Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: La construction du pont Kincardine-on-Forth

Autor: Edkins, R.G. / Brown, J.G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2982

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: 14.12.2025

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

VIIa 2

La construction du pont Kincardine-on-Forth.

Der Bau der Kincardine-on-Forth Brücke.

The Construction of the Kincardine-on-Forth Bridge.

R. G. Edkins,
B.A., A.M. Inst. C.E.

Remarques sur la partie métallique du pont tournant.
Bemerkungen über den mechanischen Teil der Drehbrücke.
Special Note on the Mechanical Part of the Swing Bridge Span.

J. G. Brown,
M. Inst. C.E.

Introduction.

Le pont de *Kincardine-on-Forth* a été construit dans le double but d'améliorer les possibilités de trafic par route en Ecosse et de soulager le chômage dans les régions voisines de l'emplacement du pont.

L'éxécution du projet initial fut décidée en 1931, par un Comité du Pont formé par les conseils généraux de *Fife, Clackmannan* et *Stirling* et les conseils municipaux des villes de *Dunfermline* et *Falkirk*.

Le Comité du Pont choisit Sir Alexander *Gibb* & Partners comme ses conseillers techniques et ingénieurs conseils.

Le pont fut calculé, des offres furent demandées et une firme d'entrepreneurs fut choisie. Cette firme, la *Cleveland* Bridge & Engineering Company, Limited, de *Darlington*, commença le travail au début de Janvier 1934.

Une contribution d'assistance financière fut obtenue du Ministère des Transports, du Budget des Routes, jusqu'à concurrence de 75% du montant total du devis, le reste étant assuré par les autorités locales mentionnées ci-dessus.

Choix de l'emplacement.

Le choix de *Kincardine* comme emplacement pour la traversée du *Firth* of *Forth* est un choix naturel. A cet endroit, les bords du fleuve se resserrent pour former le deuxième étranglement du fleuve, au dessus du fameux pont de chemin de fer du *Forth*, qui se trouve à 24 kilomètres à l'Est, à *Queensferry* et dont l'emplacement pourrait être appelé le premier étranglement du fleuve.

Kincardine se trouve à 16 kilomètres en aval et à l'Est de *Stirling*, dont, depuis les temps historiques, le château a défendu la route vers les villes du

Nord Est: *Perth, Dundee, Aberdeen* et *Inverness,* et dont le pont se trouve être maintenant le point de passage du *Forth* situé le plus à l'Est.

Le nouveau pont permettra donc le choix d'un deuxième itinéraire vers ces villes, corrigera la tendance actuelle du trafic à se congestionner dans la traversée de la ville de *Sterling,* et, en plus, procurera une route directe beaucoup plus courte etre la région industrielle de *Glasgow,* et la presqu'île plutôt isolée de *l'Est Fife.* Cette presqu'île se trouve en effet comme encerclée par deux bras de mer formant, en quelque sorte, les mâchoires d'une tenaille et qui sont au Sud le *Firth* of *Forth* et au Nord le *Firth* of *Tay.*

Le pont concurrencera aussi considérablement le bac de *Queensferry,* qui ne fonctionne que toutes les demi-heures, en procurant vers *Edimbourg,* un nouvel itinéraire plus court de 32 kilomètres que l'itinéraire actuel par *Sterling.*

Ce bac est un maillon d'importance vitale par lequel *Edimbourg* est rattaché au réseau des grandes routes principales du Nord de l'Ecosse.

Enfin, comme argument décisif pour un pont à *Kincardine,* il est à peine nécessaire d'ajouter que le pont coûtera presque exactement un dixième du montant du devis établi pour un pont-route proposé récemment à l'emplacement du premier étranglement du fleuve, près du grand pont de chemin de fer de *Queensferry.*

Conditions intéressant la conception.

Le passage des bateaux de haute mer venant du port d'Alloa situé à 6,4 kilomètres en amont du pont, ou s'y rendant, a nécessité l'éxécution d'une travée de très grande ouverture, et les intérets du trafic fluvial moins important ont éxigé au centre du pont une hauteur libre de 9,15 m au-dessus des hautes eaux.

Par conséquent, partant du terrain relativement bas sur chacune des rives, la voie charretière aboutissant au pont s'élève en une courbe verticale qui a son point le plus haut au centre de la travée mobile.

Sur la rive Sud, le terrain est si bas que les bords du fleuve ne peuvent pas être déterminés d'une façon très précise.

Le fleuve, qui est soumis aux marées et comporte des différences de hauteur d'eau de 5,50 m, a une largeur de 900 m pendant les périodes de très hautes eaux, où les parties plates de la rive Sud sont recouvertes par 30 à 60 cm d'eau, alors que, pendant les périodes de hautes eaux normales, ces parties plates ou salants, qui sont couverts par une végétation grossière, sont à sec, la largeur du fleuve étant alors d'environ 550 m.

Les 365 m de largeur supplémentaire de salants constituent, en fait, un banc de vase de quelque 15 m d'épaisseur qui a été déposé sur les graviers et les argiles du lit du fleuve, et la présence de ce banc a nécessité la construction d'ouvrages d'approche d'une longueur considérable.

Un remblai d'accès franchit un peu plus de 150 m de «salants», mais étant donné l'accroissement de la courbure du profil du pont, et l'impossibilité de faire reposer un remblai important sur un sol aussi peu consistant, il a fallu, pour traverser le reste des "salants", aller chercher les fondations à une grande profondeur; c'est là que commence l'ossature du pont proprement dite à quelque 200 m du point atteint par les hautes eaux normales.

Sur la rive Nord, le pont est prolongé au-delà de la ligne des plus hautes

eaux pour franchir les voies du London & North Eastern Railway qui passe tout près de la rive.

Ces longueurs supplémentaires de pont sur l'une et l'autre rive font que la longueur totale de l'ouvrage entre les culées est de 821 m.

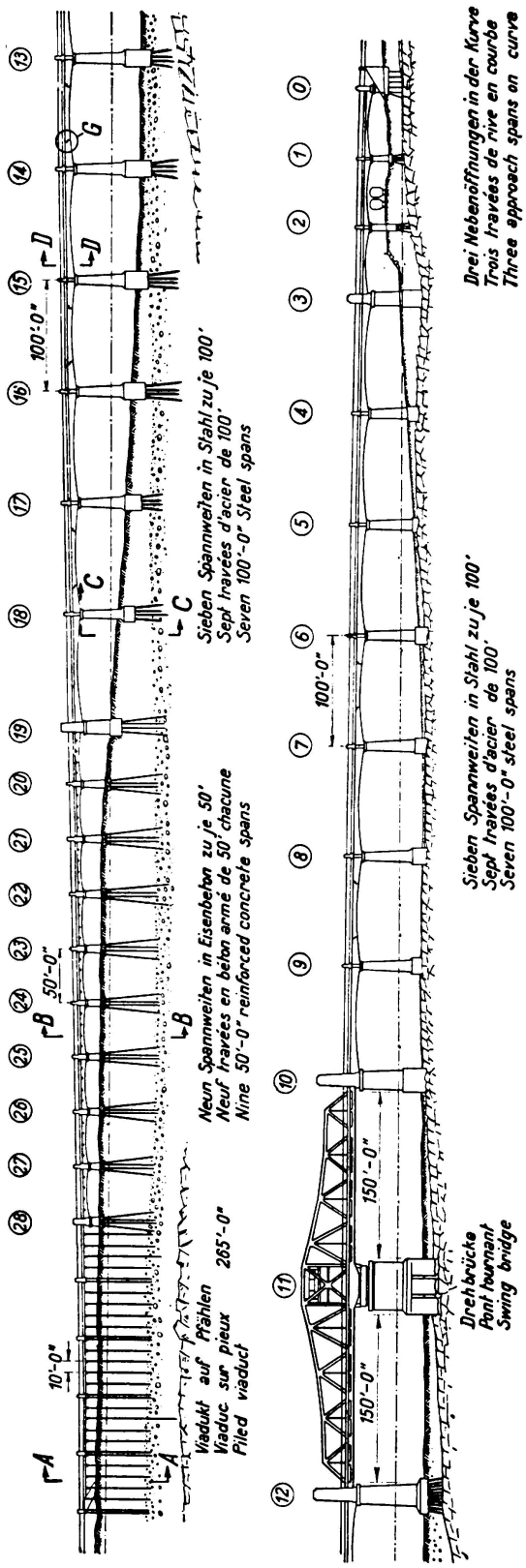


Fig. 1.

L'étude géologique de l'emplacement est intéressante. Il permet d'excellentes fondations sur du rocher de grès de la période carbonifère, à une profondeur qui n'est pas trop grande. Mais ceci n'est le cas que sur la moité de la largeur du fleuve à partir de la rive Nord, jusqu'à ce qu'on atteigne la pile de la travée mobile. A partir de là et vers le Sud, le niveau du grès s'enfonce jusqu'à des profondeurs croissantes et un des sondages d'essai du début, éxécuté vers le milieu des «salants» n'a pas permis de trouver le rocher à une profondeur de 13,70 m en dessous du niveau normal auquel on le trouve sur le côté Nord du fleuve.

Il y a des preuves de l'existance d'une importante faille géologique au centre du fleuve et également du lit d'un ancien fleuve de la période préglaciaire, fleuve que certains supposent avoir été d'une grande profondeur. L'une ou l'autre de ces deux hypothèses peut expliquer le changement de niveau de la roche.

Quelle que soit la cause de cet enfoncement subit du rocher, il en résulta que, pour la moitié Sud du pont, il fallut asseoir les fondations au-dessus du niveau du rocher.

