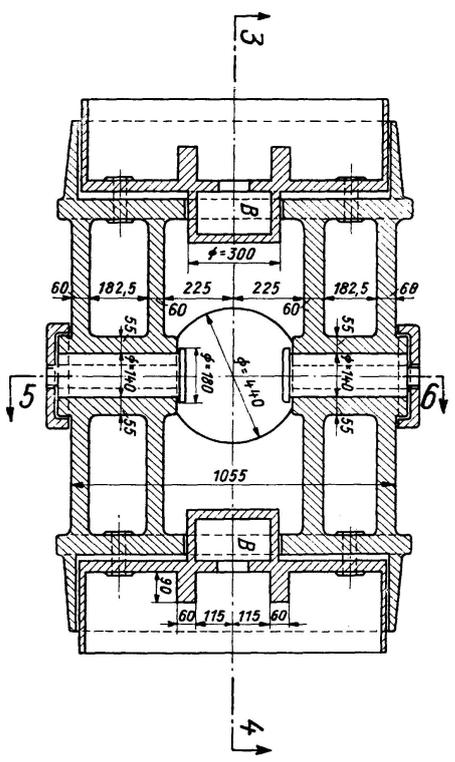


4 Löcher für die Packung
4 trous pour le bourrage
4 grawing holes

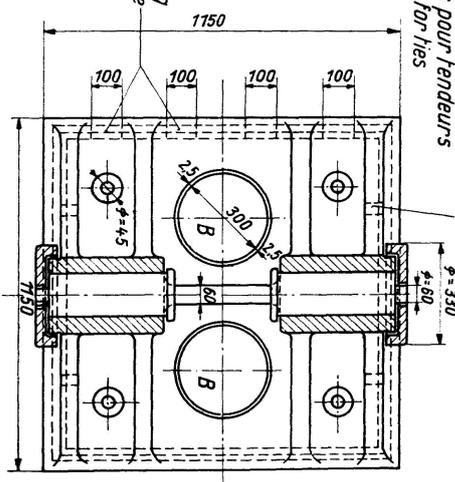


Schnitt - coupe - section 3 - 4

Löcher für die Zugschrauben
Trous pour tendeurs
Holes for ties



4 Löcher für die Packung
4 trous pour le bourrage
4 grawing holes



Schnitt - coupe - section 5 - 6

Die beiden Pressen zur Ausrüstung des Bogens waren hydraulische Pressen, die mit Sicherheitsvorrichtungen versehen waren. Les deux vérins de décentrement étaient des vérins hydrauliques munis de filetages de sécurité. The two presses used to release the arch were hydraulic presses equipped with safety arrangements.

ciment fondu des coffres *C* compris entre les demi-arcs et le groupe des sommiers de la rotule de clef.

La Société Engéma, précisant alors la question des vérins hydrauliques, combina le dispositif des sommiers de telle sorte que deux vérins de 300 millimètres de diamètre extérieur et chacun d'une force de 300 tonnes pouvaient être placés l'un au-dessus de l'autre, dans le mètre carré offert par la section de clef.

La planche II donne les détails de la rotule réalisée par la Société Engéma.

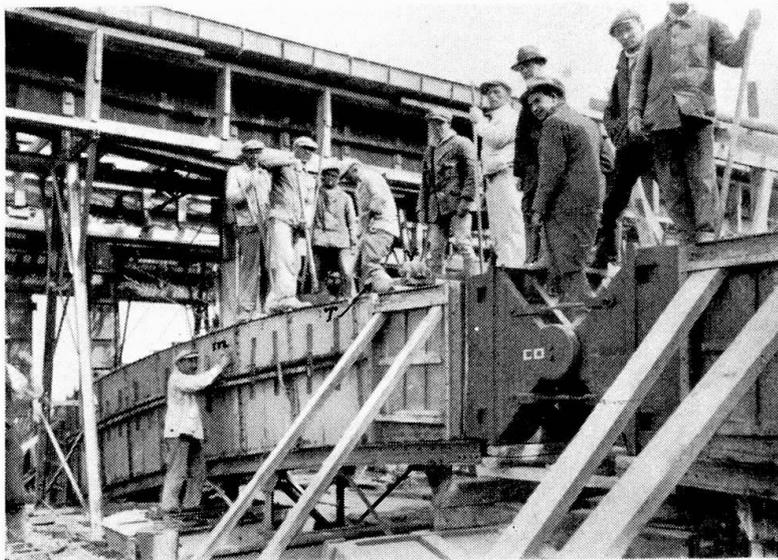


Fig. 25.

