

ABONNEMENTS / ABONNEMENTEN

Belgique	FB 1590	België	BF 1590
	(TVA comprise)		(BTW inbegrepen)
Etranger	FB 1700	Buitenland	BF 1700
	(port compris)		(port inbegrepen)

Prix du numéro :

Belgique	FB 270	België	BF 270
	(TVA comprise)		(BTW inbegrepen)
Etranger	FB 285	Buitenland	BF 285
	(port en sus)		(plus verzendingskosten)

Tables décennales des matières :

1930-1939, 1940-1949, 1950-1959, 1960-1969, 1970-1979.

Tienjaarlijkse inhoudstafels :

1930-1939, 1940-1949, 1950-1959, 1960-1969, 1970-1979.

TARIF de la PUBLICITÉ / TARIEF van de PUBLICITEIT

Binnenwerk/Intérieur

	1/1 p.	1/2 p.	1/4 p.
1 n°	FB 9 000	*25 000	6 000
3 n° ⁰⁸	24 000	*60 000	16 000
6 n° ⁰⁸	36 000	*100 000	27 000

* quadrichromie

Demandes à adresser à : / Aanvragen te richten aan :

CEUTERICK
Brusselse straat 153
B 3000 Leuven

TEL. (016) 22 81 81
TELEX 25618

Versements au compte n° Stortingen op rekening nr
736 - 403 20 32 - 97

LES PORTES D'ECLUSES MARITIMES BELGES DE SLUISDEUREN DER BELGISCHE ZEESLUIZEN

par / door

DUURING P.

e.a. Ingenieur
van Bruggen en Wegen

ROTHILDE C.

Ingénieur en Chef-Directeur
des Ponts et Chaussées

INTRODUCTION

La Belgique a réalisé, dans la région anversoise, à Gand et à Zeebrugge, une infrastructure maritime dont la grande importance s'explique par la position de notre pays entre des régions très industrialisées, à population dense et, au centre de réseaux navigable, ferré et routier du Nord-Ouest de l'Europe.

Après la dernière guerre mondiale et, plus particulièrement après la crise du Suez (1956), notre infrastructure portuaire a dû s'adapter à l'augmentation du gabarit des navires.

Les plans schématiques des ports d'Anvers (plan 1), de Zeebrugge (plan 2) ainsi que le tableau des principales écluses maritimes belges traduisent ce développement.

Les écluses sont des pièces maîtresses des infrastructures maritimes.

Une quinzaine seulement, dont quatre en Belgique, ont été construites dans le monde pendant les vingt dernières années ou seront achevées dans les cinq années à venir.

Avec ses 500 x 68 mètres utiles, l'écluse de Berendrecht, mise sous eau en 1987, est actuellement la plus grande du monde.

Ces ouvrages diffèrent souvent d'un pays à l'autre tant sur le plan des maçonneries que des parties mé-

INLEIDING

België heeft in de streek van Antwerpen, Gent en Zeebrugge een maritieme infrastructuur gerealiseerd waaraan het grote belang wordt verklaard door de positie van ons land temidden van zeer geïndustrialiseerde regio's met een grote bevolkingsdichtheid en in het centrum van het netwerk van wegen, waterwegen en spoorwegen van Noord-West Europa.

Na de tweede wereldoorlog en meer in het bijzonder na de Suez-crisis (1956) heeft men onze haveninfrastructuur moeten aanpassen aan de schaalvergroting der schepen.

De schema's van de havens van Antwerpen (plan 1) en Zeebrugge (plan 2) en de tabel van de voornaamste Belgische zeesluizen tonen deze ontwikkeling aan.

De zeesluizen die de toegangspoort vormen tot de er achter gelegen dokken of havens, zijn voor die havens van curciaal belang.

Slechts een 15-tal grote zeesluizen, waarvan 4 in België, werden in de loop van de afgelopen 25 jaar in de wereld gebouwd of zullen in de eerste 5 jaar afgevoerd worden.

De Berendrechtsluis te Antwerpen, die in 1987 onder water gezet werd, is met haar sasafmetingen van 500 op 68 meter, heden de grootste zeesluis ter wereld.

Deze kunstwerken verschillen dikwijls van land tot land, zowel wat betreft de betonwerken als de meta-



Plan 1

talliques même si les conditions locales sont semblables.

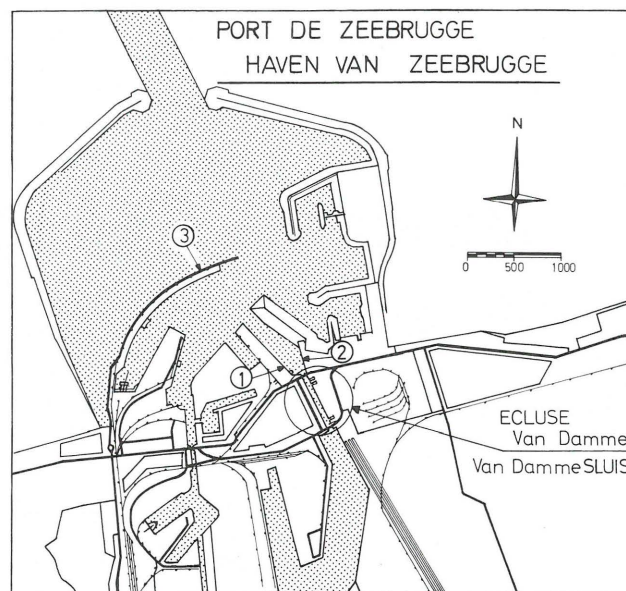
Leurs portes constituent des constructions particulières et complexes.

Le but de cet article est de faire le bilan de l'œuvre accomplie dans ce dernier domaine en Belgique, de décrire les solutions adoptées et de montrer leur évolution.

L'article comporte:

- une partie descriptive, consacrée aux portes belges en général et à quelques réalisations particulières;
- une partie consacrée à leur conception et à leur calcul.

Les praticiens y trouveront des renseignements techniques et des enseignements tirés de l'exploitation des ouvrages.



- ① MUR D'EMBECCQUEMENT OUEST - longueur 358 m
 ② MUR D'EMBECCQUEMENT EST - longueur 903 m
 ③ MOLE A ENLEVER
- ① WESTELIJKE GELEIDE MUUR - Lengte 358 m
 ② OOSTELIJKE GELEIDE MUUR - Lengte 903 m
 ③ AF TE BREKEN PIER

Plan 2

len onderdelen, en dit zelfs als de lokale omstandigheden gelijkaardig zijn.

De sluisdeuren vormen bijzondere en complexe konstrukties.

Het doel van dit artikel bestaat erin een balans op te maken van het op dit terrein in België geleverde werk, de aangenomen oplossingen te beschrijven en hun evolutie aan te tonen.

Dit artikel omvat:

- een beschrijvend gedeelte, gewijd aan de Belgische zeesluisdeuren in het algemeen en aan enige realisaties in het bijzonder;
- een gedeelte gewijd aan de opvattingen omtrent de berekening en het krachtenverloop in deze sluisdeuren.

De mensen uit de praktijk zullen in dit artikel technische gegevens vinden alsook de lessen die uit de uitbating van deze kunstwerken getrokken werden.

Ecluses Sluizen	Situation Situering	Dimensions du sas (m) Afmetingen saskolk (m)	Profondeurs d'eau sous le niveau moyen des hautes eaux (m) Waterdiepte (m) bij gemiddeld hoogtij	Année de mise en service Jaar van indienststelling
Kattendijk Royers Van Cauwelaert (Kruischans) Boudewijn Zandvliet Berendrecht	Port d'Anvers rive droite Haven van Antwerpen rechter oever	110 × 24,8 182,5 × 22 270 × 35 360,4 × 45 500 × 57 500 × 68	7,58 10,58 14 14,5 17,75 17,75	1860 1907 1928 1955 1967 en construction in aanbouw
Kallo	Port d'Anvers rive gauche Haven van Antwerpen linker oever	360 × 50	16	1981
Oude Zeesluis Van Damme	Port de Zeebrugge Haven van Zeebrugge	210 × 19,7 500 × 57	9,00 18,50	1907 1983

PREMIÈRE PARTIE LES PORTES D'ÉCLUSES MARITIMES BELGES, REALISATIONS, EQUIPEMENTS, CONCEPTION, FONCTIONNEMENT, ETUDES

1. GÉNÉRALITÉS

Le rôle des écluses maritimes est de soustraire les bassins portuaires à la marée, d'y maintenir un niveau d'eau pratiquement constant, intermédiaire entre celui de la marée haute et celui de la marée basse et d'en permettre l'accès aux navires de haute mer. Leurs têtes sont indépendantes; chacune forme donc avec ses parafouilles et ses portes un ouvrage de retenue soumis à une poussée hydrostatique qui varie et s'inverse suivant le niveau de la marée.

La tête d'amont au moins, doit constituer un maillon fiable dans le système de protection qui met les régions basses à l'abri des marées tempêtes.

Sur le plan de l'exploitation, toute interruption ou même tout ralentissement du trafic maritime entraîne des pertes pécuniaires importantes.

De plus, les grands navires ne disposent du tirant d'eau nécessaire qu'à marée haute. Il est donc nécessaire d'assurer un passage continu et rapide aux écluses.

Les portes doivent être manœuvrées dans un temps minimum malgré leur masse et les conditions de

fonctionnement défavorables (eau de mer, présence de dépôts de boue et de sable, action éventuelle de la houle).

Toutefois, l'hiver dans le Nord de la Belgique n'est pas assez rigoureux pour que la formation de glace pose des problèmes d'exploitation et entrave la manœuvre des portes.

L'agressivité du milieu, le déplacement dans une eau chargée de particules en suspension, accélèrent l'usure de leurs mécanismes et de leurs protections. De plus, elles sont exposées aux chocs des navires (photos n^{os} 1, 2 et 3).

Elles doivent donc pouvoir être entretenues et réparées dans un minimum de temps et le risque de mise hors service de l'écluse doit être très minime.

En raison de leur poids et de leur volume, les portes sont composées d'éléments fabriqués en atelier et amenés sur un slipway ou dans une cale sèche où ils sont montés et assemblés.

Après assemblage, les portes sont remorquées ou transportées sur pontons jusqu'à l'écluse. Leur mise en place s'effectue par flottage.

Il a été jugé préférable de doubler les portes de chaque tête afin que pratiquement on dispose toujours d'une porte au moins à chacune d'elle et d'éviter la perte de temps nécessaire pour retirer la porte endommagée et placer la porte de réserve.

Dans le cas exceptionnel où la porte en service est endommagée, alors que l'autre est à sec dans sa chambre, il serait encore possible de remettre rapidement celle-ci en service pour autant qu'aucun de ses éléments vitaux ne soit atteint.

Les chambres de portes sont équipées d'escaliers, d'échelles et de plates-formes pour l'accès au fond de la chambre, ainsi que de guidage et d'appuis provisoires nécessaires pour soutenir la porte mise à sec.

Les aqueducs de remplissage et de vidange du sas sont représentés avec leur prise d'eau, leurs orifices de sortie pour la répartition du débit et, les emplacements de vannes, bouchures de secours et puits d'accès.

L'aqueduc situé du côté des chambres contourne celles-ci.

Chaque aqueduc est équipé de deux vannes de façon que le remplissage ou la vidange ne soient pas totalement dissymétrique si l'une d'elles est hors service.

Quelquefois à l'étranger, les dispositifs de remplissage et de vidange sont incorporés dans les portes pour réaliser des économies sur les maçonneries.

En Belgique, la préférence est donnée au système aqueduc de contournement pour les raisons suivantes :

- l'amortissement des courants de remplissage est meilleur pour une même durée de l'opération;
- il est plus facile de mettre à sec une vanne placée dans un aqueduc et de la réparer que si elle est placée dans la porte;
- cette opération n'entraîne pas la mise hors service de la porte.

Toutefois, à l'écluse de Zeebrugge, les dispositifs de remplissage et de vidange ont été incorporés dans les portes mais uniquement pour des raisons d'exécution.

Aucune estimation précise du coût de ces solutions n'a été effectuée lorsqu'elles sont toutes les deux possibles. Cependant, la solution du remplissage et de la vidange à travers les portes n'est pas aussi économique qu'elle peut paraître à première vue.

En effet, les conduites munies de vannes incorporées dans les portes sont plus coûteuses que des vannes placées dans les aqueducs, elles compliquent l'exécution des portes et chaque porte doit en être équipée.

Enfin, toute intervention sur une vanne incorporée dans une porte nécessite la mise à sec de celle-ci dans sa chambre, opération longue et coûteuse.

Les dispositions qui précèdent sont généralement semblables, que la tête soit située du côté mer ou du côté des bassins, auquel cas, les portes d'êbe (portes situées du côté des bassins) et portes de flot (portes situées du côté de la mer) sont les mêmes.

Dans certains cas, la tête de flot seule s'intègre dans la protection contre les marées tempêtes et elle s'élève à un niveau supérieur à celui du reste de l'écluse. Les portes de flot sont alors plus hautes que celles d'êbe.

C'est ainsi qu'à l'écluse de Kallo, la tête et les portes situées du côté de l'Escaut sont 3 mètres plus hautes que celles situées du côté des bassins.

Si l'écluse et ses chenaux interrompent une route, la continuité du trafic peut être rétablie par des ponts basculants dont les culées sont incorporées dans les têtes de l'écluse en dehors du sas.

Cependant, dans certains cas, cette continuité est assurée par le passage sur le pont supérieur de la porte fermée.

De toutes façons, un pont supérieur est prévu. Il sert au passage des véhicules d'exploitation et d'entretien de l'écluse.

Les têtes d'écluse sont soumises aux poussées des terres et aux pressions hydrostatiques qui s'exercent sur les maçonneries et sur les portes.

Notons que ces dernières poussées sont variables et alternées avec les marées et qu'elles imposent aux maçonneries des déplacements faibles mais continus.

Les têtes doivent également résister aux sous-pressions lorsqu'une chambre est mise à sec, opération qui impose également des déplacements aux bajoyers des chambres.

Il convient que les maçonneries soient massives, non seulement pour résister aux sollicitations importantes mais aussi, pour offrir aux ouvrages métalliques et notamment aux portes le support rigide né-

cessaire à leur bon comportement et fonctionnement d'autant plus que le jeu entre les portes et les maçonneries est faible (quelques centimètres).

Si le terrain est de mauvaise qualité et déformable (présence de lentilles d'argile et de tourbe par exemple), des mesures sont prises pour réduire les déplacements des maçonneries. Comme il n'est pas possible de les éliminer complètement, ils doivent être estimés et des dispositifs de réglage complémentaires des portes être conçus en conséquence. Il s'est avéré prudent de prévoir une grande réserve sur les possibilités de réglage.

3. CHOIX DU TYPE DE PORTE

Les portes busquées peuvent être intéressantes lorsque la largeur de l'écluse ne dépasse pas 30 à 40 m mais il faut doubler les portes lorsque la chute s'inverse et leur manutention à sec à des fins d'entretien ou de réparation devient difficile.