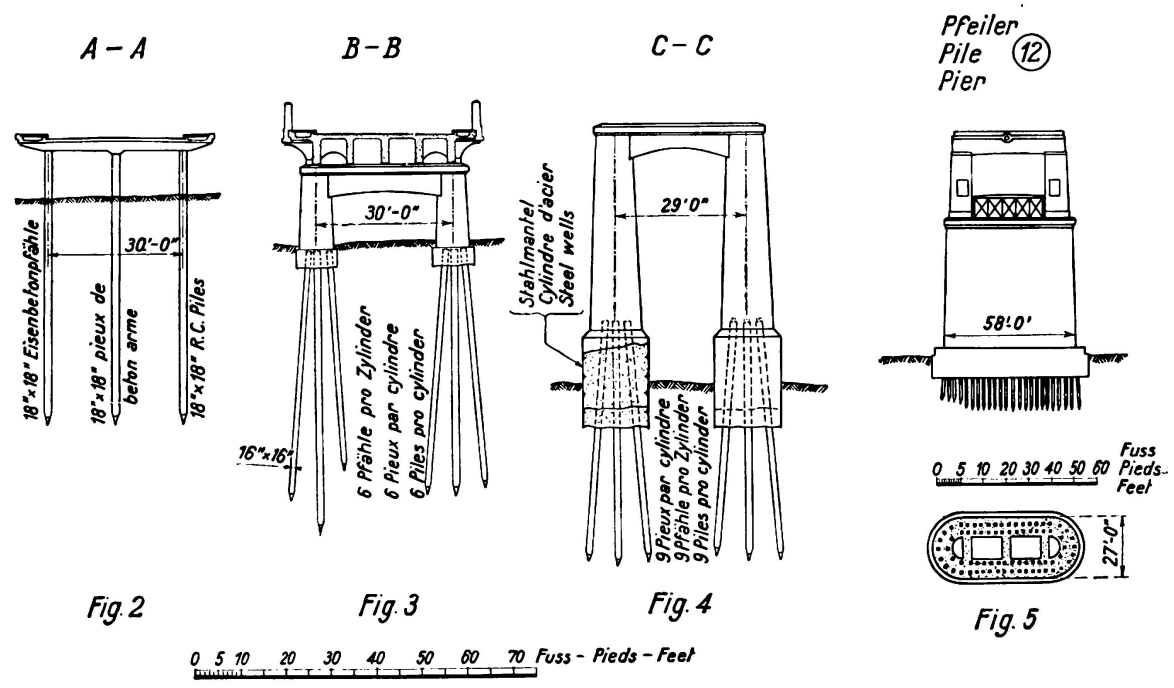
Le problème fut grandement simplifié par la présence d'un lit de gravier compact découvert par les sondages d'essai au cours de l'étude initiale du terrain et qui par son étendue et son niveau fait supposer qu'il constituait le lit du fleuve à une période relativement récente (géologiquement parlant).

Ce lit aurait été recouvert de vase depuis lors.

En dessous de ce gravier et au-dessus du rocher sont des argiles contenant des galets et de la pierre.

Description générale du pont et de ses accès.

Comme on peut le voir sur les figures ci-jointes, le pont est un ouvrage à travées multiples, présentant une grande variété de types de construction.



Il comporte une voie charretière de 9,15 m de large et deux trottoirs de 1,52 m de large.

Au centre, se trouve la grande travée mobile qui constitue la partie la plus intéressante du pont; elle est flanquée de part et d'autre d'un dispositif symétrique de 14 travées métalliques de 30 m, soit sept de chaque côté. Ces travées peuvent être considérées comme la partie principale du pont métallique qui franchit le fleuve dans sa largeur normale.

Dans la partie Sud, une longueur considérable d'ouvrages d'accès en béton armé a été rendue nécessaire par la présence de «salants» décrits plus haut.

Ces ouvrages d'accès consistent en 9 travées de 15,25 m chacune et 79 m de viaduc reposant sur des groupes de pieux écartés de 3 m.

Dans la partie Nord, 3 travées d'approche furent nécessaires pour franchir le chemin de fer. Ce sont des travées métalliques mesurant chacune 19 m, elles ont en plan un tracé en courbe, de façon à permettre à la route d'accès et au remblai de prendre le tracé le plus économique pour la traversée de la ville de *Kincardine*.

Fondations et piles.

Pour la description détaillée du pont, la travée mobile et ses trois piles seront traitées séparément, car elles forment les parties les plus importantes et intéressantes du pont.

Le reste de l'ouvrage est divisé en cinq parties, savoir:

1) Les travées d'accès et les piles dans la partie Nord.
2) Les travées métalliques de 30 m et leurs piles dans la partie Nord.
3) L'ensemble correspondant de travées métalliques de 30 m dans la partie Sud.
4) Les travées en béton de 15,25 m dans la partie Sud.
5) Le viaduc d'accès en béton armé dans la partie Sud.

Ces parties seront décrites dans l'ordre numérique ci-dessus et les procédés de construction seront exposés en même temps, de façon à éviter les répétitions.

1) Les trois travées métalliques d'accès de l'extrémité Nord de l'ouvrage reposent sur la culée et les piles 1, 2 et 3.

La culée avec ses murs d'aile est un ouvrage en béton massif, reposant sur une fondation composée de 36 pieux en béton armé, d'une section de 41×41 cm et d'une longueur de 6 m, qui ont été foncés jusqu'au roc. Les piles 1 et 2 sont également des piles en béton massif, rectangulaires en plan et reposant chacune sur 20 pieux semblables à ceux de la culée. Les méthodes de construction ne présentent pas d'intérêt particulier. Les pieux furent foncés jusqu'à refus et, pour cette raison, on n'a pas exigé un enfoncement particulier pour les derniers coups.

2) Les sept travées métalliques de 30 m sont supportées par les piles 3 à 10. La pile 3 est une pile spéciale de dimensions plus grandes que celles des piles normales, de façon à constituer un dispositif architectural sous la forme d'un pylone de chaque côté du pont, marquant ainsi le commencement du pont proprement dit. Elle consiste en deux colonnes très larges, plus minces en haut qu'à la base, de section circulaire et réunies en tête par une traverse en béton fortement armé. Elle fut fondée à l'air libre, de la même façon que les autres piles montées sur le roc.

Les piles 4 à 9 sont toutes des piles semblables qui reposent sur des bases cylindriques jumelées de 4,49 m de diamètre (fig. 4 et 21). Ces bases se terminent juste en dessous du niveau des basses eaux et les piles partent de ce niveau sous la forme de deux colonnes plus étroites en haut qu'à la base. Ces colonnes ont un diamètre de 2,44 m en tête, où elles sont reliées par une poutre en béton armé de 1,37 m de largeur, fortement renforcée pour former avec les colonnes un portique monolithique. Les colonnes elles-mêmes comportent un enduit extérieur de 0,23 m d'épaisseur, en ciment riche, dosé à 1 : 1 : 2 dans lequel sont noyées, en quantité moyenne, des armatures métalliques verticales et circulaires, les armatures verticales étant descendues à l'intérieur de la base. A l'intérieur de l'enduit de 0,23 m se trouve une couche ou noyau de béton dosé à 1 : 3 : 6 (fig. 4).

Les piles 3, 4 et 5 furent fondées sur le roc au moyen de caissons à air libre. Ces caissons furent constitués par des cylindres de 4,42 m de diamètre, d'environ 1,21 m de haut, éxécutés en tôle d'acier de 7,9 mm raïdie par des anneaux en cornières. Ils furent descendus jusqu'au lit du fleuve et arrivaient jusqu'au-dessus du niveau des hautes eaux. On approvisionna une quantité suffisante de ces cylindres pour permettre de travailler simultanément à deux piles. Ils furent descendus jusqu'à ce que l'arête coupante constituée par une tôle épaisse atteigne le roc. On creusa à l'intérieur des caissons avec une excavatrice. A l'intérieur des caissons, l'eau fut pompée, et la surface du rocher fut creusée par des ouvriers travaillant à l'intérieur des puits, jusqu'à ce qu'on obtienne un lit de bon rocher, ferme et de niveau. Les caissons furent ensuite remplis de béton jusqu'au niveau des basses eaux, pour former les deux cylindres de base. Les coffrages en acier furent placés sur le béton des bases et la construction des colonnes continua jusqu'à ce que l'ouvrage fût monté au-dessus du niveau des hautes eaux.

Le tronçon supérieur des caissons dépassant au-dessus de la partie remplie de béton, fut alors démonté en déboulonnant les joints et réutilisé pour une autre pile. L'enlèvement des boulons dut être éxécuté par un scaphandrier opérant pendant les périodes de basses eaux.