Eine Gruppe Betonarbeiter, am Scheitel des Bogens arbeitend. *T* Mündung der Rohrleitung der Betonpumpe. — *v* Vibrator, an den Bewehrungen festgemacht. — *m* Klopfen mit Hammer an die Schalung.

Une équipe de bétonneurs travaillant vers la tête d'un arc. *T* tête de la tuyauterie de la pompe à béton. *v* vibreur attaché aux armatures. *m* action par frappe au marteau sur les tôles des coffrages.

Concreting gang at work near the end of one arch. *T* is the end of the piping from the concrete pump and *v* the vibrator fixed to the reinforcements; *m* indicates the hammering on the forms.

Les boîtiers *A* en acier coulé, terminant les demi-arcs, jettent chacun en avant deux bossages cylindriques *B* de 300 millimètres de diamètre, ces bossages traversent à jeu libre des trous percés dans les patins des sommiers de la rotule.

De cette manière les deux vérins hydrauliques *V* sont intercalés entre les bossages *B* et les refoulent directement. Cette disposition est extrêmement heureuse et nouvelle. Elle a l'énorme avantage d'éviter de devoir créer des consoles excentrées pour le portage des vérins. Comme la distance de l'axe d'un vérin au centre de la rotule n'est que de 25 centimètres, cette disposition est telle que s'il le fallait, un seul vérin pourrait suffire. Il en résulterait une augmentation du moment fléchissant de 75 000 kilogrammètres, ce que l'arc est apte à tenir.

La figure 18 montre une rotule de clef peu d'instants après l'opération du décintrement. On voit en place le vérin supérieur *V* et la tuyauterie *T* de la pompe.

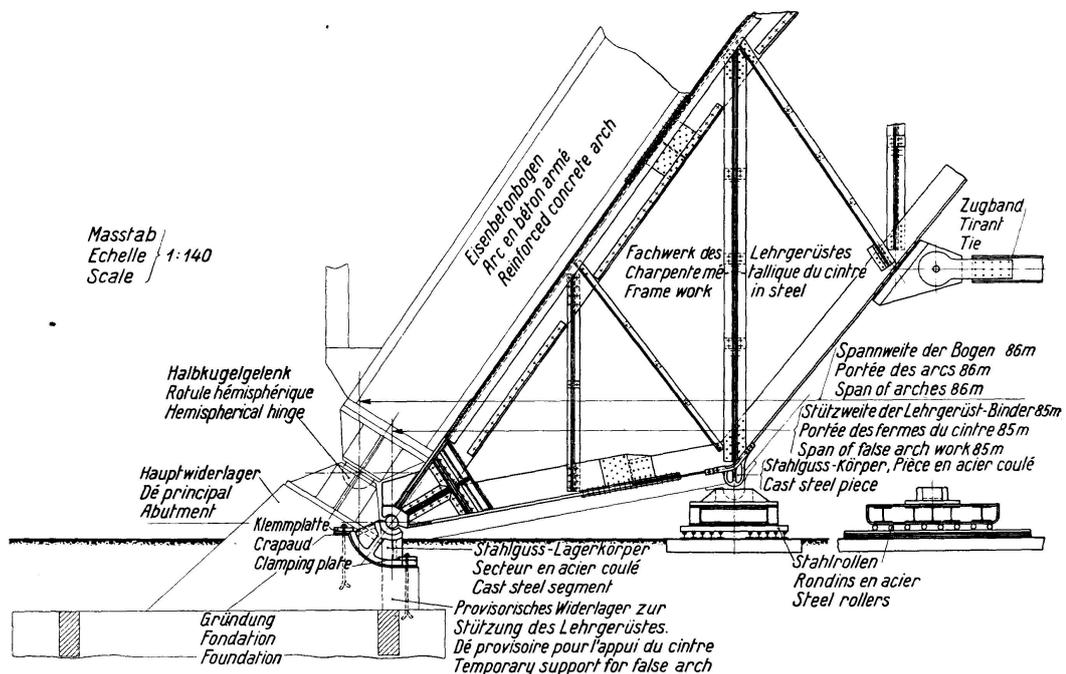
En *C* on voit le béton de bourrage qui vient d'être mis en place pour le calage après décintrement.

