

Fig. 1. — Vue d'ensemble du barrage, prise de l'amont. La flottaison est environ 62,45 au moment de la prise de vue ; le barrage relèvera ainsi le plan d'eau de 2 m.

LE BARRAGE ÉCLUSÉ DE RAMET-IVOZ, SUR LA MEUSE

PAR G. WILLEMS, INGÉNIEUR PRINCIPAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,
CHARGÉ DE COURS A L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES.

Aperçu historique.

Jusqu'en 1838, aucun travail d'amélioration générale n'avait été entrepris pour assurer en tout temps à la Meuse belge de bonnes conditions de navigabilité.

Il ne fut possible d'apporter à cette voie d'eau les aménagements conçus suivant des vues d'ensemble qu'après le vote de la loi du 31 décembre 1838 qui confia à l'Etat l'administration de la Meuse. Outre la réalisation d'un chemin de halage au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables, l'amélioration du fleuve fut poursuivie par des travaux de régularisation de son lit. C'est ainsi que furent créées des passes navigables en barrant, au droit des îles, certains bras par des jetées, immergées en période de hautes

eaux. Le programme adopté avait comme objectif d'assurer un mouillage permanent minimum de 1^m,50, même en période faible étiage.

Entretemps avait été décidée la construction d'un canal latéral à la Meuse, de Liège à Maestricht, pour bateaux de 1^m,80 d'enfoncement, nécessitant un mouillage de 2^m,10.

Semblable mouillage de 2^m,10 ne pouvant être obtenu en Meuse par de simples travaux de normalisation dont question ci-dessus, ceux-ci furent abandonnés et un nouveau programme, envisageant la canalisation du fleuve par l'échelonnement le long de son cours de barrages avec écluses accolées fut arrêté. Les travaux déjà exécutés ne furent certes pas inutiles à la canalisation, car l'abaissement des hauts fonds permit, notamment, d'allonger les biefs.

La canalisation commença en 1853 par le barrage-écluse de Liège-Fonderie. Les crues importantes et les débâcles de glace exigeant que le libre cours du fleuve puisse être rétabli, un barrage mobile du type Poirée fut préconisé, comprenant, outre les deux passes, fermées par des rideaux d'aiguilles en bois appuyées contre des fermettes amovibles, un déversoir fixe longitudinal dans le but de réduire la fréquence des manœuvres de la retenue mobile. Les dimensions utiles de l'écluse étaient de $56^m,75 \times 9$ m.

La canalisation, activement poursuivie et terminée en 1880, intéressa tout le cours de la Meuse en territoire belge, sauf une section de 6 km. environ s'étendant en aval de Liège, entre Liège-Fonderie et le pont de Wandre où elle ne fut pas jugée nécessaire en raison de la construction du canal latéral Liège-Maastricht.

Au cours de l'exécution de ce vaste programme des modifications y furent apportées, tant au point de vue du type des barrages qu'à celui des normes des écluses. En effet, pour la section en amont de Namur des applications des barrages à hausses Chanoine furent réalisées (la passe profonde, réservée à la navigation lorsque le barrage est couché, continuant à être fermée par un barrage Poirée) et la navigation par trains de bateaux remorqués se substituant progressivement au halage de bateaux isolés, les dimensions utiles des écluses furent portées à 100 m. sur 12 m.

La Meuse, depuis la frontière française jusqu'à Visé, comptait ainsi pour un parcours de 128 km., 23 barrages éclusés, avec des biefs d'une longueur de $5^{\text{km}},5$ en moyenne.

A peine les derniers ouvrages de la haute Meuse achevés, la nécessité apparut de doter également le cours du fleuve en aval de Namur, d'écluses de mêmes dimensions que celles réalisées en amont. Dès 1886, ces travaux furent entamés en partant de Namur et se limitèrent à accoler uniquement aux barrages déjà existants une écluse nouvelle de grande section sans apporter, par conséquent, des modifications dans la longueur des biefs. La dernière écluse, notamment celle de Ben-Ahin, exécutée conformément à ce programme, fut terminée vers 1925.

Grâce à la Commission Nationale des Grands Travaux instituée par Arrêté Royal du 1^{er} mars 1927 et au Fonds spécial et temporaire des grands travaux, créé par la loi du 24 avril 1928, il fut

possible d'envisager, pour la section de la Meuse, entre Ben-Ahin et Visé, la réalisation d'un nouveau programme de canalisation tenant compte des exigences d'une navigation rationnelle et économique et des possibilités de la technique moderne en construction de barrages.

Ce vaste programme conçu en 1922 par MM. Van Wetter, Ingénieur en Chef Directeur des Ponts et Chaussées, Lambermont et Lekenne, Ingénieurs principaux, avait également comme objectifs de protéger la région liégeoise des inondations calamiteuses, dont celle de 1925-26 avait péniblement ravivé le souvenir, de récupérer l'énergie hydroélectrique, et enfin, de border la Meuse de routes nouvelles.

Ces nouveaux travaux de la Meuse s'intégrant dans ceux prévus par le Fonds des grands travaux comprenant entre autres la construction du canal Albert, l'amélioration de la Sambre et celle du canal de Charleroi entre Clabecq et Bruxelles, constituent un facteur important de la vitalité économique de l'industrie mosane.

L'examen de l'ancien profil en long de la Meuse entre les barrages de Ben-Ahin et de Liège-Fonderie, d'une longueur de 40 km., indique qu'avant la mise en exécution du nouveau programme, la chute totale de $11^m,15$ est rachetée par sept barrages soit une chute moyenne pour chaque ouvrage inférieure à $1^m,60$ et une longueur moyenne de bief de 6 km. environ. On voit donc immédiatement qu'une canalisation moderne ne pourrait se concilier avec des écluses aussi rapprochées, qui diminuent notablement la vitesse commerciale des bateaux.

D'autre part, malgré la faible chute, les barrages Poirée, de hauteur de retenue limitée, avaient nécessité le surélévement des seuils par rapport au plafond moyen de la Meuse. Ces seuils, formant barrage noyé, provoquent un exhaussement dangereux des eaux de crues.

Pour améliorer les conditions de navigation et pour lutter contre des inondations redoutables, il était donc nécessaire de recourir à des barrages mobiles à grande retenue permettant, d'une part, d'allonger les biefs et, d'autre part, de situer les seuils de ces ouvrages en dessous du plafond moyen.

Dans le choix de type de barrage pour la nouvelle canalisation, il importait d'écartier les autres inconvénients suivants, des barrages à fermettes :

1
d'ef
d'en
traî
gati
2
si u
celu
3
cor
ble
péri
4
exer
en 1
5
d'ui
les e
renc
sant
déb
P
élér
van
féré
déci
à tr
bas
taise
diff
E
Visé
grai
rage
Moi
Hu
à 3
de r

(70

(672

Ec

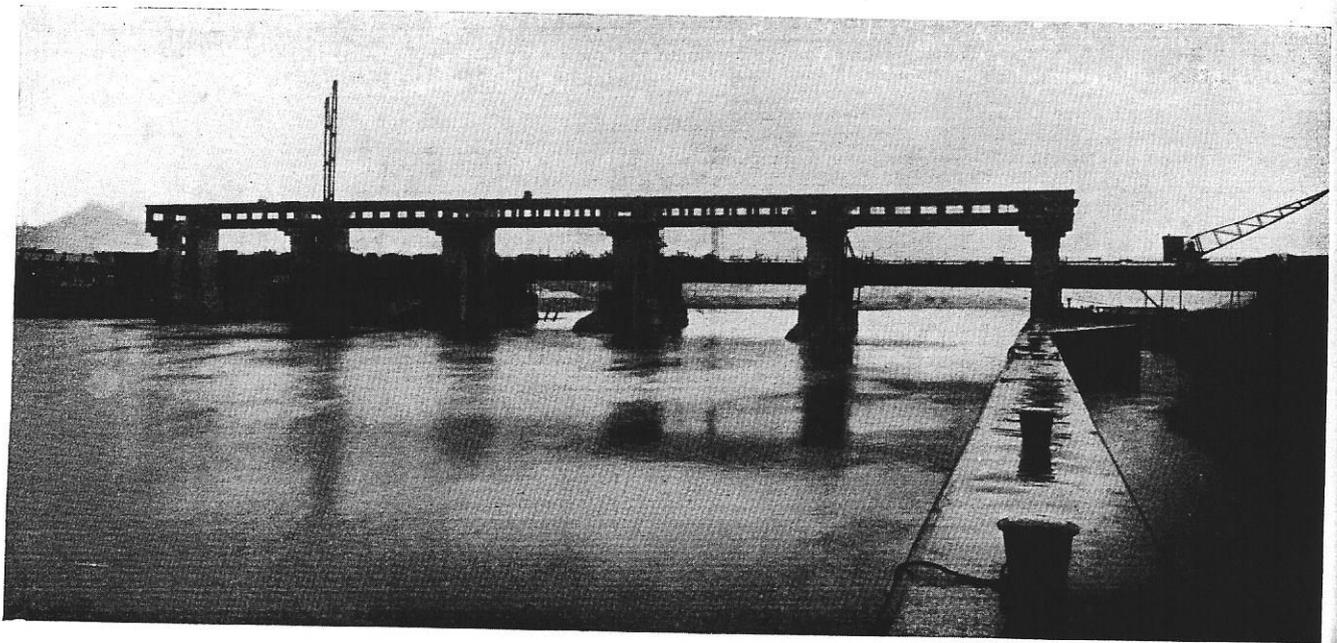


Fig. 4. — Vue d'ensemble du barrage, prise de l'aval. A droite, la grande écluse.

Caractéristiques générales des ouvrages de Ramet-Ivoz.

Au barrage sont accolés : une petite écluse de 55 m. \times 7^m,50 pour bateaux isolés, et une grande écluse de 136 m. \times 16 m., pour trains de bateaux ou bateaux isolés de fort tonnage, pouvant jauger 2000 tonnes. De plus, un emplacement a été réservé pour permettre la construction dans l'avenir d'une écluse de 260 m. \times 16 m. si l'accroissement de trafic venait à l'exiger.

De larges chenaux d'accès limités par la rive droite et des môles, chacun de 500 m. de longueur environ, permettront aux trains de bateaux de s'approcher de la grande écluse ou de

la quitter à l'abri des courants passant par le barrage. Le tracé des môles a été étudié de manière à englober également l'écluse future.

La petite écluse, destinée en ordre principal au trafic rapide de bateaux automoteurs, est placée en dehors de ces môles et a ses chenaux d'accès propres de manière à rendre son exploitation entièrement indépendante des grandes écluses. Profitant des piles de barrages, un pont-route a été prévu passant en aval de la retenue et des sas d'écluses.

Les plans de l'écluse de 136 m. \times 16 m. furent dressés par M. Lambermont, qui devait peu après quitter le service de la Meuse pour assurer la

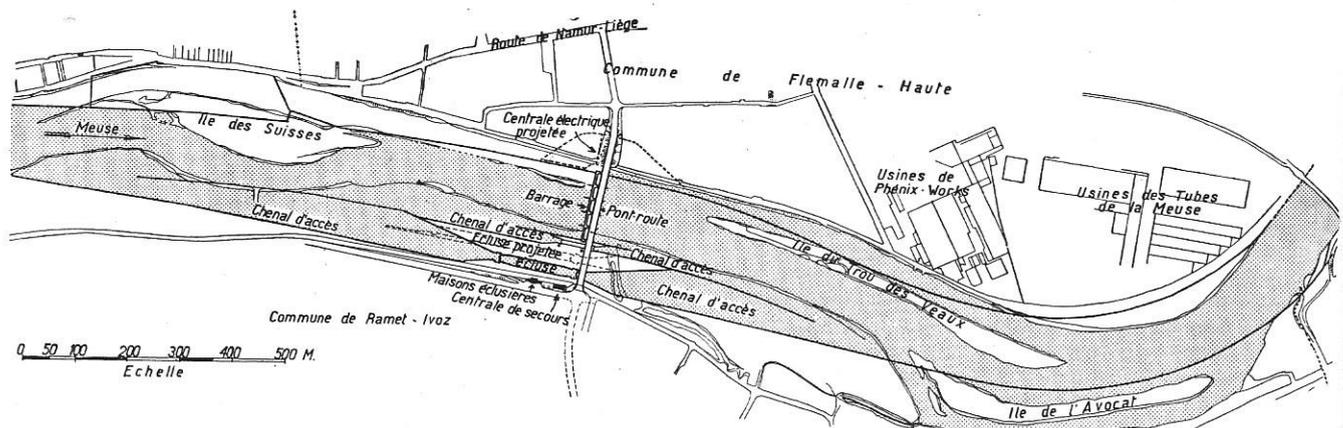


Fig. 5. — Plan de situation schématique des ouvrages de Ramet-Ivoz.

direction du Service spécial du Canal Albert à Liège.

L'étude complète des autres ouvrages a été faite par l'auteur de ce mémoire, sous la direction de M. L. Van Wetter, actuellement Directeur Général des Voies Hydrauliques.

L'exposé qui suit se limitera à ces derniers ouvrages, notamment au barrage, à l'écluse de 55 m. \times 7^m,50 et au pont.

Caractéristiques générales du barrage.

Le barrage comprend cinq pertuis de 24 m. d'ouverture séparés par des piles de 3 m. d'épaisseur. Chaque pertuis est fermé par une bouchure principale, réalisant normalement la flottaison (64,45) mais pouvant néanmoins maintenir, quand c'est nécessaire, les eaux à la cote (64,70).

La chute théorique qui existera notamment par débit d'étiage, variera ainsi de 4^m,45 à 4^m,70; d'autre part comme le radier est arasé au niveau (57,35) du futur thalweg situé à 70 cm. au-dessous du plafond moyen, la hauteur de retenue maximum de la bouchure est de 7^m,35.

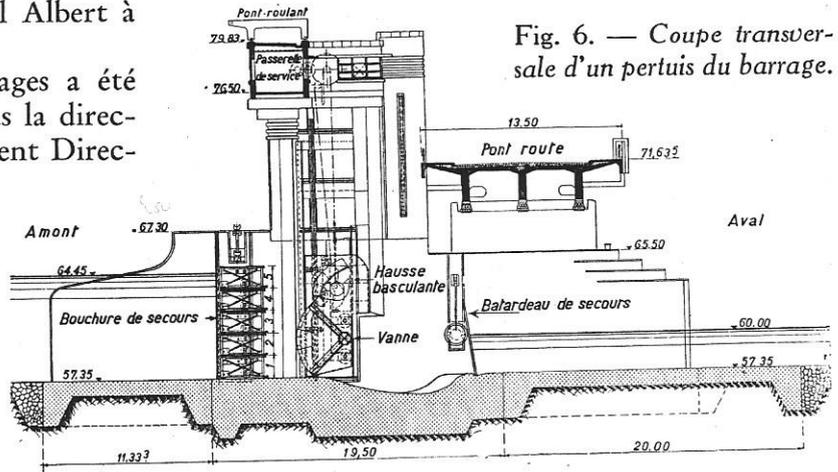


Fig. 6. — Coupe transversale d'un pertuis du barrage.

La bouchure principale est conçue de manière à permettre l'écoulement de débits ordinaires par écoulement de superficie au-dessus d'une hausse basculante, et celui des débits plus importants par une veine de fond grâce à une levée progressive de toute la vanne.