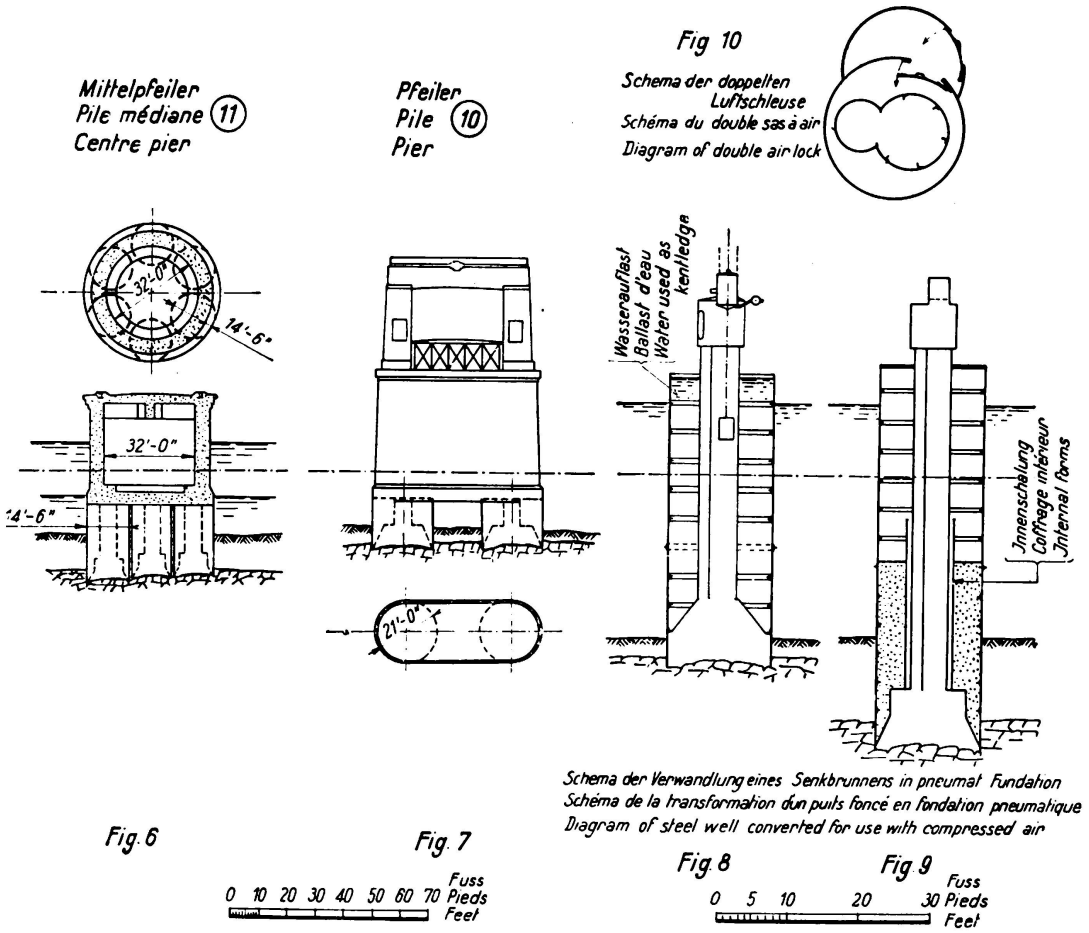
Cette méthode s'avéra bonne pour les piles 3, 4 et 5 mais, au fur et à mesure que le travail avançait dans le fleuve, la profondeur des matériaux peu consistants recouvrant le rocher diminua jusqu'à atteindre un minimum de 0,60 m seulement. A la pile 6, où cette épaisseur n'était que de 1,50 m environ, on estima que ces matériaux n'étaient pas suffisamment stables et imperméables, pour empêcher, une fois le caisson asséché à la pompe, la pression hydrostatique de faire pénétrer l'eau par le sol et sous les couteaux inférieurs des cylindres, ce qui aurait inondé les caissons. En conséquence, le matériel nécessaire fut amené sur le chantier pour permettre de terminer le reste des piles par la méthode des caissons à air comprimé.

Ce procédé eut pour résultat de permettre des progrès sérieux et rapides, une vérification sérieuse et une amélioration des fondations avant le coulage du béton.

Les caissons déjà décrits furent modifiés de façon à pouvoir y adapter une galerie d'accès comportant à sa partie supérieure une double fermeture étanche à l'air. On rapporta un solide couvercle en forme de cône qui forma le plafond de la chambre de travail. Ce couvercle était d'un diamètre correspondant, à sa

partie basse, à celui du caisson, et à sa partie haute à celui de la galerie d'accès. La double fermeture comportait un panneau vertical pour les matériaux et un panneau horizontal pour le personnel (fig. 8, 10 et 16).

La partie du caisson au-dessus du couvercle conique fut remplie d'eau jusqu'à un niveau supérieur à celui du fleuve de façon à constituer un lest suffisant pour empêcher le caisson de flotter.



Par mesure d'économie, le couvercle conique en tôle, fut démonté de chaque caisson et réemployé sur un autre, car on ne disposait que de deux couvercles. Pour permettre cette façon de faire, il fut nécessaire d'enlever le lest liquide et d'approvisionner à sa place environ 200 t de lest solide, jusqu'à ce que le remplissage intérieur en béton soit suffisamment lourd pour empêcher toute possibilité de soulèvement du caisson.

La première couche de béton fut, bien entendu, coulée sur le rocher pendant que le caisson était encore sous pression: 3 ou 4 tuyaux recourbés furent passés sous les arêtes coupantes et amenés à l'intérieur à une hauteur au-dessus de la partie supérieure de la première couche de béton. Ce procédé a empêché que l'air puisse être soufflé au travers du béton pendant sa coulée, évitant ainsi des fissures poreuses et des fuites. Après la prise du béton, ces tuyaux furent fermés par des chapeaux filetés, la pression fut retirée du caisson, le couvercle, la galerie d'accès et la fermeture étanche furent retirés, et la construction des colonnes continuée comme dans un caisson à air libre.

3) Les piles 10, 11 et 12 sont les grandes piles spécialement prévues pour la travée mobile et seront décrites plus loin. Les piles 13 à 18 sont les mêmes que les piles 4 à 9 décrites plus haut, mais elles ne furent pas fondées sur le roc comme ces dernières. Elles furent fondées sur le lit de gravier qui s'étend sous le banc de vase constituant la berge Sud du fleuve. La fondation consiste en 18 pieux, sont 9 pour chaque cylindre, dont 4 furent foncés verticalement et 5 avec un léger fruit de $^1/_{12}$, 3 perpendiculairement à l'axe du pont et 2 dans l'axe même du pont.

La pile 19 est la même que la pile 3 sauf pour les fondations qui sont semblables à celles des piles 13 à 18.

Les pieux ont une section carrée de 46 cm et varient emlongueur de 13,70 m à 19,80 m, la grande majorité ayant 16,75 m. Ils ont des pointes en fonte et sont renforcés par 4 armatures en acier rond de 38 mm de diamètre en une seule longueur, réunis par des cerces de 4,7 mm à 23 cm d'écartement. Cet écartement est réduit en tête et à la pointe pour renforcer les pieux contre l'éclatement.

L'ordre des travaux pour ces piles a consisté à descendre les caissons qui étaient les mêmes que ceux décrits ci-dessus à une profondeur de 3 m au-dessous du niveau du lit de la rivière en creusant avec une excavatrice et ensuite à foncer les pieux à l'intérieur du caisson.

La fouille dans plusieurs de ces cylindres fut retardée par les difficultés rencontrées à pénétrer dans le gravier en raison de galets et de pierres de grosses dimensions.

Le fonçage des pieux fut fait par une sonnette mobile qui pouvait à la fois tourner et circuler sur un chemin de roulement placé sur les caissons. On utilisa un pilon à vapeur à simple action dont la masse mobile pesait 5 tonnes.

Les pieux furent foncés jusqu'à ce qu'on obtienne un enfoncement inférieur à 25 mm pour 6 coups de masse. La hauteur de chute de la masse fut modifiée pour correspondre aux différentes longueurs des pieux. Pour un pieu de 19,80 m elle fut de 1,30 m et pour un pieu de 16,80 m de 1,15 m (fig. 17).

En règle générale, les pieux commencèrent à s'enfoncer facilement et arrivèrent brusquement au stratum compact où il ne fut pas possible de les enfoncer beaucoup plus. Aux rares endroits où les pieux pénétrèrent dans la stratum compact, on continua un fonçage énergique, qui devint le plus en plus difficile, jusqu'à l'obtention de la résistance voulue.

Les têtes des pieux furent protégées pendant le fonçage par un chapeau en acier fondu, enveloppé de papier ou de sacs. La masse tombait sur une poupée en bois dur d'environ 61 cm de hauteur emmanchée sur la partie supérieure du chapeau.

Pendant le fonçage des pieux dans les caissons à proximité du milieu du fleuve, on dut faire baisser à la pompe le niveau à l'intérieur du cylindre au-dessous du niveau extérieur et on tabla sur le tampon constitué par les 3 m d'épaisseur de matériaux dans lesquels le caisson se trouvait enfoncé pour résister à la pression hydrostatique extérieure.

Grâce à l'addition d'un robinet vanne dans le cylindre en dessous du niveau des basses eaux, il fut possible de limiter le temps pendant lequel le cylindre était sous pression, au minimum nécessaire pour permettre le fonçage des

pieux et leur démontage des guidages de la sonnette. Cette dernière opération ne put se faire qu'avec l'eau à 1,50 m en dessous de la tête du pieu.

La plus grande pression à laquelle ces caissons furent soumis pendant le travail fut celle qui correspondait à une différence de hauteur de 4,60 m.

Une fois le fonçage des pieux terminé, une semelle de béton d'environ 0,90 m à 1,20 m de hauteur fut coulée dans le fond du caisson, en traversant l'eau, grâce à des bennes spéciales à fonds montés sur charnières qui s'ouvraient pour vider le béton aussitôt qu'après être descendues au fond du caisson, on les relevait pour les sortir, selon le système Panchard.

Après le temps nécessaire à la prise de cette semelle, le caisson fut asséché et des hommes descendirent pour nettoyer la couche de ciment et de boue qui couvrait la surface du béton sur une profondeur de 0,30 m, jusqu'à ce qu'on trouve un sol consistant. On coula alors du béton comme pour les autres piles après avoir décapé les pieux pour donner au béton une forte adhérence et les avoir coupés à un niveau tel qu'ils dépassent d'environ 0,90 m dans les colonnes de la superstructure (fig. 4).

Une description de ces piles ne serait pas complète sans que soient mentionnés les coffrages en acier rivé utilisés pour leur construction. Ces coffrages consistaient uniquement en une tôle d'acier épousant la forme de la surface du béton des colonnes coniques et des traverses en arc; ils étaient convenablement raidis par des cornières pour pouvoir supporter avant la prise le poids mort du béton humide, sans étais extérieurs. Ils étaient relativement légers et les différentes pièces étaint boulonnées sur leur bord replié en équerre. Ils purent être montés et démontés facilement et rapidement sans qu'il soit nécessaire d'employer des spécialistes.

Sur les autres parties de l'ouvrage, on employa la soudure au lieu du rivetage, ce qui offrit l'avantage d'une construction encore plus légère et ne laissant pas dans le béton la marque des têtes de rivets fraisés (fig. 21).

4) Les 4 travées de 15,25 m en béton armé reposent sur des piles semblables en tous points à celles qui ont été décrites ci-dessus, mais de dimensions plus réduites (fig. 3), le diamètre des colonnes étant de 1,82 m au lieu de 2,43 m. Ces piles reposent sur 6 pieux par colonne au lieu de 9, et ont une section de 41×41 cm au lieu de 46×46 cm. L'enfoncement obtenu est plus grand, mais cela est dû uniquement à la plus grande profondeur de la couche de vase au fur et à mesure que le niveau de l'eau augmentait.

Toutes les fondations furent réalisées au-dessus du niveau des hautes eaux de sorte qu'aucun problème particulier ne se présenta pour leur construction, sauf celui de l'accès, sur lequel nous nous étendrons plus loin.