La figure 19 est prise pendant l'opération de décintrement.

La figure 20 est prise un instant après le décintrement et au moment où l'on bourre le béton de calage dans les intervalles *C*. — *P* est la pompe des vérins *V*.

L'effort total à développer par les deux vérins de tête d'un arc était de 350 tonnes maximum.

PLANCHE III



Chaque vérin a cependant été choisi pour 300 tonnes.

A chaque décintrement la course des vérins a été d'environ 120 mm., mais le décintrement était acquis dès les premiers 60 mm. environ.

La course supplémentaire était nécessaire pour dégager suffisamment les arcs du cintre, pour les opérations de déplacement du cintre par roulement sous les arcs.

Ripage du cintre.

Le décintrement de chaque groupe de deux arcs terminé, de suite après on procédait au déplacement du cintre métallique complet: Masse de 85 m. de long sur 24 m. de large et de 29 m. de hauteur et pesant plus de 600 tonnes.

L'opération en question, très remarquablement organisée et conduite par les entrepreneurs, a fait l'objet d'une description détaillée ²⁾.

²⁾ Voir L. BAES: Le ripage du cintre métallique des Arcs en béton armé. Annales des Travaux Publics de Belgique, Octobre 1934.

Cette opération comprenait les phases suivantes (Planches III et IV):

a) Mise sous tension des tirants métalliques des quatre fermes du cintre pour annuler les poussées horizontales sur les fondations.

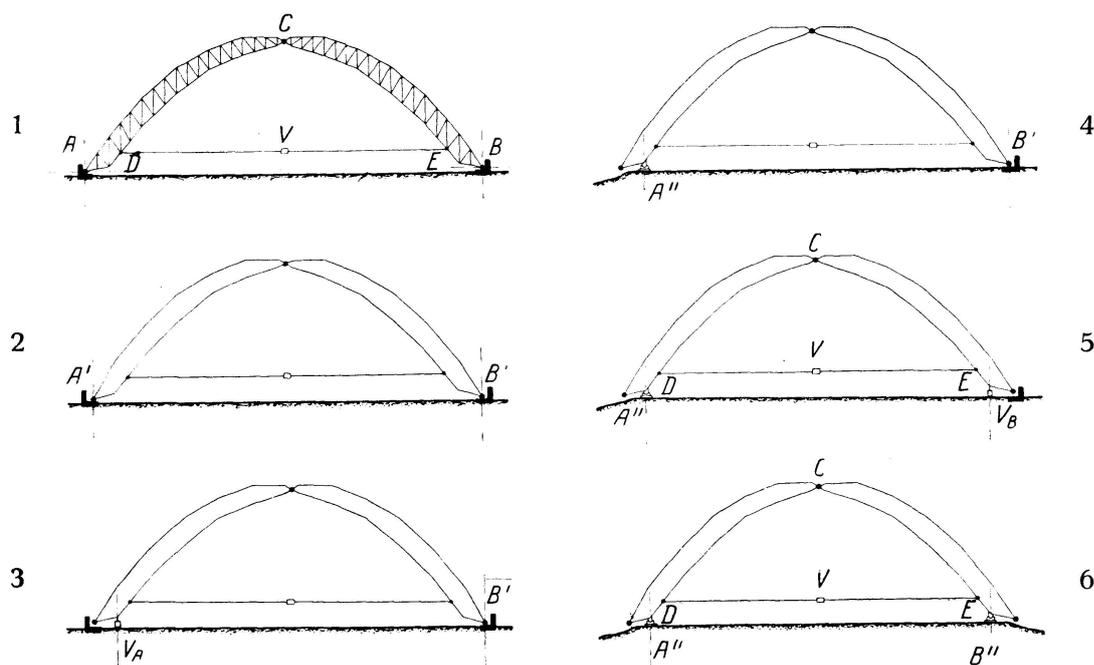
b) Soulèvement du cintre d'un côté au moyen de vérins hydrauliques V agissant sur les entretoises e (Fig. 21).