Si l'écoulement par déversoir est peu dangereux au point de vue de l'érosion du lit de la rivière en aval du barrage, il n'en est pas de même du débit de fond qui peut provoquer par tourbillon à axe horizontal des affouillements immédiatement en aval du radier au point de

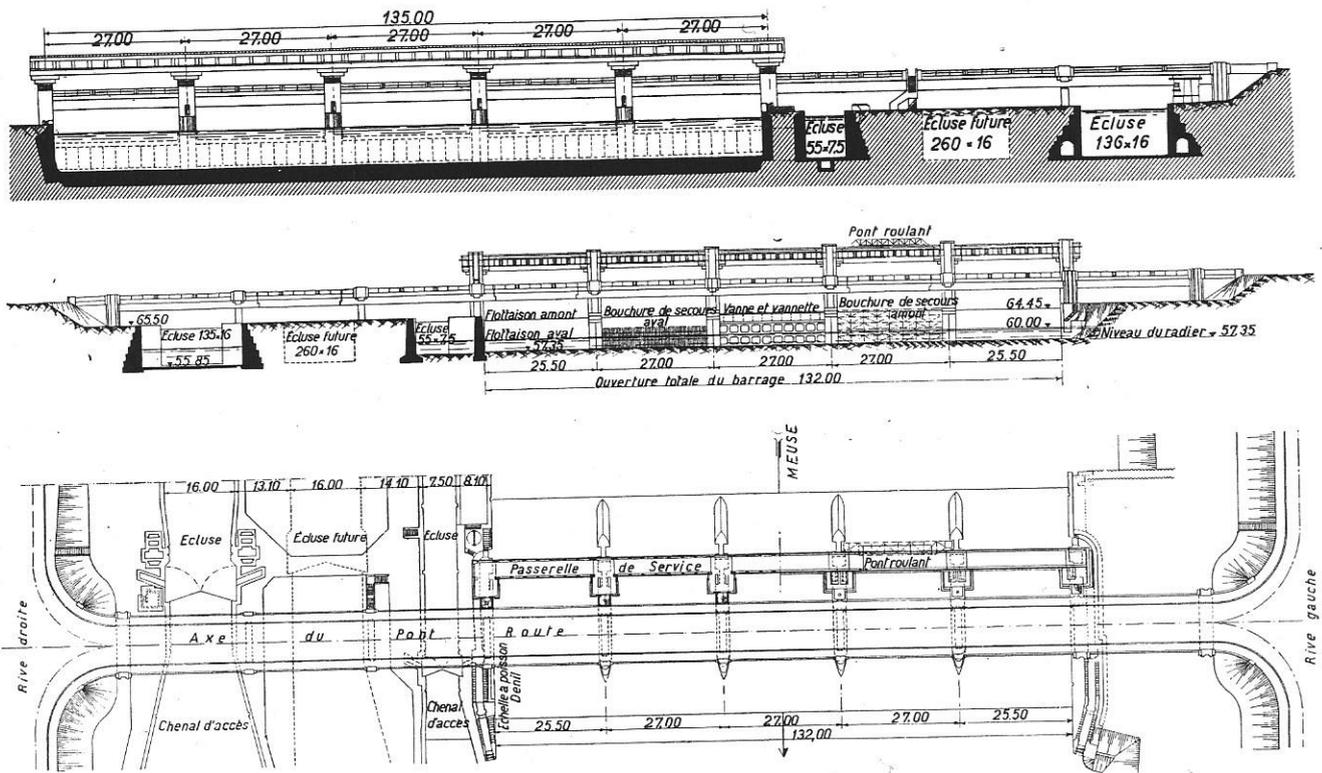


Fig. 7, 8 et 9. — Elévation amont, élévation aval et plan du barrage.

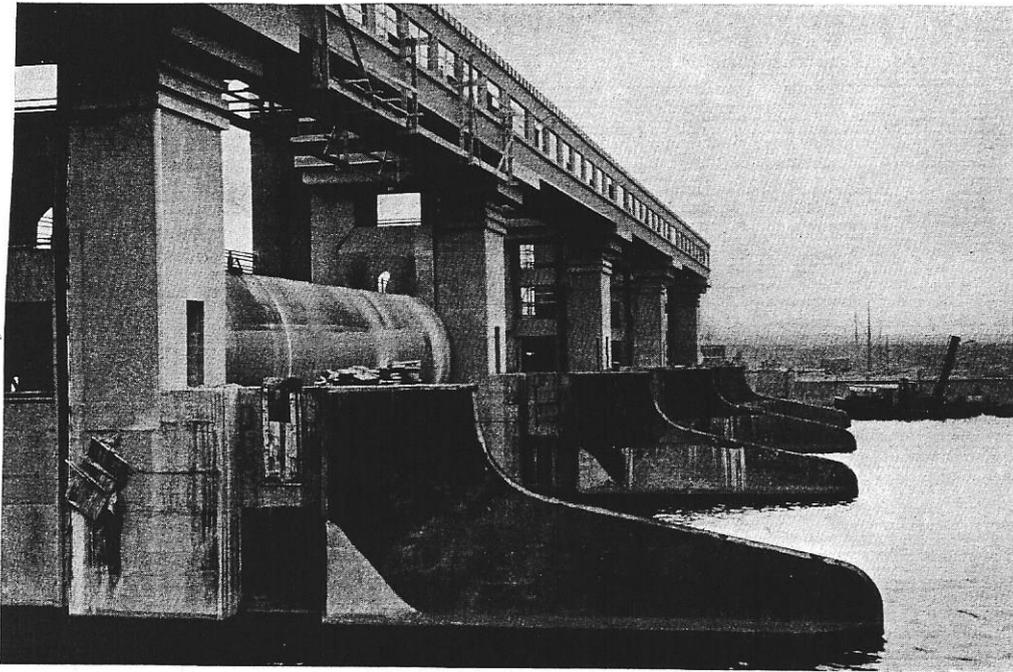


Fig. 10. — *Vue amont du barrage. On remarque une vanne au montage. L'avant-bec en brise-glace des piles sera presque complètement sous eau lors de l'établissement de la nouvelle retenue.*

mettre en danger la stabilité de l'ouvrage de retenue.

Quoique le radier du barrage soit fondé sur du schiste houiller, des dispositions ont été prises pour réduire les forces érosives. Le seuil de la bouchure principale est suivi d'une auge qui se

raccorde au plan général du radier par des talus à 45° en chicane, écartant le courant à vitesse élevée du plafond de la rivière. L'auge provoque un ressaut hydraulique dans l'étendue du radier même, absorbant en conséquence presque la totalité de l'énergie cinétique de l'eau. Les talus

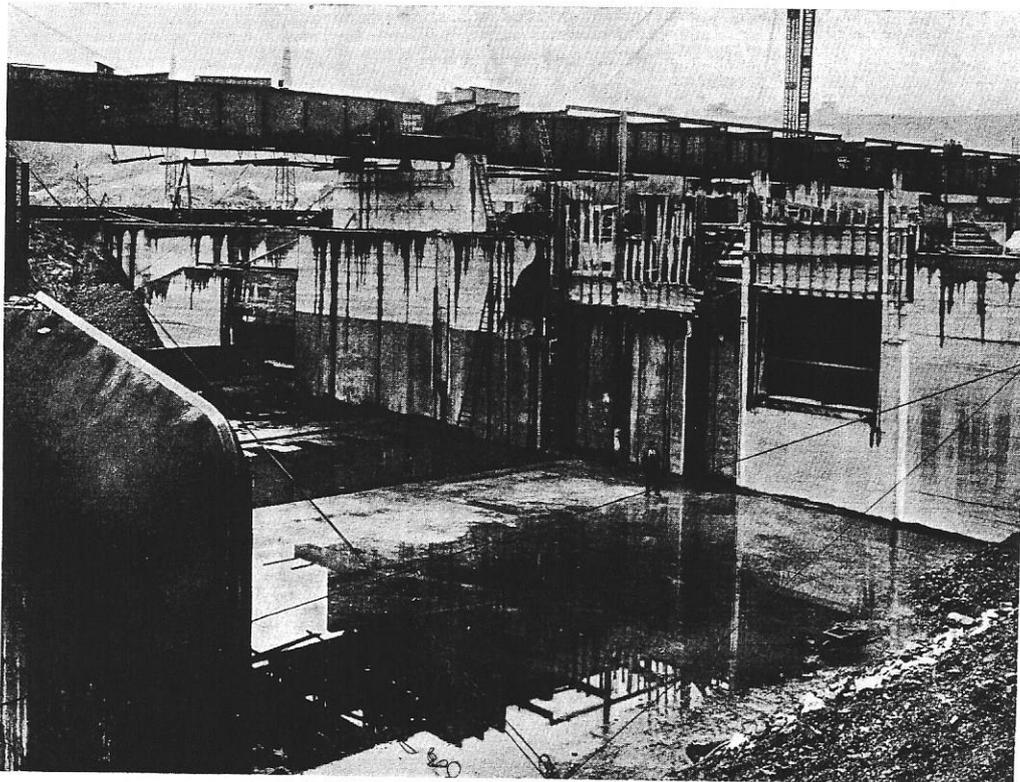
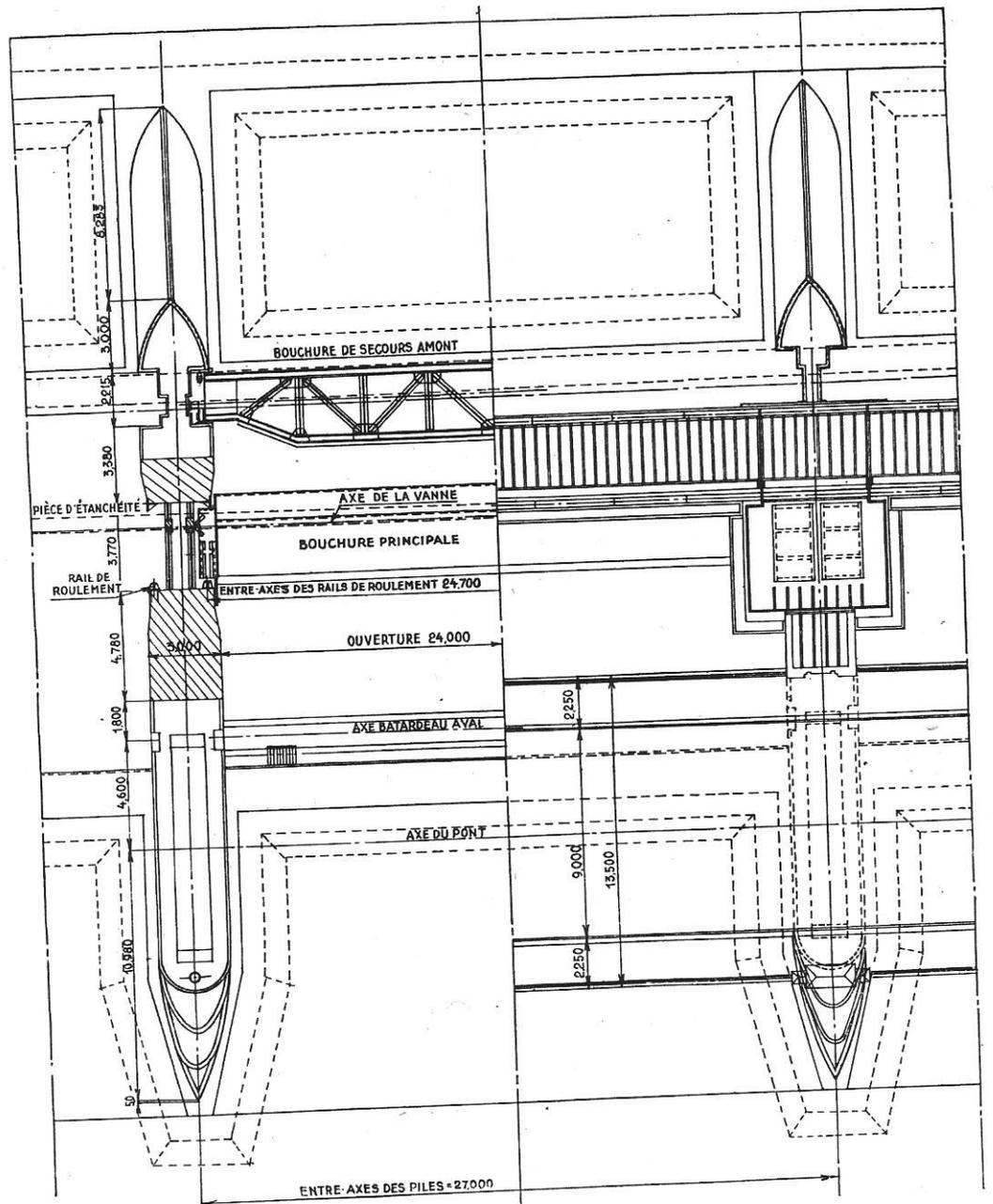


Fig. 11. — *Détails des maçonneries d'un pertuis. On peut voir notamment l'auge amortisseuse, les pièces métalliques des rainures et l'avant-bec d'une pile. Le pertuis étant attenant à l'écluse, on aperçoit les têtes de prise d'eau et de décharge de l'écluse de 55 m. sur 7m,50.*

Fig. 12. — Demi-coupe et demi-vue en plan d'un pertuis du barrage.



à 45° en chicane formant un véritable peigne divisent en outre l'écoulement de fond en plusieurs veines qui par leur décalage donnent naissance à des frottements internes importants, favorables également au but poursuivi. Afin d'assurer le maintien de la flottaison au cas où des travaux d'entretien doivent être exécutés à la bouchure principale ou de la rétablir immédiatement lorsque par suite d'avaries celle-ci ferait défaut, une bouchure de secours est prévue à l'amont. Pour les travaux d'entretien la mise à sec du radier étant requise, la construction d'un batardeau de secours à l'aval de la retenue

est possible dont la hauteur est déterminée par la flottaison aval (60,00) compte tenu du relèvement résultant du débit.

Le radier entre la bouchure de secours amont et le batardeau de secours aval peut ainsi être sollicité par des sous-pressions, fonctions de la hauteur totale de retenue et de la plus ou moins grande perméabilité (schiste fissuré) du sol de fondation. C'est ce qui explique la variation d'épaisseur de la consolidation du plafond, notamment entre le radier général et les avant et arrière radiers; ces trois consolidations ne s'étendent pas en amont ni en aval des piles; toutefois

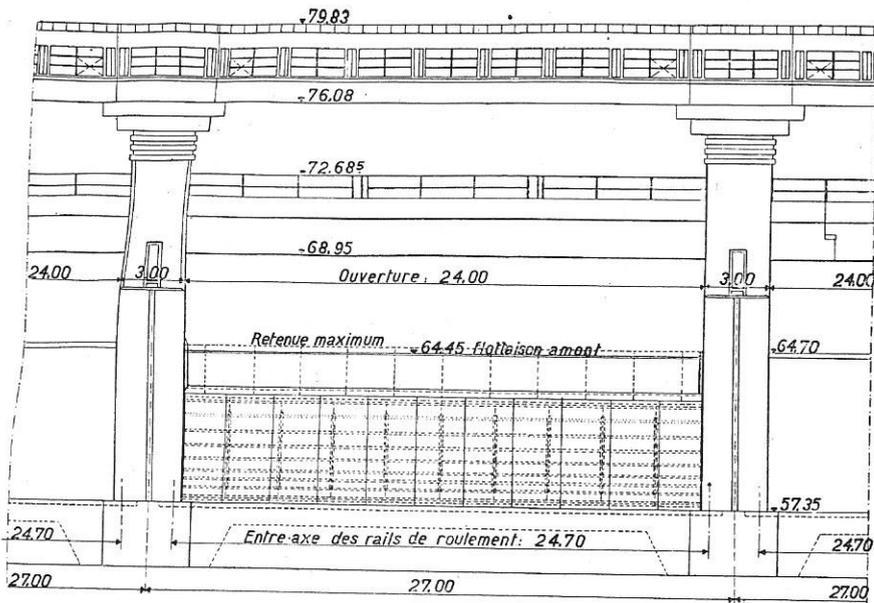


Fig. 13. — *Elévation amont d'un pertuis du barrage.*

afin d'augmenter la stabilité de celles-ci (embacle de glaces) le radier général se prolonge en-dessous d'elles et sur toute leur longueur (voir vue en plan).

Les piles sont profilées vers l'amont en avant bec incliné de manière à diminuer le danger d'embacle de glaces; en effet les glaçons charriés par les eaux sur cet avant bec ne peuvent s'y tenir en équilibre : ils basculent dans les pertuis et dérivent vers l'aval.

Les piles sont exécutées en béton avec des armatures réparties en fonction des diverses sollicitations qui peuvent se présenter. Les bouchures principales, les bouchures de secours et

les corps flottants donnent lieu à des efforts horizontaux parallèles à l'axe des piles alors que par contre lors de la mise à sec d'un pertuis une sollicitation transversale est créée. D'autre part au droit des rainures des bouchures l'épaisseur des piles n'atteint même plus un mètre. Les armatures sont conçues de manière à intéresser la masse entière des piles et du radier pour résister aux divers états de sollicitations possibles.