Des coffrages en acier semblables à ceux qui avaient été utilisés pour les piles des travées de 30,48 m furent utilisés également pour ces piles.

5) Le reste du pont sur la partie Sud est constitué par un viaduc en béton armé comportant un tablier de 25 cm d'épaisseur en ciment armé également, formant la voie charretière, cette épaisseur étant réduite à 15 cm d'épaisseur sur les 2 côtés, pour les trottoirs.

Cette semelle prend appui sur des traverses placées à 3 m d'écartement et reposant sur 3 pieux l'un au milieu, l'autre sur la ligne de rive de chaque côté.

Les parties des poutres supportant la partie du tablier formant trottoir sont en cantilever (fig. 2).

Les pieux utilisés sont des pieux en ciment armé de 46 × 46 cm et de 19,80 m de long. Ces pieux sont les plus profonds de tout le pont; ils sont fondés à une profondeur de 15,25 m en-dessous du niveau du sol.

La partie du viaduc aboutissant à la rive d'accès est entretoisée par des éléments horizontaux et en diagonale exécutés en béton armé, coulés en monolithe avec les pieux en 5 groupes d'eléments.

Plateforme pour le montage.

Il a été fait allusion plus haut au problème des accès à assurer le long du pont. Cette question a été de la plus grande importance pour les entrepreneurs et a surtout intéréssé le travail de la partie Sud.

Pendant la période initiale d'étude du plan général de construction, il fallut nécessairement faire un choix entre la solution consistant à se servir d'une installation flottante et celle qui comportait une plateforme temporaire sur laquelle des grues ou autres engins pourraient être installés et déplacés. En raison de la violence de la fluctuation des courants dûs à la marée dans le fleuve, les entrepreneurs décidèrent très sagement d'installer une plateforme sur toute la longueur du pont, avec solution de continuité au droit de la travée mobile pour permettre le passage des bateaux pendant la construction du pont. Cependant, quelle qu'ait été la décision prise autre part, il fut nécessaire de prévoir une plateforme aussi bien pour assurer l'accès au travers des "salants" que le long du pont pour constituer une plateforme de travail. Après plusieurs essais il fut décidé d'abandonner l'emploi des pieux auxquels il aurait fallu donner une longueur trop considérable pour supporter le poids d'un chemin de roulement de grue et de la grue elle-même, solution qui par conséquent aurait été extrèmement onéreuse. On décida à la place de s'appuyer sur un sommier constitué par une série de traverses accolées avec une superstructure en bois, destinées à répartir suffisamment la charge sur la mince couche couverte d'herbes des "salants", de façon à rester en-deçà de sa résistance. Ce système s'est montré tout à fait efficace et a été utilisé également pour la double voie de part et d'autre du pont, voie qui portait la sonnette mobile utilisée pour foncer les pieux.

Dans le fleuve, on utilisa des pieux en bois pour supporter la plateforme qui fut solidement entretoisée par des profilés métalliques en cornières. La voie de la grue prit appui sur des bois de 46 cm d'équarrissage.

Travées en acier et travées en béton armé.

Nous allons entreprendre l'exposé des calculs et de la construction des travées en acier et en béton du pont en repartant de la partie Nord.

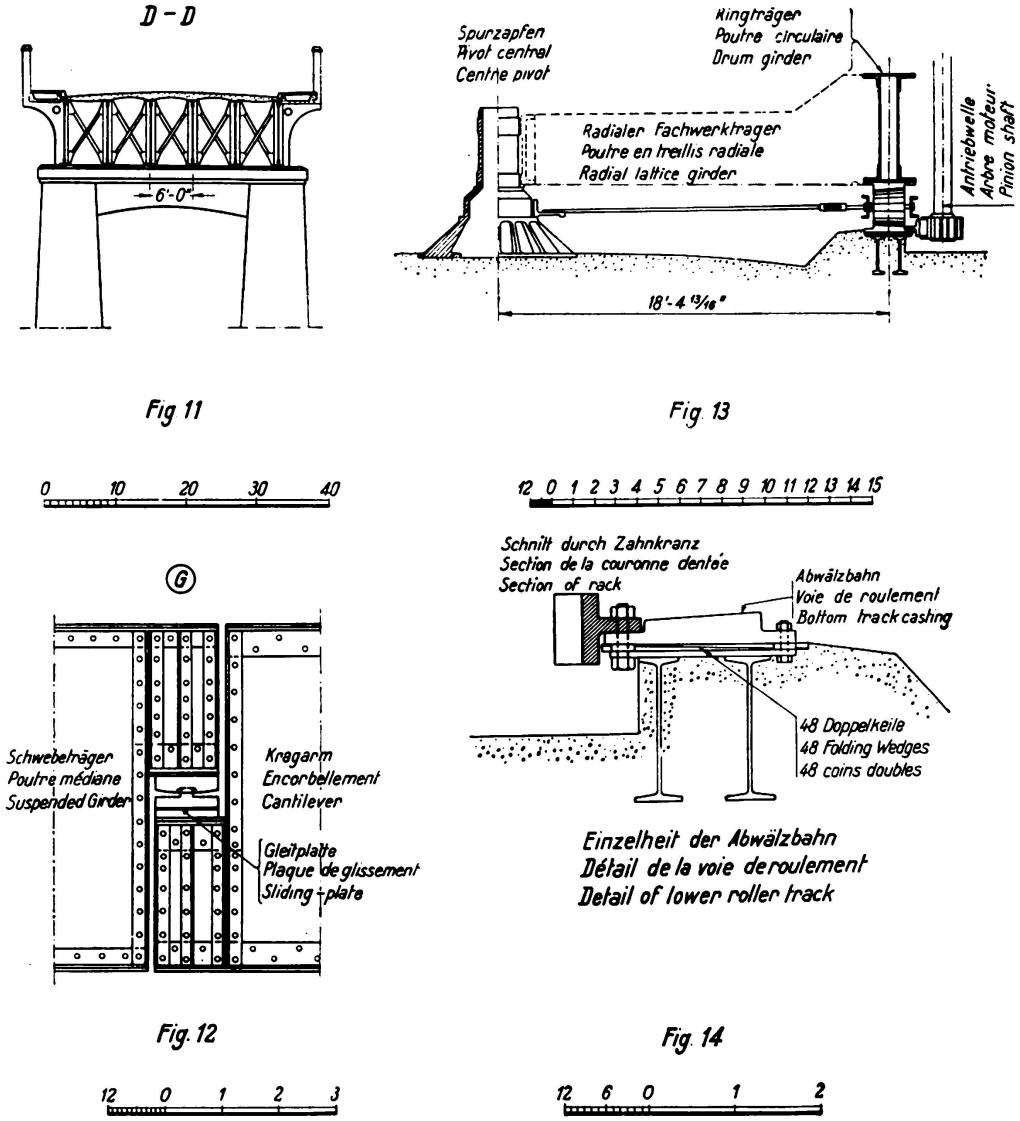
Les travées d'accès sur la partie Nord du fleuve, travées qui franchissent le chemin de fer, sont des travées métalliques continues avec tracé en courbe. On s'arrêta au principe de la continuité pour permettre d'utiliser une forme de poutre en arc qui fût conforme à celle du pont principal.

Leur conception de détail est la même que celle des travées de 30,48 m qui

se trouve décrite plus loin, mais elle se trouve réduite en proportion de leur portée.

La principale différence qu'elles accusent est qu'en raison de la courbure du pont, la voie charretière a dû être légèrement surélevée et élargie au droit du tracé en courbe.

De façon à réduire le poids mort qui aurait été nécessaire, si on s'était contenté d'augmenter sur un coté l'épaisseur de la dalle en béton formant la voie



charretière, pour donner la pente voulue, ce sont les poutrelles métalliques elles-mêmes qui ont été surélevées de l'intérieur de la courbe vers l'extérieur, ce qui a permis de réduire au minimum l'épaisseur du béton qui aurait été nécessaire. Il en est résulté une certaine complication de la charpente métallique, surtout au droit des entretoisements et des consoles portant les trottoirs.

2) & 3) Les travées métalliques de 30,48 m sont calculées suivant le principe des poutres continues successives avec 2 cantilevers à chaque point d'appui alternant avec des éléments plus courts suspendus reposant à l'extrémité des deux cantilevers (fig. 1 et 12).

Ce dispositif a l'avantage d'amener le moment de flexion maximum au droit des points d'appui, où se trouve la plus grande hauteur de poutre, et de simplifier la question des joints de dilatation. La forme en arc des poutres résultant de ce dispositif donne au pont un aspect agréable.

Chaque travée consiste en six poutres placées à des écartements de 1,83 m. Ce sont des poutres à âme pleine avec des raidisseurs en cornières et des membrures en deux cornières et larges plats. Elles ont 2,77 m de hauteur au droit des appuis et 1,58 m au centre. Les poutres sont reliées par des entretoisements en cornières et par un platelage en tôles galbées. Ces tôles sont placées avec la partie concave au-dessus, sur les côtés de la voie charretière et la courbure en dessous, au centre de la voie charretière, de façon à épouser la cambrure du remplissage en béton qui forme la fondation de la chaussée.

Les trottoirs consistent en tôles d'acier recouvertes de béton et supportées par des consoles assemblées dans la hauteur des âmes des poutres extérieures.

Les appuis des poutres sur les piles sont alternativement fixes et à glissement. Les appuis à glissement consistent en plaques de tôle fixées aux poutres et glissant sur des platines en bronze phosphoreux fixées elles-mêmes dans des pièces de repos en fonte boulonnées aux piles. Des fentes sont prévues pour les boulons.

Les appuis des petites travées suspendues se trouvent aux extrémités des cantilevers sur des consoles raidies (fig. 12). Un about est à glissement, l'autre est maintenu en position par une articulation fonctionnant dans un petit logement qui permet un mouvement de balancement au droit du point de contact.

Fig. 15.

Vue d'ensemble du pont, regard en amont vers l'ouest, vue prise du mât nord de la ligne électrique. Les lignes sont visibles sur la photographie.