Au delà de cette portée, les portes à déplacement latéral s'imposent. Ajoutons que les portes busquées se prêtent difficilement aux passages des véhicules routiers.

Les grandes portes réalisées en Belgique sont du type « brouette » c'est-à-dire qu'elles reposent du côté sas sur un chariot inférieur qui roule sur des rails situés dans une rainure du radier de la tête et que de

l'autre, elles sont suspendues par un bras en porte-à-faux à un chariot qui roule sur deux rails placés de chaque côté de la chambre.

Une autre disposition existe à l'écluse Van Cauwelaert à Anvers (fig. 13) et à l'étranger. Elle consiste à placer la porte sur deux chariots inférieurs et à guider également la porte latéralement à son coin supérieur du côté de la chambre. Cette solution permet un meilleur guidage mais présente le désavantage que les deux chariots et leurs rails sont en permanence sous eau.

4. LES PORTES DU TYPE « BROUETTE » ET LEURS ÉQUIPEMENTS

4.1. Description générale des portes et leur fonctionnement

La figure 4 représente un exemple de ce type de porte. Les portes possèdent un plan de symétrie et se composent :

- d'une ossature qui sert de support aux bordages et de deux bras en porte-à-faux;
- de deux bordages raidis;
- d'un caisson;
- d'un pont supérieur;
- d'un chariot inférieur et d'un chariot supérieur;
- d'équipements divers.

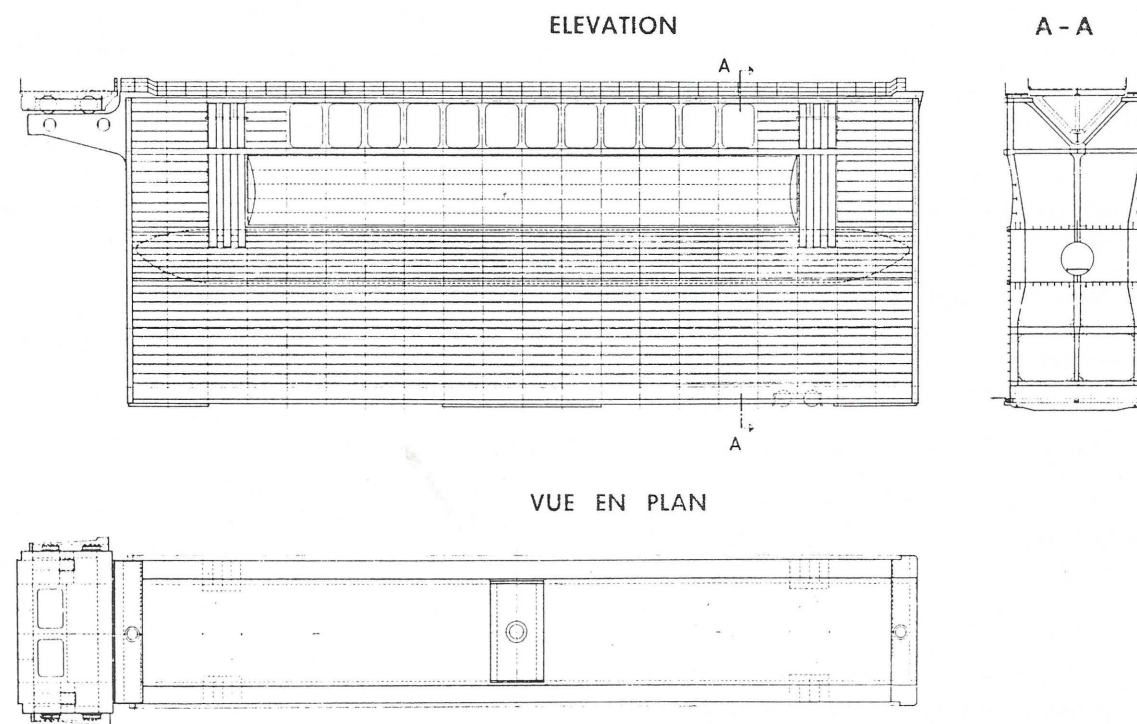


Fig. 4. — Porte type à déplacement latéral.

Autrefois, les portes étaient des constructions rivées. Celles construites après la guerre (1940-1945) sont entièrement soudées.

La forme générale des portes est parallélépipédique. Toutefois les bordages des portes des écluses de Zandvliet, de Kallo et des portes d'èbe de l'écluse de Zeebrugge présentent des rétrécissements situés sous le niveau du terre-plein des écluses lorsque les portes flottent sans eau de ballastage. Ces rétrécissements sont nécessaires pour leur introduction dans leur chambre.

Dans les portes plus récentes, ces rétrécissements ne sont plus nécessaires pour cette manœuvre parce que leur largeur n'a pas augmenté dans le même rapport que leur longueur. Il en résulte une simplification sensible des portes.

4.1.1. L'ossature

L'ossature est constituée d'un réseau de poutres horizontales et verticales.

Ce réseau transmet les poussées hydrostatiques aux bajoyers et au radier de la tête.

a) Les poutres horizontales et le caisson

L'élément le plus résistant est formé par les bordages qui en constituent les semelles tendues ou comprimées et par le toit et le fond du caisson central qui en constituent les âmes.

Les autres poutres horizontales sous eau sont composées de profilés pour limiter les dépôts sur celles-ci. A l'exception des portes récentes, le pont supérieur est constitué de tronçons amovibles.

Aux portes de flot de l'écluse de Zeebrugge et aux portes de l'écluse de Berendrecht, le pont supérieur a été intégré dans l'ossature (fig. 20 et 26).

Le pont supérieur intégré constitue une poutre horizontale supplémentaire qui renforce la résistance à la flexion de la porte et un appui supplémentaire pour les cadres transversaux.

Le caisson formé par le pont supérieur, le caisson de ballastage et les parties des deux bordages comprises entre les deux éléments précités présente une grande section transversale donc une grande rigidité torsionnelle.

b) Les poutres verticales

Les poutres verticales sont généralement formées par les bordages et des poutres en «T» soudées sur leur face intérieure.

Au fur et à mesure que l'on construisait de nouvelles écluses, leur entre-distance a augmenté pour se stabiliser à une valeur de 3 mètres environ dans les portes récentes.

Ces poutres sont liaisonnées à différents niveaux. Les poutres verticales et leurs liaisons forment les cadres verticaux ajourés qui offrent moins de résistance au déplacement de la porte dans l'eau.

Les cadres d'extrémité sont renforcés pour répartir les charges sur les maçonneries.

Les liaisons inférieures sont situées au-dessus du bas de la porte afin que lors de son déplacement, elles passent au-dessus des dépôts.

On aurait pu envisager de supprimer les liaisons entre poutres verticales ce qui aurait présenté les avantages suivants :

- simplification de la construction et de l'entretien (la protection par peinture entre autre);
- réduction de la résistance au déplacement, notamment lorsque les dépôts se sont accumulés sur forte épaisseur.

Une telle solution a été adoptée pour les portes de la quatrième entrée du port de Wilhemshaven en Allemagne Occidentale.

Par contre, les liaisons permettent de répartir sur les deux rangées de poutres verticales situées de chaque côté de la porte les poussées hydrostatiques qui s'exercent sur un bordage et les réactions d'appui sur le seuil dans le radier.

Les poutres verticales reprennent ces poussées et réactions par flexion ou par des poutres comportant des diagonales.

Dans ce cas, les éléments des cadres transversaux travaillent donc en compression et en traction ce qui permet une meilleure utilisation de l'acier (fig. 26).

Aux portes d'èbe de l'écluse de Zeebrugge et à l'écluse de Berendrecht (fig. 5a), les cadres transversaux ne s'appuient pas directement sur la battée du seuil dans le radier, comme c'est le cas aux autres écluses, mais par l'intermédiaire d'appuis en néoprène dont la déformabilité a été déterminée par calcul.

Il y a lieu de se référer à ce sujet aux paragraphes consacrés aux portes de ces écluses.

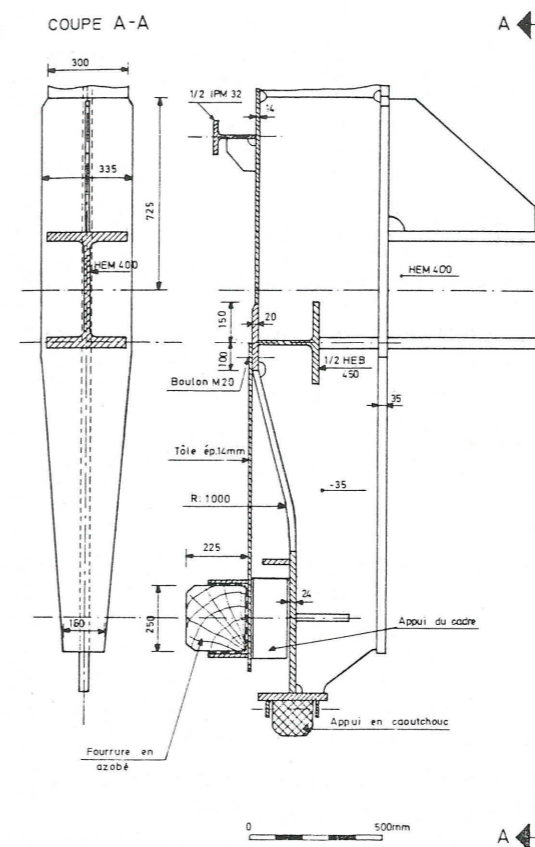


Fig. 5a. — Dispositif d'étanchéité inférieure par tôle souple.

Les avantages de la déformabilité de ces appuis sont que :

- la porte, qui se comporte dans son ensemble comme une plaque raidie appuyée sur trois côtés, ne décolle pas de ses appuis aux deux coins inférieurs;
- les inégalités des appuis, et notamment celles dues à la présence d'un corps étranger pas trop épais, peuvent être absorbées dans une certaine mesure par une plus grande déformation des blocs de caoutchouc et sans dommage pour le cadre.

Enfin, les portes de l'écluse Boudewijn (fig. 16) constituent une exception. En effet, les cadres verticaux ne se prolongent pas jusqu'au niveau des battées de la rainure du radier. La poussée hydrostatique est donc uniquement transmise aux bajoyers de la tête. La résultante de cette poussée ne se trouvant pas au niveau du centre de torsion, il faut que le caisson possède une résistance et une rigidité torsionnelle suffisantes.

c) Les bras en porte-à-faux

Les deux bras en porte-à-faux des différentes portes sont situés dans le plan des bordages.

Ils transmettent une partie du poids de la porte au chariot supérieur.

4.1.2. Les bordages

Les premières écluses construites après la guerre (1940-1945) possèdent encore des bordages, constitués par des plaques rectangulaires en forme de bouclier, qui ne participent pas à la résistance de la porte.

Actuellement, ils sont constitués par une grande plaque renforcée par des raidisseurs horizontaux en forme de «T» et ils font également partie de l'ossature en tant que semelle tendue ou comprimée.

L'épaisseur des tôles planes de bordage est de 12 à 16 mm. Elle est généralement de 14 mm.

Pour économiser de la matière, certains bordages situés du côté Escaut (portes des écluses de Zandvliet et Kallo) présentent de grandes ouvertures rectangulaires dans leur partie supérieure.

4.1.3. Les dispositifs d'étanchéité

La faible dénivellation qui se produit au début du remplissage ou de la vidange applique les portes contre leurs battées par l'intermédiaire de fourrures qui assurent l'étanchéité.

Les fourrures latérales sont fixées sur les cadres d'extrémité.

La fourrure inférieure est fixée sur une tôle souple démontable (fixation par boulons) qui prolonge le bordage vers le bas (fig. 5a). Cette tôle souple est soumise à la poussée des appuis des cadres verticaux et à la pression hydrostatique qui appliquent sa fourrure contre la battée de la rainure dans le radier de la tête; sauf à l'écluse Boudewijn, où seule agit la poussée hydrostatique et, aux portes de flot de l'écluse Van Damme à Zeebrugge, où les fourrures sont fixées directement sur les bordages renforcés par un raidisseur horizontal (fig. 5b).

Cette dernière solution a dû être adoptée parce que les fourrures, de ces dernières portes, sont en caoutchouc et que les réactions d'appuis sur le seuil sont réparties sur toute la longueur.

Les fourrures sont en azobé sauf aux portes de flot de l'écluse Van Damme à Zeebrugge où elles sont en caoutchouc (fig. 22).

La stabilité des portes flottant sur l'eau dans une position verticale n'est pas indispensable. La porte flottante peut être maintenue verticalement pour l'introduire dans sa chambre au moyen des caissons qui ont servi à son transport ou au moyen d'une bigue ou d'une grue.

Cependant, les portes flottantes (sans ballast) sont généralement stables dans une position qui ne s'écarte pas trop de la verticale parce que, dans une certaine fourchette d'inclinaison, leur métacentre se trouve au-dessus de leur centre de gravité.

Un réglage précis de la position de la porte permet et facilite son introduction sans moyens auxiliaires malgré les faibles jeux qui subsistent entre la porte et les maçonneries lors de cette opération. Une fois la porte introduite dans sa chambre, sa stabilité sur l'eau n'est de nouveau pas nécessaire car elle est maintenue par ses guidages latéraux ou par son appui sur ses chariots.

De toute façon, lorsque le caisson est complètement immergé, la porte n'est plus stable, son centre de gravité (charpente + eau du ballastage) se trouve au-dessus du centre de poussée et du métacentre.

4.1.5. Le pont supérieur

Le pont supérieur sert pour la circulation du personnel et du matériel d'exploitation. Il est également conçu pour le passage des véhicules routiers légers. Généralement le pont supérieur est constitué de tronçons amovibles qui reposent isostatiquement sur la porte afin de ne pas être sollicités par les déformations de celle-ci (photo 6). Ces tronçons sont manœuvrés au moyen d'une grue mobile.

Les avantages de cette amovibilité sont :

- d'alléger la porte pendant son transport et sa mise en place et de lui assurer une meilleure stabilité en position verticale lorsqu'elle flotte sur l'eau;
- de faciliter l'enlèvement des boues sur le caisson.

Toutefois, aux portes de flot de l'écluse de Zeebrugge et aux portes de l'écluse de Berendrecht, le pont supérieur est intégré dans l'ossature des portes et est constitué d'une dalle orthotrope.

La solidarisation du pont supérieur avec la porte renforce sensiblement celle-ci.