Enfin, afin de protéger le béton du radier général et des piles de l'eau à grande vitesse et contre la détérioration par corps flottants les arêtes sont protégées par des profilés et les parements par un enduit spécial « Cimentac » d'un

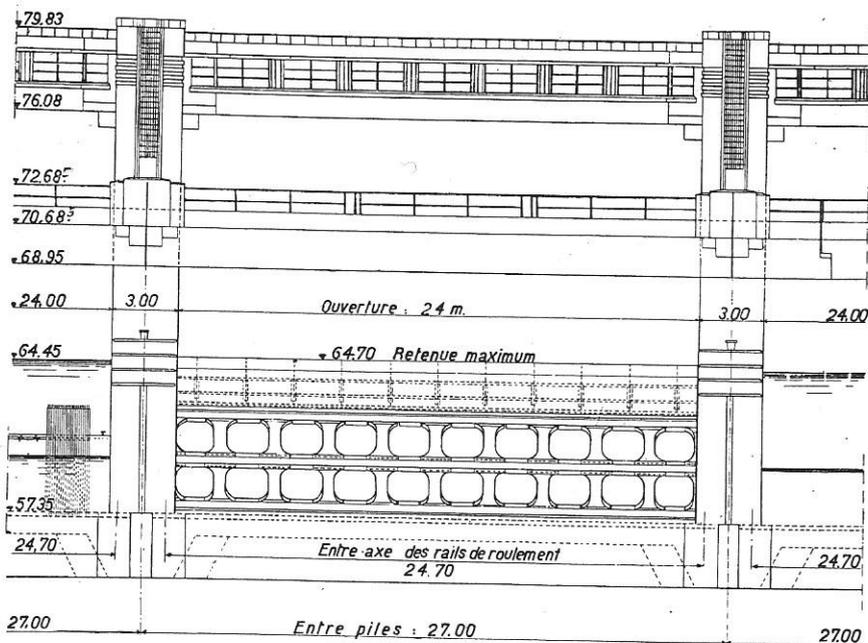


Fig. 14. — *Elévation aval d'un pertuis du barrage.*

Fig. 15
relle de
constru
tate la s
l'exécuti
d'une os
A rema
puis de
passerell
des en
ronnant

centim
un tre
à pou
fixé p
L'end
36 kg
d'acier
de ma
à la ta

Les
à des
une p

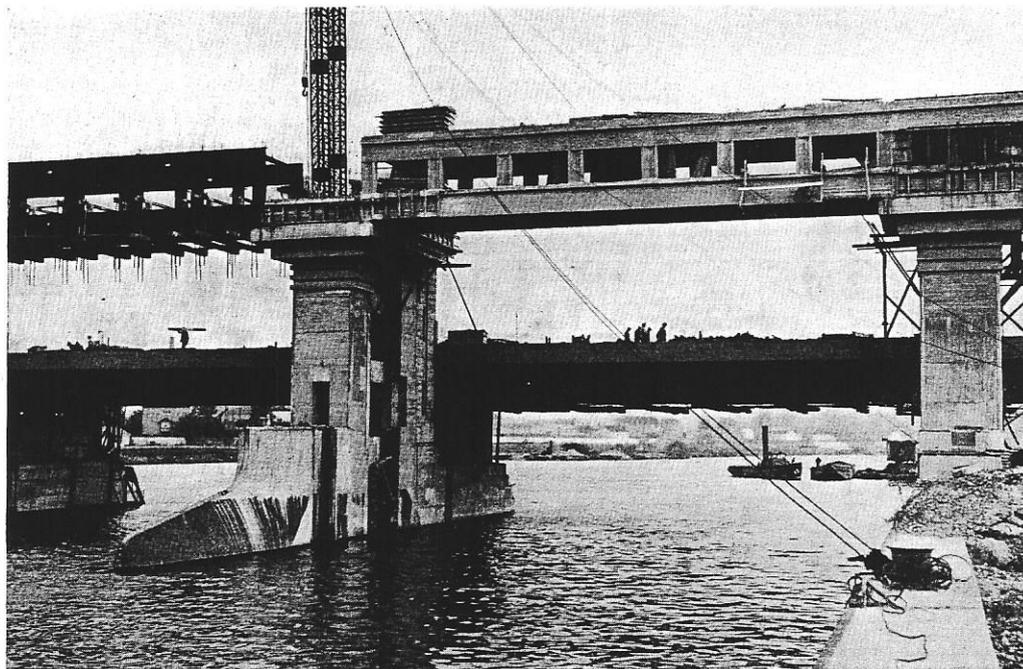
Les
bouch
situées
vemer
placer
la pas

L'en
ainsi
facilit
de cru

Le
miné
chure
hautes
la bou
est pr
de la p
Mal

nt
e.

Fig. 15. — La passerelle de manœuvre en construction. On constate la simplification dans l'exécution, due à l'emploi d'une ossature métallique. A remarquer que les appuis des travées de la passerelle sont situés sur des encorbellements couvrant les piliers.



s
e
e
t
r
-
a
r
r
t
s
1

centimètre d'épaisseur. Pour exécuter ce dernier un treillis métallique non galvanisé du genre cage à poules est tendu sur les parois à recouvrir et fixé par des fers ronds ancrés dans le béton. L'enduit comprenant par m³: 600 kg. de ciment, 36 kg. de Kieselguhr et 3200 kg. de grenaille d'acier, est appliqué sur les parois ainsi préparées, de manière à noyer le treillis et est dressé ensuite à la taloche.

Les piles portent des piliers servant d'appui à des cabines de manœuvre reliées de niveau par une passerelle de service couverte.

Les treuils commandant la manœuvre d'une bouchure principale se trouvent dans les cabines situées de part et d'autre du pertuis et leur mouvement est synchronisé exactement grâce à l'emplacement du moteur électrique dans l'axe de la passerelle de service.

L'ensemble de la passerelle et des cabines forme ainsi un vaste hall de machines de plain-pied facilitant grandement les manœuvres en période de crues.

Le niveau inférieur de la passerelle est déterminé par la nécessité de pouvoir lever la bouchure principale au-dessus du niveau des plus hautes eaux. Pour la manœuvre des éléments de la bouchure de secours amont un portique mobile est prévu roulant sur des rails scellés dans le toit de la passerelle.

Malgré la sollicitation élevée de celle-ci, on a

pu réaliser une forme satisfaisante grâce à l'emploi, pour chaque pertuis, de deux maîtresses-poutres métalliques, soudées à hauteur constante du type Vierendeel sans goussets, reliées haut et bas par des entretoises également métalliques.

L'encombrement des treuils et des arbres de commande est tel que les appuis (à cause des montants extrêmes) des éléments de passerelle ont dû être implantés sur des encorbellements des piliers de support.

L'ossature métallique est enrobée de béton et complétée par des hourdis en béton armé formant plancher et toiture. Les vides des cadres Vierendeel sont entièrement vitrés de manière à offrir le maximum d'éclairage à l'intérieur et le maximum de visibilité permettant de suivre sans difficultés les manœuvres des vannes.

Le fait d'avoir situé les fenêtres entre les deux membrures et d'utiliser ainsi quasi la hauteur totale de la passerelle pour les maîtresses poutres, au lieu de prévoir celles-ci entièrement en-dessous du vitrage suivant la pratique courante pour des semblables ouvrages, a permis d'éviter toute lourdeur dans l'aspect de la passerelle, ce qui était d'autant plus à craindre vu la faible différence de niveau entre celle-ci et le pont-route. D'autre part, il y avait lieu d'écarter les goussets classiques de la poutre Vierendeel si on ne voulait pas rompre le calme des lignes horizontales.

Un des avantages de l'emploi d'une ossature



Fig. 16. — *Détail d'angle d'un pilier. La sincérité et la sobriété dans l'expression conduisent à un aspect où s'allient beauté, force et puissance.*

métallique enrobée est celui de présenter de grandes facilités d'exécution : c'est ainsi que les coffrages ont pu être accrochés à cette ossature même, solution intéressante, la passerelle étant située à 19 m. environ au-dessus du radier.

L'étanchéité de la toiture est obtenue par une chape en cuivre de 0^{mm},35 collée au bitume sur le béton; une chape ordinaire en bitume ne convenait pas vu sa faible résistance chimique aux huiles et graisses provenant du pont roulant.

Les dimensions et l'agencement des cabines découlent de l'encombrement des treuils; cha-

cune d'elles contient deux treuils intéressant les deux pertuis voisins. Il est aménagé dans la toiture au-dessus de chaque treuil un volet de manière à permettre, grâce au pont-roulant déjà cité, la manutention des pièces lourdes des treuils, en cas de réparation.

La passerelle de manœuvre est accessible à chacune de ses extrémités par une cage d'escalier, communiquant avec le pont-route, le terre-plein au niveau des tablettes et des paliers intermédiaires, facilitant ainsi l'examen et l'entretien des organes mécaniques des vannes, lorsque celles-ci sont levées. Des cages d'escaliers similaires se

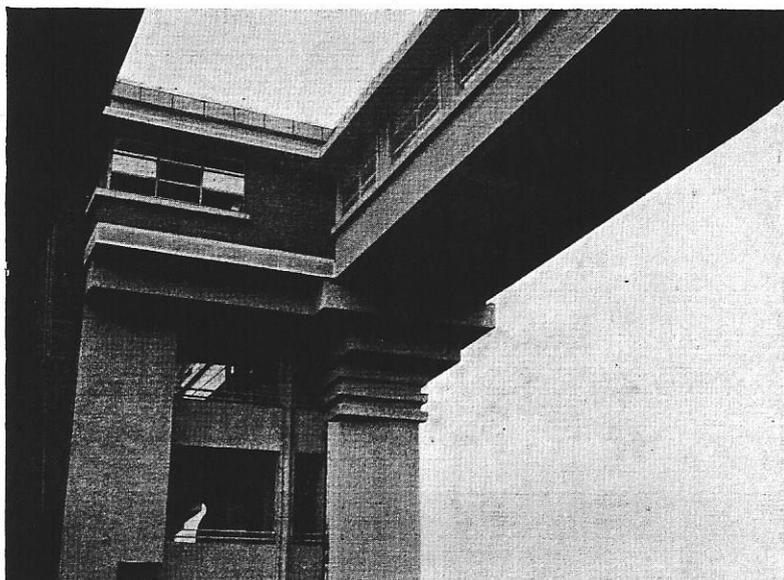
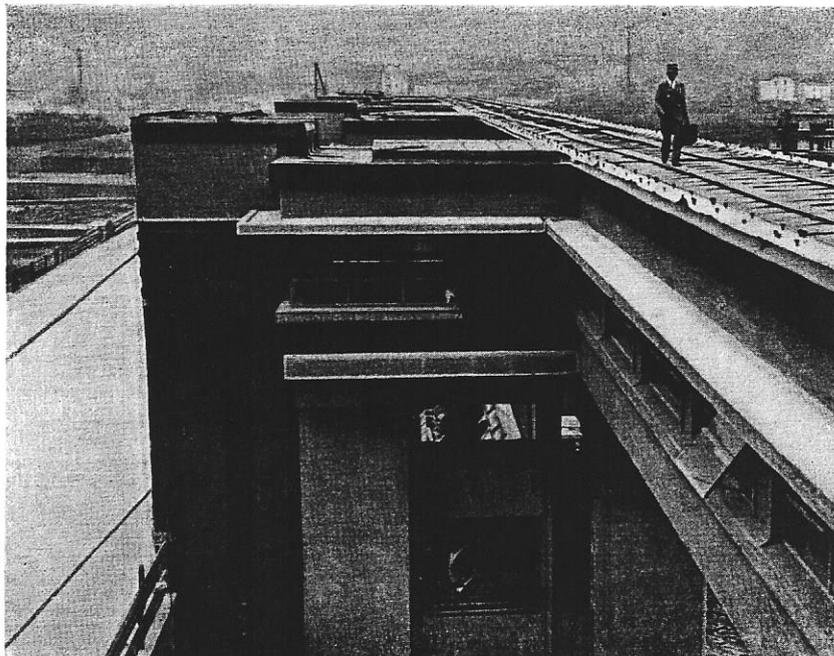


Fig. 17. — *Vue montrant la liaison entre passerelle de service et cabine de manœuvre.*

Fig.
tingue
rouler
que l
tant l

tro
acc
l
poi
éta
rag
la t
la

Fig. 18. — *Vue de la toiture. On distingue les boulons de fixation des rails de roulement du portique de manœuvre, ainsi que les volets, au-dessus des cabines, permettant la manutention des éléments des treuils.*

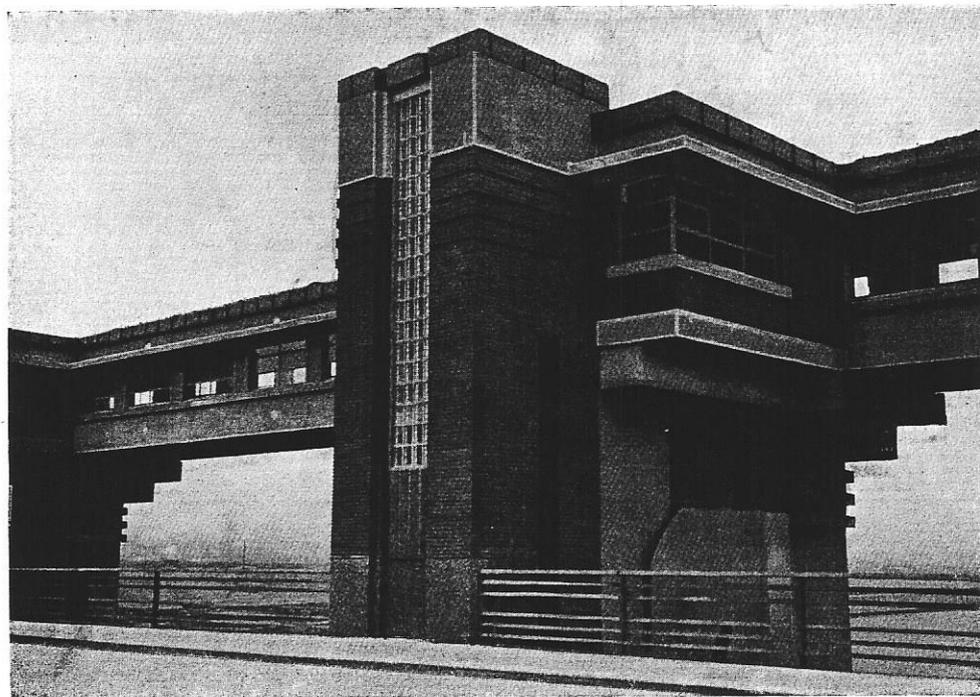


trouvent sur les piles, toutefois on n'y a pas accès du pont-route.

Le barrage est pourvu de deux échelles à poissons du système Denil. Ces échelles ont été établies dans les culées, ce qui permet un éclairage convenable de la nappe d'eau qui descend de la flottaison amont vers celle d'aval; d'autre part, la position le long des rives est plus favorable.

L'emplacement des échelles dans les culées

et non pas dans les piles (sans dispositions spéciales) est d'ailleurs préconisé par M. Denil, Directeur Général honoraire des Ponts et Chaussées, dans l'étude importante publiée dans les fascic. n^{os} 4 et 5 de 1936, 1, 2, 3, 4, 5 de 1937 sur « La Mécanique du Poisson de Rivière » ⁽¹⁾. M. Denil a d'autre part apporté certaines modifications aux dispositions des échelles de Ramet-Ivoz.



⁽¹⁾ *Annales des Travaux Publics de Belgique.*

Fig. 19. — *Vue d'une cabine de manœuvre avec passerelle de service et cage d'escalier d'accès. Le contraste des matériaux, — béton, briques, verre, cuivre de la toiture, — apparaît nettement. Le garde-corps en fers cornières s'harmonise, par sa simplicité, avec le reste de l'ouvrage.*

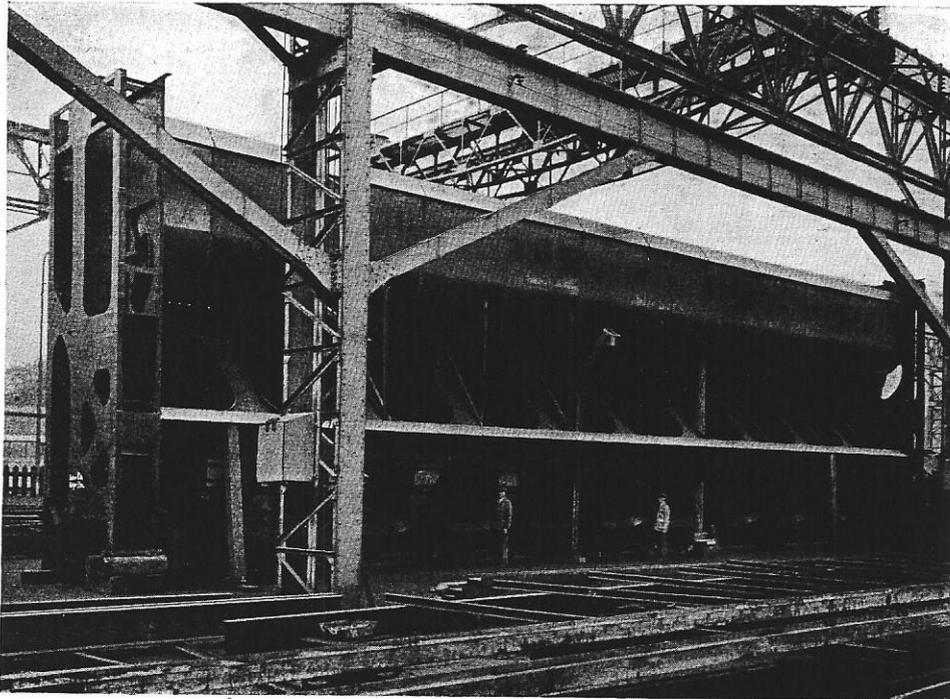


Fig. 20. — Une vanne de barrage (au montage à l'usine J. Cockerill à Seraing). Vue aval. La forme tubulaire de grande raideur de la hausse basculante apparaît nettement sur la photographie. On peut remarquer la simplification obtenue dans l'ossature de la vanne grâce à la soudure (une partie de la membrure commune manque).

