

2258

LA
DE

2258



L. NOVGORODSKY
L'Ecluse Baudouin
Nouvelle Ecluse Maritime du Port d'Anvers.



Le pont en béton précontraint
de 38 km (2 232 travées de 17 m)
sur le lac Pontchartrain (E.-U.)

M A I - J U I N 1 9 5 7



C'est un

**TRANSFORMATEUR
DE SOUDURE**

VADIAL

*voilà votre intérêt
vous commande
de l'adopter*



CONCEPTION NOUVELLE
ROBUSTESSE INÉGALÉE
ALLUMAGE CONTINU
CARACTÉRISTIQUES IDÉALES
PRIX

LIQUIDE S.A.

Agence de l'Est: **LIÈGE** 31, Quai Orban, Tél.: 43.65.55
Agence du Centre: **BRUXELLES** 71, Rue J.B. De Cock, Tél.: 26.71.50
Agence du Nord: **GAND** 5, Hameau Capucins, Tél.: 25.53.40
Div. Luxemb^{oise} **LUXEMBO** 4-6, Rue de l'Acierie, Tél. 30



*pour toutes
applications*

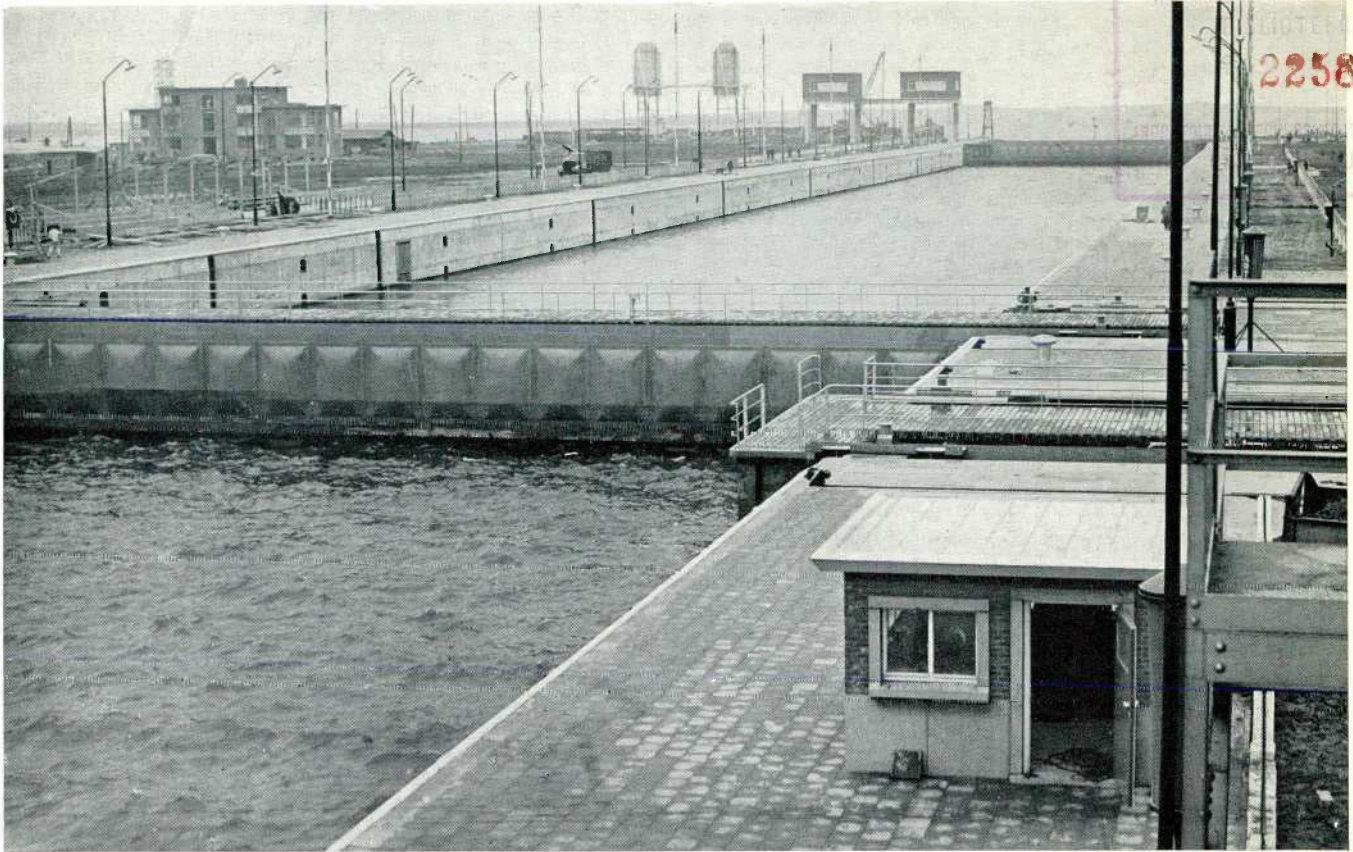


FIG. 1. — VUE D'ENSEMBLE DE L'ÉCLUSE BAUDOQUIN, APRÈS LA MISE EN EAU, PORTES AMONT ET AVAL FERMÉES.

L'ÉCLUSE BAUDOQUIN NOUVELLE ÉCLUSE MARITIME DU PORT D'ANVERS

0307 009 2088


LE port d'Anvers s'est développé au cours des siècles sur la rive droite de l'Escaut, à 88 km de l'embouchure du fleuve. Considéré à juste titre comme un des ports les plus « vites » du monde, Anvers doit, pour conserver cette renommée, veiller constamment à l'amélioration de son outillage et s'adapter aux exigences nouvelles de la navigation.

C'est ainsi qu'en plus des 5,5 km de quais aménagés le long de l'Escaut, 40 km de quais bordèrent successivement les nombreux bassins, d'une superficie totale de 430 ha, creusés pour la plupart de 1919 à 1935.

L'Escaut est un fleuve à marées; l'amplitude de celles-ci est en moyenne de 4,70 m. Le niveau des

bassins étant maintenu entre les cotes + 4 et + 4,25, leur communication avec le fleuve doit se faire par des écluses. Jusqu'en 1955, elles étaient au nombre de quatre, à savoir (fig. 2) :

1. L'Écluse Bonaparte, datant de 1811; elle mesure 18 m de large et a 3 m d'eau sur le seuil à marée basse. Elle est réservée à la navigation intérieure.

2. L'Écluse du Kattendijk, datant de 1860; elle mesure 25 m de large; le mouillage à marée basse est de 3 m. Elle est également réservée à la navigation intérieure.

3. L'Écluse Royers, mise en service en 1911; le sas a 180 m de long et 22 m de large; le mouillage à marée basse est de 6,60 m.

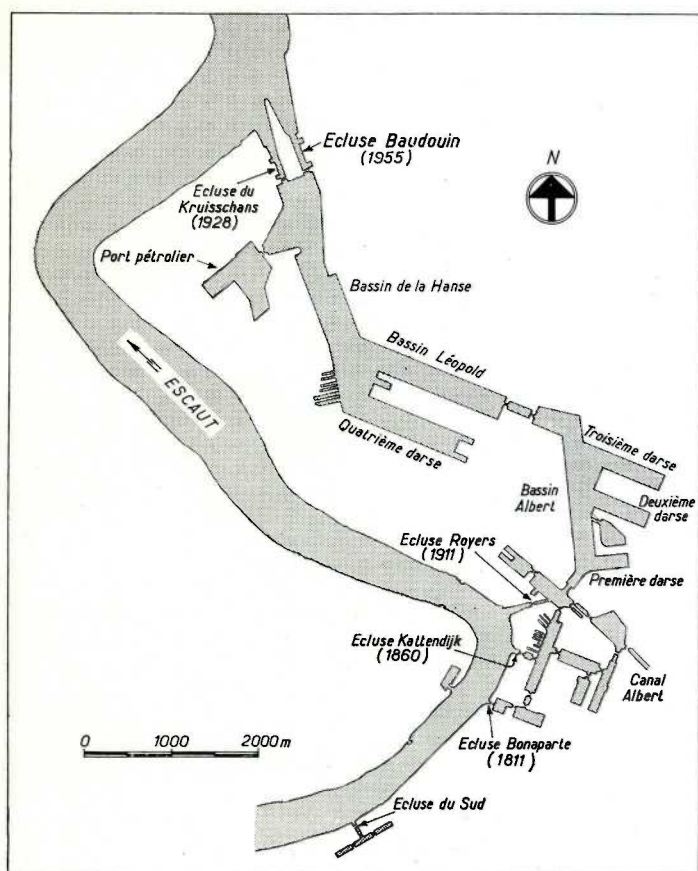


FIG. 2. — PLAN SCHÉMATIQUE DU PORT D'ANVERS.

4. L'Écluse du Kruisschans, mise en service en 1928; son sas a 270 m de long et 35 m de large; le mouillage à marée basse est de 10 m ⁽¹⁾.

(1) Voir *La Technique des Travaux*, numéro de novembre 1926 : « Les travaux d'extension du port d'Anvers; Construction de l'écluse du Kruisschans; Description du chantier et de l'exécution des travaux », par L. Bonnet, Ingénieur en chef, Directeur des Ponts et Chaussées à Anvers.

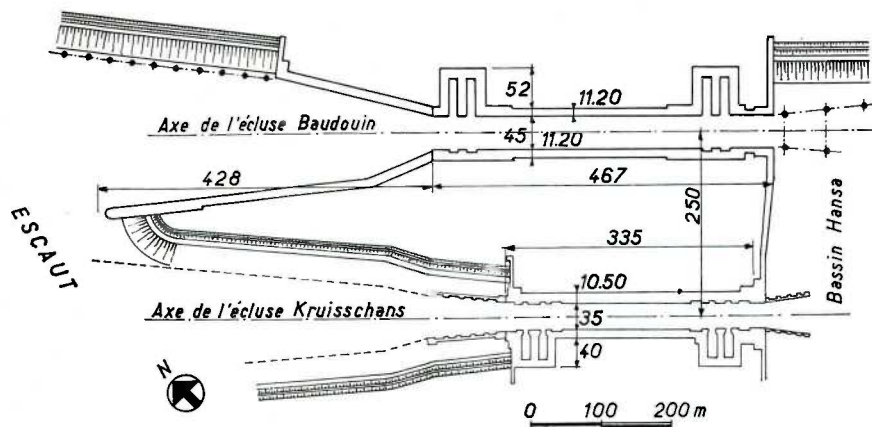


FIG. 3. — PLAN D'ENSEMBLE MONTRANT LA SITUATION ET LES DIMENSIONS COMPARÉES de l'écluse du Kruisschans, construite de 1919 à 1928, et de la nouvelle écluse Baudouin. L'écluse du Kruisschans a 270 m de longueur, 35 m de largeur et 10 m de profondeur d'eau. L'écluse Baudouin a 360 m \times 45 m \times 10,50 m. Les lêtes amont des deux écluses sont dans le même alignement.

En fait, la seule écluse maritime moderne était celle du Kruisschans. En cas d'avarie à cette écluse, le port était menacé d'embouteillage. Comme, d'autre part, les possibilités d'éclusage risquaient de devenir insuffisantes en raison de l'augmentation du trafic par grands navires, la construction d'une nouvelle écluse maritime était devenue indispensable.

En considération du rôle de premier plan joué par Anvers dans l'économie de la Belgique, le Gouvernement a décidé, à la fin de 1950, de procéder à la construction d'une nouvelle écluse qui devait s'appeler plus tard l'Écluse Baudouin.

Emplacement et caractéristiques

La nouvelle écluse est établie au nord de celle du Kruisschans, parallèlement à celle-ci. La distance d'axe en axe des deux ouvrages est de 250 m (fig. 3).

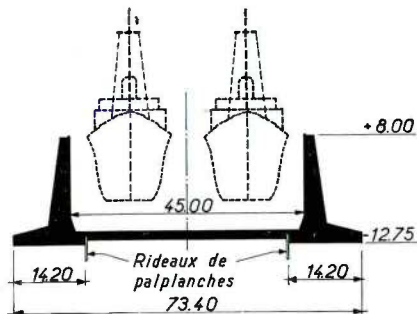
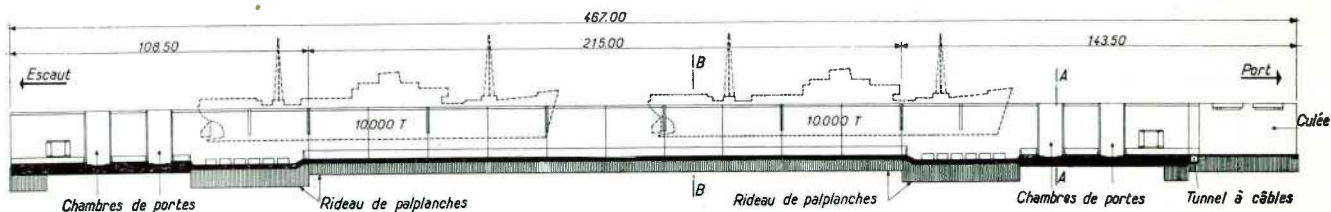
Cette disposition permet de réserver à chaque écluse un chenal d'accès distinct, qui facilite l'entrée et la sortie des navires.

Pour tenir compte du passage des voies de communication (route et chemin de fer) qui franchissent l'écluse du Kruisschans, à l'amont, les têtes amont des deux écluses sont dans le même alignement.

Les dimensions de la nouvelle écluse ont été choisies pour permettre l'éclusage simultané de quatre navires du type « Liberty » ou « Victory » dont les dimensions sont d'environ 150 m de long sur 19 m de large, tout en ménageant un espace libre de 20 %.