La conception de ces travées a beaucoup simplifié le problème du montage. La charpente fut approvisionnée par chemin de fer en trois éléments fabriqués en série, à savoir:

I) Pièces composées d'un cantilever et d'un élément semblable de la poutre voisine, ces pièces ayant la forme d'un double cantilever de chaque côté du point d'appui.

II) Tronçons centraux des poutres continues.

III) Petites poutres suspendues complètes.

Les grues de 5 t soulevèrent les pièces en double cantilever (I) à chaque extrémité se déplacèrent avec elles sur la plateforme du côté aval du pont et les mirent en place sur les piles (fig. 16). Une seconde pièce en double cantilever fut montée sur les piles voisines et enfin le tronçon central (II) de la poutre continue fut assemblé aux deux doubles cantilevers, dont les abouts en porte à faux étaint maintenus par une plateforme temporaire en bois.

Cette opération terminant le montage d'une poutre continue et de 2 cantilevers, une deuxième poutre fut montée d'une façon semblable; les deux pièces furent alors entretoisées et ripées ensuite sur une voie jusqu'au côté amont des piles. Le poids de ces deux poutres était d'environ 55 tonnes.

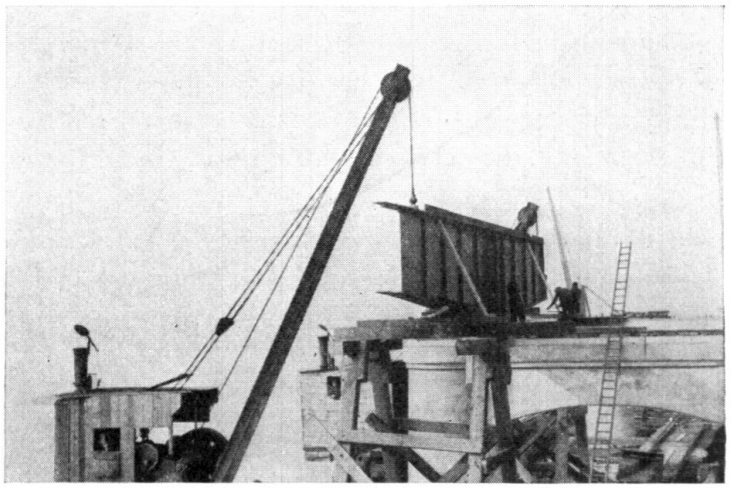


Fig. 16.
Montage des poutres d'acier des grues locomotrices de 100 pieds de portée pendant la pose.

Les autres paires de poutres furent montées d'une façon semblable et ripées en position au moyen de vérins. Cette opération terminait le montage de six poutres sur une paire de piles. Le travail continuait alors en passant aux deux piles suivantes et, une fois les six poutres montées sur ces deux piles suivantes, il ne restait plus à combler que les vides pour les petites poutres suspendues (III). Ces poutres furent également montées sur le côté aval et ripées une par une sur le rail de glissement temporaire placé sur les abouts des cantilevers.

Le rivetage sur le chantier était limité aux assemblages entre les tronçons centraux et les parties en cantilever des poutres continues, aux entretoisements et au platelage en tôles galbées.

La totalité des fers de la partie Sud du pont fut livrée par voie ferrée sur la partie Nord et transportée de l'autre côté du fleuve par des chalands.

Trois travées complètes correspondant à une largeur de deux poutres furent assemblées aux ateliers du constructeur à *Darlington* pour s'assurer de la bonne exécution de la charpente avant de l'expédier sur le chantier, et cette bonne exécution fut clairement démontrée par la suite quand l'ensemble des 14 travées fut monté et assemblé sans aucune difficulté.

4) Les travées d'accès en béton armé de la partie Sud (fig. 3) consistaient en 5 poutres en béton armé écartées de 2,30 m, continues sur deux appuis, avec joints de dilatation tous les 46 m pour lesquels étaient prévues des plaques d'appui en acier glissant sur des sièges en bronze phosphoreux.

Les deux appuis intermédiaires sont simplement prévus pour ne pas former monolithe, par l'interposition d'une couche de bitume entre le dessus des piles et le dessous des poutres. Les poutres ont une forme en arc semblable à celle des travées métalliques et ont 1,73 m de hauteur au droit des points d'appui. Les poutres forment monolithe avec la dalle du tablier qui a 25 cm d'épaisseur, et les trottoirs sont en cantilever vers l'extérieur et supportés par des consoles de façon à imiter la forme des travées métalliques. Les consoles des trottoirs qui, bien entendu, dépassent sur le côté de la poutre extérieure, sont renforcées par des traverses placées dans le prolongement des consoles, entre la poutre extérieure et sa voisine.

Ces consoles et leurs traverses compliquèrent l'établissement du coffrage, qui nécessairement devait se porter lui-même entre les piles. Tout état intermédiaire d'un caractère temporaire posé sur les «salants» aurait été si peu sûr, étant donnée la nature incertaine du terrain, qu'il aurait fallu le considérer comme dangereux.

On utilisa des coffrages en acier; les parties verticales des coffrages de la poutre étant suffisamment fortes pour supporter tout le poids du béton de la travée, y compris le tablier. Il est facile de se représenter combien les larges trémies qu'il avait fallu réserver dans les coffrages latéraux des poutres de rive pour le coffrage des consoles et de leurs traverses, affaiblirent sérieusement la résistance des coffrages formant poutre.

En pratique, les poutres furent coulées séparément jusqu'à la face inférieure du tablier. Des vides furent laissés au droit des points d'appui pour se protéger contre les fissures dûes au retrait et pour permettre le libre déplacement des poutres qui, au début, se comportaient comme reposant sur appuis simples parce que les armatures de tension nécessaires au droit des points d'appui pour la continuité dépassaient à ce moment au-dessus du niveau du béton.

Les coffrages furent enlevés après 7 jours et le platelage du tablier fut monté sur les poutres elles-mêmes, supporté par des boulons qui avaient été noyés dans le béton à cet effet.

Cette méthode avait également pour but de faciliter l'enlèvement des coffrages des poutres.

Les trémies d'attente furent bouchées en coulant le béton de la dalle du tablier.

5) L'ossature du viaduc reposant sur pieux a déjà été décrite plus haut. Il n'y a lieu d'y ajouter que le coffrage qui, pour cette partie de l'ouvrage, fut entièrement en bois et les joints de dilatation qui ont été prévus tous les 15,25 m. Ces joints ont été réalisés en donnant plus de largeur à une traverse sur cinq et en la faisant reposer sur cinq pieux au lieu de trois. L'about libre de la dalle du tablier reposait sur la moitié de cette traverse élargie, la discontinuité était assurée par garnissage au bitume de la surface de repos du béton.

Ces joints travaillent d'une façon très aisée.

Piles de la travée mobile.

Les trois piles de la grande travée mobile sont les ouvrages les plus importants des fondations du pont et pour cette raison occupèrent la plus grande partie du temps.

Elles vont être décrites dans l'ordre dans lequel elles furent éxécutées.

Pile centrale.

La pile centrale qui est celle recevant le pivot fut prévue en forme de cylindre creux de 12,80 m de diamètre, fondé sur le roc, à l'intérieur d'un batardeau en palplanches, à ciel ouvert. Le batardeau fut construit en utilisant des palplanches métalliques Larssen No. 2, et des essais faits pour l'assécher échouèrent à différentes reprises. Ceci était dû, d'une part, à la présence de galets dans la couche de 2,50 m de gravier et d'argile recouvrant le rocher et d'autre part à ce que les parties inférieures des palplanches se gondolèrent et se tordirent, faisant ainsi ouvrir les rainures d'assemblage. Enfin, au cours du dernier essai d'assèchement, alors que le fond du batardeau était réellement découvert par endroits, se produisit au moment des hautes eaux, un très violent remous sous les pieds des palplanches, qui délava les matériaux retenant à l'intérieur le pied des palplanches et souleva une longueur d'environ 4,60 m du rideau de palplanches jusqu'au point où il fut retenu par le moisage inférieur. L'essai de travail à ciel ouvert fut alors abandonné et l'étude de la fondation de la pile fut recommencée.

Le nouveau dispositif consista en 6 caissons de 4,42 m de diamètre qui durent être foncés à l'air comprimé jusqu'au rocher; ces caissons furent prévus de façon que leurs centres forment un cercle de 9,75 m de diamètre (fig. 6).

Ces caissons, qui furent coulés au béton sur toute leur hauteur, furent reliés ensemble, juste au-dessous du niveau de l'eau, par une forte dalle circulaire de béton de 1,20 m d'épaisseur, solidement armée en acier. Sur cette dalle furent montés, suivant la conception première, les murs de la pile cylindrique d'une épaisseur de 1,50 m. Afin de surmonter les difficultés du lestage, qui ont été décrites à propos des caissons utilisés pour les piles des travées de 30,48 m, les six caissons de la pile centrale furent remplis de béton à l'intérieur des chemises en acier des cylindres. Les couteaux furent suspendus à trois paires de vérins par des brides perforées et, à mesure que le béton était coulé dans les cylindres et qu'augmentait le poids sur la plateforme temporaire portant les vérins, les caissons furent descendus sur les brides, en les faisant flotter afin d'obtenir un portage partiel (fig. 23). Les caissons furent finalement descendus jusqu'au fond de l'eau et la fouille commença sous l'air comprimé, jusqu'à ce qu'on obtienne un appui suffisamment stable pour permettre de se dispenser du support par les vérins.

Pile centrale.

Tous ces caissons furent enfoncés sans retard sérieux et d'excellentes fondations descendues d'environ 1,80 m dans du grès dur furent réalisés. Les chambres de travail et le vide de la galerie d'accès furent ensuite remplis de béton et on commença à travailler sur la dalle en béton.

Cette dalle était, comme il est dit plus haut, sous le niveau des basses eaux, mais le batardeau était suffisamment étanche pour permettre de maintenir une légère différence de niveau entre les hauteurs d'eau intérieures et extérieures.

A partir de ce moment, le travail continua sans difficultés spéciales et la pile fut montée au-dessus du niveau des hautes eaux.