BOUCHURE PRINCIPALE.

La bouchure principale de chaque pertuis est constituée par une vanne wagon en charpente soudée comprenant une vanne inférieure dite *vanne principale* et une vanne supérieure basculante, appelée *hausse*.

Cette bouchure d'un type entièrement nouveau fut créée dès 1929 par l'auteur du présent mémoire avec le conseil éclairé de M. L. Van Wetter.

La vanne principale comporte essentiellement un bordage, de courbure circulaire, muni de raidisseurs horizontaux, prenant appui sur une charpente très rigide.

Cette charpente est constituée par deux maîtresses poutres système Vierendeel à hauteur constante, inclinées symétriquement à 45° par rapport à l'horizontale, les membrures d'aval étant communes et le bordage formant semelle supérieure des membrures d'amont. Celles-ci sont reliées en outre au droit de chaque nœud par des raidisseurs importants verticaux soudés au bordage.

L'ensemble formé par le bordage avec raidisseurs et maîtresses poutres reporte la sollicitation due à la poussée de l'eau et au poids mort sur deux poutres sommiers; celles-ci transmettent cette sollicitation sur les piles ou culées par l'intermédiaire de galets de roulement.

Les poutres sommiers s'effacent entièrement dans des rainures aménagées dans les piles et culées.

On constate donc que la forme de la vanne principale s'écarte entièrement des dispositifs généralement admis pour les autres barrages, qui prévoient un bordage vertical avec raidisseurs, deux maîtresses poutres horizontales de hauteur variable avec contrevêtement aval et entretoisements transversaux, soit une ossature de pont métallique à laquelle on aurait fait subir une rotation de 90° . Ici le contrevêtement et l'entretoisement ont pu être supprimés, écartant ainsi des profilés de faible section pour ne conserver que des éléments de raideur comparable et élevée, qui se soustraient par conséquent mieux aux mouvements vibratoires qui peuvent se produire dans toute vanne métallique. L'ossature, formée ainsi de trois membrures reliées d'une part à l'amont par le bordage avec ses raidisseurs et d'autre part à l'aval par les montants des cadres Vierendeel, résiste très bien à la flexion composée due à la poussée de l'eau et au poids mort.

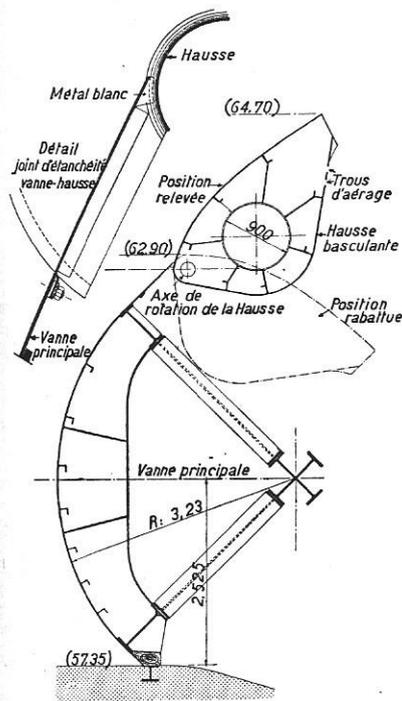
Enfin, l'inclinaison de la maîtresse poutre inférieure, écartant du radier le treillis et la membrure aval, soustrait cette partie de la charpente au choc direct de la veine de fond.

L'étanchéité au radier est réalisée à l'aide

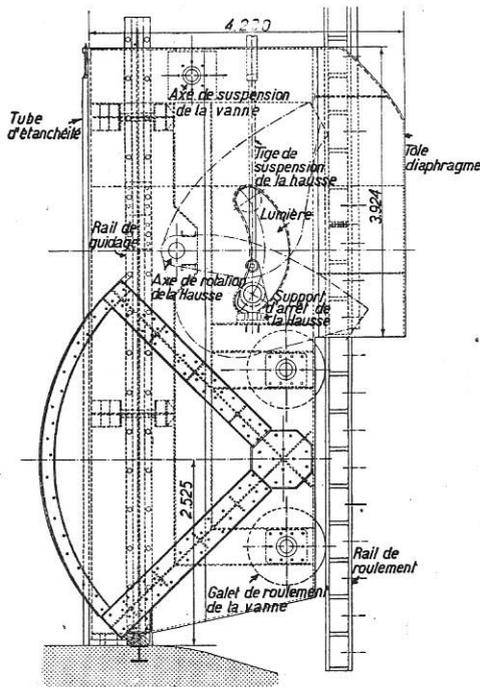
Dé-
joint de
vanne-
-Va
prin

d'u
mei
sur
trell
rale
de

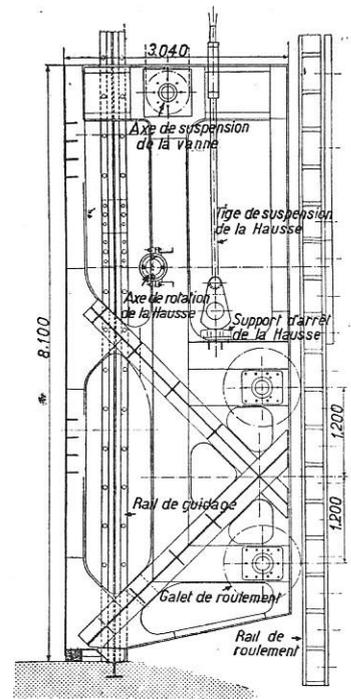
Fig
bar
en t
obs
ture
à l



Coupe transversale dans vanne et hausse.



Élévation de la poutre sommier.



Coupe axiale de la poutre sommier.

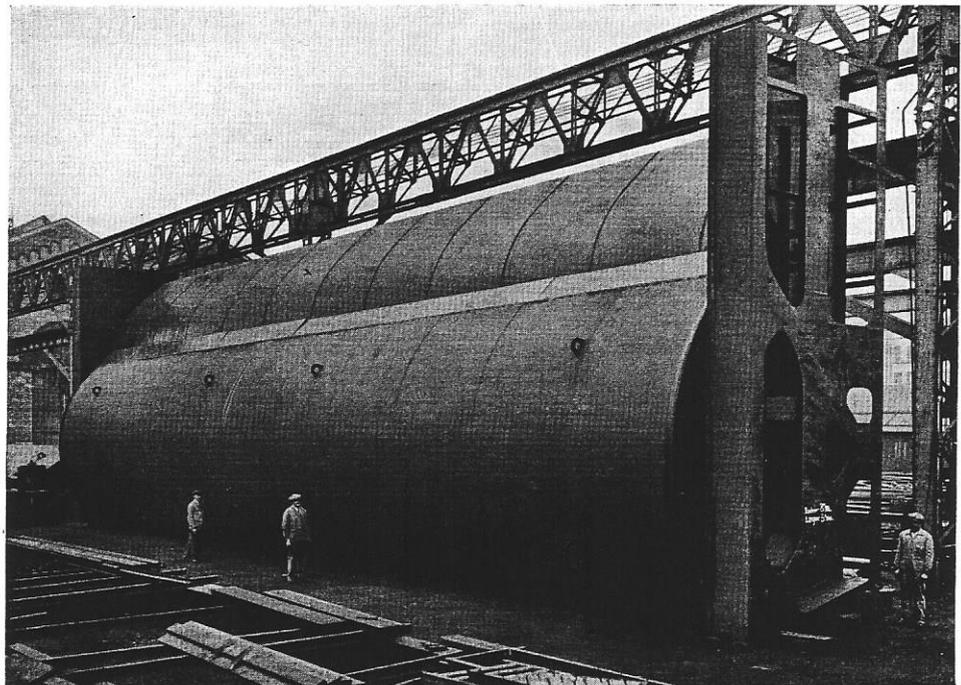
Fig. 21. — Bouchure principale.

d'une fourrure en bois, fixée directement sur la membrure inférieure de la vanne, et s'appuyant sur un seuil constitué par la semelle d'une poutrelle encastrée dans le radier. L'étanchéité latérale est obtenue par une barre métallique revêtue de caoutchouc, suspendue librement par son

extrémité supérieure à la vanne, et appliquée sous la poussée de l'eau contre la vanne, et par une pièce d'étanchéité en fonte scellée dans le béton des piles et culées.

Quant à la hausse basculante, il a été possible de lui donner une section transversale de module

Fig. 22. — Une vanne de barrage (au montage à l'essai en usine). Vue d'amont. On peut observer la simplicité de l'ossature des poutres somniers grâce à la soudure.



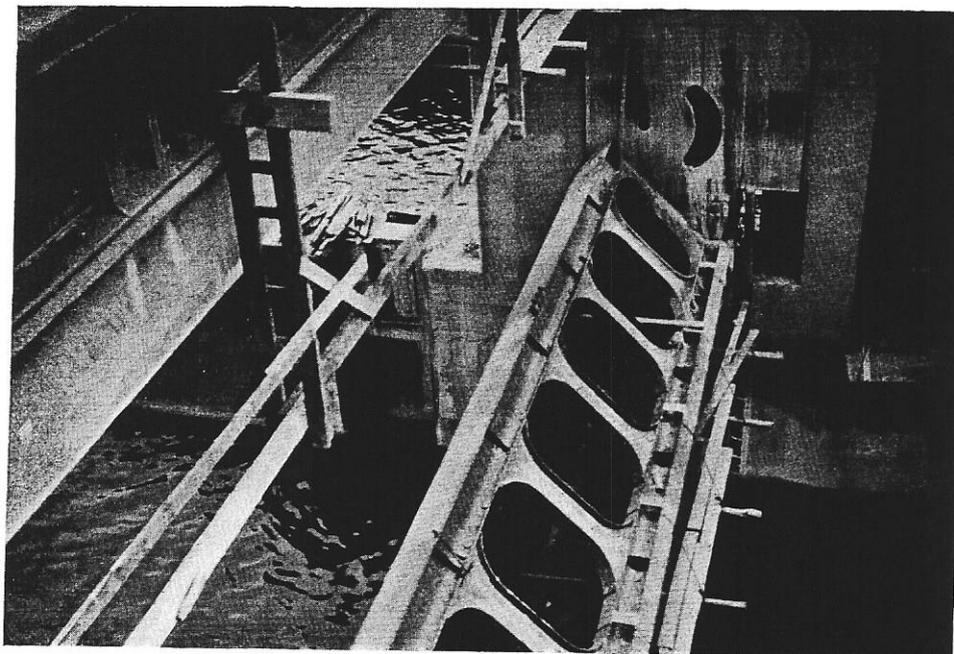


Fig. 23. — Montage d'une vanne dans le pertuis. Seules la vanne principale et les poutres sommiers sont en place.

de flexion élevé grâce à l'inclinaison de la maîtresse-poutre supérieure de la vanne principale. La hausse se compose d'un cylindre dont la partie amont est constituée par le bordage lui-même dont la forme est déterminée par les conditions d'écoulement et de rotation. Pour éviter le flambement du cylindre il est pourvu des cloisons transversales avec évidemment central pour les visites d'entretien. Entre les écrans transversaux la tôle est consolidée par des raidisseurs longitudinaux. La robustesse exceptionnelle de la hausse a permis de limiter les axes de rotation comme ceux de suspension à deux, soit au droit de chacune des poutres sommiers. Cette disposition rend la flexion de la hausse ainsi que sa rotation entièrement indépendantes des déformations de la vanne principale et permet, en outre, de reporter la sollicitation de la hausse directement sur les poutres sommiers, sans surcharger en conséquence les maîtresses-poutres de la vanne principale. Ceci et contrairement à la pratique courante qui prévoit, à cause du manque de raideur longitudinale des hausses basculantes, de nombreux axes de rotation intermédiaires, supportés par la vanne principale et difficilement accessibles.

De plus, au lieu que la hausse rabattue vienne prendre appui sur la vanne inférieure, ici il a été suffisant de prévoir des supports d'arrêt, pour les axes de suspension de la hausse, supports fixés en conséquence sur les poutres sommiers.

Les axes de rotation doivent nécessairement permettre la libre flexion de la hausse : ils comportent à cet effet des roulements à rouleaux sphériques S. K. F.

La hausse se meut entre deux tôles diaphragmes situées dans le plan des parements des maçonneries et constituant par ailleurs un élément résistant des poutres sommiers. Ces diaphragmes sont munies de lumières courbes de manière à laisser passer les axes de suspension de la hausse et de situer ainsi les tiges de commandes à l'intérieur des poutres sommiers, donc entièrement en dehors du courant de la nappe déver-

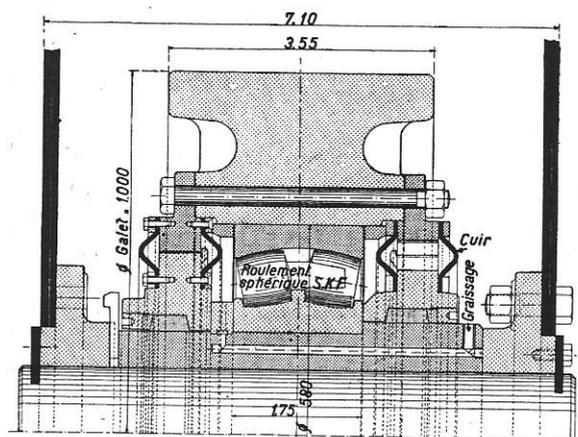
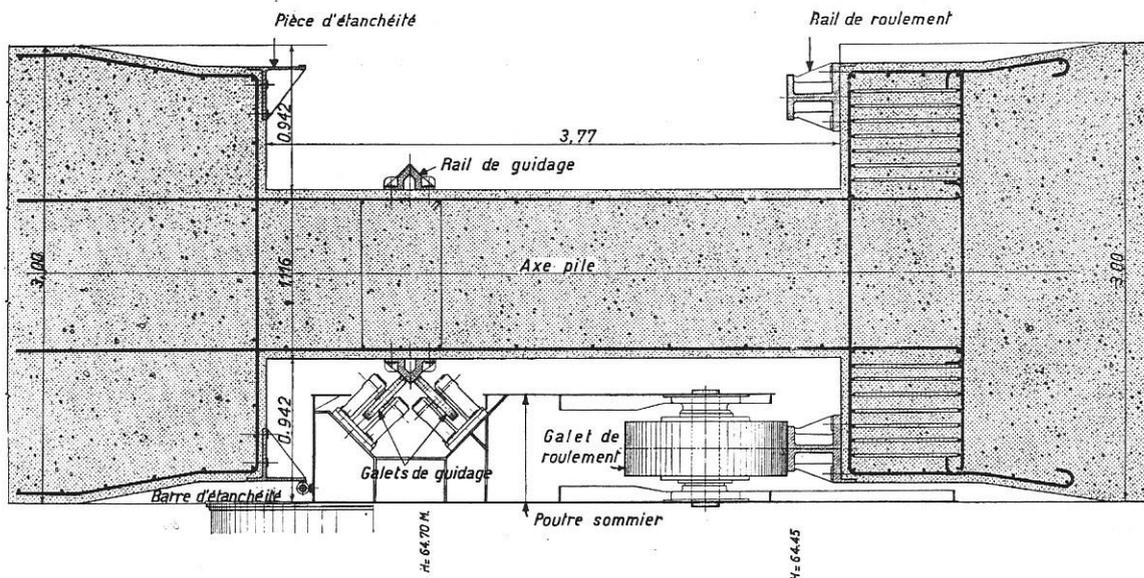


Fig. 24. — Demi-coupe dans le galet de roulement de la bouchure principale.