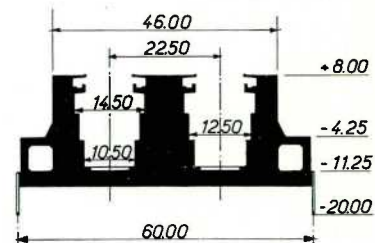
La longueur du sas ainsi déterminée est de $2(150 + 30) = 360$ m, la largeur de $2(19 + 3,5) = 45$ m (fig. 4).

Le mouillage sur le seuil à marée basse est de 10,50 m; à marée haute moyenne, ce mouillage est de 15,20 m.



Coupe BB.

FIG. 4. — COUPE LONGITUDINALE, COUPE TRANSVERSALE DANS LE SAS (coupe BB, à gauche) ET COUPE TRANSVERSALE DANS LES CHAMBRES DE PORTES (coupe AA, à droite).



Coupe AA.

Les marées hautes peuvent exceptionnellement atteindre la cote + 8 m, mais la navigation sur l'Escaut est arrêtée lorsque le niveau monte à + 7,25; par contre, les marées basses peuvent descendre à - 0,75.

La chute maximum vers l'aval est ainsi de 4,25 m + 0,75 m soit 5 m, vers l'amont, elle est de 7,25 m - 4 m soit 3,25 m.

Terrain

Le sondage type à l'endroit où est édifée l'écluse est représenté à la figure 5. Le niveau de l'eau se situe aux environs de la cote + 2 m.

En dessous de la cote - 10 m, le sable présente une résistance à la pénétration de 250 kg/cm²; le coefficient de perméabilité varie de $4,10 \times 10^7$ à $2,70 \times 10^7$ cm/sec.

Description des ouvrages

A. L'ÉCLUSE

L'écluse comprend deux massifs de tête séparés par le sas. Les têtes, indépendantes du sas, sont étudiées de manière à former barrage et à s'opposer au passage des eaux sous les fondations. Le sas est limité par des bajoyers en béton armé; le radier du sas, n'est qu'un simple revêtement protecteur du sol.

Chaque tête est pourvue de deux portes roullantes dont une de réserve.

Le remplissage et la vidange se font par des aqueducs contournant les chambres de portes.

I. Les fondations

Les têtes sont fondées à la cote - 14,75; les bajoyers, à la cote - 12,75, sur le sable compact qui comme nous l'avons signalé, offre une résistance à la pénétration de 250 kg/cm².

Les têtes sont complètement entourées d'un écran en palplanches métalliques; celles-ci descendent à la cote - 20 soit 5,25 m plus bas que

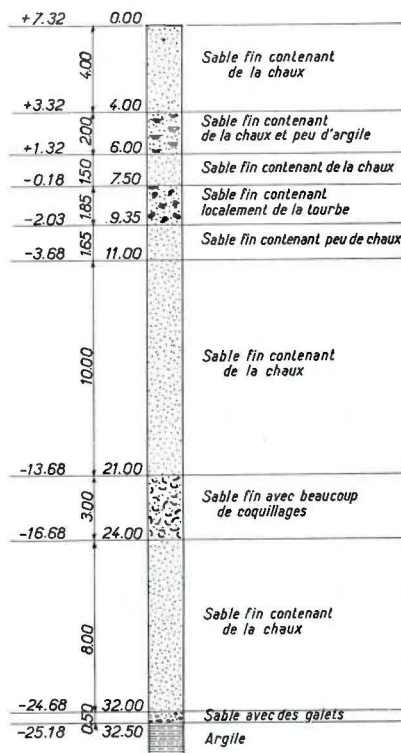


FIG. 5. — SONDAGE TYPE effectué à l'endroit où est édifée l'écluse. Les fondations des têtes atteignent la cote - 14,75, profondeur à laquelle on trouve un sable fin très compact.

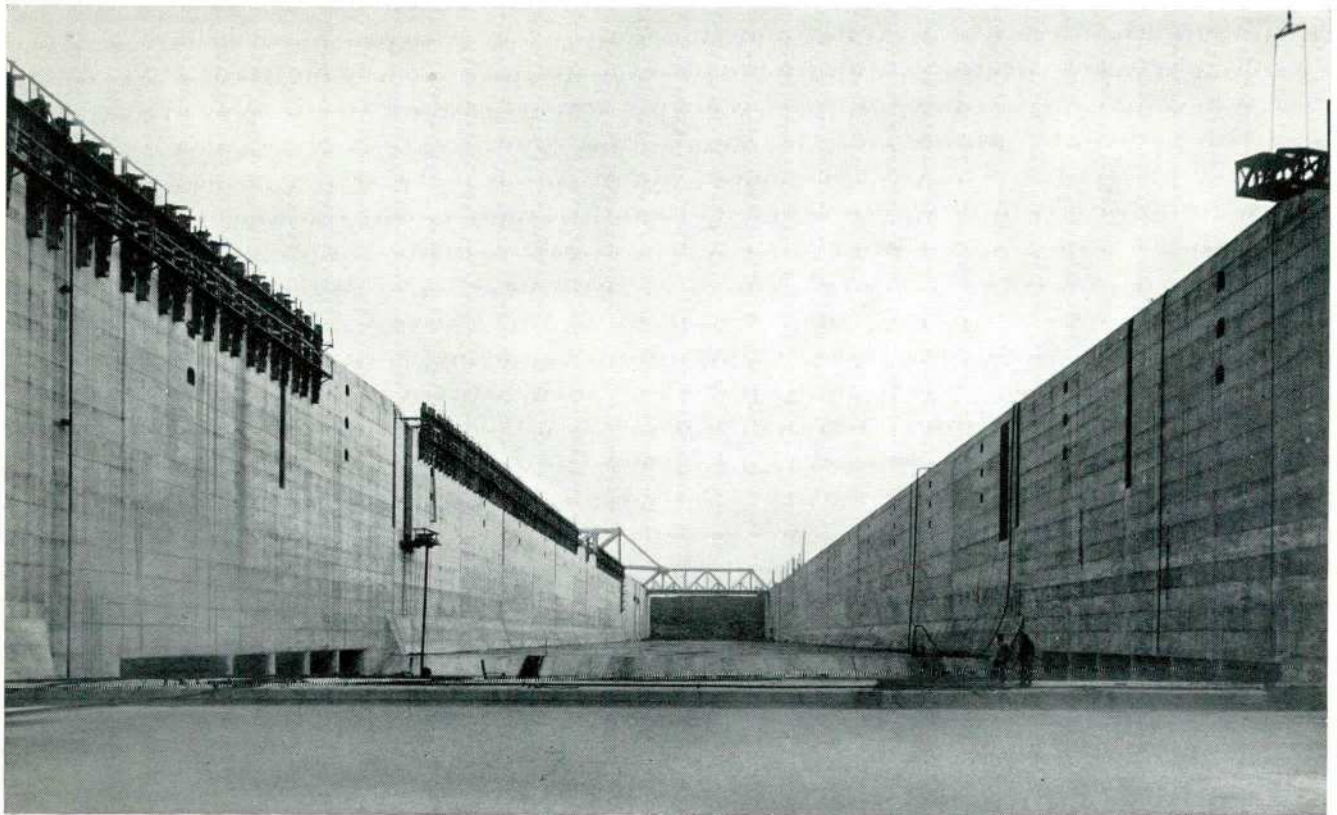


FIG. 6. — VUE D'ENSEMBLE DE L'ÉCLUSE AVANT MISE EN EAU.

les fondations. A la tête aval, des écrans transversaux combattent le cheminement des eaux le long de l'ouvrage. La figure 7 montre la disposition des rideaux de palplanches.

L'entretien des rails inférieurs de roulement des portes doit se faire à l'air libre grâce à l'emploi d'un caisson spécial; il en résulte que le fond des chambres de portes et le radier de l'écluse en face de celles-ci sont soumis à la sous-pression et dimensionnés en conséquence; l'épaisseur en est de 4,50 m.

Le radier du sas consiste en un revêtement de grandes dalles en béton d'environ 10 m sur 10 m et de 1 m d'épaisseur, posées sur une couche drainante de sable et de gravier et percées de cheminées de 0,20 m de diamètre remplies de gravier.

II. Les chambres de portes

Les chambres ont une longueur de 51 m et une largeur de 10,50 m, sauf à l'entrée où cette largeur est ramenée à 8,60 m. Les deux chambres d'une même tête sont séparées par un mur à gradins ayant une épaisseur de 12 m à la base.

A l'arrière des chambres de chaque tête a été prévu un puits circulaire de 6 m de diamètre où sont installées les pompes de dévasement et de vidange des chambres. Ces puits sont munis d'un cuvelage en tôles soudées de 5 mm d'épaisseur.

Au niveau + 5,80, des consoles supportent les rails de roulement du chariot supérieur des portes et des galeries sont aménagées pour les câbles de manœuvre et leurs supports.

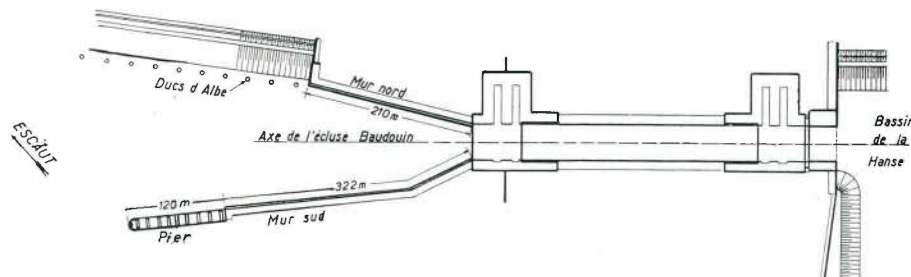


FIG. 7. — PLAN SCHÉMATIQUE MONTRANT LA DISPOSITION DES RIDEAUX DE PALPLANCHES.

Des pierres de granit garnissent les buscs, les entrées des chambres et les arêtes des niches dans lesquelles viennent buter les portes lors de leur fermeture.

III. Les bajoyers

Les bajoyers sont constitués par des blocs de 21,50 m de long, séparés par des joints de dilatation. Le béton est armé à raison de 35 kg/m³ environ.

Le parement n'a aucun revêtement de protection, mais de la cote + 7 à la cote + 8, il est incliné à 1/10 pour soustraire la crête du mur au frottement des navires. L'arête supérieure est protégée par un profil spécial en acier laminé de 46 kg/m.

IV. Le remplissage et la vidange du sas

Le dispositif de remplissage a fait l'objet d'études sur modèle au Laboratoire d'Hydraulique des Ponts et Chaussées à Anvers.

Par raison d'économie, le système d'aqueducs contournant les têtes avait été adopté. Cependant, ce dispositif peut avoir comme conséquence la création d'un espace situé entre portes et débouchés d'aqueducs, où les navires sont exposés à des courants très violents amenant une tension exagérée des câbles d'amarrage.

Cet espace est évidemment inutilisable; il en résulte que l'ouvrage doit avoir une longueur plus

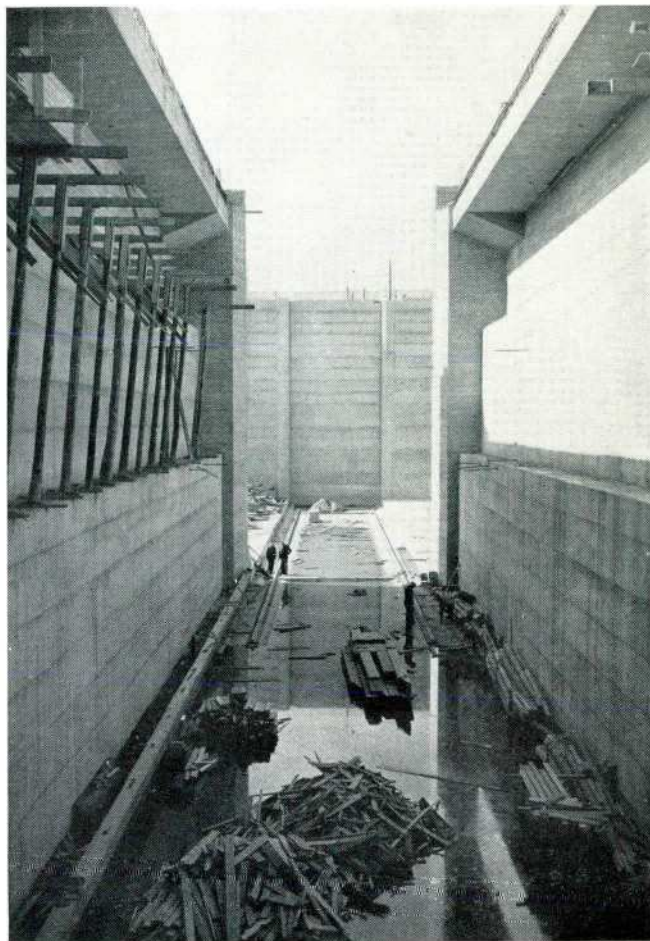


FIG. 8. — VUE DE L'INTÉRIEUR DE LA PREMIÈRE CHAMBRE DE PORTE AMONT.