A sa partie supérieure, cette pile creuse porte quatre poutrelles métalliques à treillis de 1,98 m de hauteur, disposées radialement en forme de croix et noyées dans le béton. Ces poutrelles supportent le pivot central du pont mobile; toutefois, le poids du pont est porté par les murs de la pile sur un chemin de roulement.

La calotte en béton armé de cette pile repose sur les poutrelles radiales. Tout le béton de cette pile est dosé dans les proportions de $1^1/_2 : 2 : 4$.

Comme protection de la travée mobile sur cette pile, on a construit une jetée en bois, légèrement plus large que la charpente métallique de la travée mobile et d'une longueur de 128 m de bout à bout. S'étendant en aval et en amont, cette jetée est prévue pour aider tout bateau passant sous le pont et qui n'aurait pas sa pleine maîtrise et pour protéger la charpente métallique du pont dans sa position ouverte contre toute erreur d'appréciation de la part du pilote. Le bois utilisé pour cette jetée qui comporte 212 pieux de 36×36 cm de section et de 15 à 18 m de long, est du sapin de la Colombie Britannique; pour le protéger contre la détérioration, le bois a été créosoté sous une pression de 12 kg par millimètre carré. De façon à obtenir une protection aussi sérieuse que possible, la surface des grosses pièces a été incisée avant d'être créosotée.

Le pas de ces incisions de 6,5 mm de profondeur est de 20 cm et les lignes d'incision sont écartées de 25 mm, les incisions étant échelonnées de telle sorte que l'incision sur une ligne vient en face d'un espace entre deux incisions de la ligne adjacente.

Les résultats de consommation moyens obtenus furent de 64 kg de créosote par mètre-cube et l'augmentation de pénétration due aux incisions fut, pour ce bois, de 3,500 kg par mètre carré de surface exposée.

Les travées amont et aval de la jetée furent solidement entretoisées horizontalement pour résister aux collisions et le reste de la longueur fut contreventé dans le plan vertical.

Des boulons, rondelles, contreplaques et crapauds en acier galvanisés furent utilisés pour les attaches. La jetée forma également une plateforme très pratique pour le montage de la charpente de la travée mobile (fig. 22).

Pile d'appui de l'about Nord.

Après l'expérience acquise pour la pile centrale, il fut décidé de ne pas risquer l'exécution de la fondation de la pile d'appui de l'about Nord, à l'intérieur d'un batardeau à l'air libre. La pile, qui était primitivement prévue avec une fondation massive en béton semblable à celle de la pile centrale, fut calculée à nouveau en conséquence (fig. 7).

Deux gros cylindres de 6,40 m de diamètre, furent utilisés ici et descendus sous pression d'air comprimé dans des conditions identiques aux précédentes. Les deux caissons furent établis en béton à l'intérieur de chemises en acier, mais

du fait de leur plus grande dimension, on dut les faire supporter par 4 paires de vérins au lieu de 3.

Comme dans le cas de la pile centrale, une épaisse dalle réunit les têtes des deux cylindres juste en-dessous du niveau des basses eaux et on utilisa le batardeau pour maintenir une légère différence entre les niveaux intérieur et extérieur. La superstructure au-dessus des cylindres de fondation et de la dalle se présente sous la forme d'une pile creuse de section rectangulaire avec les petits côtés en demi-cercle. Les murs ont 1,52 m d'épaisseur à la base, s'amincissant à 1,06 m à la partie supérieure, le vide intérieur étant divisé en deux compartiments rectangulaires et deux compartiments demi-circulaires par des murs de refend de 1,06 m d'épaisseur.

La partie supérieure de la pile est recouverte par un chapeau en béton armé, et, en plus des abouts des poutres de 30,48 m, elle porte les sièges des rouleaux sur lesquels glissent les deux cales qui soulèvent le bec de la travée mobile en position à chaque extrémité; elle porte également un logement pour le verrou de fermeture de la travée mobile et les installations électriques pour amener le pont dans la position de repos et l'axer sur la voie charretière.

Au-dessus du niveau de la voie charretière, cette pile comporte une grande construction formant porte. Cette construction a d'une part un rôle ornemental, et d'autre part, elle est nécessaire pour le logement des grilles de sûreté qui sont descendues horizontalement en travers de la route et du trottoir quand le pont est ouvert pour permettre le passage d'un bateau. Quand la route est ouverte, les grilles sont relevées et abritées à l'intérieur du bâti de la porte.

Pile d'appui de l'about Sud.

La troisième pile de la travée mobile était également prévue pour être construite à l'intérieur d'un batardeau à ciel ouvert, mais en raison de l'incertitude du niveau du bon sol qui ne ressortait pas très clairement des sondages, et de la profondeur excessive avant laquelle on ne pouvait pas rencontrer le rocher, il fut décidé de foncer des pieux pour cette fondation.

76 pieux furent foncés sur le périmètre de la pile, sous les murs, en deux rangées. La rangée extérieure de 42 pieux fut foncée avec un fruit de $^1/_{10}$, les autres verticalement. Ces pieux avaient une section de 46×46 cm et une longueur de 12,20 m; ils furent battus jusqu'à refus avec une pénétration moyenne de 6,10 m sous le niveau du lit du fleuve.

Cette fondation fut traitée très sensiblement de la même façon que les petites fondations des piles des portées de 30,48 m.

Le batardeau fut foncé jusqu'à une pénétration d'environ 4,57 m et le sol fut creusé à l'intérieur par excavatrice jusqu'à une profondeur de 3,05 m sous le niveau du lit du fleuve. Les pieux furent ensuite foncés et 90 cm. de béton furent coulés dans le fond, à travers l'eau. Après la prise de ce béton, le batardeau fut asséché à la pompe et la construction poursuivie à l'intérieur (fig. 5).

La base de la pile consiste en un lit de 1,80 m de béton, et au-dessus de ce niveau, la superstructure est la même que pour la pile d'appui de l'about Nord.

Les pieux furent retaillés ou décapités et les armatures incorporées dans le béton des murs de la pile.

Pour toutes ces 3 piles, le revêtement de la face extérieure a été executé sur charpente métallique soudée, ce qui a présenté un intérêt particulier pour les encorbellements en courbe de la partie supérieure des piles (fig. 21).

Le pont mobile.

La partie métallique du pont mobile a 102 m de long de bout à bout et, une fois fermée, franchit 2 ouvertures de 45,72 m de largeur libre.

La voie charretière de 9,14 m passe entre les 2 poutres du type Warren de la travée, à un niveau légèrement supérieur à celui de la membrure inférieure. Les trottoirs sont placés en cantilever sur des consoles faisant saillie sur les éléments verticaux de la ferme. Le poids du pont, qui est de 1600 t, repose sur 60 rouleaux en acier moulé que se déplacent sur une voie, en acier coulé également, reposant sur la partie centrale du mur de la pile centrale.

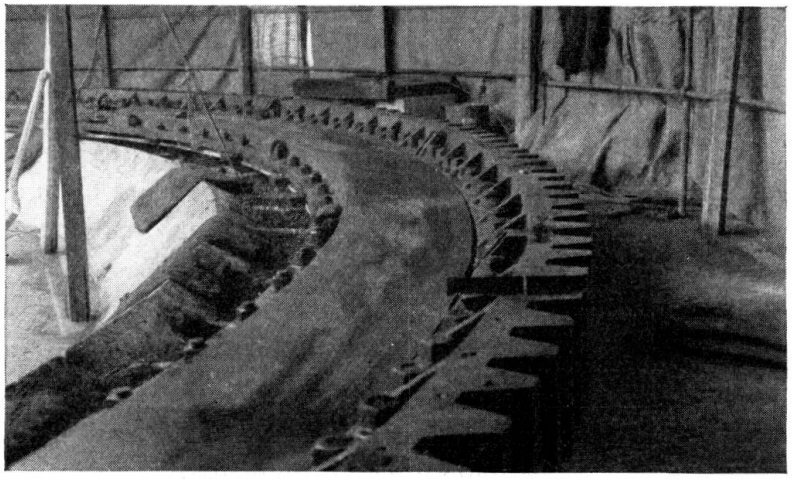


Fig. 17.
Pont tournant. Pièces d'acier coulé inférieures pour chemin de roulement boulonnées, avec couronne dentée.

Commençant notre description de bas en haut, nous parlerons d'abord du chemin de roulement. La fondation de ce chemin de roulement consiste en une poutre à caisson circulaire comportant deux flasques de 51 cm de hauteur avec un chapeau de 22 mm d'épaisseur. C'est sur cette poutre que furent posés les éléments en acier moulé du chemin de roulement. Pour assurer le réglage de niveau, 48 paires de cales en acier usiné furent placées entre la fondation et les pièces coulées du chemin de roulement, de plus, les logements de ces cales furent meulés. Les pièces coulées du chemin de roulement furent mises en place et ajustées sur des cales provisoires pour assurer l'inclinaison radiale et le niveau circonférentiel, à 4 dixièmes de millimètre près.

Afin de donner au chemin de roulement son inclinaison exacte, les paires de cales furent ensuite vérifiées, au moyen d'un calibre au dixième de millimètre, entre elles-mêmes et leurs surfaces d'appui supérieures et inférieures. Toute erreur d'inclinaison fut rectifiée et les cales remises en place.

Enfin, le niveau circonférentiel fut vérifié, et une fois reconnu exact, dans les limites possibles de la précision, les pièces coulées du chemin de roulement, les cales et la plaque de fondation furent percées simultanément et boulonnées à l'aide de boulons décolletés (fig. 14).

Les vides entre les cales furent ensuite remplis avec un mortier de ciment et sable dosé à 1 : 1, fortement damé à sec.

Une crémaillère en acier coulé fut boulonnée sur les pièces coulées du chemin de roulement et les rouleaux en acier coulé furent assemblés. Ces rouleaux furent groupés en cages, de section en U, par groupes de cinq, un rouleau sur deux possédant un axe relié au coussinet central, qui tourne lui-même sur tourillon décolleté, sur le pivot central.

Les pièces coulées du chemin de roulement supérieur qui sont semblables à celles du chemin de roulement inférieur, furent placées sur les rouleaux et une poutre circulaire très rigide de 1,52 m de hauteur, de section rectangulaire, fut descendue sur ces rouleaux (fig. 19, voir aussi fig. 17 et 18).