Fig. 25. —
Coupe hori-
zontale dans
les rainures
des bouchures
principales.



sante sans exiger pour cela un écartement plus grand pour les rails de roulements de la vanne (en d'autres termes sans exiger une portée plus grande de la vanne et ainsi une augmentation de la flexion).

L'étanchéité entre la hausse et la vanne principale est obtenue grâce à des tôles flexibles avec garniture en métal blanc. Le dispositif pour l'étanchéité horizontale est tel qu'il ne forme aucune cassure dans le profil du déversoir lorsque la hausse est entièrement rabattue.

Les galets de roulement de la vanne sont placés dans l'axe des poutres sommiers. Etant donné la grande largeur de celles-ci il a été possible de remplacer le système compliqué de boggie, généralement préconisé pour des ouvrages de même importance, par un galet de grand diamètre. Chaque sommier porte ainsi deux galets de roulement. Ceux-ci grâce à l'emploi de roulements à rouleaux sphériques, permettent la libre flexion de la vanne et le système adopté ne s'oppose pas aux déformations thermiques. Chaque galet de roulement reçoit une charge maximum d'environ 170 T. dans l'hypothèse où la vanne forme retenue pour une flottaison de (64,70) et qu'il n'y ait pas de contrepoussée d'aval. Cette sollicitation justifie l'emploi de fonte Griffin pour les couronnes de galets et de l'acier moulé au manganèse pour les rails de roulement. Des précautions spéciales ont été prises pour assurer une étanchéité suffisante à la chambre du roulement à rouleaux afin d'éviter que ceux-ci se rouillent. Les flasques fixés sur la couronne et portant les

presses-étoupes se composent de deux parties distinctes dont le jeu permet de rendre indépendant l'inclinaison de la couronne (sous l'effet des déformations de la vanne) du presse-étoupe. La continuité de l'étanchéité entre ces deux parties est assurée par un double soufflet en cuir.

Pour le guidage de la vanne tant vers l'amont que latéralement des galets sont fixés, par l'intermédiaire de ressorts, sur les poutres sommiers et appuyent sur un rail à deux faces de roulement symétriquement incliné à 45° par rapport à un plan vertical normal aux piles.

Enfin, les poutres sommiers portent à leur sommet les roues à chaîne Galle de suspension de la vanne.

Tous les éléments mécaniques d'une même poutre sommier sont reliés à un même système de graissage central, facilement accessible.

Il est utile de s'étendre un peu sur les formes données tant au bordage de la vanne principale qu'à celui de la hausse. Celui de la vanne principale est environ un quart d'un cylindre de révolution dont l'axe coïncide avec celui de la membrure commune des maîtresses poutres, les plans tangents extrêmes sont ainsi inclinés à 45° par rapport à l'horizontale. Cette forme est favorable pour l'écoulement de superficie ainsi que pour l'écoulement de fond.

En ce qui concerne le débit des déversoirs, les expériences ont démontré que celui-ci augmente lorsque le parement amont est incliné. La courbure inférieure de la vanne étant limitée, les pressions resteront positives pour toute levée,

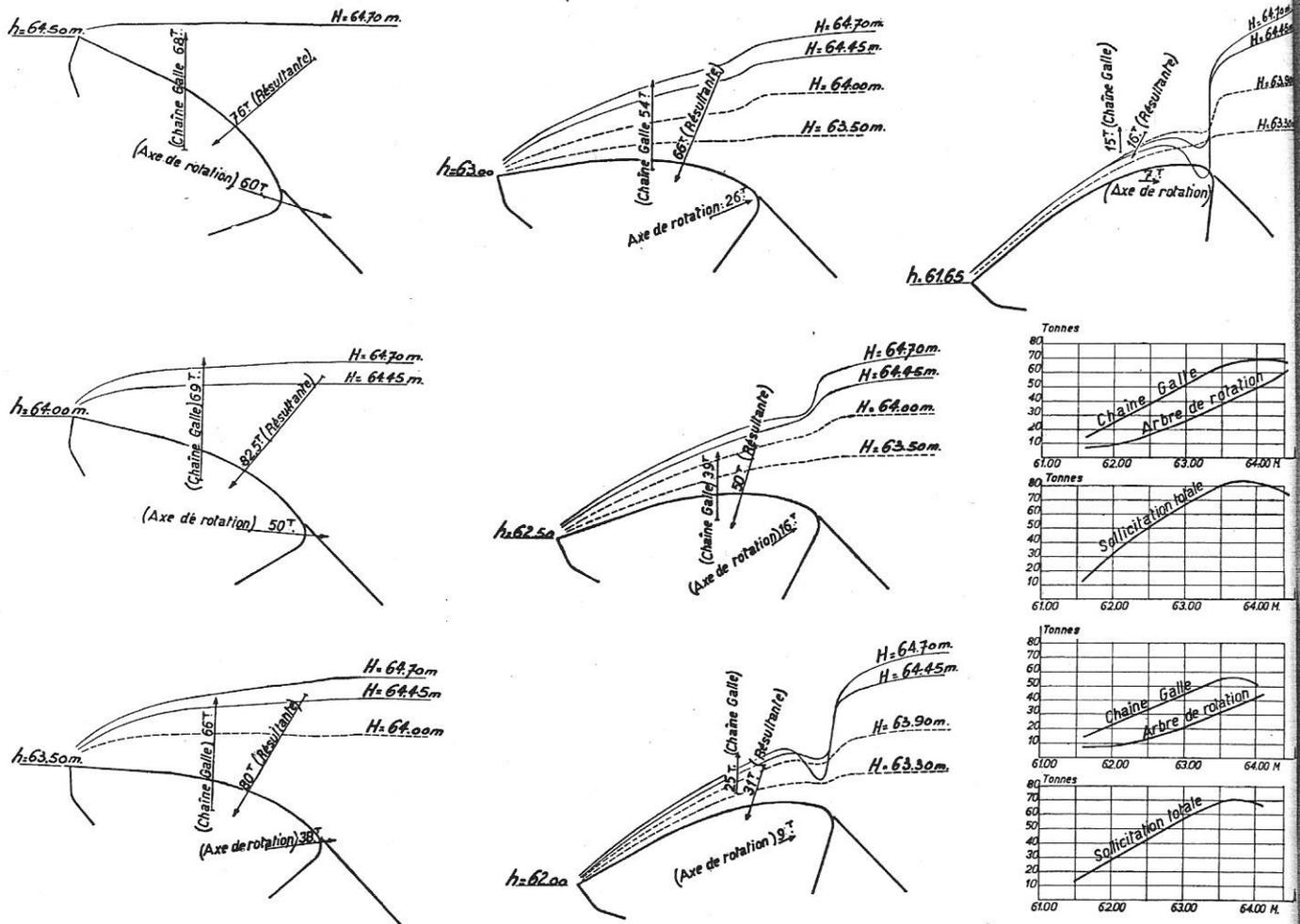


Fig. 26. — Diagrammes de pressions sur la hausse et sollicitations de la chaîne de suspension et de l'axe de rotation.

condition nécessaire pour éviter un écoulement pulsatoire donnant naissance à des vibrations.

Le bordage de la hausse a été profilé de manière à en réduire la sollicitation, principalement dans sa position rabattue, tout en évitant des efforts de succions (pressions négatives ou inférieures à la pression atmosphérique), causés d'instabilité et par suite de vibrations.

Quoique le profil ait été déterminé par calcul suivant les méthodes exposées par Kulka dans son livre « Der Eisenwasserbau » il a été jugé utile de procéder à des vérifications par voie expérimentale sur modèle réduit. Cette étude a été faite dans le laboratoire d'hydraulique de l'Université libre de Bruxelles, sous la direction de feu M. le Professeur De Keyser, assisté par M. Boulanger, ingénieur A. I. Br.

Les essais ont conduit à redresser légèrement

de quelques centimètres l'extrémité aval du bordage. Les diagrammes de pressions donnent des indications très intéressantes quant à la variation de la sollicitation pour les diverses positions de la hausse et quelques flottaisons amont. On peut remarquer dans la position entièrement rabattue de la hausse et la flottaison amont de (64,70) une légère succion se manifeste dans la zone de forte courbure de la hausse. Cette succion disparaît entièrement pour la flottaison normale (64,45) et comme la retenue de (64,70) ne sera réalisée que lors des périodes d'étiage les hausses à ce moment seront entièrement relevées et le cas limite décrit ci-dessus ne se présentera donc pas dans la pratique.

Sur chaque diagramme la poussée maximum de l'eau sur la hausse, compte tenu de la réaction de la tôle d'étanchéité, est décomposée en deux

forc
l'aut
Po
citat
qui
trac
min
van
L
app
ne v
ou
l'ens
A
en
com
amé
de
ci-c
nur
les
cell
I
110
25
réd
à l
d'au
lan
app
cha
me
ren
bru
tig
l'ei
no
mi
cu

Li
Ro

forces, l'une sollicitant les axes de rotation, l'autre les tiges de suspension.

Pour la hausse entièrement rabattue la sollicitation se réduit à 7 T. 5 par chaîne Galle, ce qui est intéressant étant donné que c'est cette traction dont il faut tenir compte pour déterminer l'effort de levage de l'ensemble de la vanne.

Le diagramme pour la hausse rabattue fait apparaître que la loi des pressions sur le bordage ne varie guère pour différentes flottaisons amont ou ce qui revient au même pendant la levée de l'ensemble de la vanne.

Afin d'assurer un écoulement stable, l'espace en dessous de la veine déversante libre doit être convenablement aéré; dans ce but des trous sont aménagés dans la partie inférieure de la hausse; de cette manière l'air peut alimenter l'espace ci-dessus en passant successivement par les rainures des piles, les trous d'homme existant dans les cloisons extérieures de la hausse et enfin par celle-ci.

Le poids de l'ensemble d'une vanne est de 110 T. dont 85 T. pour la vanne principale et 25 T. pour la hausse. Ces poids excessivement réduits ont pu être obtenus grâce, d'une part, à la forme constructive même de la vanne et d'autre part au taux de travail élevé de l'acier laminé notamment de 18 kg/mm². Comme il appert en effet de la description qui précède, la charpente contient le nombre d'éléments strictement nécessaire, de plus la soudure conduit à rendre la section nette équivalente à la section brute, d'où économie notable de métal. La fatigue de 18 kg/mm² a été admise moyennant l'emploi d'un acier spécial à haute résistance notamment à forte teneur en carbone. Afin de mieux s'opposer à l'oxydation une adjonction de cuivre a été prévue dans l'acier.

Voici la composition chimique de celui-ci :

| | |
|----|-------------|
| C | 0,12 à 0,22 |
| Si | 0,25 à 0,40 |
| Mn | 1,30 à 1,80 |
| S | ≤ 0,04 |
| Ph | ≤ 0,04 |
| Cu | 0,25 min. |

Les caractéristiques mécaniques sont :

1° En ce qui concerne la traction :

Limite élastique : 36 kg/mm² minimum
Résistance à la rupture : 55 kg/mm² minimum.

Allongement 20 % minimum mesuré sur longueur entre repères de $L = \sqrt{66,67 S}$.

2° En ce qui concerne la résilience :

Résilience mesurée sur éprouvettes Mesnager
= 10 kgm/cm².

Le taux de travail limite de 18 kg/mm² a été observé pour la sollicitation hydrostatique de la vanne dans l'hypothèse de la flottaison amont (64,70) et pas d'eau à l'aval. Il est en effet inutile de déterminer les tensions dans le cas d'un écoulement de superficie ou dans celui d'une veine de fond, car, grâce au profilage judicieux du bordé de la vanne et de la hausse, la sollicitation est dans ces hypothèses plus faible que la sollicitation hydrostatique. A cet égard les diagrammes relatifs aux pressions sur la hausse sont entièrement probants.

BOUCHURE DE SECOURS AMONT.

Cette bouchure doit pouvoir réaliser la même retenue que la bouchure principale, soit 7^m,35 minimum.

Pour atteindre ce but, cinq éléments de 1^m,50 de hauteur peuvent venir se placer entre des rainures et, par leur superposition atteindre une retenue suffisante de 7^m,50.

Chaque élément est formé d'un bordage fixé sur deux maîtresses poutres horizontales convenablement entretoisées et contreventées et réunies à leurs extrémités par des caissons qui servent de support chacun à deux galets de roulement et trois galets de guidage, se déplaçant sur des rails scellés dans les piles. L'étanchéité des joints horizontaux est obtenue par des fourrures en bois, et celle des joints latéraux contre maçonnerie par un tube. La manœuvre des éléments est prévue, comme indiqué plus haut, par un pont-roulant, circulant sur le toit de la passerelle de service et muni de deux becs distants environ de 24 m. auxquels sont suspendus deux palonniers. Ceux-ci, convenablement guidés par des galets dans les rainures de la bouchure de secours peuvent venir déposer les éléments les uns sur les autres ou les reprendre sous eau.

En période normale, les éléments, étant au nombre de cinq, sont disposés dans les pertuis, légèrement au-dessus de la flottaison amont, de manière à servir de protection à la bouchure principale au cas où un corps flottant viendrait à la dérive dans les pertuis du barrage.

En période de crue, les éléments sont relevés

à un niveau supérieur à celui des plus hautes eaux.

Pour réaliser ces deux positions, un support spécial est prévu dans chacune des rainures des bouchures de secours.

Comme pour la bouchure principale il a été fait emploi d'acier à haute résistance pour l'ossature des éléments de la bouchure de secours amont afin de réduire le poids, notamment à 18 T., et ainsi alléger le pont roulant et de diminuer la force motrice.

BATARDEAU DE SECOURS AVAL.

Alors que la manœuvre des éléments de la bouchure de secours amont doit être rapide étant donné qu'il peut s'agir de remplacer une vanne détériorée il n'en est pas ainsi pour la construction du batardeau de secours aval.

Ce dernier ne doit être établi qu'au cas où des travaux d'entretien doivent être exécutés à la bouchure principale.

Etant donné qu'on dispose dans ces conditions de suffisamment de temps pour réaliser ce batardeau et que de plus il est possible de travailler en eau calme derrière la bouchure de secours amont, le choix d'un dispositif simple et peu coûteux s'impose.

Celui-ci comprend un rideau d'aiguilles en tubes étirés s'appuyant d'une part sur une battée aménagée dans le radier et d'autre part sur une poutre cylindrique flottable, munie de galets de support amovibles, que peuvent venir reposer contre un rail scellé dans une rainure des piles.

Le cylindre, surmonté d'une passerelle de manœuvre et lesté suffisamment pour assurer une bonne navigabilité, est amené flottant dans le pertuis à obturer et placé transversalement à celui-ci. Dès que le cylindre se trouve en face des rainures les galets y sont engagés, l'axe de support des galets pouvant coulisser dans ses coussinets. Ensuite, le cylindre est suspendu à chacune de ses extrémités de manière à empêcher sa chute lors de l'épuisement de l'enceinte des batardeaux. Comme la flottaison aval peut se modifier par suite d'une variation du débit de la Meuse entre le moment de l'établissement du batardeau et celui de son enlèvement, le système de suspension est conçu de manière à permettre la montée ou la descente du cylindre. La fixation de la poutre porteuse étant ainsi effectuée on procède à la pose jointive des aiguilles.

EQUIPEMENT ÉLECTROMÉCANIQUE DU BARRAGE.

L'équipement électromécanique du barrage a été étudié par MM. A. Serruys et J. Chanteux respectivement Ingénieurs en Chef Directeur et Ingénieur principal de l'Office central d'Électricité et d'Électromécanique.

Les quelques extraits suivants du cahier des charges régissant l'entreprise de cet équipement donnent un schéma de celui-ci.

a) *Équipement électromécanique des bouchures principales.*

La commande de la vanne et de la hausse d'une bouchure principale a lieu au moyen de deux chaînes Galle, attachées aux tiges de suspension de la hausse, passant ensuite par les pignons dentés commandant ces chaînes et par les roues de suspension de la vanne et attachées enfin au moyen de tiges de suspension à des points fixes. La levée de la vanne ne devient possible qu'au moment où la hausse est entièrement abaissée. Pour éviter toute vitesse dangereuse et pour obtenir l'irréversibilité des mécanismes, il est prévu dans les treuils situés dans les cabines de manœuvre deux freins mécaniques à lamelles et à vis fonctionnant dans les deux sens de marche.

De plus pour pouvoir immobiliser chaque vanne et chaque hausse dans toute position, il est prévu également dans les treuils précités deux freins électriques à sabots.