En raison de la forme de la proue des navires, il est plus souvent exposé que le caisson à leurs chocs. S'il

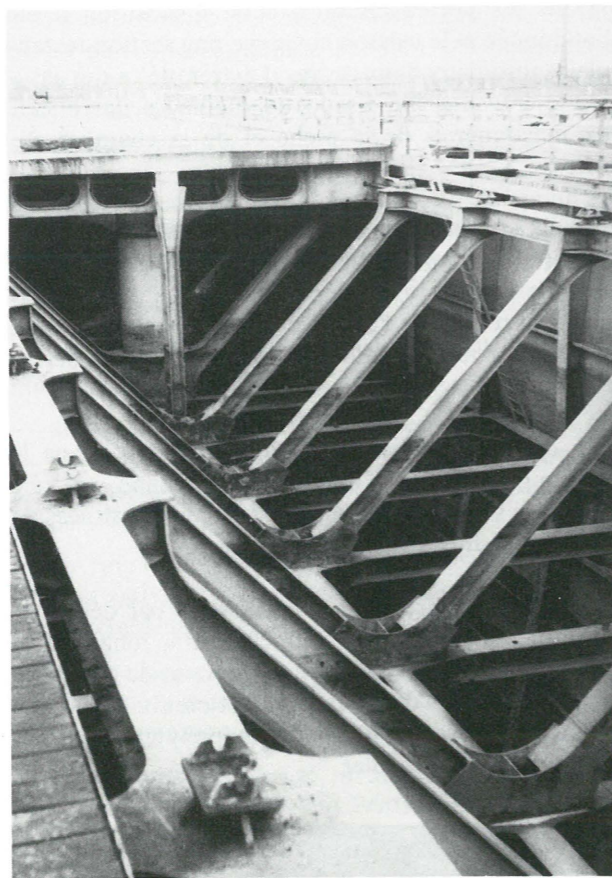


Photo 6. — Porte de l'écluse de Zandvliet. Ossature supérieure et éléments amovibles du pont.

est endommagé, le renforcement est réduit et peut même disparaître pratiquement.

4.1.6. Les chariots

La porte n'a pas de liaison latérale avec ses chariots afin de pouvoir s'appliquer contre ses battées et assurer l'étanchéité.

D'autre part, les chariots circulent sur des rails qui ne sont pas rigoureusement parallèles et rectilignes. La porte reposant sur le chariot inférieur par l'intermédiaire d'appuis rigides, ses liaisons avec le chariot supérieur doivent être élastiques dans certaines limites. De plus, il ne faut pas perdre de vue que les déformations des portes et l'écrasement de leurs appuis n'étant pas uniformes, la porte ne se déplace pas suivant des positions rigoureusement parallèles lorsqu'elle est appliquée contre ses battées par la pression hydrostatique et que ce phénomène modifie les réactions d'appuis des portes sur leurs chariots dans des mesures indéterminées.

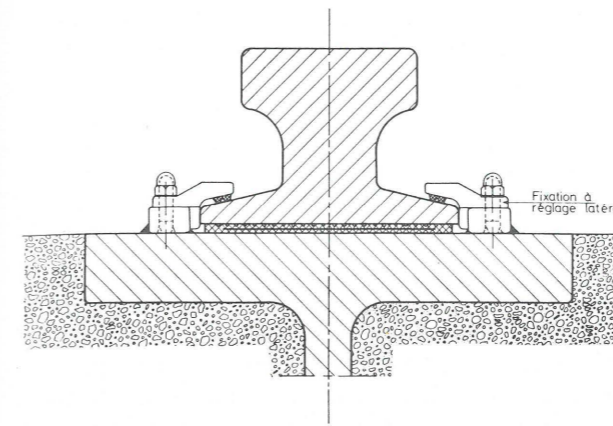


Fig. 6. — Ecluse de Berendrecht. Rail des chariots inférieurs.

Les rails doivent présenter de faibles tolérances et leurs fixations conçues pour permettre un certain réglage afin de pallier les défauts d'exécution des maçonneries et leurs déplacements et déformations après mise en service. Aux écluses de Zeebrugge et de Berendrecht, les rails reposent sur les pièces métalliques scellées dans les bétons par l'intermédiaire d'un intercalaire en néoprène armé d'un plat en acier qui permet une répartition plus uniforme des sollicitations dans les rails (fig. 6).

La dureté des rails est supérieure à celle des galets de roulement, ceux-ci étant plus facilement remplaçables que les rails notamment ceux des chariots inférieurs.

a) Le chariot inférieur

La figure 7 représente un exemple de chariot inférieur type.

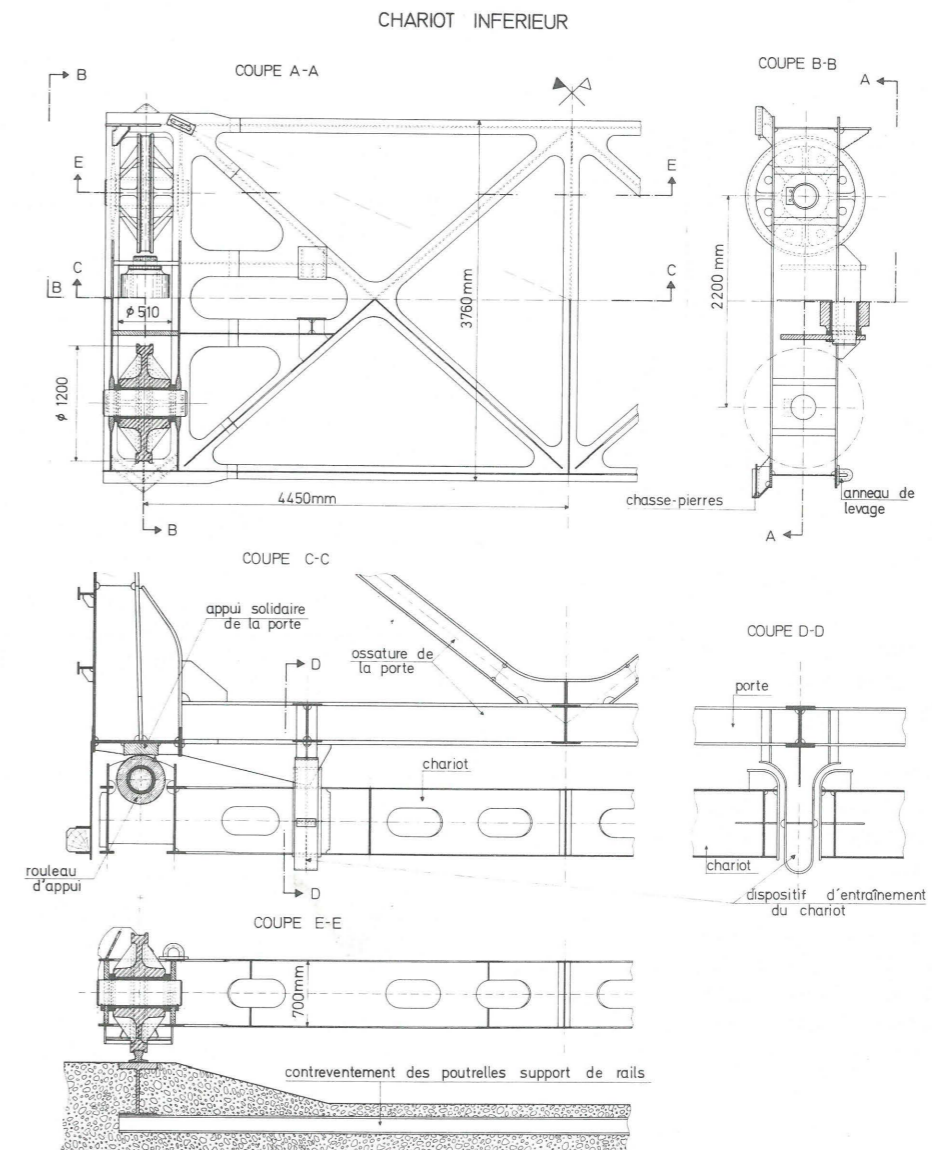


Fig. 7. — Chariot inférieur.

Ce chariot circule sur deux rails placés sur le fond d'une rainure dans le radier de la tête. Un approfondissement entre les rails permet l'accumulation des dépôts sur une certaine hauteur avant qu'ils entravent le passage du chariot.

Le chariot comprend :

- une charpente;
- quatre galets;
- les supports et les liaisons avec la porte;
- les accessoires.

La porte repose sur un chariot par l'intermédiaire de deux rouleaux dont les axes sont parallèles à l'axe longitudinal de la porte afin de permettre son déplacement latéral.

Les rails du chariot inférieur sont fixés sur des poutrelles métalliques qui forment avec leur contreventement un ensemble rigide noyé dans le béton du radier de la tête.

Les appuis de la porte sur ses rouleaux présentent une surface cylindrique dont la concavité est orientée vers le bas.

Le chariot est entraîné par la porte au moyen de deux appendices verticaux qui pénètrent dans les deux rainures correspondantes du chariot.

Les galets et rouleaux ne sont pas munis de dispositifs de graissage ni de dispositifs qui empêchent la pénétration dans les coussinets de particules en suspension dans l'eau.

Les premiers dispositifs impliqueraient que les coussinets soient alimentés en lubrifiant à partir du pont supérieur et que les tuyauteries qui amènent le lubrifiant jusqu'au chariot soient déconnectées de celui-ci lorsqu'on le retire du dessous de la porte.

D'autre part, en l'absence d'une alimentation en graisse les particules qui auraient pu franchir les seconds dispositifs et pénétrer dans les coussinets y resteraient prisonnières.

Les rouleaux et galets fonctionnant dans une eau de mer agressive chargée de matière abrasive, le problème de l'usure plus ou moins rapide de leurs axes et buselures a préoccupé l'Administration. Des matériaux de nature diverse ont été testés.

A l'écluse de Zandvliet, les galets étaient équipés de buselures en polyamide et d'axes en acier inoxydable AISI 316.

Quelque temps après la mise en service, l'abrasion était telle que le diamètre des axes était réduit d'un centimètre environ.

Ces axes ont été remplacés par d'autres beaucoup plus durs en acier 50 Cr Mo conforme à la DIN 17 200 et dont la dureté minimum est de 55 Rc en surface et 45 Rc à 10 mm de profondeur. Après six ans de service l'usure de ces axes n'était que de quelques millimètres. Depuis, l'Administration belge s'en est tenue à cette formule pour les chariots à construire.

Des chasse-pierres sont prévus devant les galets.

b) Le chariot supérieur

La figure 8 représente un exemple de chariot type.

Il comprend :

- une charpente rectangulaire rigide dans son plan;
- une plate-forme;
- quatre galets avec bourrelets;
- la suspension et les liaisons horizontales avec la porte.

La porte est suspendue à son chariot par deux bielles verticales biarticulées formant pendules et munies de ressorts. La figure 9 représente la bielle du chariot des portes de l'écluse de Berendrecht.

Le chariot supérieur pousse la porte vers le sas par l'intermédiaire de deux butoirs et la retire dans sa chambre par l'intermédiaire de deux bielles horizontales biarticulées.

Les butoirs et les bielles horizontales sont munis de ressorts.

Lorsque la porte est soulevée, le chariot supérieur repose sur les bras en porte-à-faux de la porte par l'intermédiaire de butoirs.

La plate-forme permet aux véhicules de passer du plateau de l'écluse au pont supérieur de la porte.

CHARIOT SUPERIEUR

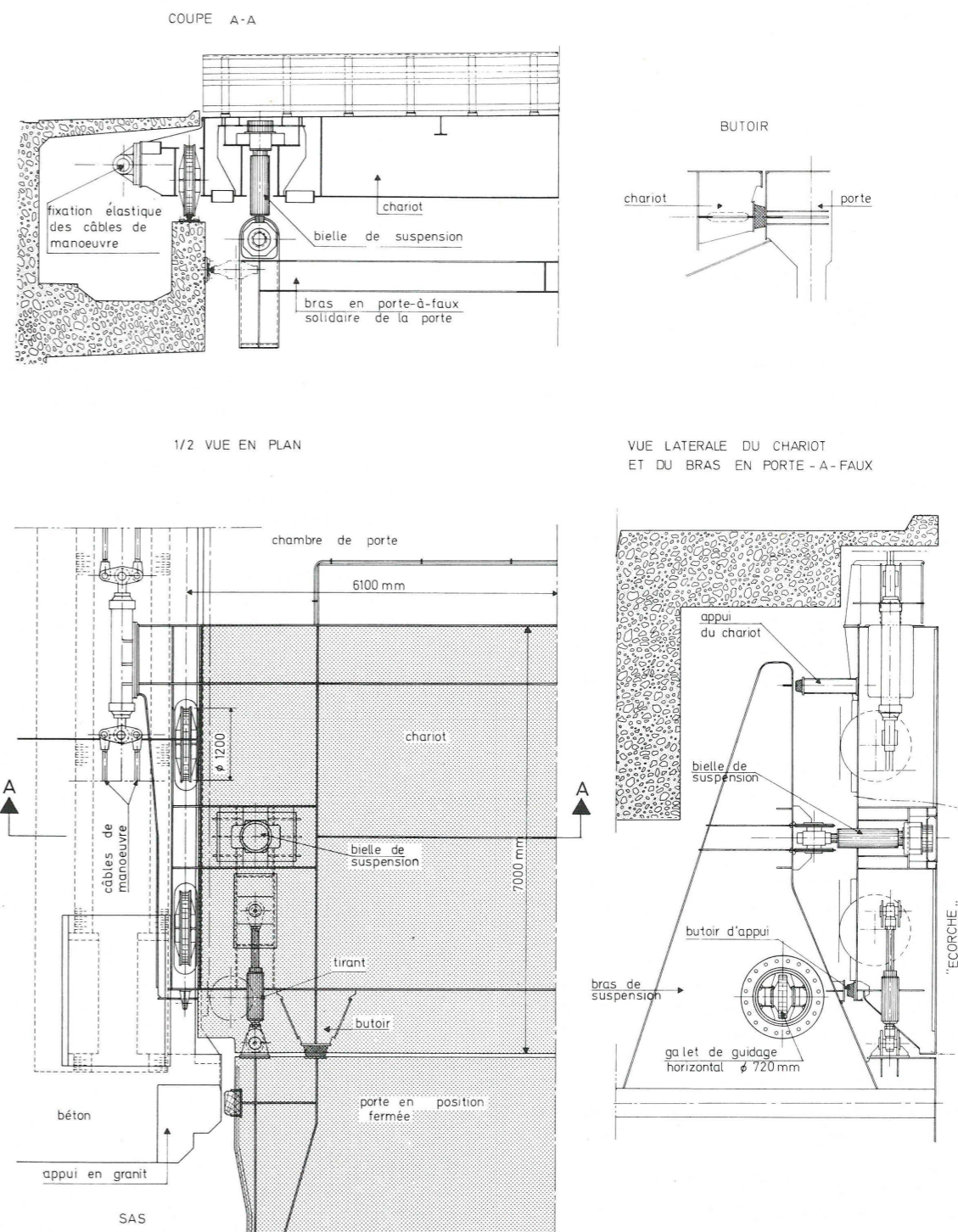


Fig. 8. — Chariot supérieur.