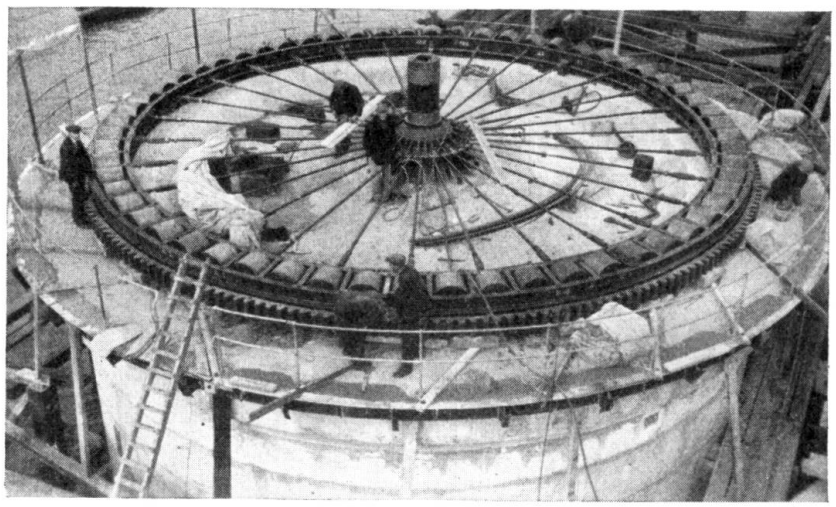


Fig. 18.
Pont tournant. Pivot, guidage radiale, rouleaux en acier coulé avec couronne dentée boulonnée. Sur la pile No. 11.

Cette poutre circulaire en caisson a pour but de répartir le poids du pont aussi également que possible sur les rouleaux; les pièces coulées de la voie supérieure furent ajustées en partant de la plaque formant l'aile inférieure et en intercalant de minces garnitures jusqu'à ce qu'une jauge d'épaisseur d'un dixième de millimètre ne puisse être introduite en aucun point entre un rouleau et le chemin de roulement supérieur.

La poutre en caisson et la superstructure furent déplacées en différentes positions pour permettre cet essai.

La poutre en caisson est entretoisée radialement sur le pivot central du pont par des poutres en treillis boulonnées sur pièces coulées tournant sur deux tourillons décolletés montés sur le pivot, en haut et en bas (fig. 19). Ces poutres à treillis supportent le plancher de la salle des machines et les machines.

La poutre en caisson supporte le poids du pont en 8 points. Ces 8 points sont les points d'appui de 4 poutres très hautes, soit 2 par poutre. Ce sont les

poutres principales de répartition qui font corps avec la section centrale de la membrure inférieure. Elles comprennent des poutres en caisson de 2,54 m de hauteur et deux poutres maîtresses, en croix, de 3,35 m de hauteur qui sont des poutres à âme pleine renforcées, placées en travers de l'axe du pont.

L'espace compris entres les 4 parois formées par ces 4 poutres est utilisé comme salle des machines.

Les poutres principales du pont sont de construction normale; les membrures supérieures et inférieures sont en caisson, un côté au moins étant en treillis. Les diagonales ont des sections en H constituées par une âme et 4 cornières à boudin. Les éléments verticaux sont en poutrelles. Toutes les sections ont 560 mm de hauteur. Le tablier est supporté par des poutres de 508 mm placées longitudinalement à 1,53 m de distance sur des traverses écartées de 6,17 m et de 1,52 m de hauteur.

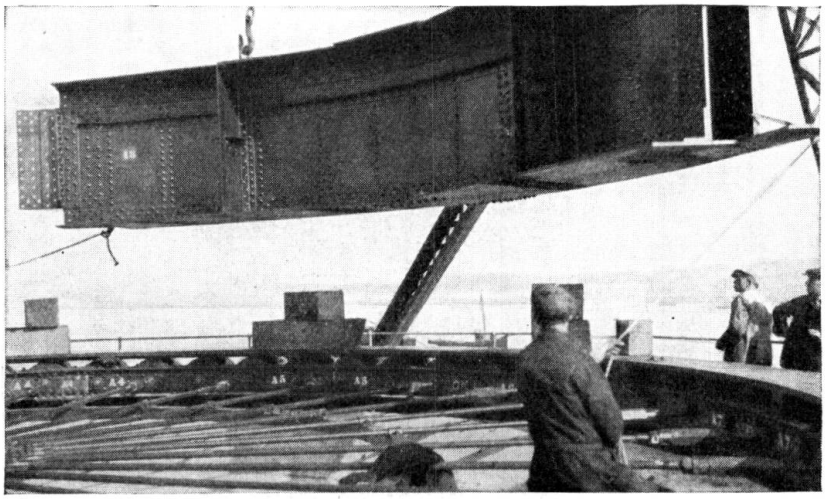


Fig. 19.
Pont tournant. Pose de la poutre du tambour sur le guidage à rouleaux supérieur.

Le tablier est en tôles galbées semblables à celles des travées de 30,48 m et, comme celles-ci, recouvertes de béton.

Sur la travée mobile, le béton comporte par endroits des joints articulés remplis de bitume et scellés par un feuillard ondulé en cuivre. Un système de contreventement triangulaire en éléments légers à treillis, réunit les deux membrures supérieures et entre ces éléments, au centre du pont, est placée la cabine de l'opérateur, d'où est commandée l'ouverture du pont.

Machines.

Le mouvement du pont et sa commande sont électriques.

Le pont est mû par un double système à pignon et crémaillère, cette dernière étant montée sur la pile est par conséquent fixe. Les deux pignons tournent dans des coussinets fixés au pont et par conséquent tournent avec lui. Les pignons sont actionnés par des arbres verticaux de 241 mm de diamètre, reliés par des engrenages coniques à des arbres principaux horizontaux passant au travers des parois de la salle des machines, c'est-à-dire des âmes des poutres principales transversales. Ces arbres principaux horizontaux sont actionnés par

un train réducteur à engrenages que commandent deux moteurs à courant continu de 50 chevaux. Les deux commandes sont entièrement indépendantes (fig. 20).

La fourniture de la force au pont est assurée en courant alternatif par la compagnie locale d'électricité; par un câble passant le long du pont, descendant dans le fleuve de façon à arriver à la pile centrale dans laquelle il entre par une canalisation traversant la paroi au-dessus du niveau des hautes eaux, et de

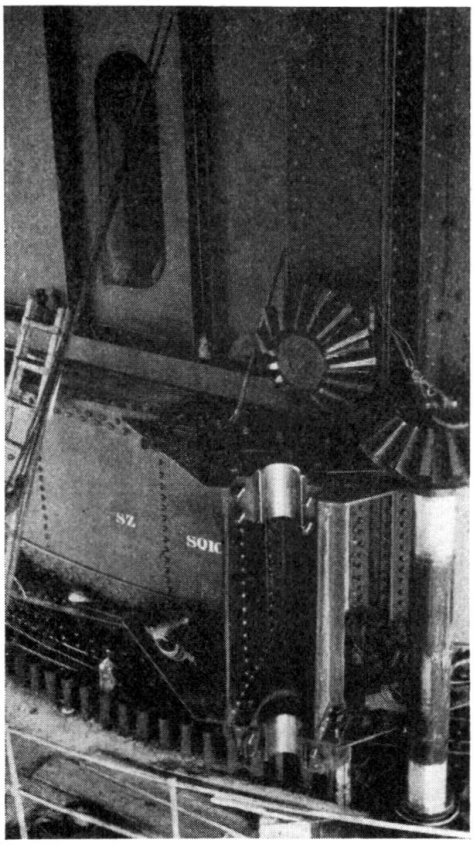


Fig. 20.

Pont tournant. Mécanisme de commande avec roues dentées coniques, couronne dentée, trou d'homme pour le passage dans la salle des machines.

là, après avoir été divisé en plus petits cables, il atteint la salle des machines par l'arbre creux du pivot central et arrive à une série verticale d'anneaux collecteurs et de contacts par balais. Le courant alternatif est transformé pour être utilisé dans les moteurs à courant continu par un groupe Ward Leonard; un groupe de secours est également prévu, au cas de défaillance dans la fourniture normale; il consiste en un moteur Diesel à injection massive de 150 CV, à 4 cylindres opposés horizontalement, qui actionne une dynamo de 40 CV à courant continu et un alternateur de 36 CV pour l'éclairage du pont. Pour la force hydraulique actionnant les cales et verrous de fermeture, il est prévu un moteur à courant continu de 25 CV, couplé à une pompe à huile à six cylindres dont quatre travaillent à 210 kg/cm² et deux à 70 kg/cm². Les premiers actionnent les cales et les seconds les verrous de fermeture. Toute cette machi-

nerie, y compris le système habituel de démarrage à air comprimé pour le moteur Diesel, est commandée à distance depuis la cabine.

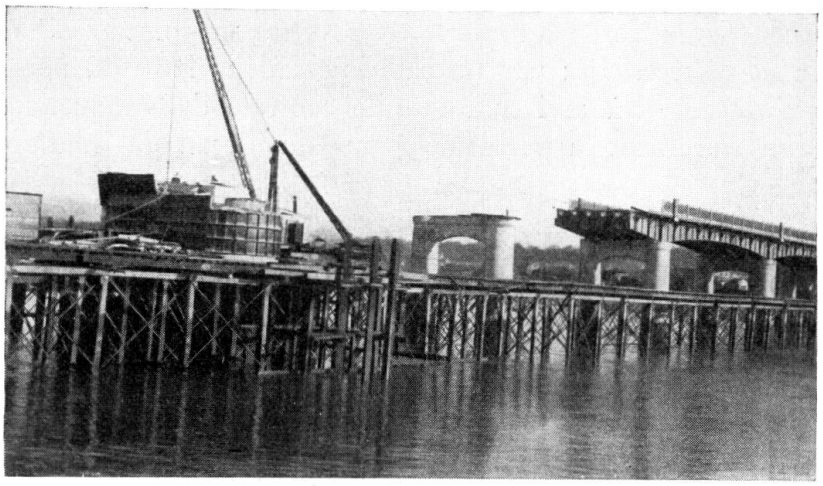


Fig. 21.
Pile No. 10 pendant la construction. Coffrages soudés, bras de levier avec consoles pour la suspension des poutres transbordeuses. Plate-forme sur pieux.