Enfin il a été prévu sur l'arbre moteur de chaque vanne et hausse un frein électrique à sabots permettant d'absorber l'inertie du rotor du moteur et des mécanismes voisins et d'aider l'action des freins précédents.

Un limiteur d'effort mécanique empêche toute rupture d'organe; il est calibré pour un effort correspondant à trois fois le couple normal du moteur.

Des interrupteurs de fin de course limitent la course dans les deux sens en coupant les circuits des relais des interrupteurs principaux.

Afin d'éviter toute fausse manœuvre, deux interrupteurs de sécurité empêchent toute manœuvre de la hausse tant que la vanne n'est pas complètement abaissée et un interrupteur de sécurité empêche toute manœuvre de la vanne tant que la hausse n'est pas complètement abaissée.

Les mouvements du moteur de chaque vanne

et h
com
L
pose
vrer
de n
E
prer
tori
du
plot
du 1
rotc
la f
retr
E
inve
hau:
qua
trou
sur
inte
mer
atte
pro
d'ur
est
l'ini
mer
sup
tem
cler
tem
niv
cet
C
niv
et
sec
est
l'in
la f
dai
le f
nor
I
inte
fer:
opé
de

et hausse sont commandés par un interverseur combinateur et un controller.

L'inverseur combinateur a pour rôle de disposer les circuits de manière à pouvoir manœuvrer la hausse ou la vanne et d'inverser le sens de marche.

En faisant passer le volant du controller sur le premier plot, on enclenche l'interrupteur statorique correspondant au sens de marche voulu du moteur; en faisant passer le volant sur les plots 2 à 6, on réalise le démarrage progressif du moteur par enclenchement des interrupteurs rotoriques à relais, grâce auxquels s'opère d'abord la fermeture du circuit du rotor et ensuite le retrait successif des résistances de démarrage.

En plus de ces manœuvres commandées par inverseur-combinateur et controller, chaque hausse peut être manœuvrée automatiquement quand le volant de l'inverseur combinateur se trouve sur la position 1 et celui du controller sur la position 0, par l'intermédiaire de deux interrupteurs commandés à distance électriquement par flotteur. Quand la flottaison amont atteint le niveau de $+ 65^m,55$, un contact se produit et ferme ainsi le circuit de commande d'un interrupteur à relais supplémentaire, qui est intercalé dans le circuit de commande de l'interrupteur à relais statorique pour l'abaissement de la hausse. Cet interrupteur à relais supplémentaire ne s'enclenche que pendant un temps réglable (environ 30 secondes). Il déclenche ensuite et reste déclenché pendant un temps également réglable. Après ce temps, si le niveau amont est encore supérieur à $+ 64^m,55$, cet interrupteur se réenclenche et ainsi de suite.

Quand la flottaison amont est descendue au niveau de $+ 65^m,40$, un autre contact se produit et ferme ainsi le circuit de commande d'un second interrupteur à relais supplémentaire, qui est intercalé dans le circuit de commande de l'interrupteur à relais statorique pour la levée de la hausse. Ce second interrupteur à relais secondaire doit avoir les mêmes caractéristiques que le premier interrupteur à relais secondaire pré-nommé.

Pendant la commande automatique les cinq interrupteurs à relais rotoriques, dont le premier ferme le circuit du rotor et les quatre autres opèrent successivement le retrait des résistances de démarrage, sont enclenchés progressivement

et automatiquement au moyen de contacteurs d'intensité.

Le principe de cette manœuvre automatique par enclenchements successifs de durée limitée a été suggéré par l'auteur du présent mémoire. Il permet d'éviter les oscillations ininterrompues de la hausse qui se produiraient inmanquablement si le circuit de commande restait fermé aussi longtemps que le flotteur n'est pas revenu entre les flottaisons repères. En effet, on ne peut pas perdre de vue que les variations de niveau en amont du barrage et notamment dans le puits du flotteur sont en retard par rapport aux mouvements de la hausse.

b) Pont-roulant avec grues.

Le pont-roulant pour la manœuvre des éléments de la bouchure de secours amont est formé d'une charpente en acier laminé et rivé, munie de deux becs auxquels sont suspendus les deux palonniers pour l'accrochage des éléments. D'autre part deux grues sont placées à chaque extrémité du pont-roulant pour la manipulation des pièces lourdes des treuils des bouchures principales.

Pour le pont-roulant le mouvement de translation ainsi que les mouvements de levée et d'abaissement sont à commande électrique et à commande manuelle.

Pour chaque grue les mouvements de levée et d'abaissement sont à commande électrique et à commande manuelle tandis que le mouvement de giration est uniquement à commande manuelle.

Un frein à sabots, à commande électrique doit être prévu sur l'arbre du moteur de chaque treuil à commande électromécanique.

Des limiteurs d'effort mécanique à friction empêchent toute rupture d'organe; ils sont calibrés pour des efforts correspondant à trois fois le couple normal du moteur.

Pour éviter toute vitesse dangereuse à l'abaissement des palonniers du pont-roulant et pour obtenir l'irréversibilité du mécanisme un frein mécanique à vis et à lamelles est prévu sur un des arbres de transmission des mécanismes de levage.

Les mécanismes de levée et d'abaissement de chaque grue sont irréversibles.

Afin d'empêcher que pendant le mouvement de levage des palonniers du pont-roulant, ceux-ci

viennent buter contre ce pont, il est prévu un interrupteur de fin de course qui coupe le circuit de commande de l'interrupteur à relais.

Les mouvements de chaque moteur sont réglés par un contrôleur.

Les contrôleurs de manœuvre du pont-roulant se trouvent sur le pont enfermés dans des armoires situées sur le pont-roulant, tandis que le contrôleur de levage de chaque grue se trouve dans une armoire située sur la grue.

Chaque contrôleur a pour rôle d'inverser le sens de marche du moteur. En faisant passer le volant du contrôleur du premier plot sur les suivants on réalise le démarrage progressif du moteur par le retrait successif des résistances insérées dans le circuit du rotor. Les différents autres appareils électriques de commande du pont-roulant et des grues se trouvent dans des coffrets métalliques hermétiques renfermés dans les armoires précitées.

c) *Eclairage des différents ouvrages d'art.*

L'éclairage des deux écluses et du pont est réalisé au moyen de lampes à vapeur de sodium, avec armatures à réflecteur.

Les pertuis du barrage principal sont éclairés au moyen de phares avec lampes à incandescence.

d) *Équipement de la station de transformation statique.*

L'énergie électrique est fournie à la station sous forme de courants triphasés, à la tension de 15.000 volts entre phases et à la fréquence de 50 périodes à la seconde.

L'installation n'est prévue que pour une seule alimentation.

Aux tiges émergeant de la boîte terminale est relié un faisceau de trois conducteurs à haute tension munis d'indicateurs de tension au néon et aboutissant par l'intermédiaire de deux jeux de sectionneurs avec mise à la terre à l'inter-

rupteur général à maxima.

Aux barres omnibus partant de cet interrupteur sont prises deux dérivations à trois conducteurs chacune aboutissant aux bornes de deux transformateurs en passant chacun par un jeu de sectionneurs.

L'un de ces transformateurs sert de réserve à l'autre. Chacun de ces transformateurs est capable de débiter, en régime continu, une puissance de 75 kilovolt ampères.

Tous les appareils à haute tension sont logés dans des cellules constituées par des cloisons en béton armé et clôturées à l'avant au moyen de cloisons métalliques formant portes. A chaque transformateur de charge, la tension recueillie au jeu de barres du secondaire est de 225 volts entre phases, à pleine charge, plus ou moins 5 %.

Les barres omnibus du tableau de distribution à basse tension peuvent être alimentées au moyen de commutateurs soit par l'un ou l'autre des transformateurs, soit par le groupe électrogène de secours.

Les barres omnibus fournissent le courant nécessaire à l'alimentation des moteurs du barrage, des fils de trolley pour le pont-roulant et des différents circuits d'éclairage et des moteurs de la grande écluse de 136 m. \times 16 m. Pour les moteurs du barrage il a été prévu une double alimentation.

e) *Groupe électrogène de secours.*

Le groupe électrogène de réserve est établi de manière à pouvoir produire immédiatement et pour service continu, l'énergie électrique nécessaire, en cas de cessation de fourniture par la station de transformation.

Le groupe comprend un moteur à essence avec dispositif de refroidissement par radiateur et une excitatrice qui entraîne un alternateur. La tension est régularisée par un régulateur extra-rapide « Tirill ».

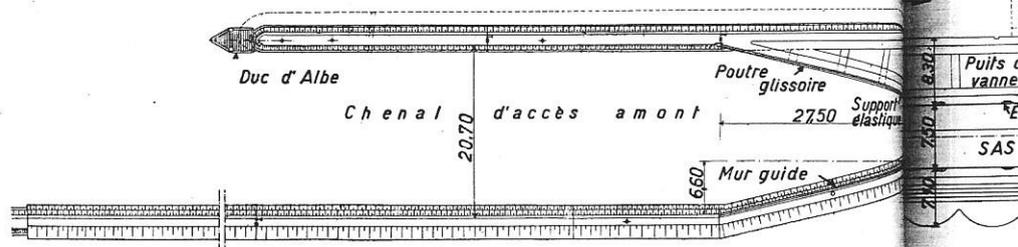


Fig. 31. -

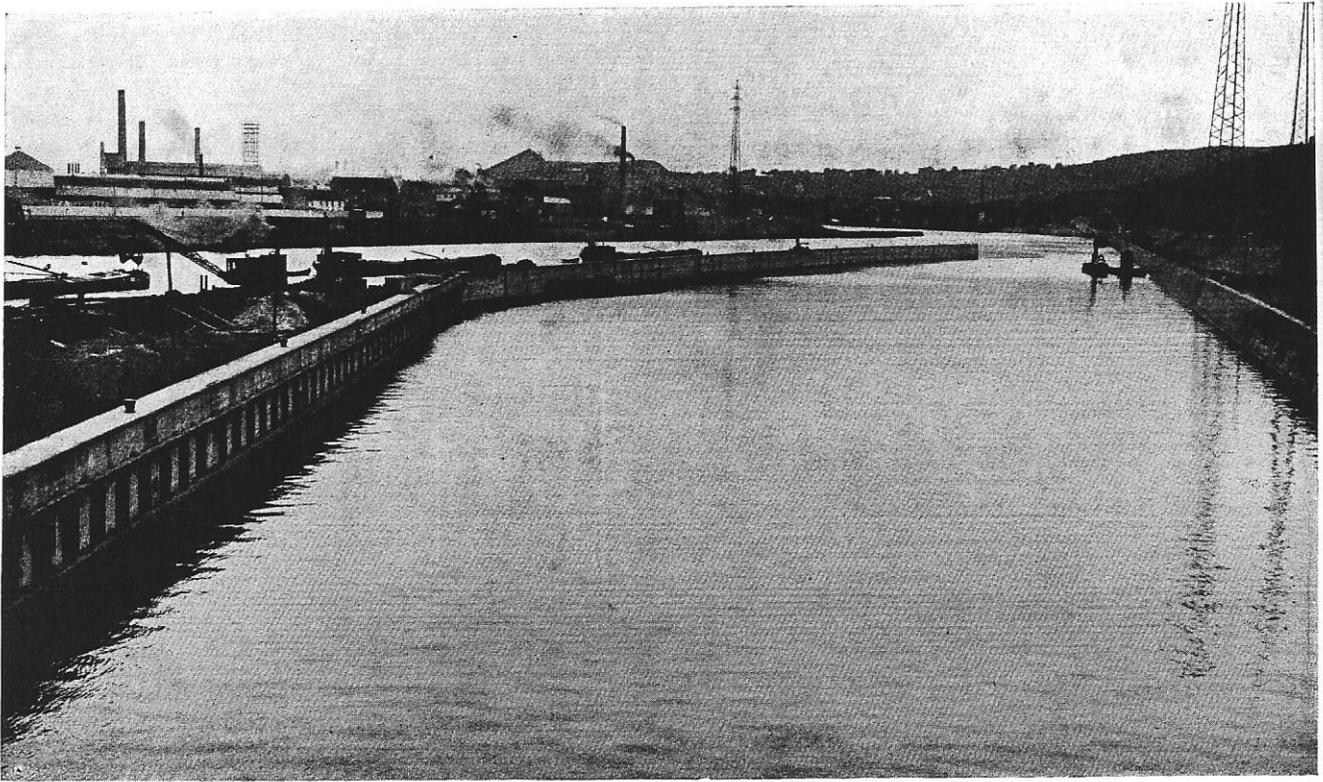


Fig. 32. — Vue du chenal d'accès aval à la grande écluse. Le mur glissoir sera supprimé au cas où la grande écluse de 260 m. \times 16 m. devrait être construite.

Le sas est limité par des bajoyers en béton ordinaire à parement vertical depuis le radier jusqu'au niveau de flottaison amont ; au-dessus de ce niveau, le parement est incliné 1/20 de manière à écarter des bateaux la crête du bajoyer et éviter ainsi l'arrachement de l'arrondi de protection en tôle cintrée laminée. Cette disposition est meilleure que celle qui prévoit l'inclinaison sur toute la hauteur des bajoyers, car, dans cette seconde hypothèse, on peut craindre que deux bateaux accolés viennent se coincer entre les bajoyers pendant la vidange du sas.

Afin de permettre les déformations thermiques, les bajoyers sont divisés en tronçons de 25 m. de longueur maximum. L'étanchéité entre les tronçons est obtenue par des joints élastiques en cuivre et bitume. Ces joints sont constitués par une gaine verticale, encastrée de part et d'autre dans le béton, et dont les parois, orientées dans le sens des déformations, comprennent une double tôle de cuivre de 4/10 de mm. : l'une profilée de manière à se prêter avec le minimum de fatigue aux dilatations et aux contractions du

béton, l'autre ayant pour but d'empêcher le béton de refluer dans le creux de la première tôle. La gaine est remplie de bitume qui est rendu suffisamment fluide pendant sa mise en place, grâce à un tube en forme de U dans lequel on fait passer de la vapeur. Ce dispositif, sans être plus coûteux que le joint ordinaire en feutre asphaltique, lui est nettement supérieur étant donné que ce dernier est expulsé petit à petit et disparaît à la longue lorsque les murs se dilatent.

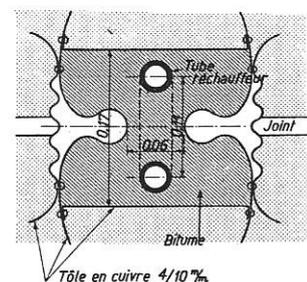


Fig. 33. — Coupe horizontale d'un joint de dilatation des murs.

PORTES.

La fermeture du sas s'effectue au moyen de portes busquées en acier laminé soudé. L'assemblage des entretoises principales aux poteaux tourillon et busqué comprenant de forts goussets, il a été possible, grâce à la raideur obtenue par la soudure, de supprimer tout contreventement aval (bracon et écharpe).

L'étanchéité, entre les vantaux et les chardonnets et busc, est obtenue par le dispositif ordinaire de fourrure en bois. Toutefois, en ce qui concerne la fourrure inférieure s'appuyant contre le busc, il a été jugé préférable de réaliser l'assemblage sur le vantail suivant de nouveaux principes. Il est à remarquer, en effet, que cette fourrure est fortement sollicitée et que, par la fixation ordinaire par boulons, les fibres en contact avec le busc sont presque toutes coupées, ce qui n'est pas favorable pour la bonne conservation. En outre, en cas de remplacement de cette fourrure, il est impossible d'enlever les boulons alors que la porte est en place, vu le faible jeu entre celle-ci et le radier, et il est nécessaire, en conséquence, de soulever entièrement le vantail. Le dispositif prévu obvie à ce double inconvénient. La fourrure, de section trapézoïdale repose sur une cornière dont l'aile supérieure est légèrement inclinée par rapport à l'horizontale et est maintenue, d'autre part, par des plats incli-

nés vers le bas. Pour parfaire cette fixation quelques tirefonds sont prévus dont l'enlèvement est aisé et qui n'entament pas les fibres extérieures de la fourrure. L'enlèvement et le remplacement de la fourrure inférieure peuvent ainsi être aisément effectués par scaphandrier.

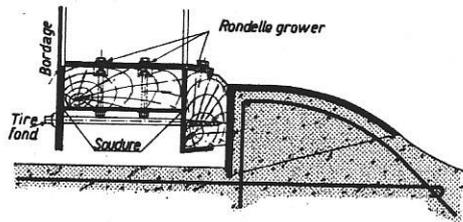


Fig. 34. — Dispositif de fixation de la fourrure inférieure des portes.