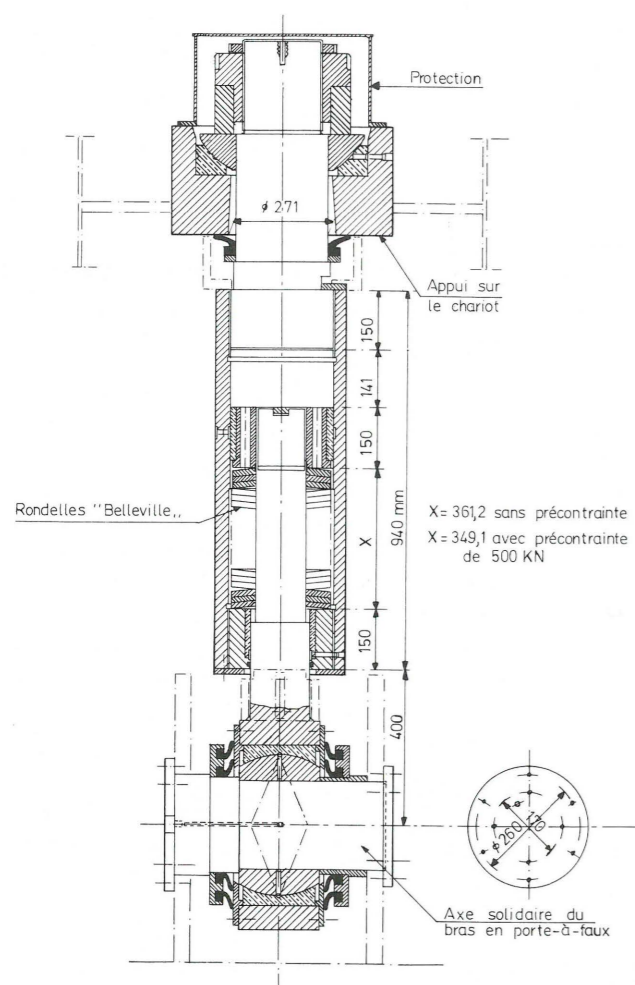


Fig. 9. — Bielle de suspension du chariot supérieur des portes de l'écluse de Berendrecht.

4.2. Les aciers des portes

Les portes ont bénéficié de l'amélioration de la qualité des aciers due aux procédés modernes d'élaboration et de laminage des produits.

Les aciers sont de la qualité AE 235 D ou AE 355 D ceux-ci étant utilisés dans les parties les plus sollicitées de la construction.

L'acier AE 235 B n'est utilisé que pour les éléments secondaires peu sollicités comme par exemple des garde-corps.

Enfin, signalons que pour un problème de corrosion, l'épaisseur minimum des profils est de 8 mm.

4.3. La protection des portes

Les portes fonctionnent en permanence dans des conditions très défavorables à travers des dépôts et dans une eau corrosive particulièrement sur la hauteur de marnage.

Dans une certaine mesure, la pollution que l'on rencontre dans les ports aggrave encore l'agressivité du milieu en favorisant le développement d'une corrosion bactérienne.

Différents systèmes de protection ont été examinés pour déterminer celui qui est le plus approprié en tenant compte des facteurs suivants:

- présenter une durabilité suffisante;
- réduire les difficultés d'application des peintures au chantier et celles du travail de réparation et d'entretien de la protection effectué dans les chambres de porte;
- respecter les prescriptions du règlement du travail;
- obtenir la meilleure rentabilité possible de la protection en fonction de son efficacité et de son coût.

Un des facteurs est également la facilité de réparation des dégâts occasionnés par les manipulations, transport et mise en place des portes.

Il est évident que la protection ne peut être inspectée efficacement que lors d'une mise à sec et après nettoyage de la porte, opérations longues et coûteuses.

Le système doit donc présenter une garantie suffisante entre deux inspections.

A chaque système de protection (nature et épaisseurs optimum des couches, protection cathodique...) correspond des prescriptions techniques d'exécution.

La composition de la protection, les sujétions du travail (prescriptions d'exécution, mise à sec) déterminent le coût de la protection et de son entretien (y compris la consommation de courant des protections cathodiques). A partir de ces coûts, de la durée escomptée entre les entretiens, des aléas qui résultent de la mise hors service d'une porte, on peut préjuger de la rentabilité du système de protection.

Il n'entre pas dans le cadre de l'article présent de développer tous les problèmes techniques, économiques, ni toutes les recherches et expériences effectuées en Belgique et à l'étranger qui sont à la base des choix effectués, ni de faire une étude comparative des avantages et inconvénients des différents systèmes combinés avec une protection cathodique éventuelle.

Nous nous bornerons à signaler que le système de protection adopté pour les portes de l'écluse de Berendrecht comporte:

- un décapage S A 3;
- une couche de fond composée d'une peinture époxyde riche en zinc de 40 microns d'épaisseur sur film sec;
- trois couches d'époxy-brai. L'épaisseur de chaque couche est de 175 microns sur film sec.

Ce système est complété pour les faces extérieures des bordages par une protection cathodique à courant imposé.

Le rôle de la protection cathodique est de pallier des faiblesses locales des couches de peinture et des dégradations qui surviennent après la mise en service. Le chariot inférieur est protégé par des anodes en zinc. En se basant sur l'expérience des solutions testées, les Services Techniques de la ville d'Anvers estiment que la périodicité d'entretien est passée de 4 à 8 années et espèrent même arriver à 20 années.

Cependant, l'efficacité des peintures époxydes n'est réelle que si les prescriptions d'exécution très strictes sont scrupuleusement respectées (préparation de surface, épaisseur et délais d'application des différentes couches, conditions de travail parmi lesquelles la protection contre les poussières, conditions atmosphériques favorables...).

Il est aussi important que le travail soit effectué par des équipes spécialisées.

A l'écluse de Berendrecht, l'Administration a voulu mettre un maximum de chances de son côté pour obtenir un travail de bonne qualité par les dispositions suivantes:

- mise en peinture d'une porte après assemblage complet;
- travail effectué pendant la bonne saison (avril-octobre) sous abri et protégé contre les poussières et variations brutales de température;
- emploi d'équipes qualifiées et surveillance rigoureuse du travail.

Les dégâts éventuels causés par le transport et la mise en place sont réparés lors de la mise à sec des portes dans leur chambre.

4.4. Les sollicitations des portes

Les sollicitations principales des portes proviennent normalement de la chute à l'écluse et dans une moindre mesure, de la houle éventuelle et du poids mort.

Celui-ci intervient davantage lorsque les portes sont mises à sec dans leur chambre.

Les dépôts de boue peuvent solliciter sensiblement les appuis et les chariots.

L'action du vent est faible.

Les caissons sont soumis à la pression intérieure exercée par l'air comprimé.

Cependant les portes peuvent subir des sollicitations accidentelles très graves.

D'après la description des ossatures, on conçoit que la transmission des poussées hydrostatiques sur les maçonneries des bajoyers et du radier des têtes s'effectuent suivant une répartition très complexe qui dépend entre autre de la rigidité des caissons en flexion et en torsion et de la rigidité en flexion des cadres et de la déformabilité des appuis.

En particulier, la répartition des charges sur les battées des niches et à l'entrée des chambres de porte dépend en plus de la géométrie et de la rigidité des cadres d'extrémité, des caractéristiques des fourrures et des tolérances d'exécution. Cette dernière répartition est donc loin d'être bien déterminée.

De plus, il arrive que les mouvements des maçonneries, l'usure ou la destruction des fourrures modifient défavorablement les conditions d'appui et peuvent engendrer une augmentation dangereuse des sollicitations des portes, d'autant plus que leurs éléments sont rigides.

Il est aussi arrivé quelques fois, en Belgique, que des navires heurtent les portes d'écluses et y provoquent de sérieux dégâts (photos 1, 2 et 3). Heureusement ces accidents n'ont jamais entraîné la rupture totale de celles-ci. Une telle rupture pourrait avoir des conséquences catastrophiques.

Il n'existe pas de protections indépendantes capables d'amortir de tels chocs et l'énergie est absorbée par des défoncements locaux de la porte.

Il est donc utile que l'ouvrage possède une certaine réserve de résistance, d'ailleurs impossible à estimer a priori et, surtout une grande capacité de déformation plastique.

La grande résilience des aciers actuels et les progrès réalisés en soudure contribuent à augmenter cette capacité.

Les portes des écluses maritimes sont des constructions hautement hyperstatiques qui doivent être calculées comme des structures tridimensionnelles.

4.5. Les équipements des portes

Les équipements comprennent:

- le guidage;

- les dispositifs de dégagement des rails;
- les dispositifs de manœuvre;
- les appuis sur les maçonneries.

4.5.1. Le guidage de la porte en translation

Le jeu entre les fourrures de la porte et ses battées d'appui est faible (3 à 5 centimètres en moyenne).

En l'absence de toute poussée latérale, la gravité maintient la porte dans sa position médiane grâce à la forme concave de ses appuis sur les rouleaux du chariot inférieur et aux bielles de suspension du chariot supérieur. Mais cet effort de rappel vers la position centrale est faible (quelques tonnes), la charge sur le chariot étant réduite à 100 à 200 tonnes environ par la poussée d'Archimède sur le caisson de ballastage. Pour la même raison, sa stabilité au basculement latéral est également faible.

Des dispositifs supplémentaires sont donc nécessaires pour limiter le déplacement latéral de la porte, la guider et, à la rigueur, éviter son basculement sous l'action d'une différence de niveau d'eau, de la houle, du vent etc.

Ces dispositifs sont constitués:

- au niveau inférieur, par des poutres en azobé qui peuvent glisser contre les battées de la rainure dans le radier;
- au niveau supérieur, par des galets latéraux situés dans les bras en porte-à-faux et qui peuvent rouler contre des rails fixés sur les parois verticales des chambres de porte (fig. 10).

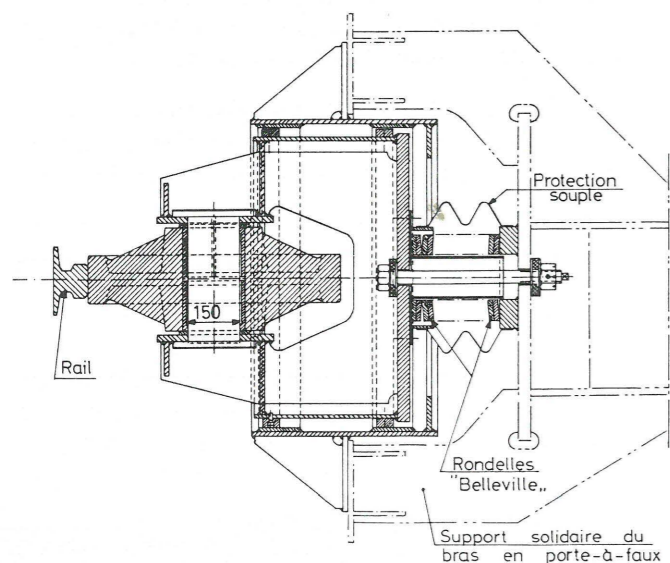


Fig. 10. — Porte de Berendrecht. Galet de guidage latéral supérieur.

Ces galets sont équipés de ressorts précontraints qui les maintiennent près des rails avec un faible jeu. Ils s'effacent dans un logement lorsque l'effort de guidage dépasse la précontrainte.

Toutefois, à l'écluse de Zeebrugge, les poussées dues à la houle sont si importantes qu'un dispositif de guidage spécial important a dû être prévu (fig. 23).

4.5.2. Les dispositifs de dégagement des rails

L'accumulation des dépôts de boue et de sable sur les chemins de roulement des chariots inférieurs freine le déplacement des portes et finit par les entraver si des mesures ne sont pas prises.

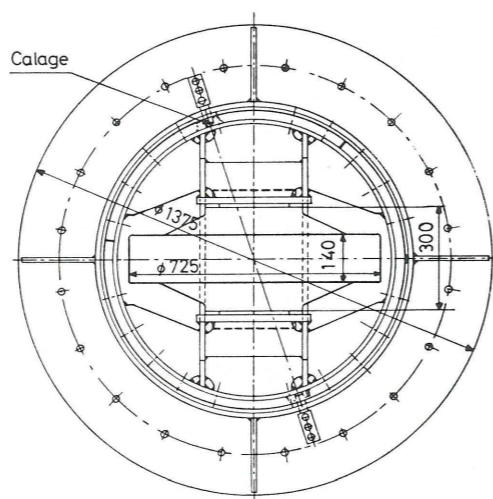
La quantité de dépôt peut être augmentée si la géométrie des orifices des aqueducs est telle qu'une partie du débit de remplissage du sas est dirigée vers la chambre de porte.

Le blocage peut même survenir si la porte n'est pas manœuvrée régulièrement et si les dépôts ont eu le temps de tasser.

On y remédie en:

- utilisant alternativement les portes d'une même tête;
- draguant périodiquement;
- équipant la porte de dispositifs de dégagement.

Ces dispositifs comportent des conduites sur les portes qui projettent de l'eau sur les rails et déplacent les dépôts.



Les pompes qui alimentent ces conduites entrent en fonctionnement automatiquement dès le début de la translation des portes.

A l'écluse de Berendrecht, ce système n'a pas été retenu. Il a été remplacé par un système «air lift» qui aspire et rejette les dépôts au niveau du fond du caisson de ballastage (voir point 5.6.4).

4.5.3. Les dispositifs de manœuvre

Les treuils de manœuvre sont à l'abri dans une salle située dans le prolongement de la chambre de porte.

La porte est manœuvrée par deux câbles situés de chaque côté du chariot supérieur auquel ils sont fixés par l'intermédiaire de tendeurs munis de ressorts. Ces câbles sont fixés sur les tambours des treuils et passent sur des poulies de renvoi situées à l'entrée de la chambre de porte.

L'ensemble du dispositif est schématisé à la figure 1 vue en plan et coupe AA, du plan n° 3.

Le déplacement des portes à travers les dépôts de vase et de sable exige de grands efforts de manœuvre particulièrement au démarrage malgré l'action des dispositifs prévus afin de réduire leur entrave.

C'est ainsi qu'à l'écluse de Berendrecht, les dépôts de vase non consolidée ont atteint 2,5 m dans le mois qui a suivi la mise sous eau et l'effort au début de la manœuvre est passé de 10 tonnes à 50 tonnes environ. Après un certain déplacement des portes, ces efforts descendent rapidement de 10 à 20% de leurs valeurs initiales. Les treuils de ces portes sont capables d'exercer un effort exceptionnel de 130 tonnes sur les câbles de manœuvre.

4.5.4. Les appuis sur les maçonneries

Jusqu'à présent, les appuis des portes ont été réalisés par des chaînages en moellons de grandes dimensions en granit dur dont la densité est de 2650 kg/m³ minimum et la résistance en compression de 1600 kg/cm² minimum pour les arêtes verticales et de 1200 kg/cm² minimum pour les seuils.