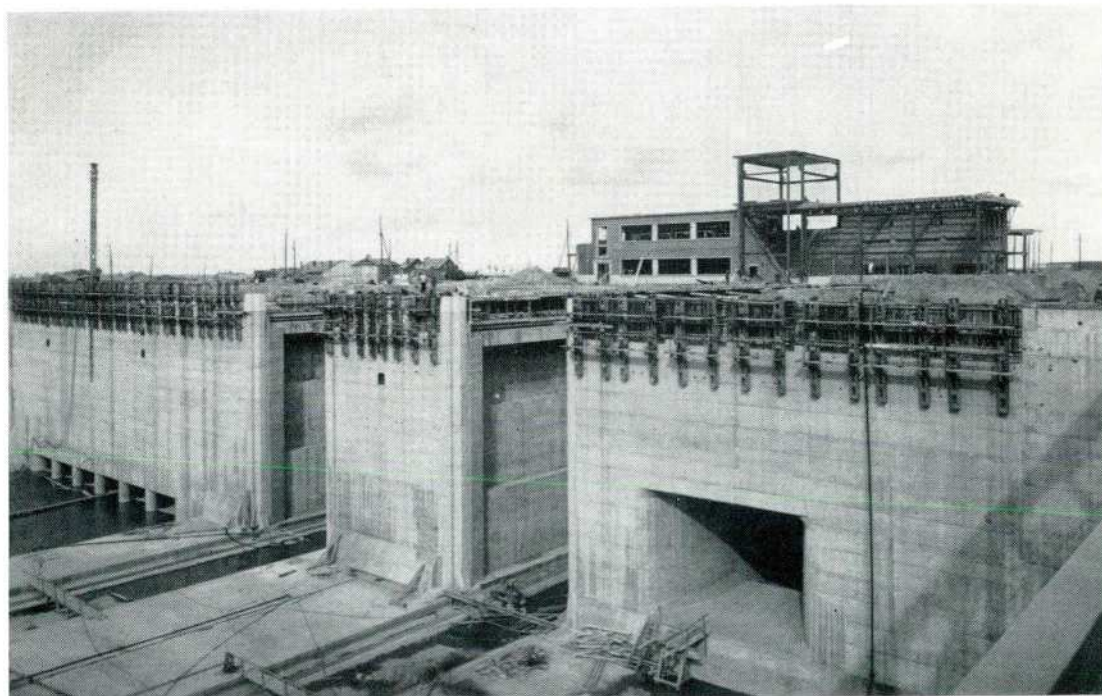


FIG. 9. — TÊTE AMONT, RIVE NORD. Entrée des chambres de portes. Débouché du larron. Bâtiment de service en cours de construction (octobre 1954).

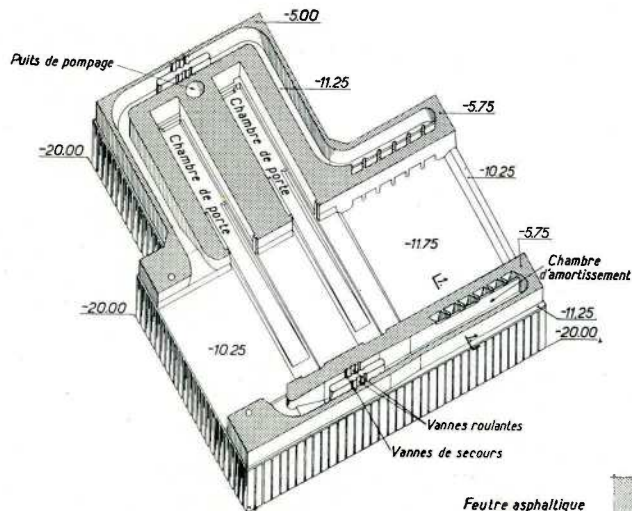
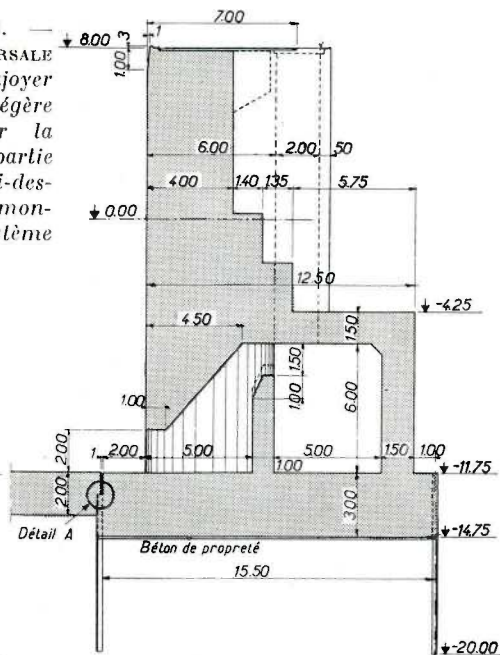


FIG. 10. — PERSPECTIVE DE LA TÊTE AVAL MONTRANT LE SYSTÈME DE REMPLISSAGE ET DE VIDANGE DU SAS, AINSI QUE LA DISPOSITION DES RIDEAUX DE PALPLANCHES.



FIG. 11 et 12. — COUPE TRANSVERSALE 1-1 sur le bajoyer sud. Noter sa légère inclinaison sur la verticale, à la partie supérieure. Ci-dessous, détail A, montrant le système d'étanchéité.



Détail A.

Coupe 1-1.

grande pour une même longueur utile; ceci réduit alors l'économie du système des aqueducs contournant les portes.

Les essais ont conduit à l'adoption du dispositif représenté à la figure 10, permettant de considérer la distance entre portes comme longueur utile de l'écluse, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de zone où les courants soient exagérés.

1. Chaque aqueduc a une section de $5 \times 5,5$ m. Pour des raisons de sécurité, on a adopté pour réaliser la vidange et le remplissage de l'écluse, l'emploi de deux vannes de $2,25 \times 5,61$ m; au droit des vannes, la largeur des pertuis est de 2 m.

2. Avant d'entrer dans le sas, l'eau de l'aqueduc est reçue dans une chambre d'amortissement de 30 m de longueur, de 5 m de largeur et de 6 m de hauteur.

3. Dans la paroi de la chambre, près du plafond, on a prévu six ouvertures rectangulaires de 4 m de largeur. Ces ouvertures ont des hauteurs différentes en vue de réaliser une répartition uniforme du débit; la hauteur des ouvertures les plus éloignées est de 1 m, celle des autres est de 1,50 m.

4. Après avoir franchi ces ouvertures, le courant est dirigé vers le sas par des évidements aménagés dans le mur. La forme et l'orientation de ces évidements contribuent à la destruction de la force vive des eaux de remplissage. Le débouché dans le sas se fait par six ouvertures de $4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, le courant étant dirigé vers la porte.

5. Au droit des débouchés des aqueducs dans le sas, le radier est abaissé de 1,50 m afin de diminuer la poussée transversale sur les navires amarés à cet endroit.

Dans le cas de la plus grande hauteur de chute, soit Escaut à $-0,75$ et bassins à $+4,25$, la durée de remplissage est de 15 minutes, le débit maximum pouvant être évalué à 54 m^3 par seconde et par aqueduc.

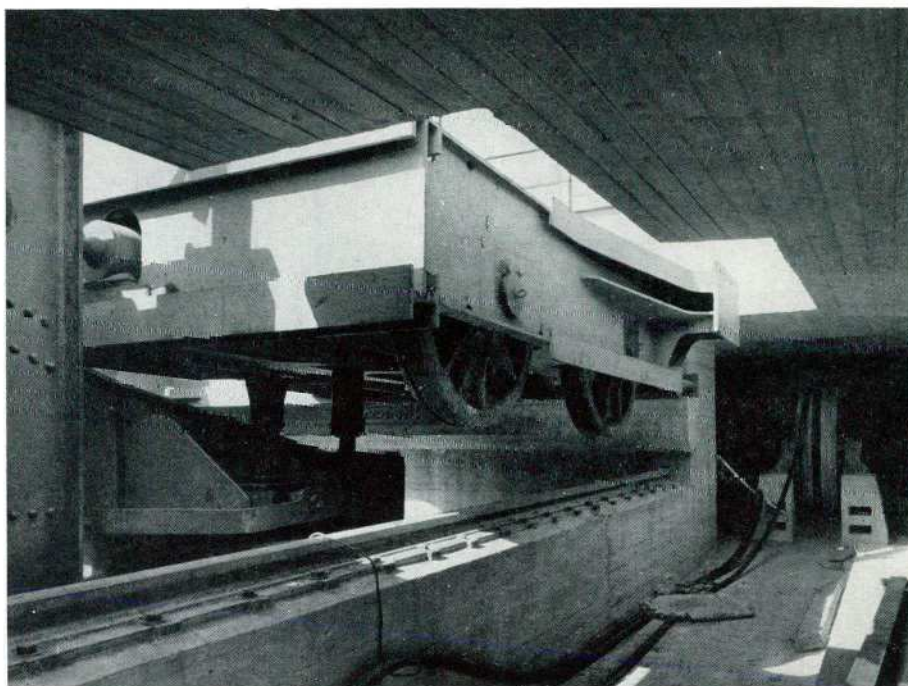
La vitesse de l'eau dépasse donc 2 m/sec; l'envasement des aqueducs n'est pas à craindre, mais il n'en est pas de même pour le défoncement situé au débouché dans le sas. Aussi a-t-on examiné au laboratoire les conséquences de cet envasement.

Pour un bateau de 30.000 t, les poussées exercées sur celui-ci pendant le remplissage du sas sont de :

	Encuvement envasé	Encuvement propre
Poussée à l'arrière, à gauche .	5 t	0,7 t
Poussée à l'arrière, à droite .	2,8 t	1 t
Poussée à l'avant, à gauche .	8,7 t	1,7 t
Poussée à l'avant, à droite .	7,6 t	5,7 t
Poussée vers l'aval	7,2 t	6,3 t
Poussée vers l'amont	2,5 t	2,5 t

Ces poussées sont admissibles; le défoncement sera d'ailleurs périodiquement nettoyé en même temps que le sas.

FIG. 13. — CHARIOT SUPÉRIEUR DE SUSPENSION DE PORTE. Celle-ci doit encore descendre et le chariot actuellement supporté par la porte supportera celle-ci quand il aura pris appui sur les rails de roulement.



V. Les portes roulantes

Les quatre portes roulantes (fig. 14) sont identiques; elles sont du type « brouette » c'est-à-dire qu'elles reposent à l'avant sur un chariot inférieur et qu'elles sont suspendues à l'arrière à un chariot supérieur (fig. 13). Leur longueur est de 47 m, leur largeur hors tout est de 8,58 m et leur hauteur, mesurée au-dessus des rails inférieurs, est de 18,80 m. Chaque porte doit pouvoir résister à la pression d'eau dans les deux sens.

Une porte est constituée par six entretoises horizontales, des montants et des pièces auxiliaires; le bordé est double. Les troisième et quatrième entretoises forment le fond et le plafond d'une caisse à air, divisée en vingt-quatre compartiments étanches auxquels on accède par un cou-

loir central surmonté d'une cheminée de 1 m de diamètre.

Un lest d'eau convenablement réparti dans ces compartiments permet de réaliser sur les chariots la pression nécessaire pour assurer la stabilité désirée pendant la manœuvre (fig. 14).

Le chariot inférieur est placé sous une coupole, avec cheminée d'accès et sas à air; il peut donc être visité en employant de l'air comprimé.

La vidange des compartiments étanches se fait à l'air comprimé; le compresseur est installé dans le bâtiment de service voisin; les portes ne comportent ni pompes, ni moteurs.

Le poids de chaque porte est de 800 t. Lorsqu'une chambre de porte est mise à sec, ce poids considérable ne peut être transmis aux chariots.

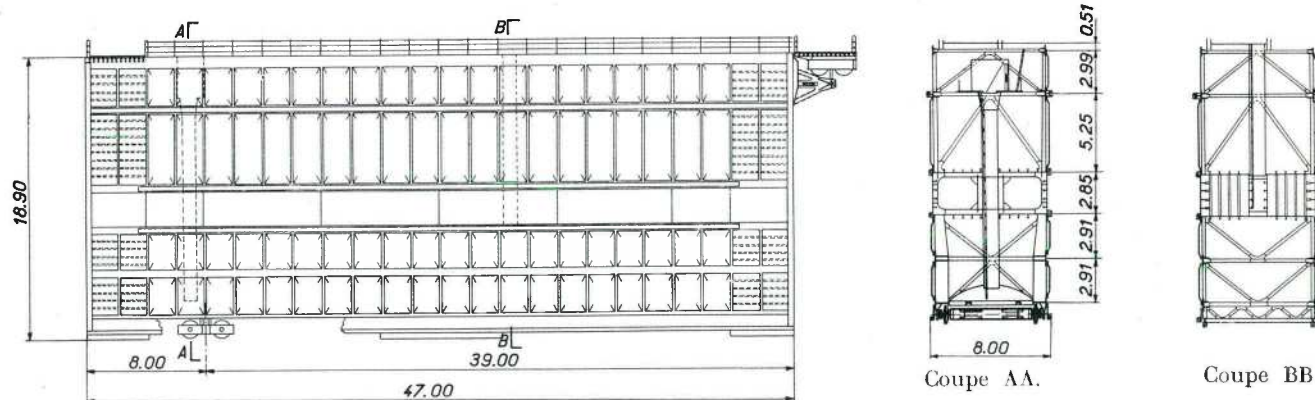


FIG. 14. — ELÉVATION, COUPE LONGITUDINALE ET COUPES TRANSVERSALES D'UNE PORTE ROULANTE.