Les vantaux sont munis de ventelles glissantes à jalousies, dont l'emploi n'est prévu qu'accidentellement ; néanmoins, à la tête aval, une auge amortisseuse de même conception que celles du barrage, est aménagée dans le radier.

La manœuvre des portes se fait manuellement à l'aide de crics à crémaillère droite. Celle-ci attaque le vantail par l'intermédiaire d'un ressort qui est comprimé tant pendant la manœuvre d'ouverture que pendant celle de fermeture. Afin de réduire l'effort de manœuvre, le collier du poteau tourillon est équipé d'un roulement à rouleaux sphériques.

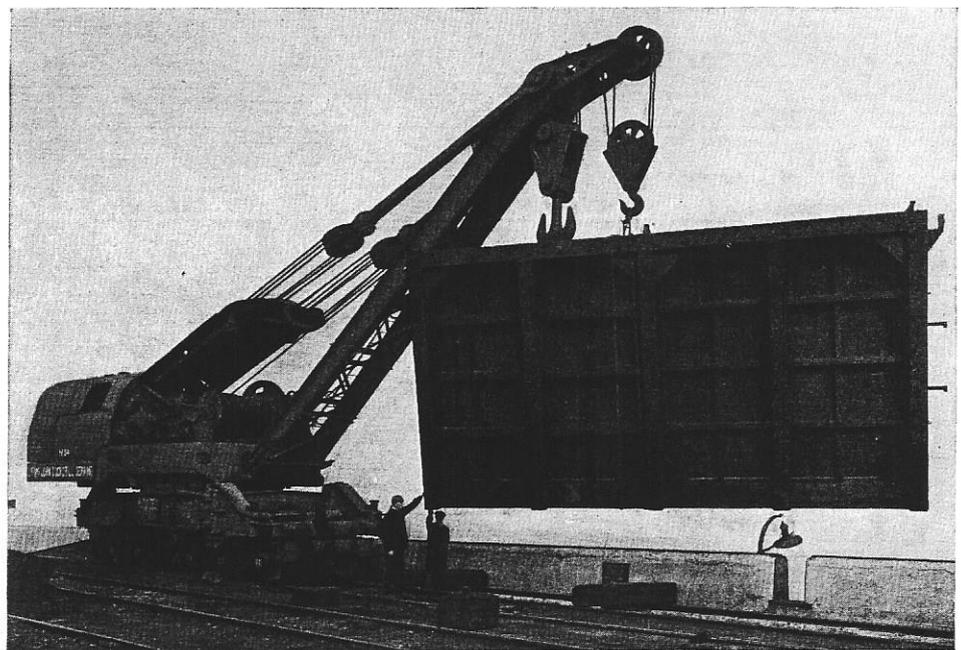


Fig. 35. — Vue aval d'un vantail de la petite écluse, au moment de son chargement sur bateau. A remarquer la simplicité de la charpente, notamment l'absence du bracon et de l'écharpe.

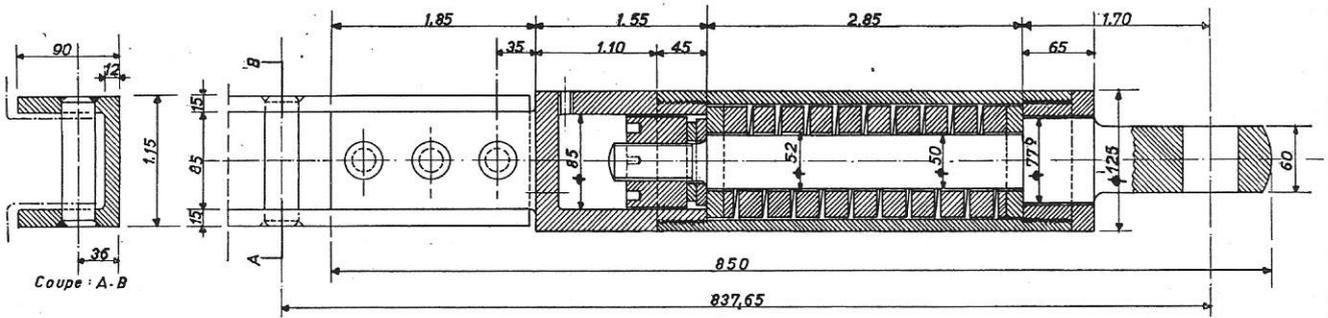


Fig. 36. — Dispositif élastique de la crémaillère du cric de manœuvre des portes.

Les chardonnets et buscs sont réalisés par des pièces en acier moulé résistant très bien à toute sollicitation quelconque et notamment aux chocs des bateaux. La bourdonnière ou pierre coussinet est remplacée ici par le béton ordinaire du radier, armé par une petite paillasse en barres de 10 mm.

REMPLISSAGE ET VIDANGE DU SAS.

Grâce à la position de l'écluse par rapport au barrage, il a été possible de faire déboucher l'aqueduc de prise d'eau et l'aqueduc de décharge dans le parement côté Meuse du bajoyer de gauche respectivement en amont et en aval du barrage.

Cette disposition est certainement meilleure

que celle où les têtes des aqueducs de remplissage et de vidange sont situées dans les chenaux d'accès. En effet, dans ce cas des courants se propagent dans ces chenaux et peuvent gêner la manœuvre des bateaux. Les aqueducs de remplissage et de vidange se raccordent à un seul et même puits se trouvant dans le bajoyer du large à mi-longueur du sas. Ce puits communique avec le sas par un aqueduc, passant d'abord en dessous du radier, et qui, après plusieurs bifurcations symétriques, vient aboutir dans le parement des deux bajoyers par huit groupes de trois tuyères divergentes dont le tracé et les dimensions ont été fixés pour obtenir un débit quasi égal par tous les orifices. Ces tuyères, débouchant en dessous de bateaux et étant, de plus, distribués symétriquement par rapport au centre du sas, il est à présumer que même une variation rapide du plan d'eau dans le sas de la flottaison amont vers la flottaison aval ou vice versa, ne sera nullement accompagnée de courants longitudinaux ou transversaux sollicitent défavorablement les bateaux.

Le remplissage et la vidange du sas devant être réalisés par un vannage situé dans un même puits, il a été fait application du système de vanne cylindrique double imaginé par M. L. Van Wetter et dont les caractéristiques ont été exposées dans son rapport présenté au XV^e Congrès International de Navigation (Venise 1931). L'étude des plans définitifs a été poussée avec le souci de donner une réalisation rationnelle et aussi parfaite que possible de ce nouveau type de vannage.

Le remplissage du sas prévu par une vanne cylindrique haute, tandis que la vidange est opérée par une vanne cylin-

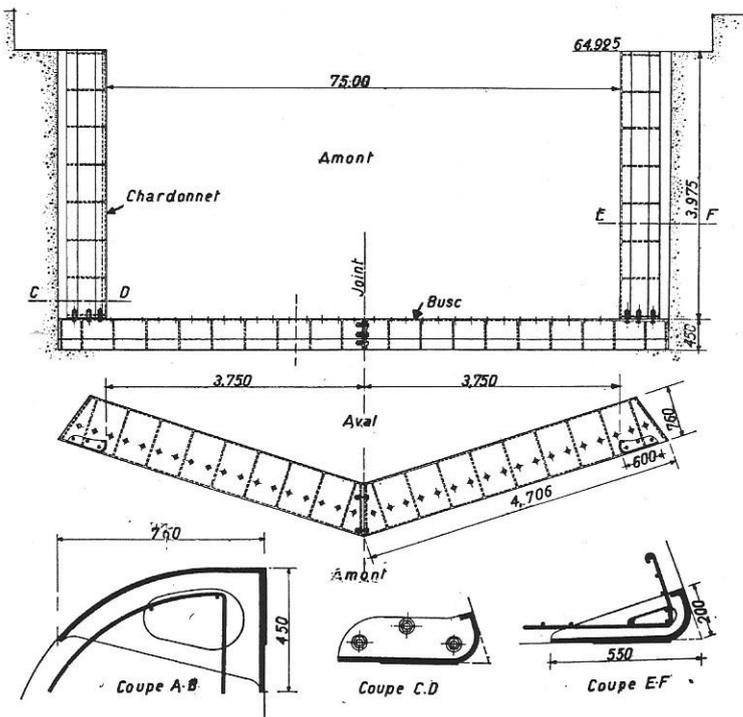


Fig. 37. — Chardonnets et buses (élévation, plan et coupes) en acier moulé.

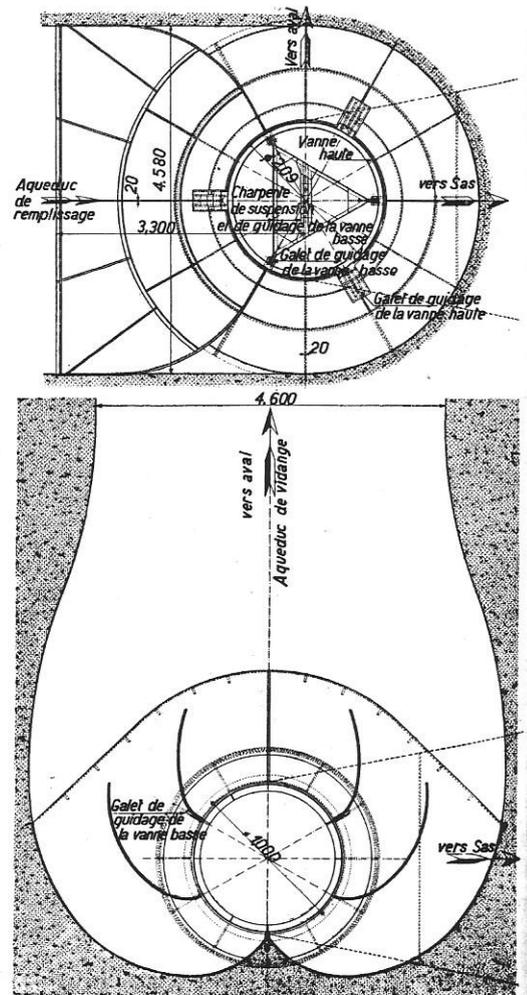
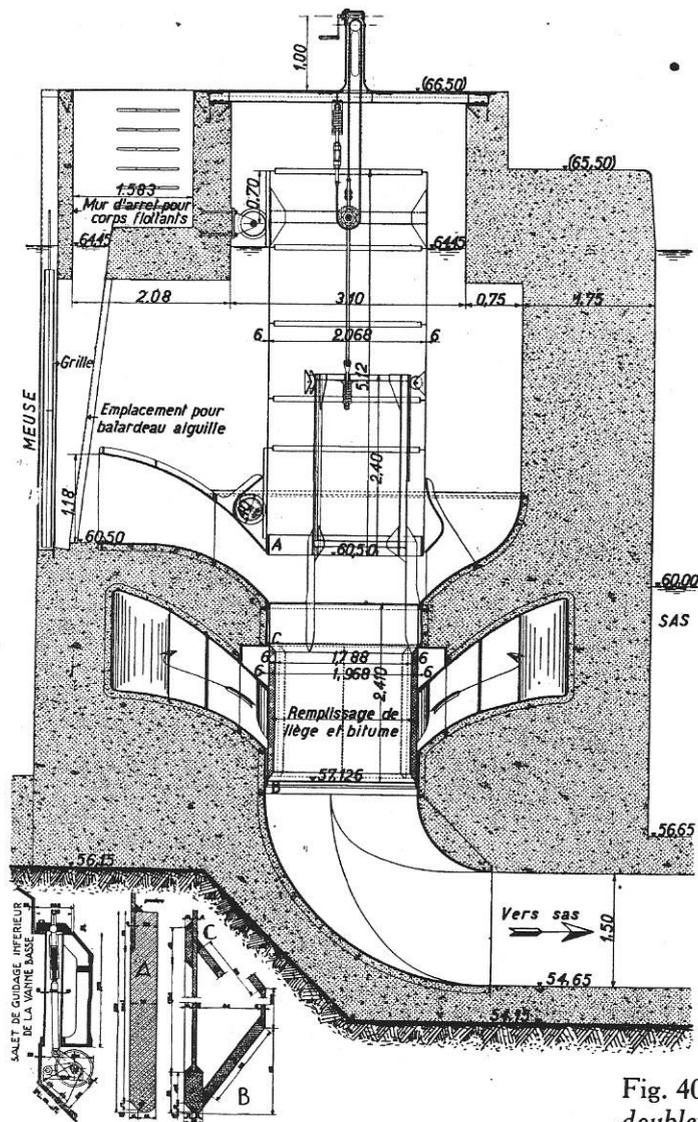


Fig. 40. — Puits central avec vanne double (coupes verticale et horizontales).

le pourtour du cylindre et d'éviter ainsi des courants tendant à ovaliser la vanne et faire tourner celle-ci, on a donné au puits des dimensions transversales suffisantes. En outre, le secteur de 120°, dont l'axe est dirigé vers la prise d'eau, est alimenté uniquement par un couloir en fonte de débouché limité de manière à ne pas favoriser ce secteur par rapport aux deux autres. Dans l'étendue de ceux-ci, les parements verticaux du puits se raccordent au siège de la vanne par un cuvelage en fonte de forme optima pour l'écoulement de l'eau.

La vanne basse possède un double bordé de manière à réaliser une raideur suffisante ; les ceintures apparentes ne sont, en effet, pas admissibles étant donné que, lors du remplissage du

sas, le débit doit passer à l'intérieur de la vanne basse. Le double bordé permet, en outre, de régler l'équilibrage grâce à un remplissage d'un mélange de liège et bitume, dont on peut faire varier le poids spécifique. Le guidage de la vanne basse se fait comme pour la vanne haute par deux séries de trois galets. Les galets inférieurs sont situés dans des encoches appropriées et peuvent, grâce à un excentrique, se dérober lorsqu'on veut enlever pour réparation ou simple entretien la vanne basse de son logement. Les galets supérieurs sont solidaires de la vanne haute et assurent le guidage de la charpente de suspension de la vanne basse. La verticalité de la translation de celle-ci sera donc assurée si le guidage de la vanne haute est convenablement réglé.

L'étanchéité est réalisée inférieurement, comme pour la vanne haute tandis que supérieurement elle sera pratiquement obtenue grâce à un dispositif inspiré des segments de piston de machine à vapeur : un faible jeu existant toutefois ici entre les segments et le cuvelage du puits.

Le raccordement par cuvelage en fonte du puits à l'aqueduc de vidange assure également une répartition uniforme du débit sur tout le périmètre du puits ; la présence d'un certain nombre d'aubes de guidage a pour effet de diminuer la turbulence du courant.

EQUIPEMENT DES BAJOYERS.

Cet équipement comprend entre autres l'escalier, les échelles, les organeaux et les bolards.

Les escaliers aménagés dans les bajoyers constituent dans la pratique courante, une discontinuité dans les tablettes de couronnement, d'où danger pour la circulation et accrochage possible des câbles. Ce défaut a été supprimé dans la présente écluse. L'escalier se compose de deux volées, l'inférieure communique avec le sas et est parallèle à celui-ci, la supérieure s'écarte normalement du bajoyer et débouche à l'abri d'un parapet dans le terre-plein en arrière de la tablette continue. Cet escalier ne peut en conséquence être utilisé que pour la flottaison aval ce qui n'est guère un inconvénient étant donné que la revanche du terre-plein par rapport à la flottaison amont n'est que d'un mètre.

Quand la chute est appréciable deux séries d'organeaux à des niveaux différents ne sont nullement satisfaisantes. Aussi pour certaines écluses

on a recours à des bolards flottants, guidés dans des rainures des bajoyers. Bien que le règlement de la police de navigation s'y oppose les bateliers utilisent couramment les échelles de sauvetage pour appuyer leur gaffe, alors que celles-ci n'ont pas été étudiées pour recevoir pareille sollicitation. Pour réaliser une solution complète du problème, les échelles de sauvetage ont été conçues de manière à faire office également d'organeaux. Pour ce faire, l'échelle elle-même ainsi que ses ancrages sont prévus de dimensions convenables. En outre les montants de l'échelle sont interrompus à plusieurs niveaux, chaque extrémité étant forgée en forme de piton d'amarrage.