Après placement, la tolérance sur les faces des chaînages verticaux et horizontaux sur lesquelles s'appuient les fourrures est de 5 mm sur leur longueur totale.

Entre deux moellons qui se suivent, l'écart ne peut dépasser 2 mm.

Par rapport à la plaque d'acier, les moellons présentent l'avantage de répartir la charge sur une grande surface de maçonnerie, de ne pas être attaqués par l'eau de mer et de pouvoir être rectifiés après avoir été placés et maçonnés.

4.6. L'exécution des portes

A part les problèmes de manutention qui requièrent des moyens plus puissants, l'exécution des portes ne pose pas d'autres problèmes que ceux qui sont propres aux constructions soudées.

4.7. Le transport des portes et leur mise en place

Les portes sont fractionnées en éléments construits en atelier et transportés, par camion ou par ponton, sur un slipway ou dans une cale sèche pour y être assemblés et recevoir les revêtements de protection. Ensuite, elles sont transportées par eau.

Les méthodes de transport et de mise en place dépendent entre autre des moyens dont dispose le constructeur. Des bigues ou grues peuvent collaborer aux opérations de chargement, de redressement de la porte et d'introduction dans sa chambre.

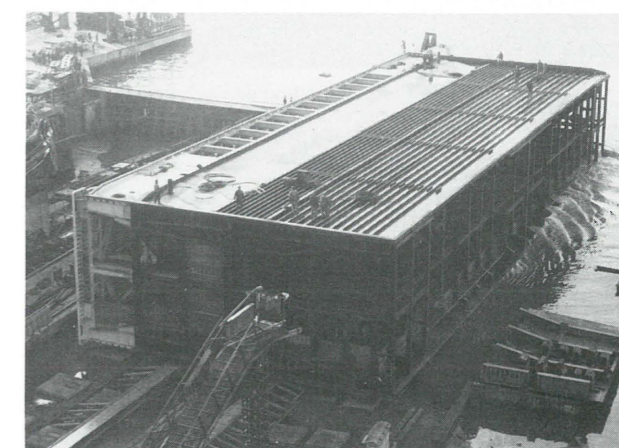


Photo 7. — Porte de l'écluse de Zandvliet. Mise à l'eau.

La photo 7 montre la mise à l'eau d'une des portes de l'écluse de Zandvliet. Ces portes, équipées de caissons qui assurent leur stabilité sur l'eau, sont amenées sur place par flottage (photo 8).

Les photos 9, 10 et 11 montrent la succession des opérations du transport d'une des portes de l'écluse de Zeebrugge. La porte, placée sur des chariots provisoires, est tirée sur un ponton (photo 9) et transportée (photo 10).

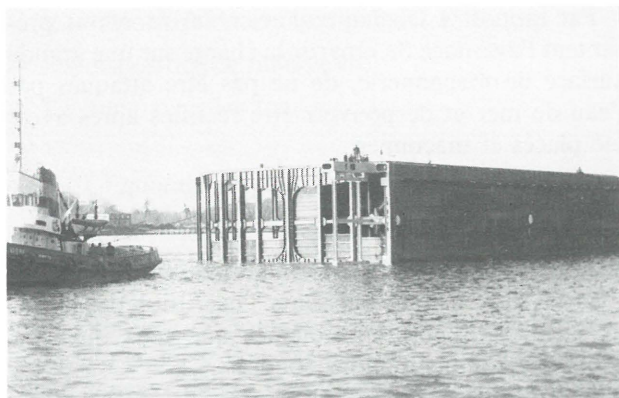


Photo 8. — Porte de l'écluse de Zandvliet.
Transport.

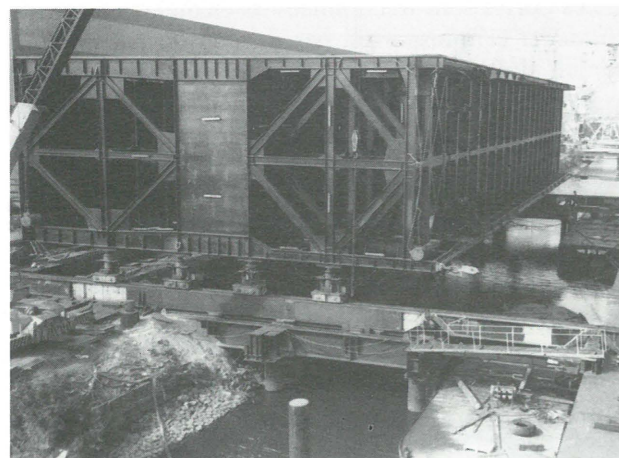


Photo 9. — Porte de l'écluse de Zeebrugge.
Chargement sur ponton.



Photo 10. — Porte d'èbe de l'écluse de Zeebrugge.
Transport sur ponton.

Arrivé à destination, le ponton s'incline vers l'avant et la porte glisse à l'eau (photo 11). Elle est ensuite redressée (photo 12) et introduite dans sa chambre (photo 13).

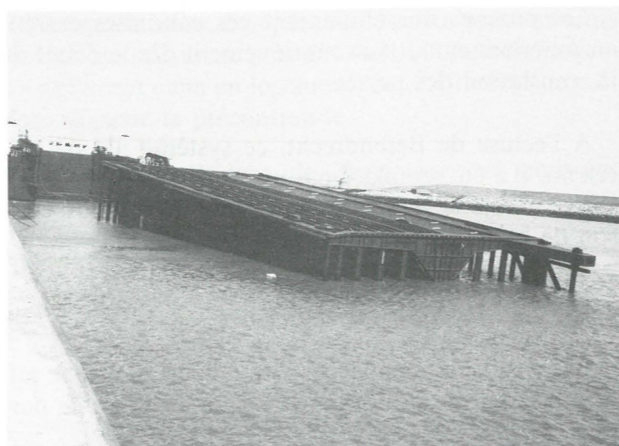


Photo 11. — Porte d'èbe de l'écluse de Zeebrugge.
Mise à l'eau à Zeebrugge.



Photo 12. — Porte de l'écluse de Zeebrugge.
Manœuvre de redressement.



Photo 13. — Porte de l'écluse de Zeebrugge.
Mise en place.

Les photos 14 et 15 montrent les éléments d'une des portes de Berendrecht transportés par remorque.

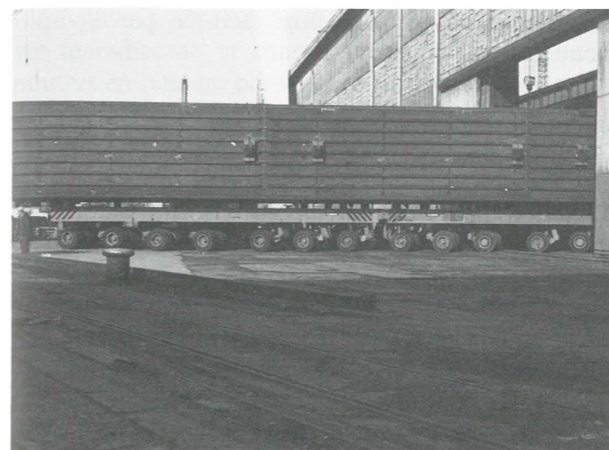


Photo 14. — Porte de l'écluse de Berendrecht.
Transport d'un demi-caisson.

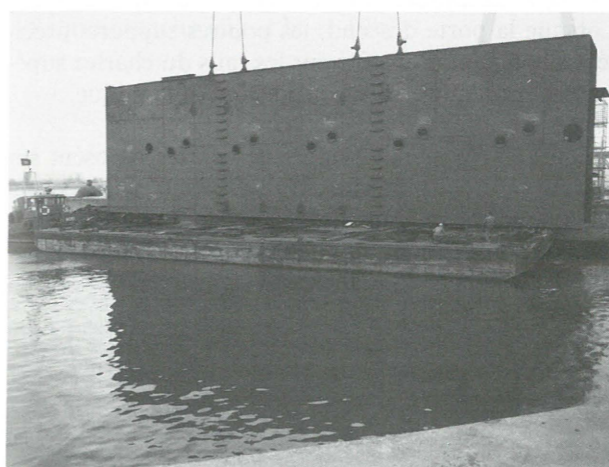


Photo 15. — Porte de l'écluse de Berendrecht.
Chargement d'un demi-caisson sur un ponton.

4.8. Les dispositifs, les moyens et les procédés de contrôle, d'entretien et de réparation des portes et de leurs équipements

4.8.1. Les dispositifs et leur utilisation

Les dispositifs sont conçus pour éviter au maximum la mise hors service de l'écluse, réduire la durée d'immobilisation des portes et limiter le coût des opérations notamment les mises à sec.

Les dispositifs sont différents suivant qu'ils sont utilisés pour l'inspection ou pour l'entretien et la réparation.

Ils comprennent :

- le caisson d'obturation des chambres des portes;
- les appuis provisoires;
- le bouclier sur la rainure dans le radier des têtes.

a) Les caissons d'obturation des chambres des portes

La photo 16 représente le caisson flottant à plat sur l'eau, la photo 17 le représente pendant la manœuvre de redressement.



Photo 16. — Écluse de Zeebrugge.
Caisson d'obturation d'une chambre de porte, hors service.



Photo 17. — Écluse de Zeebrugge. Caisson d'obturation d'une chambre de porte pendant la manœuvre de redressement.

Les portes sont mises à sec dans leur chambre pour les repeindre et pour les réparations importantes.

Le caisson en acier présente une section transversale trapézoïdale. Il est divisé en compartiments étanches par des cloisons transversales et équipé de tuyauteries et de vannes pour son remplissage et pour la remise sous eau de la chambre de porte. Ces vannes sont commandées à partir de la plate-forme supérieure. Le caisson s'applique contre ses battées par l'intermédiaire de fourrures en azobé. Des joints en caoutchouc parachèvent l'étanchéité.

Son arête inférieure épouse la forme de la rainure dans le radier et possède des encoches pour le passage des rails du chariot inférieur.

Quand il n'est pas utilisé, le caisson flotte presque à plat sur l'eau à proximité de l'écluse à l'endroit réservé à son entreposage.

Pour sa mise en place, il est redressé et puis échoué par remplissage successif des compartiments à partir du bas.

Après utilisation, le caisson est vidé par la pression de l'air comprimé fourni par un compresseur mobile.

Cette opération peut être facilitée par l'emploi d'une grue ou d'une bigue.

b) Les appuis provisoires

Quatre appuis métalliques provisoires soutiennent la porte à sa partie supérieure lorsqu'elle se trouve à sec dans sa chambre (fig. 11).

Ces appuis latéraux (deux de chaque côté de la porte) sont en attente dans des logements situés dans les bajoyers de la chambre. A l'écluse de Berendrecht ils sont constitués par une poutre qui repose sur un chariot par l'intermédiaire de ressorts. Lorsque la porte flotte dans sa chambre, ils sont sortis de leur logement et l'extrémité de la poutre est placée sous deux consoles encastrées de part et d'autre de la porte. Lorsque la porte descend, les poutres supports précitées s'appuient d'un côté sur les rails du chariot supérieur et de l'autre sous un portique métallique.

Dans les derniers ouvrages, les portes reposent sur leurs appuis par l'intermédiaire de plaques en néoprène qui permettent de légers déplacements horizontaux qui proviennent des déplacements des maçonneries et des dilatations thermiques des aciers.

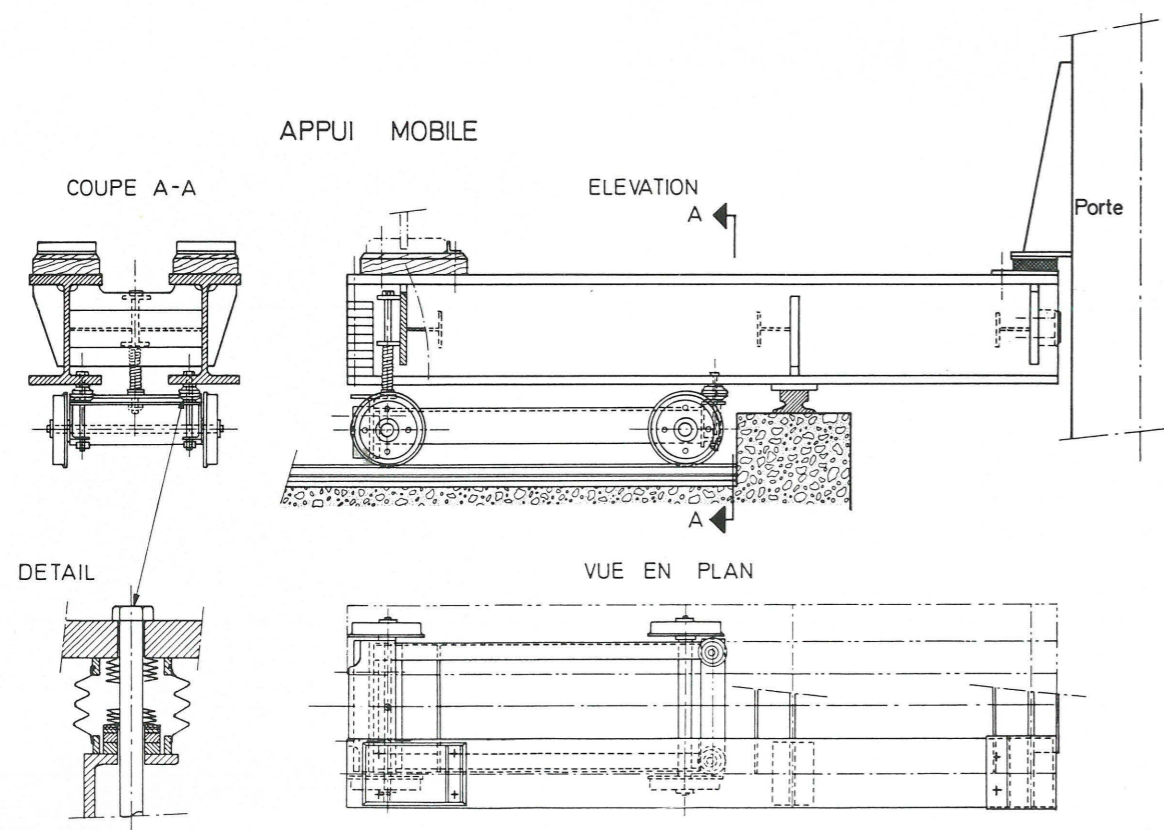


Fig. 11

Les portes peuvent également reposer directement sur le radier de la chambre par l'intermédiaire de poutres en bois ou par des profils en caoutchouc (cas des derniers ouvrages).

c) Le bouclier sur la rainure dans le radier de la tête

Les radiers des têtes à l'entrée des sas ne sont maintenus à sec que pendant leur exécution.

Il a été imaginé un système qui permet une intervention sur les rails du chariot inférieur d'une porte sans interrompre la navigation.