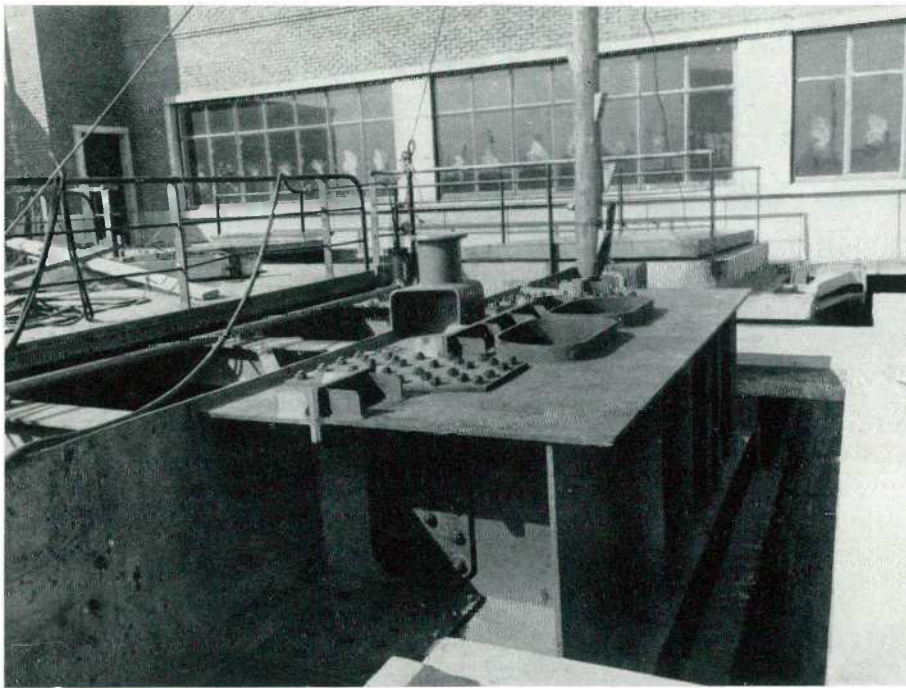


FIG. 15. — CONSOLE PROVISOIRE DE SUSPENSION DE PORTE.

VI. Les vannes

Chaque aqueduc est pourvu de deux vannes roullantes. Ces vannes sont séparées par une pile de sorte qu'en cas d'avarie à une vanne, le service peut être maintenu. Chaque vanne peut être isolée dans son puits grâce à des houchures de secours.

Les vannes roullantes sont en acier soudé; elles sont garnies d'un double bordage en azobé.

La commande des vannes se fait par câbles; la levée totale s'opère en cinq minutes.

Des consoles amovibles sont, dans ce cas, attachées à la porte, ces consoles s'appuyant sur les murs de la chambre de porte à des endroits spécialement aménagés. Ce dispositif a été choisi de préférence aux tins sur le fond des chambres parce que celui-ci sera généralement envasé.

Le dégagement du chariot inférieur peut être réalisé par simple délestage de la porte.

Le dispositif d'appui de la porte sur le chariot inférieur comporte, fixée à la porte, une pièce d'appui en forme de V très ouvert et, fixé au chariot, un rouleau en acier inoxydable. Au repos, les deux branches du V posent sur le rouleau. Lors de l'éclusement, la porte est soumise à une pression latérale; elle se déplace par roulement d'une des branches du V sur le rouleau; le dispositif de suspension au chariot supérieur comporte deux bielles qui permettent également le mouvement latéral. Lorsque la pression cesse, la porte est ramenée en place par son propre poids. Cette disposition évite l'usure des rails par entraînement des chariots lors du mouvement latéral des portes.

Les portes sont entièrement soudées. L'importance de l'ouvrage justifiait les essais qui ont été réalisés à l'Université de Liège sur un élément en grandeur réelle, en vue de contrôler le comportement des assemblages.

La manœuvre d'ouverture et de fermeture se fait par câbles, elle dure 200 secondes, soit une vitesse de 0,25 m par seconde.

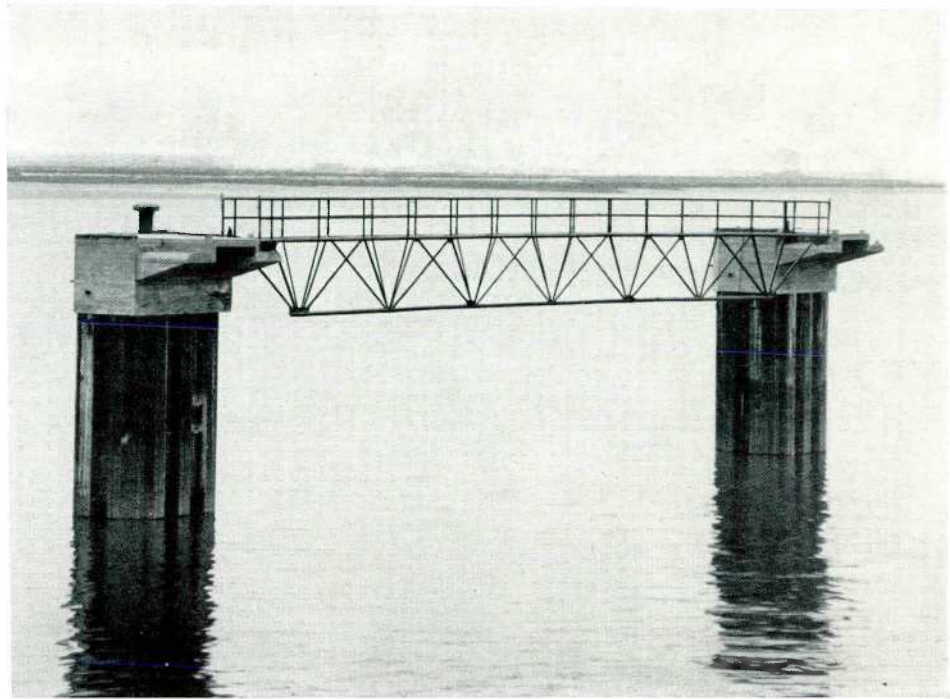
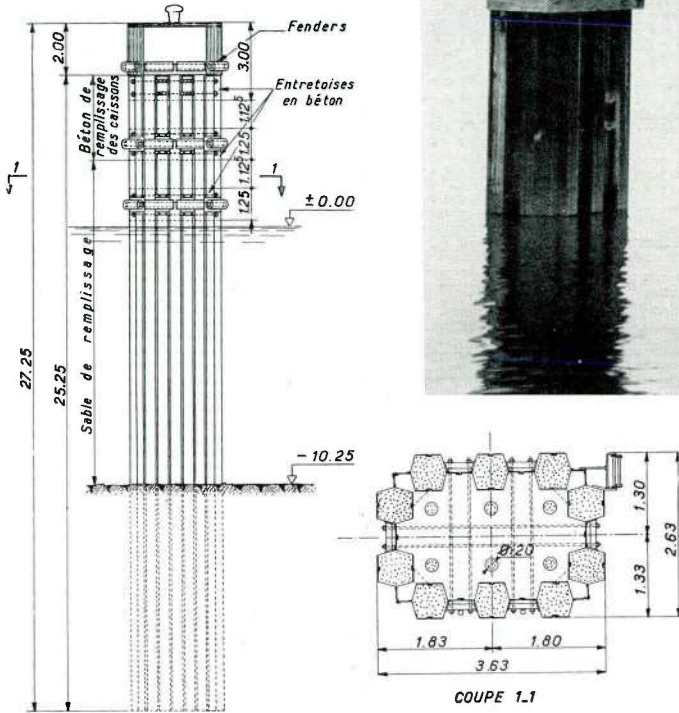
VII. Le caisson de fermeture

Un caisson de fermeture en acier soudé permet d'isoler les chambres de portes. Ce caisson qui, normalement, flotte en position horizontale, peut être amené en position verticale par remplissage des compartiments inférieurs. Il est alors appli-



FIG. 16. — VUE INTÉRIEURE DU CAISSON DE MISE À SEC.

FIG. 17, 18 et 19. — VUE MONTRANT DEUX DES DUCS D'ALBE, avec leur passerelle de liaison. Ci-dessous, coupes verticale et horizontale.



il est possible d'avoir accès aux rails sans emploi d'air comprimé.

Comme la hauteur des portiques n'est que de 2,25 m, il reste au-dessus du toit une hauteur d'eau suffisante pour que la navigation ne doive pas être interrompue.

Le caisson a été conçu de manière à pouvoir servir également à la réparation des rails et buses de l'écluse du Kruisschans.

qué contre les montants de granit des entrées des chambres et coulé pendant qu'il est maintenu contre les montants.

La mise en route des deux pompes de vidange des chambres, dont le débit total atteint 25 m³ par minute, applique le caisson contre l'ouverture.

VIII. Le caisson de mise à sec (fig. 16)

Pour l'examen et la réparation des rails de roulement de portes, un caisson en forme de portique est descendu sur le radier devant la chambre de porte. Ce caisson est construit en quatre éléments qui se placent côte à côte. L'étanchéité entre chaque élément est assurée par un joint en caoutchouc en forme de V que la pression applique sur le joint.

Du côté de la chambre de porte, ce caisson est alors surmonté du caisson de fermeture de la chambre de porte. La chambre est mise à sec et

LE CHENAL D'ACCÈS

Le chenal d'accès est orienté vers l'aval, sa longueur est de 560 m; sa largeur au raccordement avec l'Escaut est de 220 m (fig. 3).

La rive nord est bordée par un mur de 210 m de long en partant de l'écluse; ce mur est prolongé par dix ducs d'Albe (fig. 3).

Ces derniers sont constitués par des encoffrements métalliques composés de dix caissons de palplanches BZ IV. Cet encoffrement est rempli de gravier; des entretoises en béton armé sont établies aux niveaux + 0,875, + 3,25, + 5,50. Le tout est surmonté d'un massif en béton légèrement armé. Chaque duc d'Albe est garni de fenders en caoutchouc de quinze pouces de diamètre, pour absorber les chocs des bateaux (fig. 18 et 19). Une passerelle métallique relie les ducs d'Albe entre eux (fig. 17).

La rive sud comporte un mur de 322 m de long.



FIG. 20. — FASCINAGE DU CHENAL D'ACCÈS.

Ce mur est prolongé par un pier de 120 m de long construit sur piles encoffrées de palplanches.

Les murs nord et sud sont garnis de protections verticales en bois constituées par des poutres d'azobé de 40/20 cm. encastrées à moitié dans le béton.

Le plafond du chenal d'accès est réalisé à la cote -10 . Aux abords de l'écluse, il est protégé contre les affouillements par un arrière-radier en béton de 20 m de long, prolongé par une garniture en fascines lestées de moellons sur une longueur de 60 m (fig. 20).

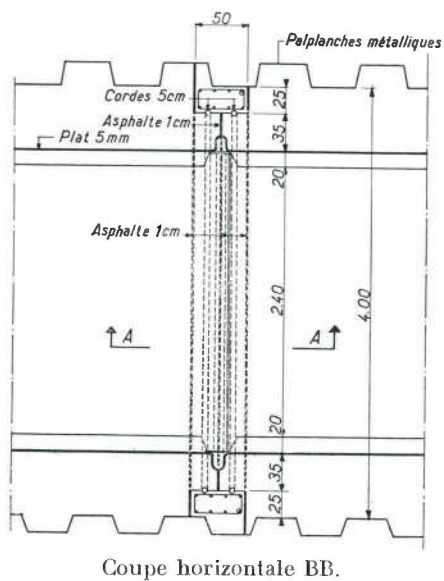


FIG. 21. — COUPE HORIZONTALE (BB) ET COUPE VERTICALE DE DÉTAIL (AA) MONTRANT LE DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ adopté pour le tunnel assurant, dans chaque tête, le passage d'une rive à l'autre des câbles et des conduites d'eau.

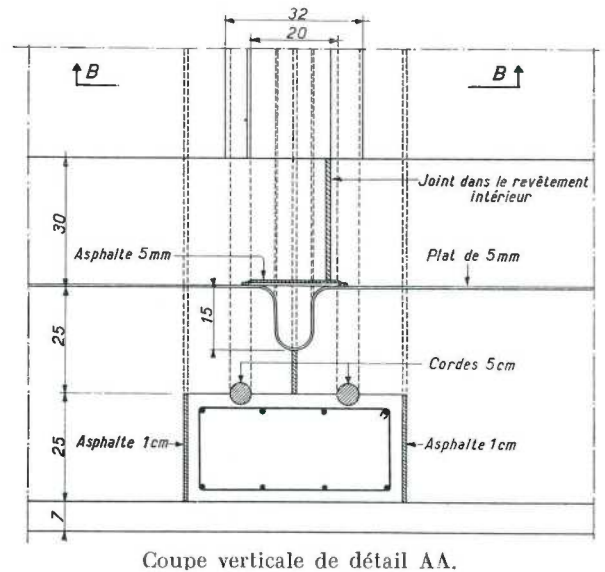
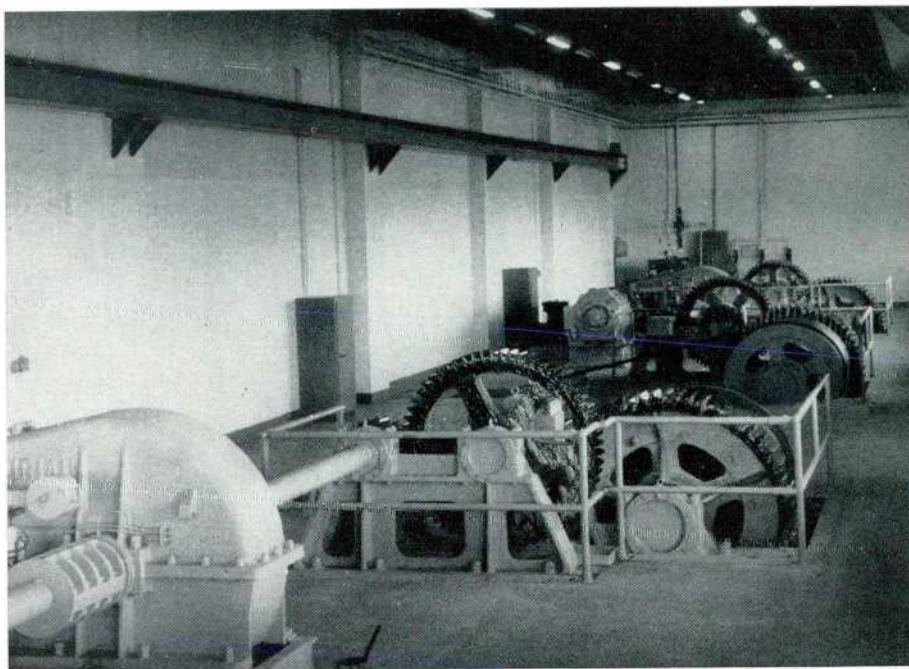


FIG. 22. -- SALLE DES TREUILS DE COMMANDE DES PORTES



Les photographies des figures 22, 23, 24 et 25 sont signées de M. Baldewijns; presque toutes les autres et notamment celles des figures 6, 13, 16, 17, 28, 35 et 42 sont signées F. Philippi.