c) Enlèvement des rotules R de pied de ce côté du cintre et des sommiers S en acier moulé qui les portent (Fig. 22 et 23).

d) Descente des fermes de ce même côté en lâchant les vérins V , jusqu'à ce que les portages a prévus sous les fermes C viennent porter dans les logements prévus sur les chariots de roulement c (Planche IV et fig. 21).

e) Mêmes opérations de l'autre côté.

PLANCHE IV



f) Le cintre ainsi porté par les huit chariots de roulement, eux-mêmes portés par les rondins d'acier r de 80 mm. de diamètre, était alors déplacé par roulement sur un chemin de roulement constitué par des rails accolés posés sur une fondation en béton.

La vitesse de déplacement était de l'ordre de 6 à 8 m. à l'heure.

Le déplacement d'une position à l'autre comportait un mouvement de 24 m.

Grâce aux procédés employés par la Société d'Entreprises ce travail important et difficile a pu être terminé dans un délai très court.

Le premier décintrement a eu lieu le 1er Mai 1934, le sixième le 10 Octobre 1934, soit une durée d'un mois d'un décintrement au suivant.

Conclusions.

La construction en béton armé qui vient d'être décrite constitue un type exceptionnel par la portée des arcs très légers, par les dispositions architecturales qui en font une grande verrière dans laquelle les plus importantes cérémonies se déroulent quasi comme en plein air.

Toutefois cette construction n'a pu être menée à bien qu'en associant les moyens modernes suivants qui viennent d'être décrits sommairement:

Emploi de ciment à durcissement rapide, permettant de décintre à douze ou quatorze d'âge du béton le plus jeune;

Emploi en grand de la soudure autogène à l'arc électrique, pour la jonction des armatures du béton armé;

Préparation à terre de la presque totalité des armaturages, permettant de hisser d'une pièce d'importants tronçons et réduisant considérablement le travail de ferrailage à faire dans le coffrage;

Emploi de coffrages métalliques, permettant le montage et le démontage rapides et donnant un béton restant brut de démoulage;

Exécution des arcs par deux; permettant l'achèvement des tranches tout-à-fait indépendamment l'une de l'autre;

Mise en place du béton au moyen de pompes à béton et en partie par vibration;

Décintrement en montant, en ouvrant les arcs à la clef;

Manoeuvre de descente et de ripage du cintre d'une seule masse, permettant un travail extrêmement rapide et précis.

Résumé.

L'auteur décrit la construction du Grand Palais de l'Exposition Universelle de Bruxelles en 1935. Description des arcs de béton armé de 86 m de portée ainsi que des arcs métalliques ayant servi de cintre et surtout description de l'opération de décintrement et du déplacement du cintre sans démontage.

Zusammenfassung.

Der Verfasser beschreibt die Konstruktion und die Ausführung des „Grand Palais“ der Weltausstellung von Brüssel im Jahr 1935. Da es sich um einen bleibenden Bau handelt, ist eine eingehendere Betrachtung der leichten, 86 m weit gespannten Eisenbetonbogenträger und die für den Bau erforderlichen Stahlbogenbinder, sowie die Beschreibung des Ausrüstens und Verschiebens des Lehrgerüsts ohne Auseinanderbau gerechtfertigt.

Summary.

The author describes the design and construction of the Grand Palais for the International Exhibition in Brussels, 1935. The work being permanent, a more detailed consideration is presented of the light reinforced concrete arched girders of 86 m. span, and of the steel framed arches used in their construction. The article gives also a description of the method chosen for arch-release and the removal of false archwork without desmantling.