Un bouclier couvre la rainure dans le radier depuis la niche jusqu'au caisson d'obturation placé à l'entrée de la chambre de porte avec lequel il se raccorde par un joint étanche (fig. 12a et 12b).

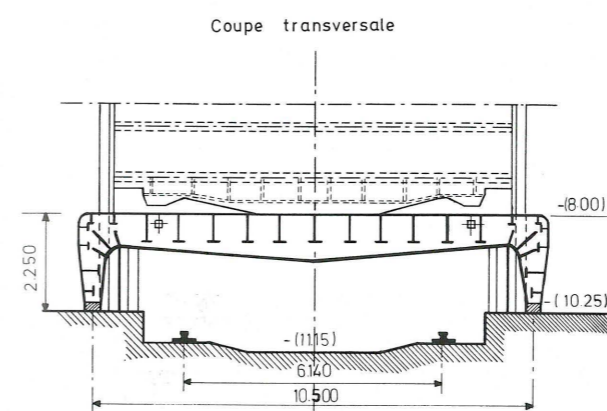


Fig. 12a. — Ecluse Boudewijn. Tunnel d'accès aux rails du chariot inférieur.

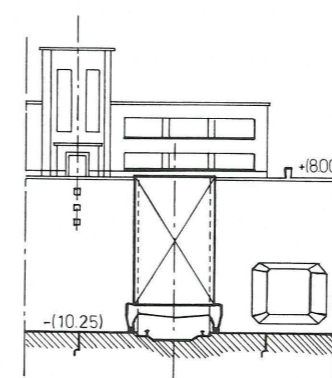


Fig. 12b. — Bouchure de la chambre de porte.

Le bouclier forme avec la rainure un tunnel étanche. Cette rainure et la chambre de porte sont alors mises à sec ce qui permet d'accéder aux rails pendant que les navires passent au-dessus du bouclier.

Le bouclier est formé de tronçons juxtaposés munis de joints d'étanchéité.

Cet équipement existe à l'écluse Boudewijn et a déjà été utilisé avec succès mais pose des problèmes de mise en place et d'étanchéité. Il est envisagé de construire un nouveau bouclier qui pourrait être utilisé aux écluses anversoises.

d) Les cloches à air comprimé

Avec leurs rails, les chariots inférieurs sont les éléments les plus exposés à l'usure et aux dégradations.

Les portes de l'écluse Van Cauwelaert et Boudewijn sont équipées de cloches qui entourent leur(s) chariot(s) inférieur(s) et à l'intérieur desquelles on accède par un sas supérieur et une cheminée (fig. 17). Ces dispositifs ne sont plus utilisés en raison des règlements de travail plus sévères, de la possibilité de remplacer sous eau le chariot inférieur et des progrès du travail sous-marin.

Les portes plus récentes n'en sont plus équipées.

4.8.2. Remplacement des chariots inférieurs

Les chariots inférieurs peuvent être retirés au moyen d'une grue, du dessous de leur porte placée dans leur chambre, en soulevant celle-ci d'un côté, par vidange de certains compartiments des ballasts, pendant que de l'autre côté elle reste suspendue à son chariot supérieur par les bielles biarticulées.

Après placement du chariot de réserve, la porte peut être remise immédiatement en service.

4.8.3. Le contrôle et le travail par plongeurs

Bien que le travail sous eau reste toujours aléatoire et limité, le recours à des plongeurs s'est développé depuis qu'ils disposent de moyens plus efficaces: équipements autonomes, écran d'eau claire pour améliorer la visibilité, transmission de vues par télévision, outils fonctionnant sous eau etc.

Les plongeurs sont employés non seulement pour l'inspection mais également pour certaines interventions par exemple sur les rails des chariots inférieurs.

5. DESCRIPTION DES PORTES D'ÉCLUSE

Les portes d'écluse décrites ci-après ont été construites après la guerre de 1940-1945 sauf celles de l'écluse Van Cauwelaert qui lui sont antérieures. Ces dernières sont mentionnées comme exemple de constructions anciennes.

Les portes de l'écluse Boudewijn, première écluse construite après la guerre témoignent d'une première évolution.

Les portes de Zandvliet, de Kallo, et les portes d'èbe de l'écluse Van Damme à Zeebrugge sont semblables.

Les portes de flot de l'écluse Van Damme et celles de l'écluse de Berendrecht sont plus particulières. Elles comportent des solutions originales.

5.1. Les portes de l'écluse Van Cauwelaert

5.1.1. Caractéristiques (fig. 13)

portes reposant sur deux chariots inférieurs;

construction rivée;

longueur entre cadres extrêmes: 36,50 m;

largeur: 7 m environ;

hauteur: 18,25 m;

entre-distance entre cadres verticaux: 1,5 m environ;

pont supérieur en bois.

L'ossature est formée de poutres horizontales et verticales composées par un assemblage de tôles, de plats, de «T», de cornières...

Les bordages sont constitués par des plaques rivées sur les semelles des poutres de l'ossature.

Les plaques situées au-dessus du caisson de ballastage sont en forme de bouclier. Les autres plaques sont raidies par des «U» ou des doubles «T».

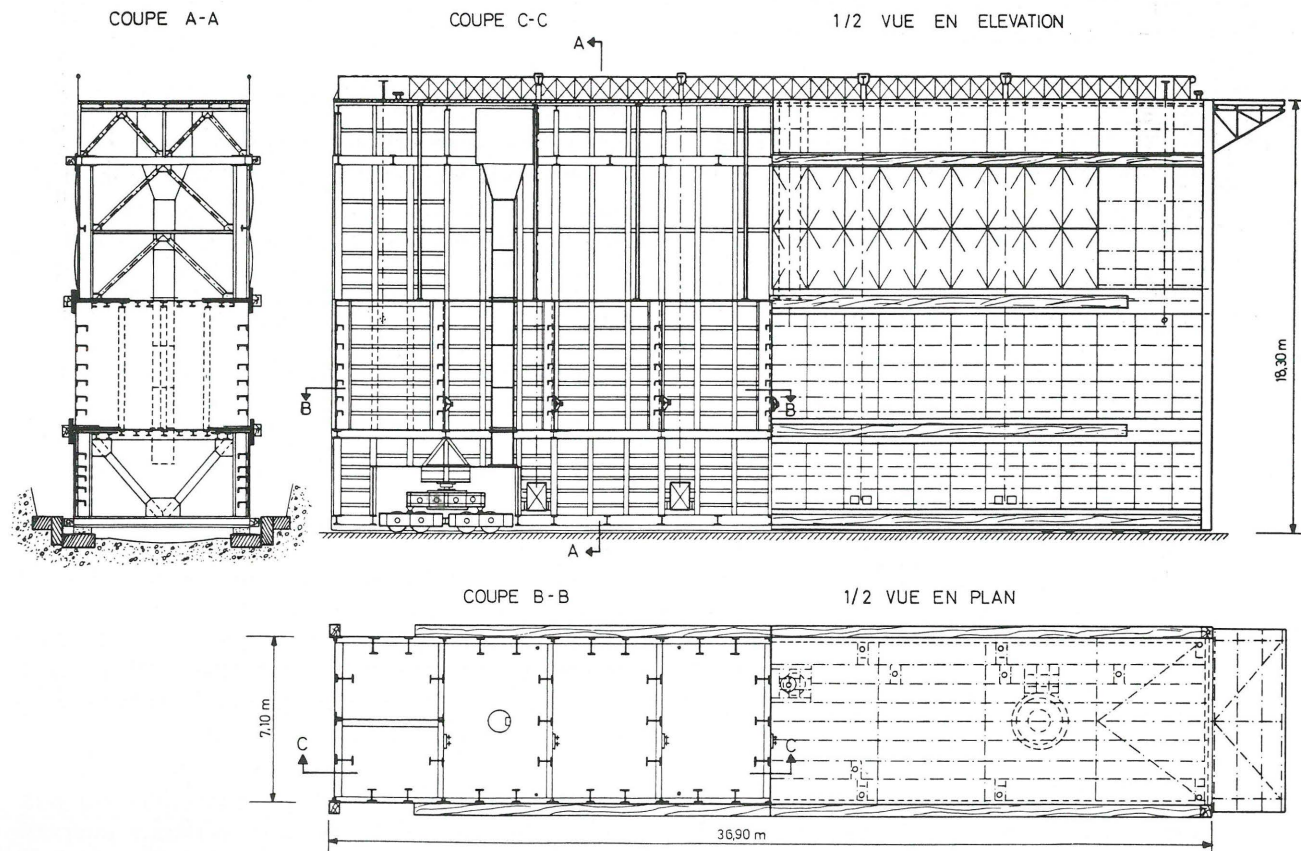


Fig. 13. — Porte de l'écluse Van Cauwelaert.

LEGENDE

- ☒ Pompes
- ⊗ Vannes des conduites des pompes
- ⊥ Vannes des conduites de chasse
- ⊗ Vannes des conduites des caissons
- Conduites des pompes
- - - Conduites de chasse
- Conduites de remplissage et de vidange des caissons

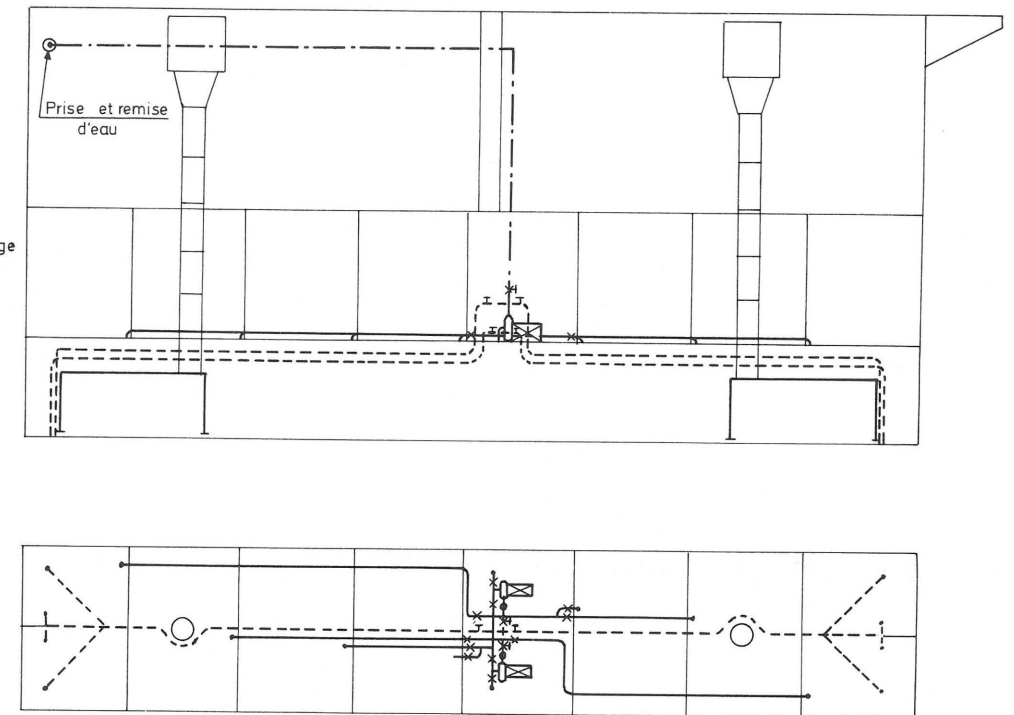


Fig. 14. — Schéma de la tuyauterie des portes de l'écluse Van Cauwelaert.

Le caisson est de forme parallélépipédique et comprend 7 compartiments accessibles par des trous d'hommes avec couvercles étanches à partir du compartiment central. Les tuyauteries sont représentées à la figure 14. Chaque chariot est formé par deux éléments équipés de quatre galets. Les portes reposent sur ceux-ci par l'intermédiaire d'un appui sphérique et d'un balancier qui répartissent également la charge sur les huit galets.

Les portes sont guidées latéralement par des poutres horizontales fixées sur les bordages et qui glissent contre des appuis fixés sur les maçonneries.

Les portes sont équipées de cloches qui entourent les chariots inférieurs et qui sont accessibles à partir d'un sas supérieur à air comprimé par l'intermédiaire d'une cheminée cylindrique.

La porte est équipée de vannes de secours pour le remplissage et la vidange du sas en cas de mise hors service du système de remplissage et de vidange par aqueducs.

Ces vannes à glissières sont situées à la partie inférieure de la porte près des bordages (quatre vannes de chaque côté de la porte) et sont commandées à partir du pont supérieur.

La figure 15 représente une coupe transversale dans une chambre de porte.

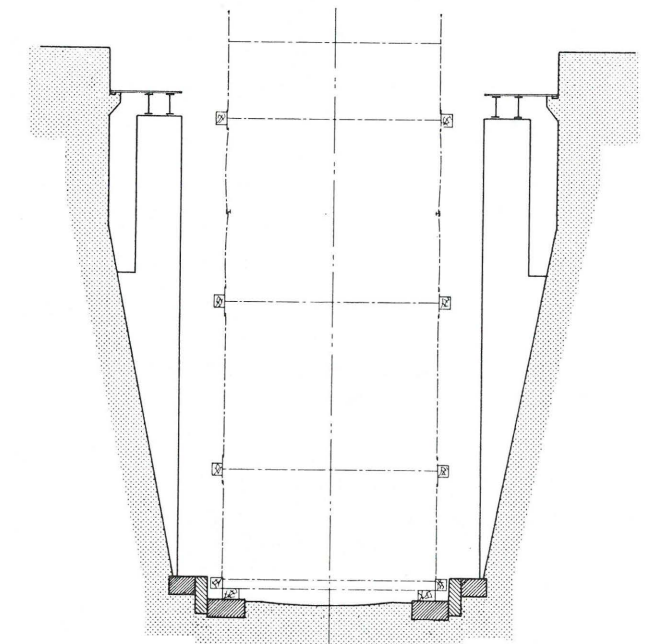


Fig. 15. — Ecluse Van Cauwelaert. Coupe transversale dans une chambre de porte.