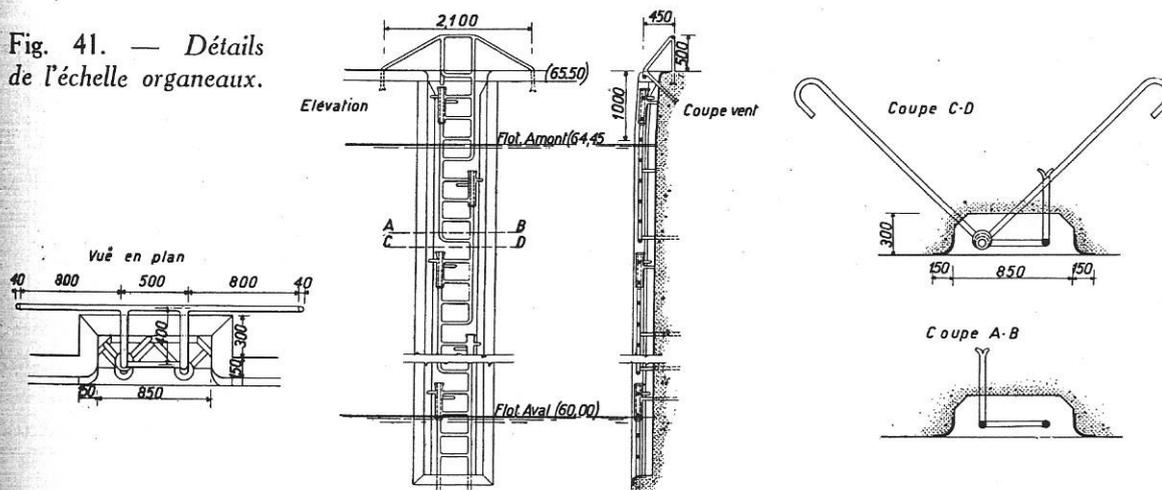
Enfin en ce qui concerne les bolards, leur forme et leur emplacement ont été fixés en observant les principes suivants :

- 1° bolard facilement accessible du bateau ;
- 2° permettre au batelier se trouvant à bord de libérer son amarre sans difficulté ;
- 3° assurer l'accrochage du câble pour toute inclinaison ;
- 4° assurer une courbure de rayon suffisant au changement de direction du câble de manière à éviter le disjointement des torons, qui amène une usure prématurée ;
- 5° écarter le câble de l'arête des bajoyers de manière à éviter l'usure par sciage de celle-ci.

Les bolards sont placés en crête et ont la forme d'une tête sphérique reposant sur un épaulement.

Par l'emploi de l'acier moulé le bolard résiste par lui-même aux efforts de flexion, résultant de la traction du câble, et il suffit de constituer son ancrage par quelques simples barres (fig. 42).

Fig. 41. — Détails de l'échelle organeaux.



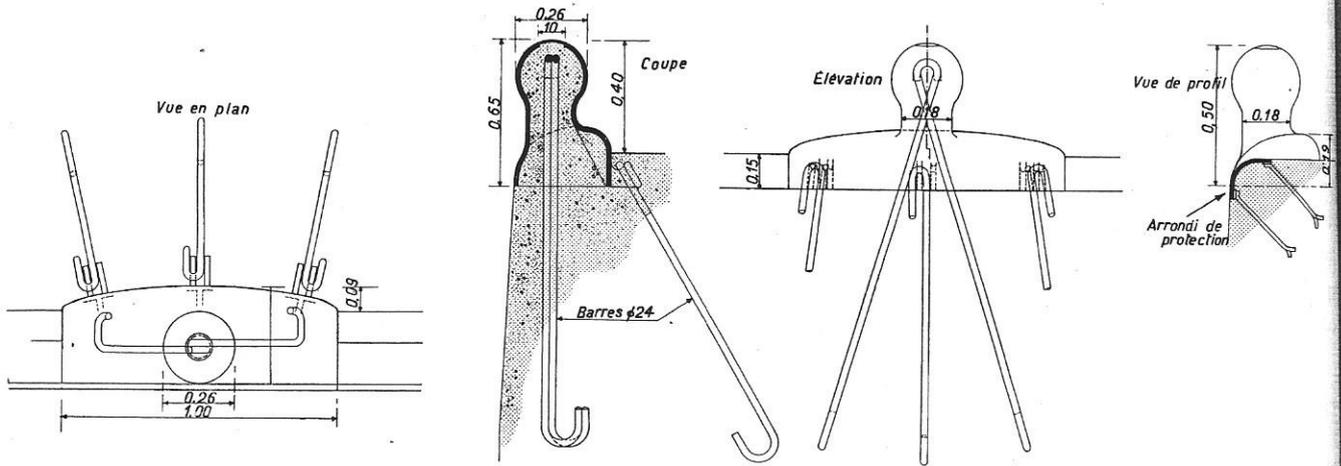


Fig. 42. — Détails du bolard en acier moulé placé en crête.

BATARDEAUX DE SECOURS.

Chaque chambre de portes peut être mise à sec à l'aide de batardeaux de secours de même principe que celui du barrage ; d'ailleurs les mêmes aiguilles peuvent servir dans les deux cas.

La poutre, servant d'appui supérieur aux aiguilles, est constituée par un cylindre en acier laminé soudé avec raidisseurs transversaux extérieurs, le diamètre du cylindre étant trop faible pour permettre la soudure de ceintures intérieures.

Pont-route.

Le pont-route franchit successivement les deux écluses et l'espace réservé à la 3^e écluse ainsi que les cinq pertuis du barrage. Sa longueur atteint ainsi environ 225 m. Toutes les dispositions ont été prises pour permettre l'établissement d'une centrale hydroélectrique accolée au barrage, rive gauche.

Pour les trois premières travées, attenantes à la rive droite, il était nécessaire de réserver un tirant d'eau minimum pour la navigation et comme d'une part la solution des poutres sous voie est plus économique que celle qui comporte des poutres en garde-corps et que d'autre part la hauteur disponible en dessous du niveau de la chaussée est relativement réduite, le type de pont à longerons à hauteur constante s'impose naturellement.

Afin de ne pas rompre l'équilibre esthétique de l'ensemble de l'ouvrage il était logique d'adopter le même type pour les autres travées.

D'ailleurs, vu le surbaissement, un pont en arcs au-dessus du pertuis du barrage, aurait difficilement pu se concilier avec des piles dont l'épaisseur n'excède pas 3 m.

Le pont comprend une chaussée de 9 m. et deux trottoirs de 2 m. Malgré la largeur totale de 11 m. le nombre de poutres principales se réduit à trois, reliées par des entretoises dont l'entre-distance correspond à peu de choses près à celle des longerons.

Comme ce pont était tout indiqué pour servir de pont de service pour l'exécution des ouvrages, faisant partie du barrage, il était désirable de le prévoir en charpente métallique enrobée de béton, la charpente métallique pouvant déjà seule servir de pont de service.

Les longerons et les entretoises sont constitués par des poutrelles en acier laminé soudé.

Les portées étant environ de 27 m. il a été adopté pour les longerons des poutres cantilever.

Le hourdis est continu sur le quadrillage formé par cette ossature métallique et est en conséquence armé dans les deux sens.

Le nombre réduit de longerons et la nature du hourdis conduisent à une solution plus économique que celle qui prévoit les longerons très rapprochés et le hourdis portant dans un seul sens.

Aspect général des ouvrages des Ramet-Ivoz.

Comme on se trouve en présence d'un ouvrage complexe, devant répondre à une multitude de conditions techniques, il était logique de rester

dans l'ensemble
Celle-
ment
dans l'
d'eau
lignes
dans l'
la pa
rouler
chure

To
répar
destir
sincé
s'allie

Pa
une
ressor
ainsi
passe

019

dans le cadre d'une architecture fonctionnelle. Celle-ci n'écarte certainement pas tout sentiment esthétique moderne pouvant s'intégrer dans la beauté naturelle du site Mosan. Le plan d'eau appelle nécessairement une harmonie de lignes horizontales qui se retrouvent d'ailleurs dans le profil en long de la chaussée sur le pont, la passerelle de service ainsi que le chemin de roulement du portique de manœuvre de la bouclure de secours amont.

Toute ornementation factice a été écartée, la répartition seule des volumes en fonction de leur destination a abouti à une expression qui, par sa sincérité et sa sobriété, conduit à un aspect où s'allient beauté, force et puissance.

Par l'emploi de divers matériaux il a été réalisé une opposition de tons destinée à mieux faire ressortir les divers éléments de l'ouvrage. C'est ainsi que le pont et les piliers de support de la passerelle sont recouverts d'un enduit spécial à

base de grenailles de marbre blanc et noir, lavé et brossé avant durcissement, et que les parements des cages d'escaliers d'accès à la passerelle de service sont en briques qui encadrent de grandes verrières en dalles lumineuses en forme de V. Enfin, la passerelle de service est en béton clair de manière à rendre son aspect aussi léger que possible compte tenu de la ligne de baies vitrées.

Les maisons éclusières et les cabines de manœuvre de la grande écluse ont été conçues suivant les mêmes normes esthétiques de l'ensemble des autres ouvrages.

Prix de revient.

Le coût de l'ensemble des ouvrages décrits ci-dessus, comprenant notamment le barrage, l'écluse de 55 m. \times 7^m,50, le pont-route, les maisons éclusières, l'équipement électromécanique et l'éclairage est de 18.935.000 francs ⁽¹⁾.

Ce montant se décompose comme suit :

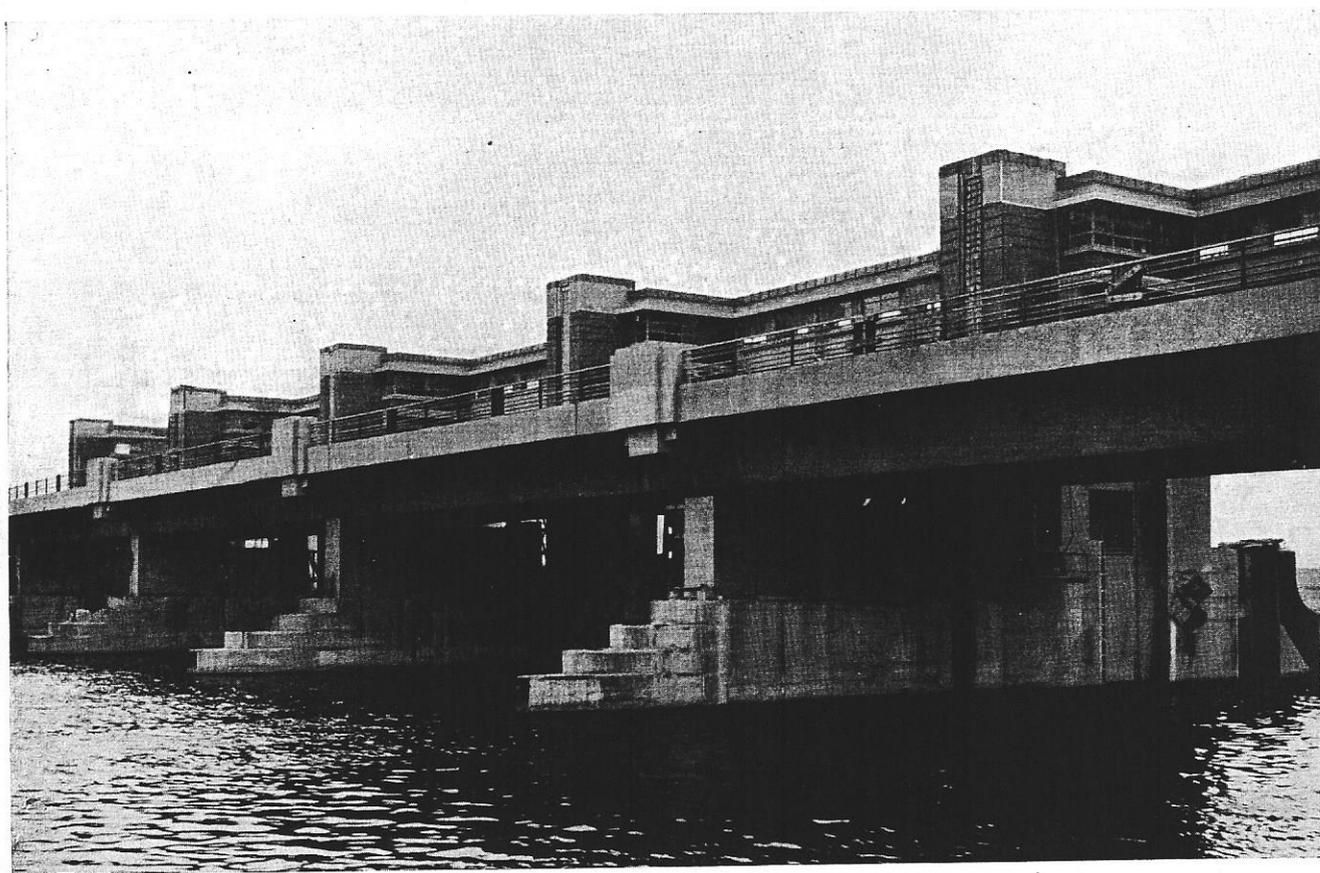


Fig. 43. — *Vue aval du barrage, montrant le pont-route au premier plan. (Lors de la mise en service du barrage, le plan d'eau sera abaissé, à l'aval, de 2^m,50 environ).*

A. — Barrage :

| | |
|--|-----------------------|
| 1. Terrassements | 1.400.000 frs |
| 2. Maçonneries (y compris charpente métallique enrobée) | 4.500.000 » |
| 3. Bouchure principale | 2.500.000 » |
| Equipement électromécanique | 1.740.000 » |
| 4. Bouchure de secours amont | 550.000 » |
| Equipement électromécanique | 300.000 » |
| 5. Bouchure de secours aval | 180.000 » |
| 6. Centrale de secours, station de transformation, éclairage et divers | 350.000 » |
| Total. | 11.520.000 frs |

| Nature des ouvrages | Dépenses en francs | | |
|--|--------------------|----------------------------|------------|
| | par mètre courant | par mètre carré de retenue | % |
| 1. Terrassements | 11.700 | 1.600 | 12,2 |
| 2. Maçonneries | 37.500 | 5.150 | 39 |
| 3. Bouchure principale. | 20.800 | 2.850 | 21,6 |
| Equipement électromécanique | 14.500 | 2.000 | 15,2 |
| 4. Bouchure de secours amont | 4.600 | 630 | 4,8 |
| Equipement électromécanique | 2.500 | 345 | 2,6 |
| 5. Bouchure de secours aval. | 1.500 | 205 | 1,6 |
| 6. Centrale de secours station de transformation et divers | 2.900 | 400 | 3 |
| Totaux. | 96.000 | 13.180 | 100 |

B. — Ecluse de 55 m. X 7,50.

| | |
|--|----------------------|
| 1. Terrassements | 600.000 frs |
| 2. Sas avec équipement | 1.600.000 » |
| 3. Batardeau de secours | 60.000 » |
| 4. Chenaux d'accès et murs de raccordement aux môles de la grande écluse | 1.220.000 » |
| 5. Eclairage | 70.000 » |
| Total. | 3.550.000 frs |

C. — Pont-route.

| | |
|--|----------------------|
| 1. Béton | 1.150.000 frs |
| 2. Charpente enrobée, armatures et appuis. | 1.950.000 » |
| 3. Travaux de voirie | 410.000 » |
| Total. | 3.510.000 frs |

D. — Maisons éclusières avec magasin. 270.000 frs

E. — Deux échelles à poissons système Denil 85.000 »

(1) Entrepreneurs : Société Anonyme Cobétons de Bruxelles avec Société Anonyme John Cockerill à Seraing comme sous-traitant pour les parties métalliques.

L'équipement électromécanique est exécuté par la firme Société Anonyme du Thiriau.

En ce qui concerne spécialement le barrage, le tableau ci-dessus donne approximativement la répartition de la dépense totale par mètre courant de débouché linéaire de barrage et par mètre carré de retenue.

Conclusions.

Dans l'étude des ouvrages de navigation de Ramet-Ivoz nous avons porté tous nos efforts pour réaliser une œuvre originale, rationnelle et bien équilibrée.

Si nous avons donné une solution scientifique nouvelle tant au barrage qu'à l'alimentation et la vidange de l'écluse nous avons la conviction que ces ouvrages s'avéreront d'une exploitation simple et d'un entretien peu coûteux. En exposant la conception de quelques détails nous avons voulu faire apparaître que l'étude a été faite en profondeur et que toute routine, non consacrée par l'expérience, a été écartée.

Signalons en outre que les vannes du barrage de Ramet-Ivoz sont les premières à être exécutées en acier laminé à haute résistance assemblé par soudure.

Nous devons à la Meuse liégeoise, lien vivant d'industries, où l'activité est avide de tout progrès, de créer une œuvre moderne pleine de hardiesse.