Note sur le mode de fonctionnement de la travée mobile.

Etant donné la dimension exceptionnelle de la travée mobile, toutes les précautions ont été prises pour s'assurer que les différentes opérations d'ouverture et de fermeture de la travée s'exécutent automatiquement dans un ordre convenable et régulier par commande électrique, de façon à éliminer les risques d'accidents dûs à une erreur de la part de l'opérateur. De plus, le doublement des organes essentiels et des commandes a été assuré partout ou celà était possible, en vue d'empêcher un arrêt complet des opérations dans l'éventualité d'un défaut se manifestent sur l'un quelconque des éléments.

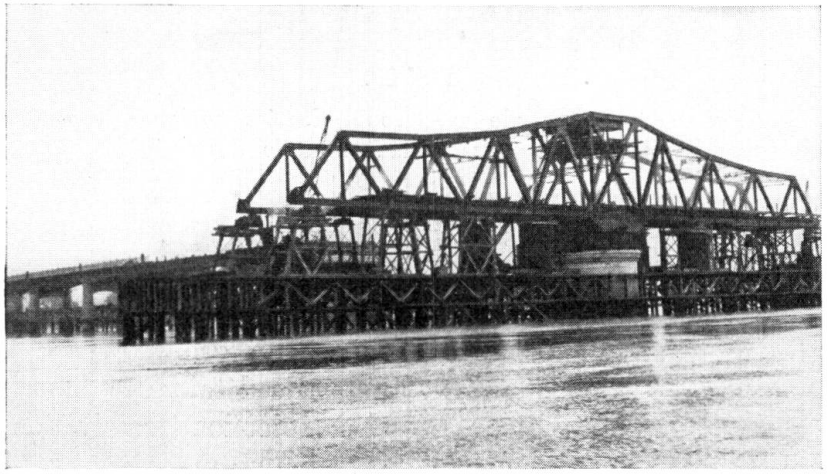


Fig. 22.
Pont tournant, montage presque terminé. Quai de débarquement en bois définitif. Echafaudage.

L'opérateur se tient à un tableau dans la cabine, d'où, en tournant un volant, il exécute les opérations dans leur ordre normal, l'exécution de chaque opération étant indiquée sur le tableau par des signaux lumineux de couleur.

L'opération de fermeture de la voie charretière et de l'ouverture du pont à la navigation se déroule comme suit:

1) On met le courant sur le groupe Ward Leonard et sur les pompes.

2) Les signaux pour le trafic de la route aux deux extrémités du pont passent du vert au rouge et la cloche d'avertissement sonne. Arrêt jusqu'à ce que l'aide placé sur la voie charretière indique par gong à l'opérateur dans sa cabine que la voie est libre de tout trafic de véhicules ou de piétons.

3) Les grilles sont abaissées en travers de la voie charretière et du trottoir aux deux extrémités du pont. La lumière rouge à l'extrémité de la jetée tourne au jaune, le bras du sémaphore tombe et la sirène retentit pour indiquer au bateau que le pont est sur le point d'être ouvert.

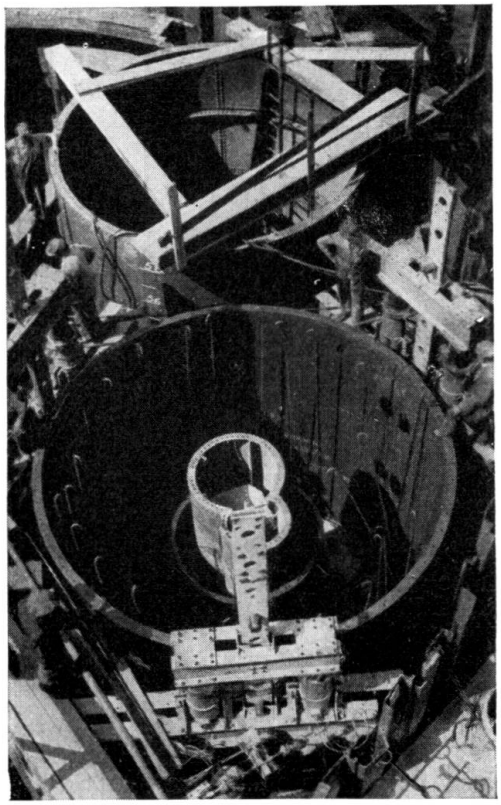


Fig. 23.
Pile mitoyenne No. 11. Puits foncé à l'air comprimé. Cheminée de la cloche, coffrage intérieur, ferraillage, puits suspendu aux fers plats percés. Voir également fig. 8, 9, 10.

4) Les cales bloquant les abouts du pont sont retirées par pression hydraulique.

5) Le verrou de fermeture est retiré par pression hydraulique.

6) Le pont est manoeuvré à 90° jusqu'à sa position d'ouverture. L'accéleration jusqu'à une vitesse maximum uniforme et le freinage à la fin du déplacement sont controlés automatiquement par des interrupteurs de fin de course.

7) Une deuxième lumière rouge à l'extrémité de la jetée tourne au jaune et un autre bras du sémaphore tombe pour indiquer que le passage est libre pour la navigation. Une sirène retentit également.

Pour la fermeture du pont, les opérations se font en sens inverse. Il est

possible, en manoeuvrant le volant dans la cabine, de faire ouvrir ou fermer le pont dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse, ou encore bout pour bout, comme on le désire (fig. 23).

Pour s'assurer du centrage exact du pont, un dispositif photo-électrique a été incorporé. Il comporte une rampe de 3 lampes de couleur sur le tableau de commande; l'allumage de la lampe à l'une ou l'autre extrémité de la rampe indique que le pont est presque centré, alors que la lampe centrale, quand elle est allumée montre que le pont est centré à 38 mm près, c'est-à-dire suffisamment près du centre pour que les verrous de fermeture puissent être rentrés dans leur logement. Les deux verrous de fermeture et les 4 cales sous les abouts du pont ont chacun une course de 69 cm et leur mouvement relatif est indiqué sur le tableau de commande par des cadrans. Une avarie survenant à l'un de ces organes, est immédiatement signalée sur le tableau par une lumière d'alarme, et l'opération s'arrête. Une pompe à main est installée dans la salle des machines pour permettre à la cale ou au verrou défectueux d'être actionné par ce moyen.

En cas d'accident à l'une quelconque des lampes essentielles de contrôle du trafic, un signal lumineux d'alarme l'indique immédiatement dans la cabine.

L'opération entière d'ouverture ou de fermeture du pont dure 4 minutes, savoir:

Retrait des cales	1 1/2	minutes
« « verrous de fermeture .	1/2	«
Rotation du pont à 90 degrés . .	2	«
Total	4	minutes

Les bateaux circulant sur le fleuve passeront à l'emplacement du pont dans une période qui précède ou suit les hautes eaux d'une ou deux heures. Il sera nécessaire, par conséquent, que le personnel du pont soit toujours en fonctions, pour l'entretien, etc. On se propose d'avoir trois équipes d'opérateurs et d'aides, chaque équipe travaillant par période de 8 heures.

Résumé.

La construction du pont qui traverse le fleuve du Forth a été décidée par un comité réunissant les autorités locales intéressées; le Ministère de Transports contribua largement au financement.

Le pont a été construit à l'emplacement le plus à l'Est qui soit compatible avec un prix modéré. Le pont améliorera les communications par route entre *Glasgow* et *Edimbourg* et le Nord-Est de l'Ecosse.

Le trafic fluvial a nécessité la construction d'une grande travée mobile, et les conditions de l'emplacement ont éxigé un pont de 800 m de long, dans lequel des types très différents de construction ont été employés.

Les fondations de la moitié Nord sont toutes sur roc à des profondeurs raisonnables. Des caissons à air comprimé adaptés d'une façon simple sur des caissons à air libre ont été largement utilisés pour ces fondations. Dans la moitié Sud du pont, on a utilisé des pieux en béton armé de 46×46 cm de section et de 20 m de longueur.

Les quatorze travées de 30 m sont construites en poutres métalliques à raison de six par travée, utilisant le principe des poutres cantilever et suspendues.

La tablier, qui a 9,14 m de large, est formé de tôles d'acier galbées, couvertes de béton et d'un enduit bitumineux.

Sur toute la longueur du pont, les deux trottoirs de 1,52 m de largeur chacun, sont portés, de chaque côté de l'ossature principale, par des consoles.

Les travées d'approche du côté Nord sont construites en courbe et sont métalliques, avec surélévation latérale réalisée dans la charpente elle-même.

L'approche du côté Sud consiste d'une part en 9 travées de béton armé de 15,25 m de portée, composées chacune de cinq poutres et d'autre part en 79 m de longueur totale de viaduc reposant sur pieux. Les travées de 15,25 m ont impliqué un travail de coffrage assez délicat. Les coffrages du béton sur toute la longueur du pont furent métalliques.

Il y a trois grandes piles supportant la travée mobile, dont deux fondées sur le roc en utilisant des caissons à air comprimé; la pile Sud a été fondée sur pieux.

La travée mobile de 105 m de longueur, constitue un pont tournant du plus grand modèle, d'un poids mobile de 1600 t.

La voie de roulement supportant le pont a nécessité un travail de précision très important.

Le pont mobile lui-même est constitué par une poutre continue du type Warren, avec un tablier en tôle d'acier couvert de béton pour la voie charretière.

Les machines, qui sont commandées électriquement, sont disposées sous la voie charretière et commandées à distance par une cabine suspendue entre les poutrelles au-dessus de la route. Les cales et les verrous de fermeture sont commandés électriquement et un dispositif photo-électrique est utilisé pour centrer le pont d'une façon précise.

Il est prévu un groupe générateur de secours actionné par un moteur Diesel.

Le pont peut être ouvert en quatre minutes.

Leere Seite
Blank page
Page vide