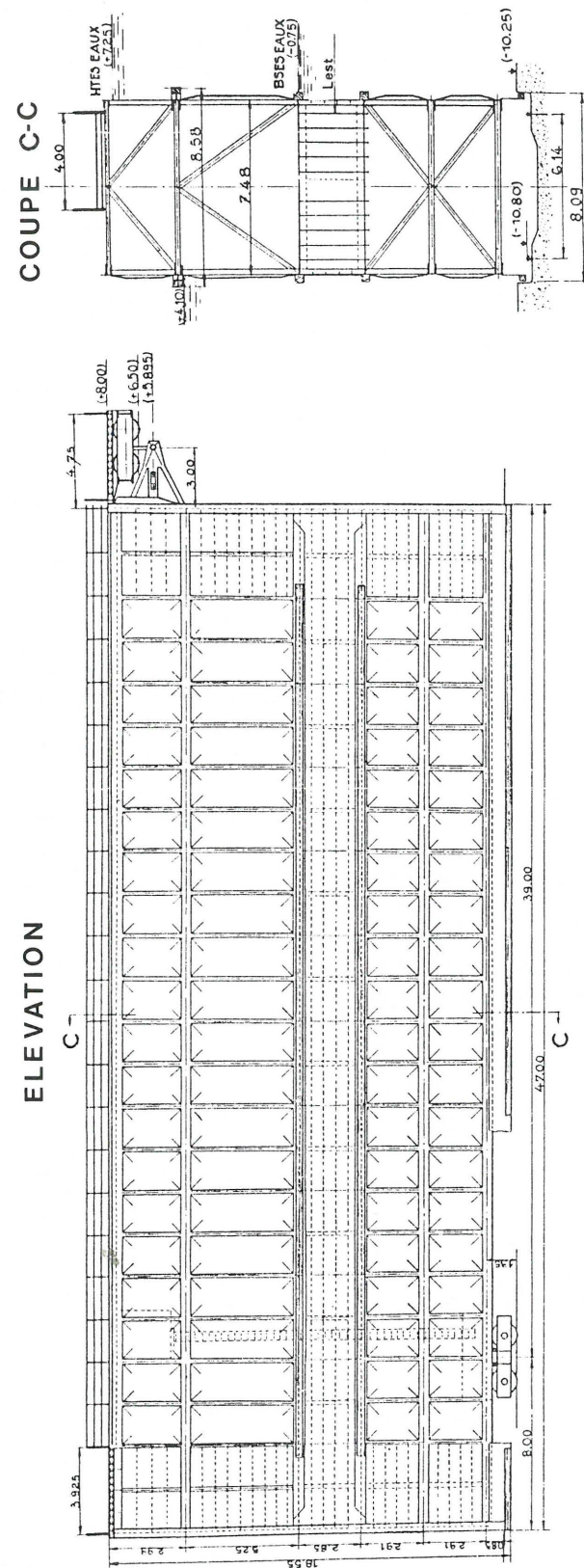


Fig. 16. — Ecluse Boudewijn.

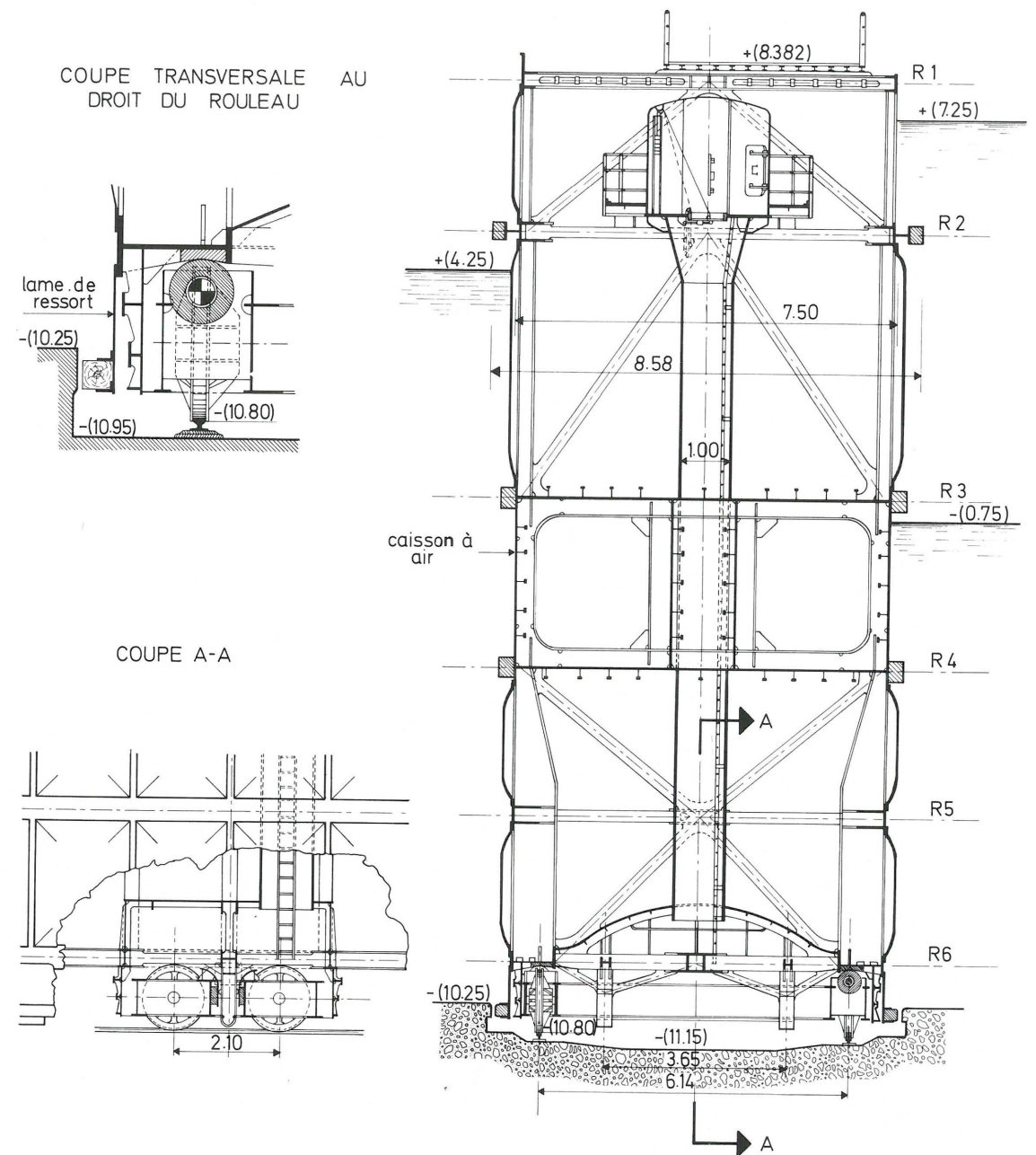


Fig. 17. — Ecluse Boudewijn. Accès au chariot inférieur.

5.2. Les portes de l'écluse Boudewijn

5.2.1. Caractéristiques (fig. 16)

portes type brouette;
 construction soudée;
 longueur: 47 m;
 largeur: hors tout 8,53 m;
 hauteur: 18,80 m;
 entre-distance entre cadres verticaux: 1,93 m environ;
 masse approximative: acier: 864,4 t
 bois: 58 t
 soudure: 19 t
 peinture: 20 t
 Total: 961,4 t

pont supérieur: amovible;

bordages: tôles plates sur la hauteur du caisson;
 tôles boucliers au-dessus et en-dessous du caisson

caisson: de forme parallélépipédique;
 24 compartiments et un tunnel central accessible à partir du pont supérieur par une cheminée d'un mètre de diamètre.

Le chariot inférieur est placé sous une coupole accessible par un sas à air comprimé et une cheminée (fig. 17).

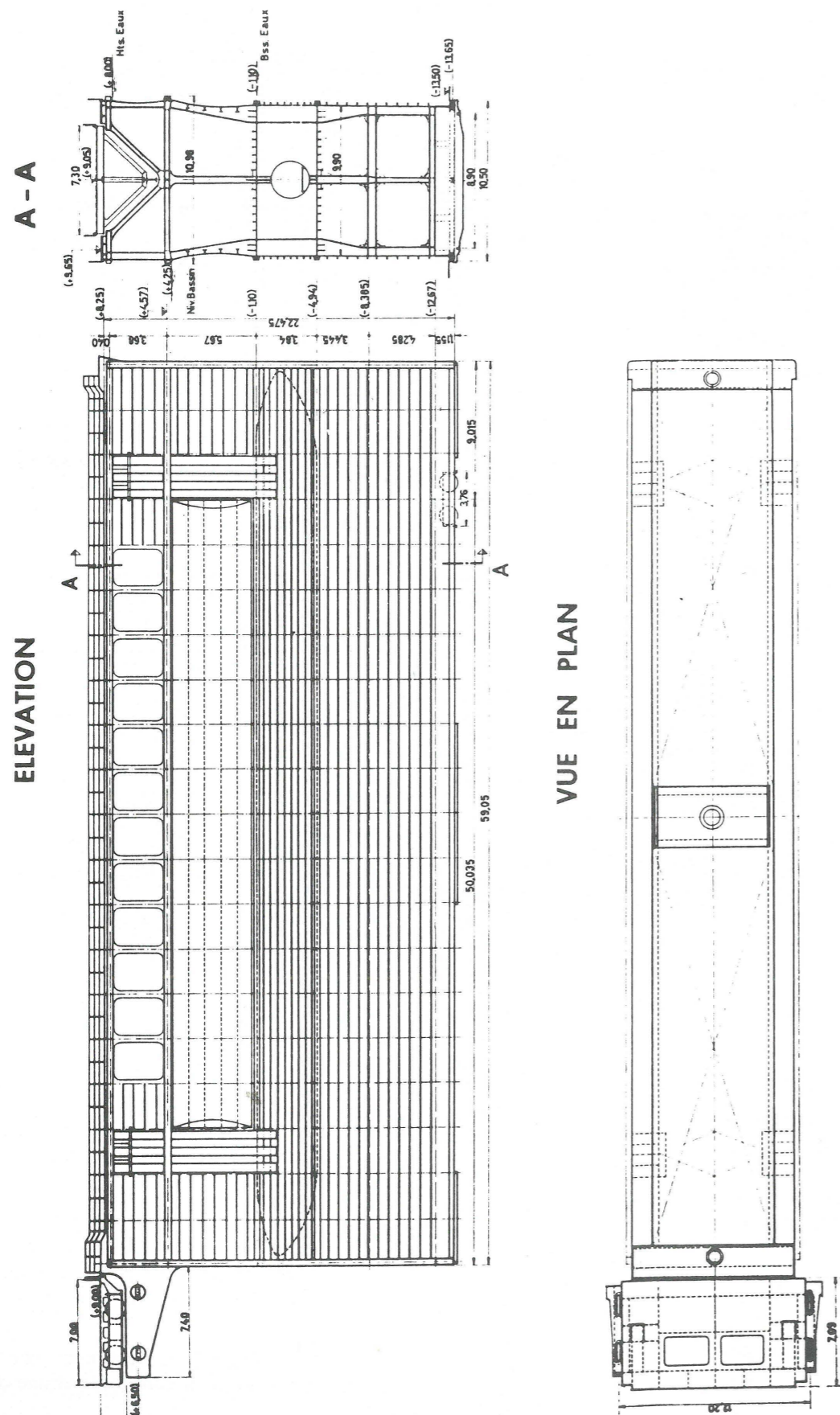


Fig. 18. — Zandvliet — Plan des portes.

Un compresseur fixe fournit l'air comprimé pour effectuer la vidange des compartiments.

5.3. Les portes de l'écluse de Zandvliet

5.3.1. Caractéristiques (fig. 18)

- portes: type brouette;
- construction: soudée;
- longueur: 58,60 m (entre axes des cadres d'extrémité);
- largeur: 10,50 m;
- hauteur: 22,475 m;
- entre-distance entre cadres verticaux: 2,93 m;
- masse approximative: 1 570 t;
- pont supérieur: amovible (éléments: 2 de 25,865 m);
- bordage: tôles boucliers au-dessus du caisson; tôles plates au niveau du caisson et en-dessous de celui-ci;
- caisson: extrémités profilées; 20 compartiments et un tunnel central accessible à partir du pont supérieur par 3 cheminées.

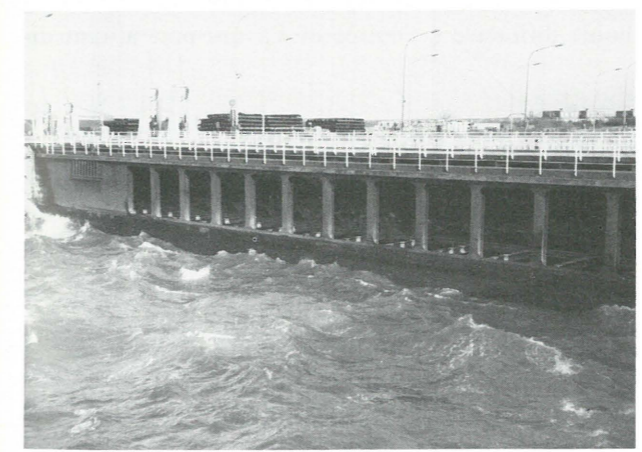


Photo 18. — Porte de l'écluse de Zandvliet. Bordage côté Escaut.

Du côté Escaut, le bordage présente des ouvertures entre le pont supérieur et le premier cadre horizontal situé sous celui-ci (photo 18).

5.4. Les portes de l'écluse de Kallo

5.4.1. Caractéristiques

- portes: type brouette;
- construction: soudée;
- longueur: 51,6 m (entre axes des cadres extérieurs);
- largeur: 9 m environ;
- hauteur: portes de flot: 23,675 m; portes d'èbe: 20,675 m;

entre-distance entre cadres verticaux: 2,86 m environ;
 masse approximative: portes de flot: 1 470 t;
 portes d'èbe: 1 370 t;

pont supérieur: amovible;
 caisson: avec extrémités profilées.

5.5. Les portes de l'écluse Van Damme à Zeebrugge

5.5.1. Généralités

Dans la zone de l'écluse, le sol contient des couches de tourbe et d'argile. On a craint que l'abaissement de la nappe, pour l'exécution des travaux, provoque des dégâts aux constructions situées dans les environs.

Les méthodes d'exécution pour une réalisation des maçonneries de l'écluse sans rabattement et la situation de celle-ci en bordure de mer qui l'expose directement à la houle ont modifié fondamentalement la conception des ouvrages.

L'écluse, y compris ses portes, se différencie complètement des autres écluses maritimes belges.

Les têtes ont été réalisées à l'abri de gabions en palplanches métalliques plates qui ont servi d'enceinte étanche. Ces gabions sont restés incorporés dans les têtes dont ils forment les parois extérieures sauf au droit de l'entrée du sas où ils ont été recépés au niveau du radier des têtes.

La figure 19 montre une coupe transversale dans la chambre des portes.

Des murs en béton armé avec contreforts reposent sur le sable de remplissage des gabions.

Un silo central également en béton armé et rempli de sable repose directement sur le sol de fondation et constitue l'élément de séparation entre les chambres de porte. Les radiers de ces chambres sont indépendants et perméables.

Le procédé d'exécution a conduit à l'abandon des aqueducs pour le remplissage et la vidange du sas. Ces opérations s'effectuent par des conduites et des vannes incorporées dans les portes d'èbe et de flot.

D'autre part, en période de tempête, la houle peut dans certaines circonstances, exercer des efforts alternés importants sur les portes de flot. Celles-ci ont dû être équipées de dispositifs de guidage particuliers et très robustes pour permettre leur manœuvre en tous temps.

rectement l'écluse. Pour l'amortir, les murs d'embecquement Ouest (903 m) et Est (358 m) de l'écluse (plan 2) comportent des cellules dans lesquelles une grande partie de son énergie est détruite (fig. 21).