OUVRAGES DIVERS

L'écluse est complétée par divers ouvrages dont voici les principaux :

1. Un aqueduc de régulation reliant l'Escaut au Hansadock. Cet aqueduc permet, par prélèvement ou rejet d'eau dans l'Escaut, de maintenir la flottaison aux environs de ± 4 dans les bassins du port.

La longueur de cet aqueduc est de 500 m, sa section comporte deux pertuis de $2,30 \text{ m} \times 3 \text{ m}$.

Le débit en est contrôlé par deux vannes roullantes du même type que celles des aqueducs de l'écluse.

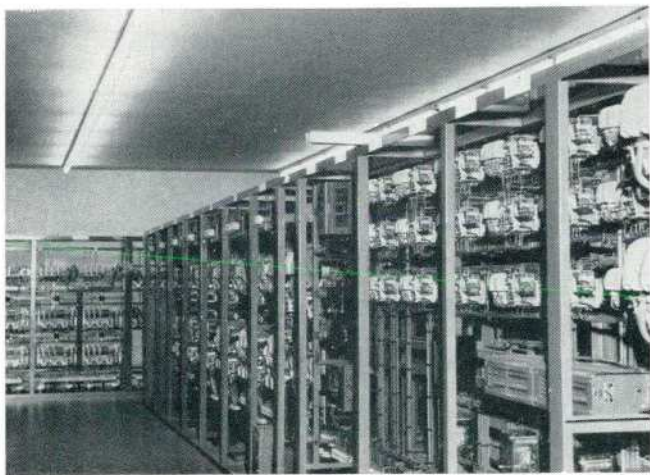


FIG. 23. -- SALLE DES TABLEAUX BASSE-TENSION.

2. Un pont basculant du type Strauss établi sur la tête amont et assurant les communications par route et par fer. Ce pont porte une voie carrossable de 7 m de large ainsi qu'une voie de chemin de fer; sa portée est de 45 m. Les culées sont déjà construites en prévision du dédoublement de ce pont.

3. Dans chaque tête, on a ménagé un tunnel pour le passage d'une rive à l'autre des câbles et des conduites d'eau.

L'étanchéité de ces tunnels est obtenue par l'emploi d'une garniture en tôles soudées de 5 mm d'épaisseur avec joint de dilatation (fig. 21).

4. Des bâtiments construits à chaque tête abritent les treuils de commande des portes et des vannes (fig. 22), ainsi que le poste de commande central et les locaux pour le personnel.

EQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

L'équipement électrique comprend :

1. Une sous-station de transformation de 2 000 kVA pour l'alimentation générale en basse tension (fig. 23).

2. Deux groupes Ward-Léonard fournissant le courant continu nécessaire à l'alimentation des deux moteurs de 250 CV du pont basculant et des huit moteurs de 250 CV des treuils de commande des portes (fig. 25).

3. Un dispositif permettant le contrôle automatique des accélérations des vitesses, des couples et des ralentissements du pont et des quatre portes.

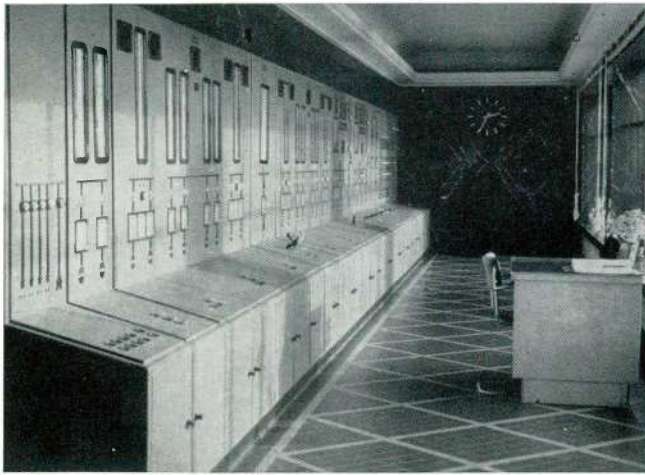


FIG. 24. — SALLE DES COMMANDES.

4. Un tableau général basse tension de plus de 60 m de développement comportant entre autres, les dispositifs d'automatisme des ouvrages.

5. Un pupitre général de 13 m de longueur équipé notamment de dix-neuf indicateurs de position du pont, des portes, des vannes, et des niveaux d'eau, dont la précision permet par exemple la lecture d'un déplacement de porte de 2 cm (fig. 24).

6. Cent quarante candélabres d'éclairage de l'écluse et de ses abords.

7. Trois pylones de signalisation de 30 m de hauteur.

8. Quarante-cinq km de câbles armés.

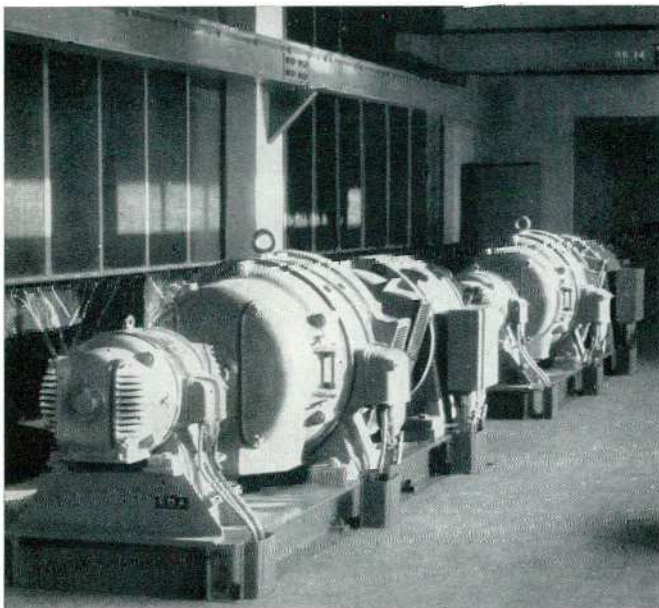


FIG. 25. — SALLE DES GROUPES WARD-LÉONARD.

Exécution des travaux

a) Rabattement de la nappe aquifère

Plus de 1 500 000 m³ devaient être excavés dans les sables aquifères; la cote du terrain naturel est + 7,80 environ; celle des fondations atteint - 14,75; la profondeur de la fouille était donc de plus de 22 m.

Le gros problème était la présence de l'eau, qui se manifestait sous deux aspects :

1) L'eau du terrain; son niveau s'établit à + 2 environ.

2) L'existence de canaux souterrains qui s'étaient révélés par des sources lors de la construction de l'écluse du Kruisschans.

Ces canaux se situent sous une couche de sable coquillé que l'on rencontre à un niveau voisin de celui des fondations. Ils sont en communication avec des étangs où l'eau est à la cote + 3. Si le toit d'un de ces canaux est percé au cours des terrassements, ou du battage des palplanches, l'eau envahit la fouille sous forte pression, ce qui constitue un danger d'inondation avec risque de dégâts importants.

Un élément favorable sur lequel l'entrepreneur pouvait compter pour résoudre le problème de l'eau était la présence, au niveau - 25 environ, d'une couche épaisse d'argile de Boom.

Par sécurité, l'entreprise a été divisée en six chantiers partiels, indépendants l'un de l'autre, qui ont été ouverts dans l'ordre suivant : tête amont, tête aval, bajoyer sud, bajoyer nord, mur nord et mur sud du chenal d'accès. Un chantier partiel n'était mis en communication avec le chantier voisin qu'après battage des palplanches, donc quand tout risque de renard était écarté.

Les puits filtrants ont été foncés soit du niveau du terrain naturel, soit du fond d'une avant-fouille asséchée par pompage superficiel.

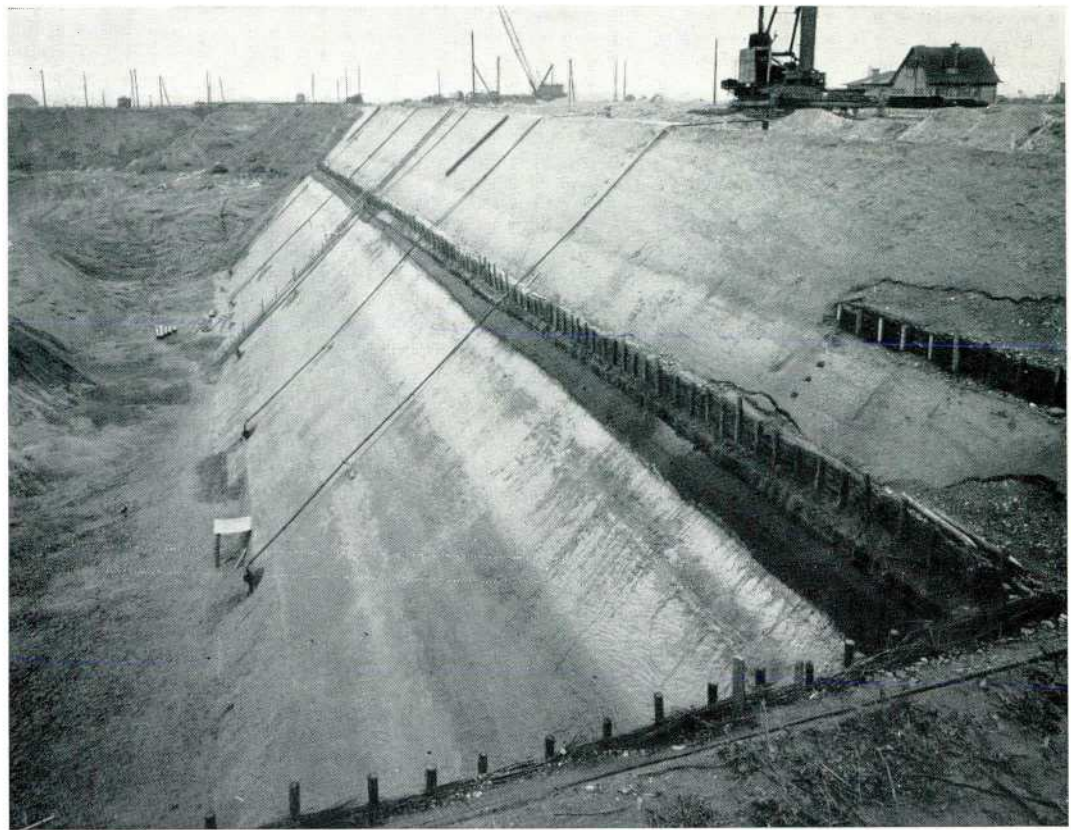
Ils étaient constitués par des tubes d'acier galvanisé de 280 mm de diamètre dont les 15 m inférieurs étaient perforés. Cette perforation était recouverte de toile reps en fil de cuivre étamé dont les jours valent 30 % de la surface. Ces tubes ont été foncés jusqu'à la couche d'argile de Boom.

Une couche drainante en gravier 2/10, de 20 à 25 cm d'épaisseur, a été interposée entre le terrain et les puits.

Chaque puits a été équipé d'une pompe électrique immerisible de cinq CV donnant un débit de 5 l/sec sous une hauteur de refoulement de 35 m.

Pour l'ensemble de l'entreprise, cent-seize puits ont été foncés et équipés, soit vingt-huit pour

FIG. 26. — LA
FOUILLE DE LA TÊTE
AMONT AU NIVEAU
— 12,50 (décembre
1951). Remarquer
l'installation de ra-
battement de la
nappe aquifère.



chaque tête, neuf pour chaque bajoyer et quarante-deux pour les murs du chenal d'accès (fig. 27).

Le débit des pompes a diminué au fur et à mesure de l'avancement du rabattement. Il s'est établi aux environs de 2,5 l/sec en régime d'entretien.

Tous ces puits ont été installés en dehors de la zone des fondations pour que celles-ci reposent sur un terrain non remanié.

Un groupe électrogène Diesel de 150 CV assurait la marche d'au moins une pompe sur deux, en cas de défaillance du réseau de distribution électrique.

b) Déblais

Le planning des travaux prévoyait le commencement du bétonnage des culées du pont le 225^e jour, et celui de la tête amont le 275^e jour.

En tenant compte du temps nécessaire à l'installation du chantier, à la mise en route du rabattement de la nappe aquifère et au battage des palplanches, l'entrepreneur disposait de 225 jours pour terminer les terrassements de la tête amont, soit 400 000 m³. Il devait donc être équipé pour réaliser une moyenne de 2 000 m³ par jour, quel que soit le temps.

Trois draglines Bucyrus 54 B, dont la flèche est de 24 m et le godet de 2,5 yards cubes, actionnées par un moteur Buda de 200 CV, ont été mises en service (fig. 28 à 31).

Les endroits de dépôt étaient fort éparpillés; il fallait des terres pour les digues, les remblais de chemin de fer, les détournements de routes et la mise en stock en vue des remblais ultérieurs.

La distance moyenne des transports a été de

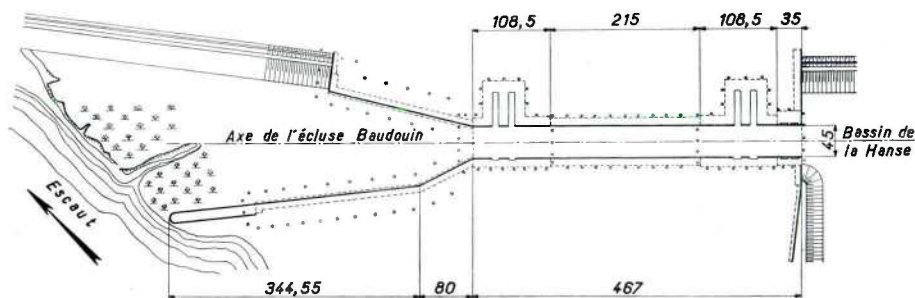


FIG. 27. — PLAN SCHEMATIQUE DE SITUATION DES 116 PUIITS FILTRANTS AYANT PERMIS LE RABATTEMENT DE LA NAPPE AQUIFERE.

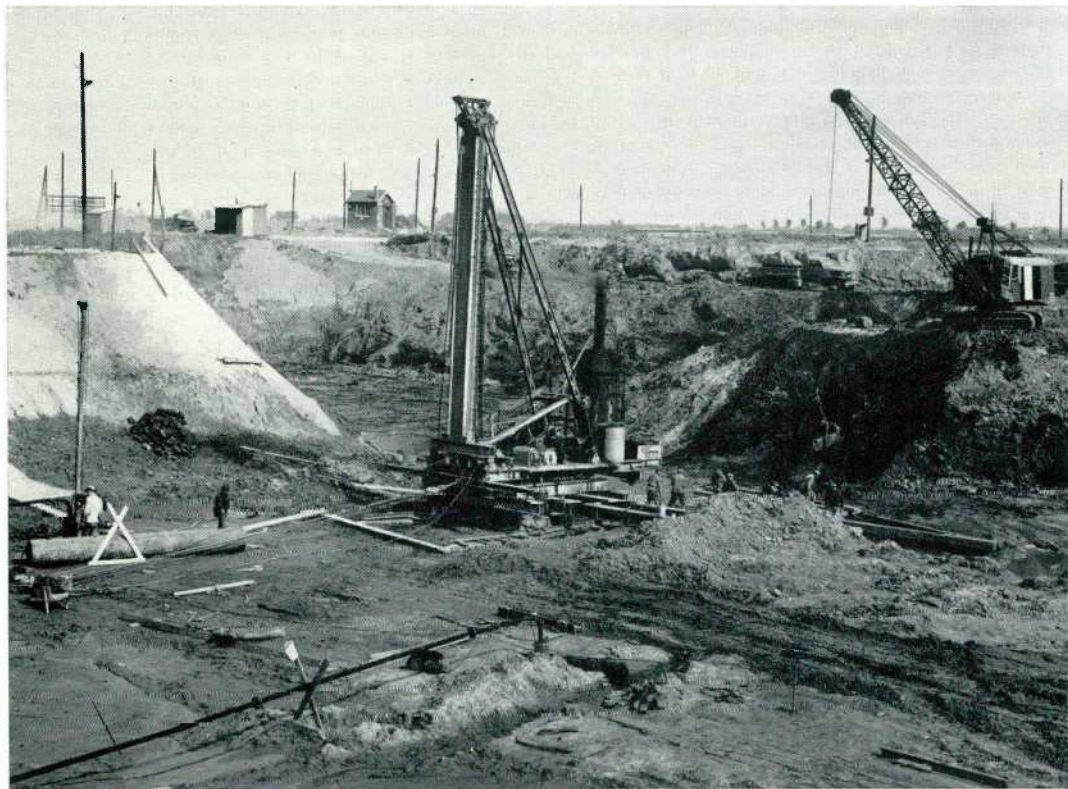


FIG. 28. — TERRASSEMENTS DE LA CHAMBRE DE PORTE AMONT, jusqu'au niveau — 1,00.

800 m. Le transport des déblais s'est fait par camions.

Les terrassements ont en général été conduits en deux phases : la première jusqu'au niveau 0, la seconde de 0 à fond de fouille. Pour l'exécution de cette seconde phase, les camions descendaient dans

la fouille jusqu'au niveau 0 par une rampe aménagée dans les talus.

En 1952, deux grandes draglines ont été mises supplémentaires en action : une Bucyrus Monighan, avec flèche de 45 m et godet de 5 m³, et une Marion, avec flèche de 35 m et godet de

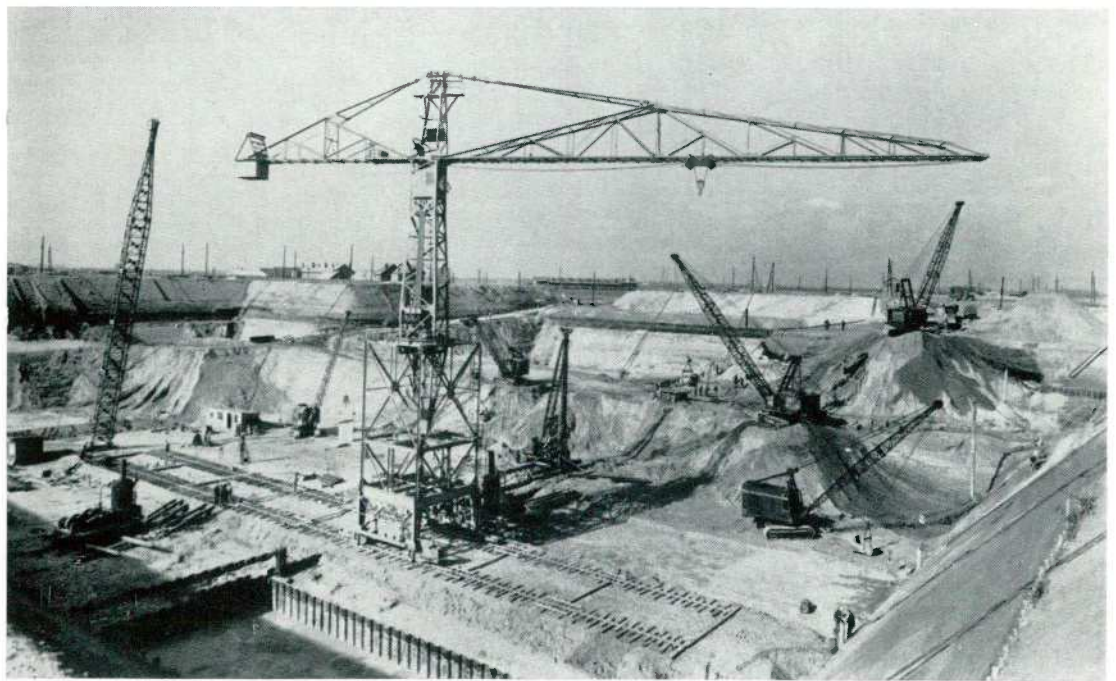


FIG. 29. — VUE GÉNÉRALE DU CHANTIER DE LA TÊTE AMONT (juillet 1952).

FIG. 30. — VUE GÉNÉRALE DE L'ENSEMBLE DU CHANTIER (juillet 1952).



FIG. 31. — LA FOUILLE DE LA TÊTE AVAL (novembre 1952). A l'avant-plan, la dragline Monighan excave directement à profondeur (de $+8,00$ à $-10,50$). A l'arrière-plan, battage des palplanches au niveau $-10,50$.



FIG. 32. — LA
FOUILLE DES PRE-
MIERS ÉLÉMENTS DU
MUR SUD DU CHE-
NAL D'ACCÈS (octo-
bre 1953). L'Es-
caut est au ni-
veau + 6,00. La
banquette, de
15 m de large
seulement, entre
l'Escaut et la
fouille, est à
+ 7,50 environ.
La fouille, dont le
lulus est plus
raide que 4/4, est
au niveau -14,50,
soit à 22 m au-
dessous du niveau
du terrain.

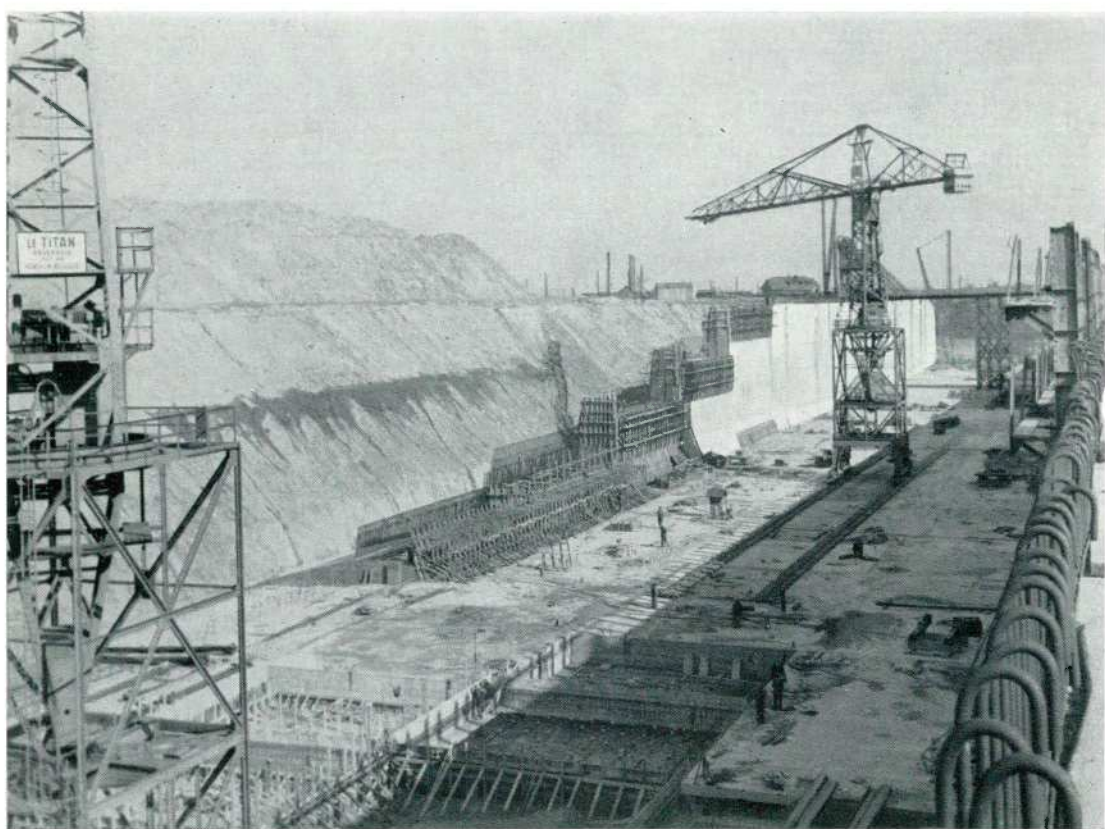


FIG. 33. — VUE
D'ENSEMBLE DU SAS
(août 1954). Le
bajoyer nord est
en cours de bé-
tonnage. La mise
en place du béton
s'effectue à l'aide
de grues-tours ca-
pables de lever
3 t, à une portée
de 37,50 m.
A l'avant-plan,
dalles du sas avec
remplissage fil-
trant.

3 m³. Grâce à la grande longueur de leur flèche, ces engins étaient capables d'atteindre le fond de la fouille des bajoyers et des murs du chenal d'accès à — 13, tout en se déplaçant à + 8. Comme ils pouvaient mettre en dépôt direct les terres nécessaires au remblai après exécution des bétons, l'entrepreneur a économisé le transport de 600 000 m³ de déblais et de 600 000 m³ pour les remblais. De plus, le mauvais temps n'avait plus grande influence sur le programme de terrassement, car les terres excavées par ces deux gros engins ne devaient plus être transportées.

II. FABRICATION DU BÉTON

Le cube total à réaliser était de 330 000 m³. Le planning prévoyait 650 jours d'exécution; la moyenne journalière devait donc atteindre 500 m³

En prévoyant même la possibilité de travailler à deux équipes pendant la bonne saison, l'installation devait être capable de fabriquer et de mettre en place 50 m³ à l'heure.

Approvisionnement du gravier et du sable

L'entrepreneur a installé dans le Hansadok, le plus près possible du chantier, un mur de quai de 200 m de long en palplanches métalliques. Le long de ce mur de quai se déplaçait un pont portique à grappin de 3 000 l. A raison de trente opérations à l'heure en moyenne, ce portique déchargeait donc 90 m³; il assurait donc en huit heures l'approvisionnement des sables et graviers nécessaires à la production journalière (fig. 34).

L'écartement des pieds du portique était de 30 m; 120 à 150 m³ de matériaux étaient stockés par mètre courant. La longueur du chemin de roulement étant de 100 m le stock plein était de 12 à 15 000 m³, soit une réserve de 15 à 20 jours de bétonnage.

En dessous de ce stock avaient été aménagés deux tunnels. Dans chacun de ceux-ci une courroie de 110 m de long, sur laquelle les matériaux étaient déversés par des trémies, transportait les matériaux. Deux transporteurs inclinés à 23° prolongeaient ces courroies jusqu'aux centrales à béton.

Approvisionnement du ciment.

La quantité de ciment nécessaire a été de 120 000 t.

A raison de 100 frs belges par t, la sacherie aurait coûté 12 000 000 de frs. L'approvisionnement en vrac s'imposait donc.

La moitié du ciment devait provenir de la région liégeoise, l'autre moitié de la région du Centre (Hainaut).

La quantité nécessaire aux travaux était de 1 100 à 1 200 t par semaine.

Pour assurer au maximum la régularité du transport et faciliter les opérations de déchargement, six bateaux moteurs de 350 t ont été équipés de puits étanches en tôles de 5 mm d'épaisseur. Ces bateaux pouvaient faire une rotation par semaine avec un chargement de 330 t dans la région liégeoise et une rotation en 13 ou 14 jours avec un chargement de 250 t dans la région du Centre, où l'enfoncement permis est plus faible.

Le déchargement s'effectuait par pompe Fuller de 6". L'air comprimé à 2 kg nécessaire à l'alimentation de celle-ci était fourni par un compresseur rotatif de 70 CV.

Le ciment était entreposé dans deux silos métalliques circulaires de 10 m de diamètre et de 11 m de hauteur. La capacité de chacun était de 1 400 et 1 500 t (fig. 34).

La reprise du ciment hors des silos se faisait par aéro-glissières disposées en patte d'oie sur le fond.

Centrales de bétonnage

Une pompe Fuller fixe de 7" refoulait le ciment vers les deux centrales de bétonnage. Celles-ci étaient équipées chacune de deux bétonnières de 1 600 l donnant par mélange un m³ de béton en place; la vidange de ces bétonnières se faisant par renversement en marche.

La production possible d'une centrale était de 50 m³/h; une seule centrale pouvait donc répondre aux exigences du planning.

Chaque centrale comporte quatre compartiments à matériaux, d'une capacité totale de 85 m³, et un réservoir à ciment d'une capacité de 30 l. Une centrale chargée pouvait donc alimenter le chantier plus de deux heures.

Tous les dosages se font par poids. Le gravier est introduit dans la bascule par des distributeurs à casque à fermeture en deux temps. Les sables sont introduits par des distributeurs à courroies. Le ciment est introduit par un distributeur rotatif à boulets.

La vidange des bascules se fait de telle façon que le ciment coule en même temps que les matériaux inertes de façon à réaliser un prémélange.

Toutes les manœuvres — alimentation, pesées, mise en marche — des bétonnières sont automatiques.

III. MISE EN PLACE DU BÉTON

Le béton malaxé était déversé dans des bennes de 1 m^3 posées sur wagonnets plats, roulant sur une voie de 60 cm et tirés par locotracteurs diesel.

Pour la mise en place, on utilisa trois grues-tours capables de lever 3 t, soit 1 m^3 de béton plus la benne, à une portée de 37,50 m (fig. 30).

Le béton était amené dans l'axe de l'écluse sur une passerelle à quatre voies de manière que chaque grue dispose de sa propre voie et que les trains puissent attendre sur une voie de réserve.

Pour les murs du chenal d'accès, un appareil distributeur à courroies a été utilisé; c'est un portique dont un pied roule à $+ 8$ et l'autre à $- 13,50$; il comporte deux courroies longitudinales télescopiques et une courroie transversale inclinable. Le béton peut ainsi être déposé à l'endroit voulu sans chute, donc sans ségrégation (fig. 35).

Toutes les faces vues ont été coffrées à l'aide de coffrages métalliques « Cofral » conçus pour résister à une coulée de béton de 2 m. Ces coffrages sont visibles sur les figures 6, 9 et 33.



FIG. 34. — L'INSTALLATION GÉNÉRALE DE DÉCARRIAUX. A gauche, le pont-portique de capacité de 1 400 et 1 500 t; à droite, la transporteuse.

Joint de dilatation

Un soin tout particulier a été apporté à la réalisation des joints de dilatation de trois types :

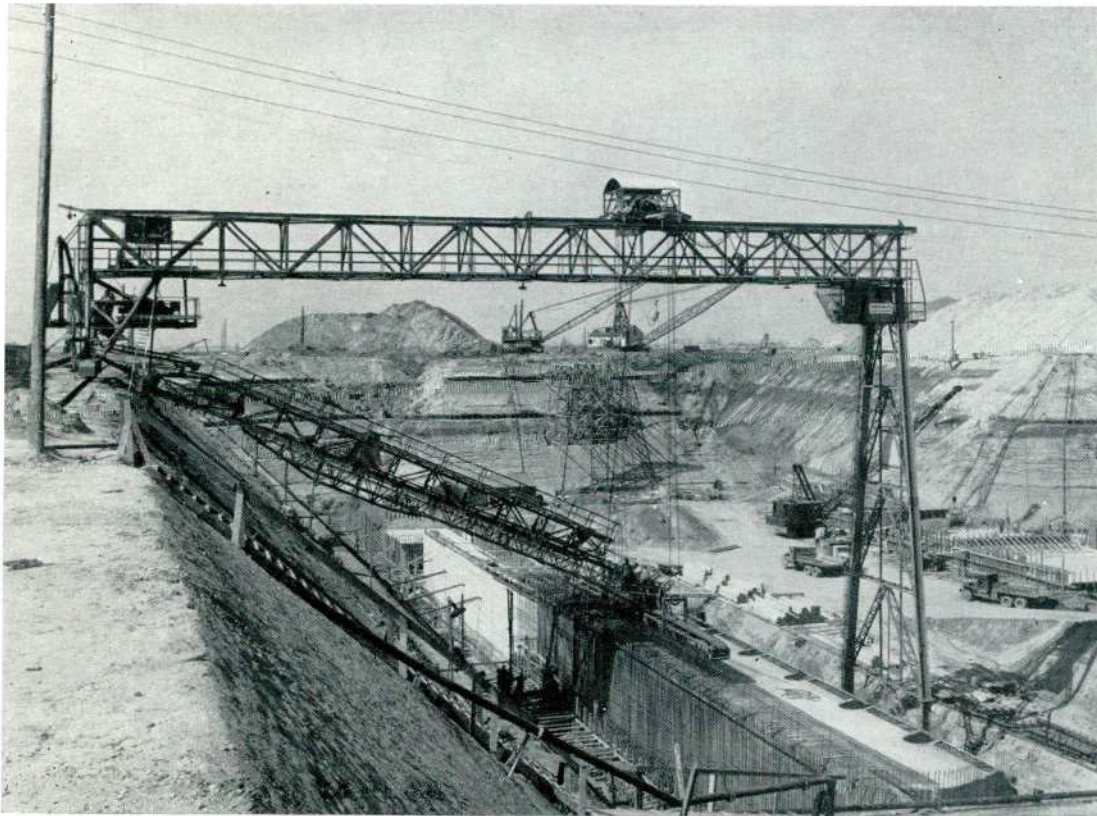


FIG. 35. — APPAREIL DISTRIBUTEUR DE BÉTON HANNEMANN en activité à l'aqueduc (mur sud). Un pied de cet appareil roule à $+ 8,00$, l'autre à $- 13,50$. Ce dispositif évite tout risque de ségrégation du béton.



AGEMENT, STOCKAGE ET MANUTENTION DES MATÉRIELS;
 rangement; au centre, les deux silos, d'une
 ale de bétonnage alimentée par courroies

1. Le type A (fig. 36) comporte un encoffrement métallique rempli de bitume avec chicanes en cuivre, tubes réchauffeurs en cuivre et cordes de manille. Ce type a été combiné avec le joint du type B pour l'étanchéité des joints transversaux dans les chambres de porte (fig. 37).

2. Le type B (fig. 38 et 39) a été utilisé pour les joints longitudinaux et transversaux des radiers des têtes d'écluse, ainsi que dans les bajoyers.

3. Le type C (fig. 40) est réalisé au moyen d'un ruban en caoutchouc de 150 mm, dont les extrémités sont en forme de bourrelets. Ce type a été utilisé dans les aqueducs.

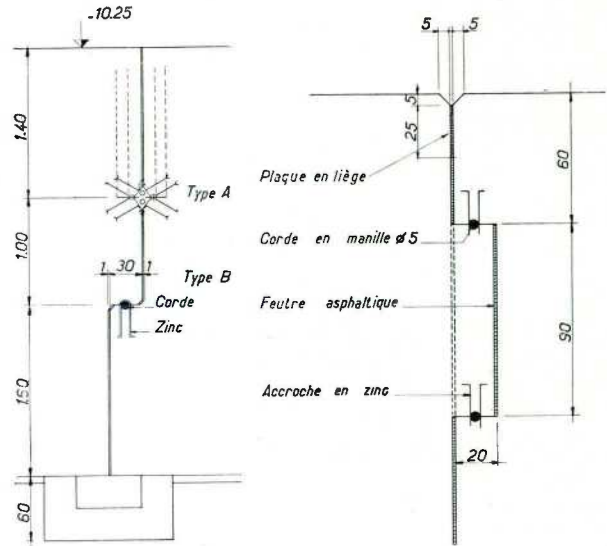


FIG. 37. — COMBINAISON DES JOINTS TYPES A ET B.

FIG. 38. — JOINT TYPE B DANS LES BAJOYERS.

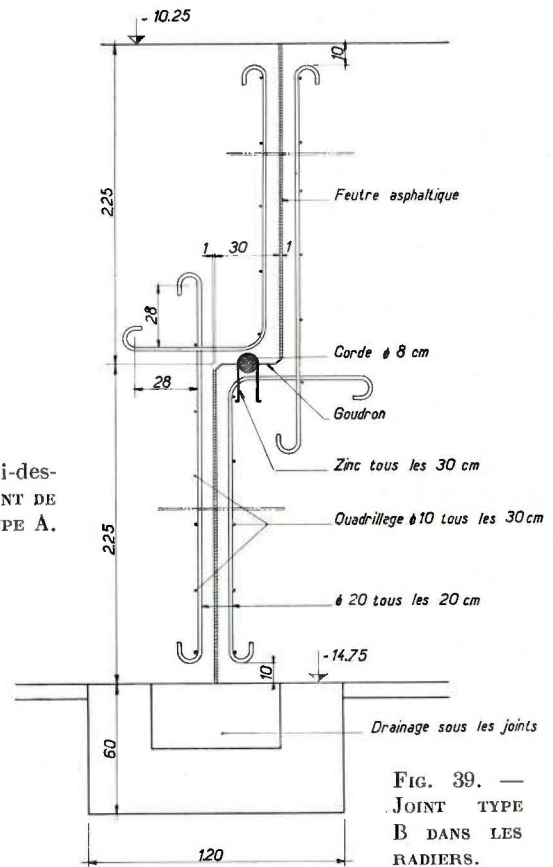


FIG. 36 (ci-dessous). — JOINT DE DILATATION TYPE A.

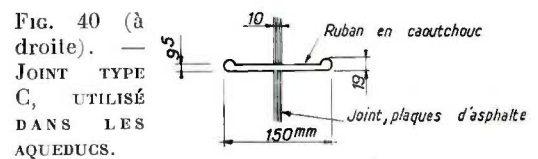
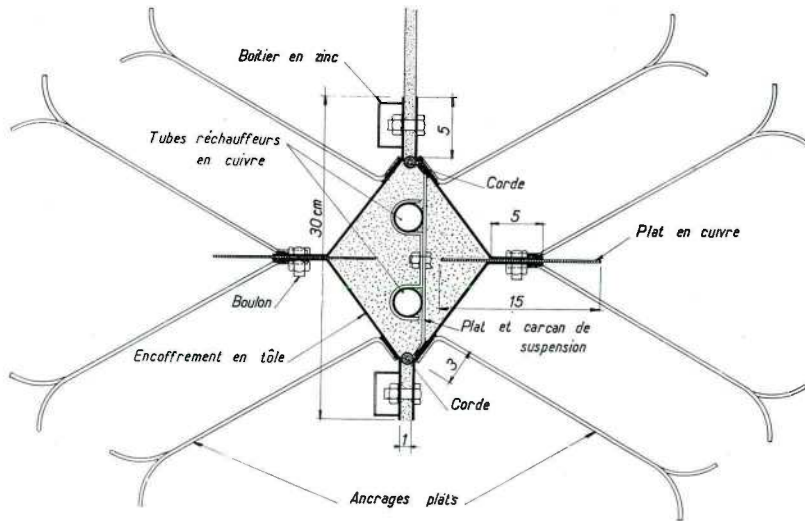


FIG. 40 (à droite). — JOINT TYPE C, UTILISÉ DANS LES AQUEDUCS.

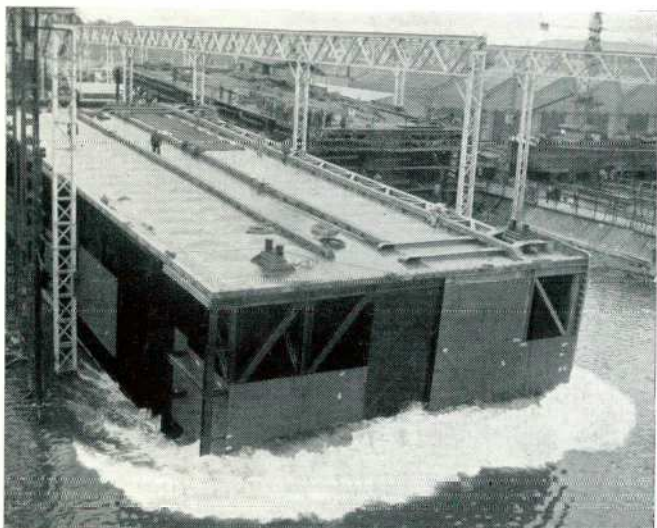


FIG. 41. — LANCEMENT D'UNE PORTE, AUX CHANTIERS NAVALS DE TAMISE. Lorsque la porte, dont le poids total est de 800 t, est complètement assemblée, tous les cordons de soudure sont minutieusement contrôlés. Elle est ensuite mise à l'eau, de la même façon que pour le lancement d'un bateau, sur deux glissières aménagées à cet effet. La porte est ensuite remorquée vers son emplacement définitif, où elle est basculée pour être placée sur son chemin de roulement dans l'écluse.

IV. POSE DES PORTES MÉTALLIQUES

Les portes métalliques ont été construites par les Chantiers Navals Jos. Boel & Fils à Tamise, à 33 km en amont de l'écluse.

Construites à plat, elles furent lancées comme des bateaux après avoir été munies de tôles de protection. Amenées flottantes à l'écluse, elles furent redressées dans l'écluse même par remplissage du compartiment inférieur.

Après mise en place d'une porte aval et d'une porte amont, les dragueurs percèrent la digue aval de protection (fig. 42).

FORCE MOTRICE ET MATÉRIEL

Pour réaliser cette entreprise dans le délai imposé, l'entrepreneur a mis en action un matériel considérable.

Les chiffres suivants sont significatifs :

Les cabines de transformation étaient équipées de cinq transformateurs de 315 kVA et d'un transformateur de 400 kVA, soit au total 1 975 kVA.

La puissance installée totale des moteurs électriques était de 2 400 CV.

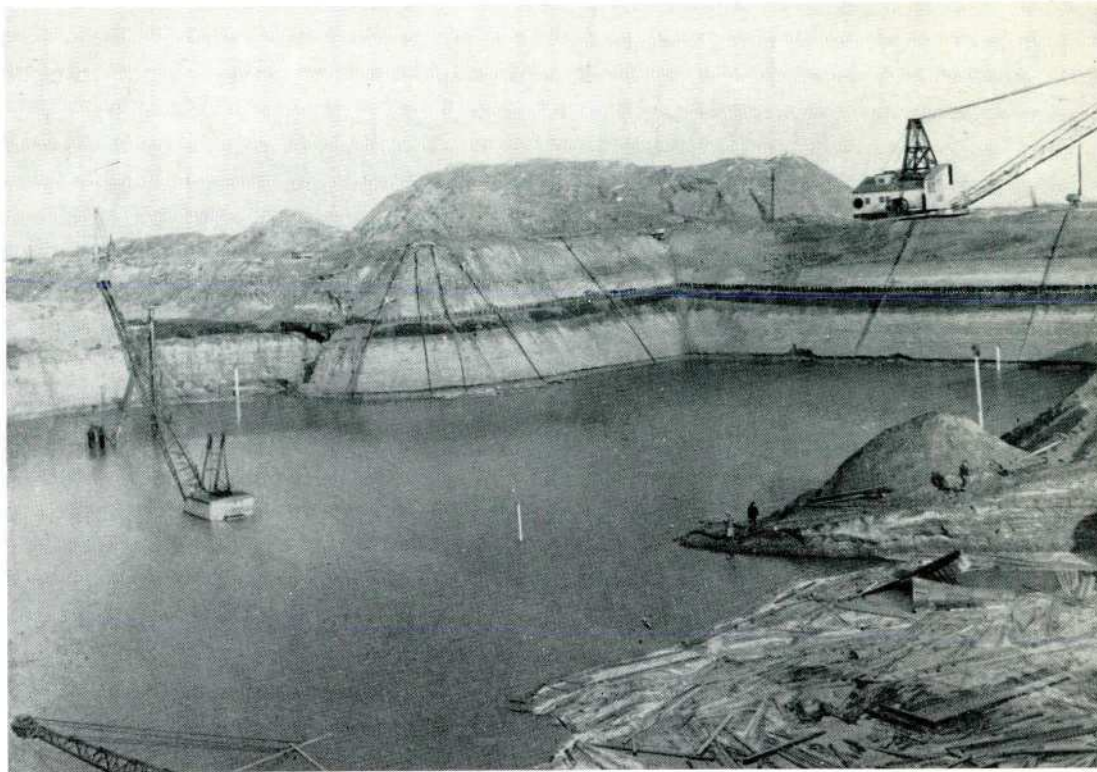
La puissance totale des moteurs diesel était de 1 800 CV.

La valeur du matériel mis en action représente,



FIG. 42. — VUE VERS LE HANSADOCK. La drague va achever l'enlèvement de la digue entre le Hansadock et l'écluse.

FIG. 43. — INONDATION DE LA TÊTE AVAL. De gauche à droite : la machine à battre les palplanches, la grue 54 B, une grue Boom (seule la flèche dépasse), une grue Boom couchée (février 1953).



aux prix actuels, plus de 80 000 000 de francs belges.

MARCHE DES TRAVAUX

Un seul incident, d'ailleurs indépendant de la volonté de l'entrepreneur, vint briser la marche harmonieuse du chantier : la nuit du 1^{er} février 1953, par suite d'une tempête de violence exceptionnelle, le niveau de l'Escaut dépassa la cote des plus hautes eaux connues; la fouille de la tête aval fut inondée et toutes les lignes de distribution de courant arrachées (fig. 43).

Grâce à l'intervention diligente du personnel du chantier, le rabattement fut rapidement remis en service, ce qui permit de limiter les dégâts. Le retard dû à cet incident a d'ailleurs été regagné.

*
**

En octobre 1955, l'écluse a été inaugurée par Sa Majesté le Roi Baudouin, en présence du Gouvernement, le Premier Ministre étant M. A. Van Acker et M. O. Vanaudenhove, Ministre des Travaux Publics.

*
**

Les plans ont été établis par l'Administration des Voies Hydrauliques, sous la direction de M. G. Willems, Directeur Général des Ponts et

Chaussées, avec la collaboration de M. E. Valcke, Directeur Général des Voies Hydrauliques a.i., de M. E. Vuylsteke, Ingénieur en Chef, Directeur et de MM. F. Eelen et T. Kestens, Ingénieurs Principaux.

La construction des portes a été étudiée et surveillée par M. H. Louis, Inspecteur Général, professeur à l'Université de Liège et M. E. Dehan, Ingénieur en Chef, Directeur.

Les essais sur modèles ont été réalisés par M. J. Lamoën, Ingénieur en Chef, Directeur.

L'installation électromécanique a été conçue par l'Administration de l'Electricité et de l'Electromécanique sous la direction de MM. A. Boereboom, Directeur d'Administration, J. De Ries, Ingénieur en Chef, Directeur et R. Geets, Ingénieur.

Les travaux de génie civil ont été exécutés par la Compagnie Internationale des Pieux Armés Frankignoul (Pieux Franki), de Liège.

Les travaux de dragage des chenaux d'accès ont été effectués par l'Association Momentanée S. A. Entreprises Ackermans-Van Haaren et la S. A. Laborémus, d'Anvers.

L'équipement électrique a été réalisé par la S. A. Electricité, Mécanique et Applications, de Bruxelles.

L. NOVGORODSKY,
Ingénieur-Architecte A. I. G.

CALCUL DES SYSTÈMES HYPERSTATIQUES PAR LES ÉQUATIONS CANONIQUES DE DÉPLACEMENTS

DANS les numéros de novembre-décembre 1956 et janvier-février 1957 de la *Technique des Travaux*, M. J. Khramoff a publié sous le titre ci-dessus une étude dont nous nous proposons de faire une critique objective en nous référant au traité que nous avons publié en 1945 ⁽¹⁾.

Au début de son exposé, l'auteur déclare : « Nous proposons à l'attention des Ingénieurs d'Études une méthode de calcul rigoureusement classique et exacte. Couramment employée par les ingénieurs russes, cette méthode est largement développée dans tous les cours enseignés aux Ecoles Supérieures Techniques de l'U. R. S. S. et qui nous servent de base pour la présente étude. »

Nous nous proposons de montrer que la méthode exposée dans notre traité présente des avantages décisifs.

Avant de traiter le fond de la question, remarquons d'abord que les notations et principes généraux utilisés par l'auteur appartiennent à la littérature technique occidentale depuis plus de trois quarts de siècle, ainsi qu'en témoignent notamment les traités classiques de Mohr, Müller-Breslau, etc. ⁽²⁾.

En ce qui nous concerne, nous avons employé les mêmes notations et principes, dans l'ouvrage que nous avons publié il y a douze ans. Nous sommes toutefois parvenus à une solution décisive de toutes les grandes classes de systèmes hyperstatiques, grâce à l'emploi de groupes originaux annulant un maximum de coefficients δ_{ab} dans les équations linéaires de résolution.

Ne pouvant songer à exposer ici notre point de

⁽¹⁾ E. ROBERT et L. MUSSETTE, *Le Calcul des systèmes hyperstatiques*. Editions Desoer, Liège, 1945.

⁽²⁾ M. Khramoff nous a précisé, de son côté, que la méthode des équations canoniques est utilisée en U. R. S. S. depuis une trentaine d'années déjà. Néanmoins, il a pensé qu'il serait profitable aux ingénieurs de bureaux d'études d'en retrouver les grandes lignes dans une revue de langue française. Ceux-ci liront également avec intérêt les précisions qui sont données par MM. E. Robert et L. Mussette dans les pages qui suivent. (*Note de la Rédaction.*)

vue *ex professo*, nous allons nous borner à traiter concrètement les exemples indiqués par l'auteur dans son étude et montrer comment on peut les améliorer dans une impressionnante proportion.

PREMIÈRE REMARQUE

L'auteur déclare : « Le système rendu isostatique est appelé système principal. *Le choix du système principal a une très grande importance pour la formation des équations canoniques.* »

Thèse. — Nous allons montrer que le système principal n'a aucune importance quant à la formation des équations canoniques. Ce qui est important, c'est le choix des groupes Z, et plus précisément des diagrammes M_z donnant lieu à un maximum de

$$\delta_{z_a z_b} = \int M_{z_a} M_{z_b} \frac{ds}{EI} = 0.$$

Considérons, par exemple, le cas du portique simple à deux montants encastrés traité par l'auteur. (Exemple 3, page 56, *Technique des Travaux*, janvier-février 1957.)

Dans cet exemple, l'auteur aboutit aux diagrammes $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{M}_3$ (fig. 18, p. 57, *op. cit.*) en partant d'un système principal obtenu par une coupe totale au milieu de la traverse (fig. 1). Le

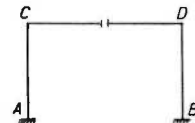


FIG. 1.

choix de $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{M}_3$ est judicieux puisqu'il aboutit à l'annulation des coefficients $\delta_{12} = \delta_{13} = \delta_{23} = 0$, ce qui a comme conséquence de donner des équations canoniques fournissant immédiatement et séparément les inconnues X_1, X_2, X_3 .

Avant de souscrire une police d'assurance...

VOTRE INTÉRÊT EST DE
CONSULTER AU PRÉALABLE

ANVERS

26, OUDAAN - TÉL. : 32.38.55 (7 l.)
Télégrammes : Leoneessel - Anvers
Telex : Leoneessel : Anvers 277

BRUXELLES

23, RUE ROYALE - TÉL. : 17.39.77
17.95.05
Télégr. : Leoneessel-Bruxelles

LIÈGE

15, PLACE XAVIER NEUJEAN
TÉL : 23.33.93

LÉON VAN EESSEL

COURTIER D'ASSURANCES EN TOUTES BRANCHES

- responsabilité civile
- transports
- risques industriels
- maritime
- corps et facultés
- loi, incendie, vol, vie, auto et risques divers

Correspondants : Londres - New York - Hambourg - Paris - Rotterdam - Montevideo - Usumbura - Tel Aviv

GRAVIERS DE MEUSE CONCASSÉS

GRAVIERS DE MEUSE ET DU RHIN

Exploitation de Dragages et Transports
Tous les sables et ciments - Briques de Boom

HENRI BROCK ET SES FILS

44, rue R. Geenen, BRESSOUX - Tél. 43.93.68 (3 lignes)

DÉPÔTS À :

LIÈGE, Pont-Neuf, Tél. 43.93.68 - Monsin, Tél. 64.22.15

NAMUR

BRUXELLES, Tél. 26.45.37

BLOCS EN BÉTON LÉGER DUROX

**constructeurs
architectes
entrepreneurs**



songez à vos responsabilités

Pour couvrir vos risques

- ▶ en cours de travaux
- ▶ de responsabilité décennale

**PRIEZ VOTRE
INTERMÉDIAIRE
DE
CONSULTER**



L'ASSURANCE LIÉGEOISE

39, BOULEVARD D'AVROY, LIÈGE

SIÈGES :

**129, AVENUE LOUISE, BRUXELLES
3, BOULEVARD ROOSEVELT, LUXEMBOURG**