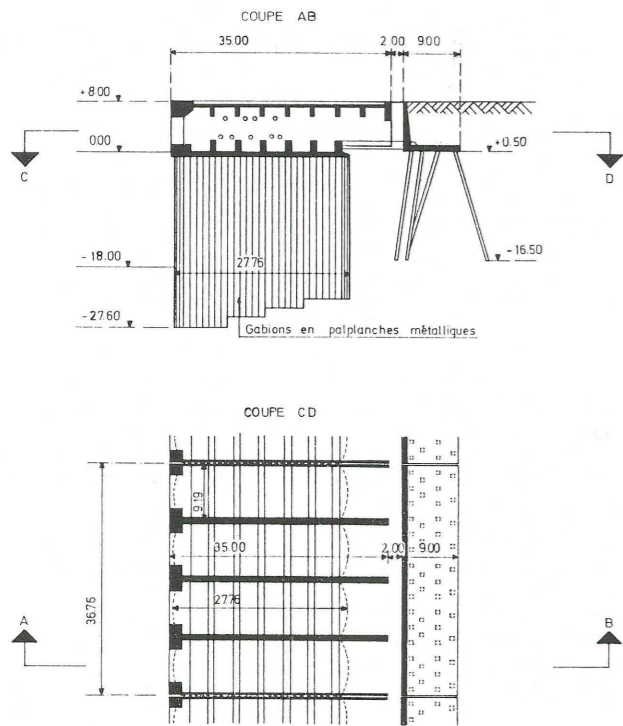


Fig. 21. — Mur du canal d'accès.

Cependant, leur efficacité peut être sensiblement diminuée par la présence de navires en stationnement ou par ensablement.

Au départ de l'étude des portes, les tracés des môles extérieurs et des aménagements intérieurs étaient encore en discussion et par conséquent l'action de la houle sur les portes était mal connue. Cependant, il apparaissait déjà que des dispositions spéciales devaient être prises.

Plusieurs solutions furent envisagées :

- une action sur la houle même en l'amortissant au moyen d'un rideau de bulles d'air ou d'une poutre mobile;
- un système de guidage par vérins agissant sur la porte au niveau du chariot inférieur et au niveau supérieur (appui sur le pont routier ou sur une poutre basculante située entre les deux portes etc.).

Ces solutions permettaient de manœuvrer les portes malgré une houle importante mais elles étaient fort compliquées et la préférence a été donnée à celle

qui entraînerait le moins de modifications aux maçonneries.

Entretemps, l'étude de l'aménagement de l'avant-port avait suffisamment progressé pour estimer que la houle ne dépasserait pas une amplitude d'un mètre devant l'écluse.

Finalement il a été admis que :

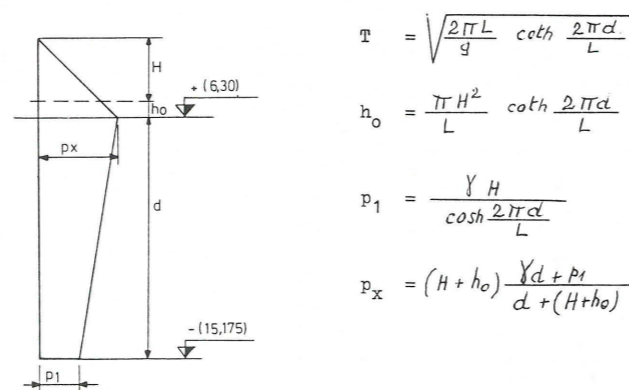
- les portes d'èbe et de flot fermées devaient résister à une houle d'un mètre d'amplitude et de 8 secondes de période;
- les portes de flot devaient encore pouvoir être manœuvrées malgré une houle de 0,7 m d'amplitude et de 8 secondes de période.

La probabilité que la porte de flot soit immobilisée par la houle n'est que de quelques jours par an.

D'après les calculs et compte tenu du clapotis, la houle frontale d'un mètre d'amplitude exerce contre la porte de flot fermée, et considérée comme indéformable et rigidement fixée, une poussée alternée dont le maximum est de 1017 tonnes.

Dans les mêmes conditions, la houle de 0,70 m exerce contre la porte de flot une poussée alternée variant de +650 tonnes à -605 tonnes lorsque la flottaison est à la cote (+6,30 m).

Ces valeurs ont été calculées par application des formules



dans lesquelles :

- T est la période de l'onde;
- L sa longueur;
- H son amplitude;
- p_x la pression au niveau de la flottaison;
- p_1 la pression au niveau du radier de la tête;
- h_0 la surélévation statique moyenne;
- γ densité de l'eau de mer.

Si $H = 0,70$ m $T = 8$ sec.
 $d = 21,475$ m et $\gamma = 1025$ t/m³.
 on trouve :

$L = 90,3$ m $h_0 = 0,019$ m
 $p_1 = 0,307$ t/m² $p_x = 0,723$ t/m².

Des essais effectués au Laboratoire de l'Université de Liège, reproduisant à l'échelle la tête de flot, la porte avec sa masse et le jeu entre ses fourrures et ses battées ont donné des valeurs de la poussée totale du même ordre de grandeur (environ 10% inférieures à celles du calcul).

Les essais de laboratoire ont également confirmé les valeurs calculées des réactions d'appui de la porte pendant sa translation.

La suite de l'étude a montré qu'une porte guidée à son coin supérieur côté chambre et à ses coins inférieurs pouvait par elle-même résister à une houle dont l'amplitude est limitée à 0,70 m moyennant trois conditions :

- renforcer sensiblement la structure de la porte et notamment sa rigidité torsionnelle;
- équiper la porte d'un système de guidage adéquat;
- remplacer les fourrures en bois par des fourrures en caoutchouc et réduire l'entre-distance entre celles-ci et leurs battées de 5 à 3 cm (fig. 22).

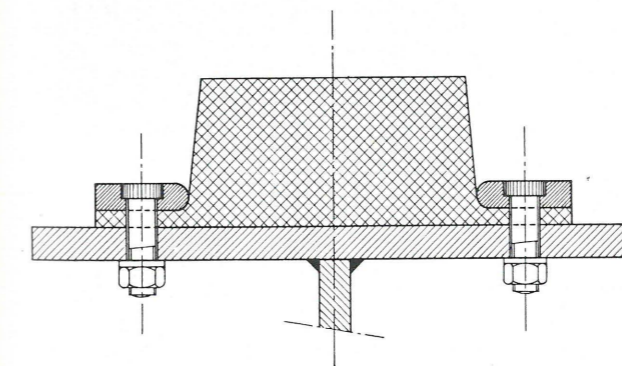


Fig. 22. — Ecluse de Zeebrugge. Fourrure des portes de flot.

La diminution de l'entre-distance a pour but de réduire l'énergie transmise par la houle à la porte en position fermée, lorsqu'elle n'est plus retenue par ses guidages, afin de s'appliquer contre ses battées. Les fourrures en caoutchouc doivent amortir les chocs de la porte fermée qui se déplace entre ses battées sous l'action alternée de la houle jusqu'à ce qu'une dénivellation d'eau suffisante la maintienne appliquée contre l'une de celles-ci.

5.5.4. La structure des portes de flot

Initialement il était prévu que les portes de flot et d'èbe seraient identiques et leur structure semblable à celle des portes des écluses de Zandvliet et de Kallo. Mais le caisson de ces portes ne leur confère pas une rigidité torsionnelle suffisante.

Sous la poussée d'une houle de 0,7 m d'amplitude et de 8 secondes de période, le coin libre (coin supérieur côté sas) de la porte subirait des déplacements de plus ou moins 10 cm environ en fin de fermeture.

Ce déplacement devait être réduit à une valeur inférieure au jeu entre les fourrures et leurs battées, c'est-à-dire à 3 cm pour que la porte pénètre sans heurt dans sa niche.

Ce résultat a été obtenu par les deux moyens suivants :

- réaliser un caisson de grande section transversale donc très rigide avec le caisson de ballastage, le pont supérieur et la partie des bordages comprise entre ces deux éléments;
- renforcer et rendre plus rigide les cadres extérieurs qui reprennent les réactions de guidage.

A ce moment la conception de la porte aurait pu être revue sur d'autres bases, mais l'intention était aussi comme pour les maçonneries d'apporter le moins de changement possible à la porte initialement prévue.

L'intégration du pont supérieur fut donc la seule modification substantielle apportée à la porte.

Le résultat du renforcement de la porte a conduit à la structure représentée à la figure 20.

5.5.5. Le caisson de ballastage

Le caisson a la forme d'un parallélépipède rectangulaire. Il contient un tunnel central horizontal (photo 5) de 2,35 m de diamètre, accessible à partir du pont supérieur :

- par une cheminée verticale de 1,00 m de diamètre située au milieu de la porte;
- par des cheminées verticales de 0,80 m de diamètre qui débouchent dans les compartiments d'extrémité du caisson.

Le tunnel contient :

- une conduite d'alimentation avec branchements à chaque compartiment et par laquelle l'eau de ballast est amenée ou évacuée;

- une conduite à air comprimé avec branchements à chaque compartiment;
- une conduite d'évacuation de l'air de chaque compartiment;
- une pompe immergée avec une conduite d'évacuation de chaque côté du tunnel pour l'évacuation de l'eau dans celui-ci.

Chaque compartiment possède :

- un trou d'homme qui permet d'y pénétrer à partir du tunnel central;
- des raccordements individuels munis de vannes aux conduites de remplissage et de vidange;
- un niveau d'eau.

Un compresseur amené à l'extérieur de la porte fournit l'air comprimé (pression maximum de $0,95 \text{ kg/m}^2$) nécessaire pour évacuer l'eau des compartiments du caisson.

5.5.6. Les dispositifs de remplissage et de vidange du sas

Ces dispositifs sont au nombre de cinq. Chacun comprend :

- une conduite en acier de 1,8 m de diamètre traversant la porte;
- une vanne de même diamètre nominal;
- le mécanisme de commande;
- deux convergents en acier;
- les liaisons sur le cadre horizontal inférieur.

Les vannes sont situées du côté opposé au sas. Elle sont en bronze d'aluminium et du type « papillon » avec axe vertical.

Les mécanismes de manœuvre se trouvent sur le pont supérieur (photo 19). Chaque mécanisme est relié à l'axe de la vanne par une bielle verticale biarticulée, traversant le caisson à l'intérieur d'un tube.

Les installations électriques et oléohydrauliques pour la commande des cinq dispositifs sont réunies dans une chambre étanche de $4 \times 7 \times 2,33 \text{ m}$ située sous le pont supérieur autour de la cheminée centrale à laquelle elle est reliée isostatiquement (photo 20).

L'étanchéité entre convergents et bordages est assurée par des joints en caoutchouc.

Pour faciliter le démontage et l'enlèvement des vannes, celles-ci sont fixées en porte-à-faux sur les

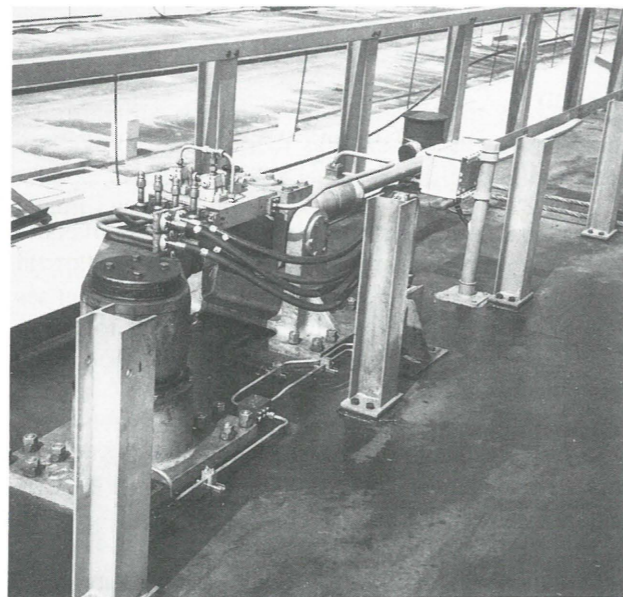


Photo 19. — Porte de flot de l'écluse de Zeebrugge. Mécanisme de commande d'une vanne de remplissage et de vidange.

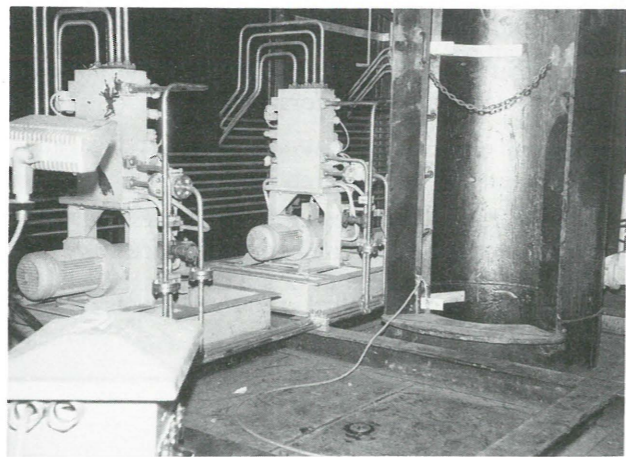


Photo 20. — Porte de l'écluse de Zeebrugge. Salle des mécanismes de commande des portes de flot.

conduites au moyen d'un nombre limité (8) de boulons en acier inoxydable.

Afin que les déformations de la porte n'induisent pas de sollicitation dans les dispositifs de remplissage et de vidange, les liaisons entre les conduites et la poutre inférieure horizontale sur laquelle elles reposent sont isostatiques (fig. 20 détail C et photo 21). Une articulation avec rotule reprend les efforts longitudinaux et quatre charnières avec bielles en acier coulé reprennent les efforts transversaux et verticaux (fig. 20 détail D).

A l'emplacement des conduites, la poutre horizontale inférieure a été renforcée par un contreventement en croix de Saint-André (fig. 20 coupe AA).

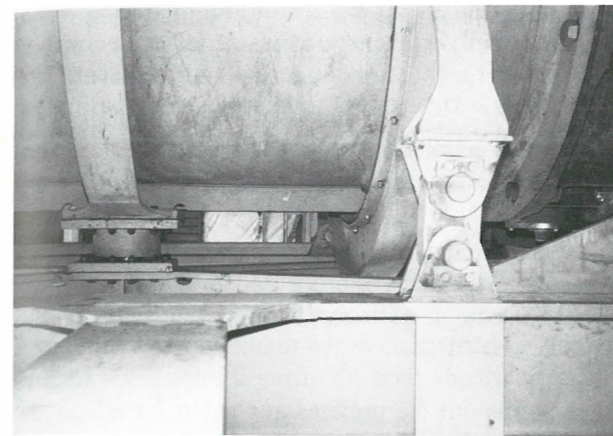


Photo 21. — Écluse de Zeebrugge — Porte de flot. Appui de la conduite de remplissage et de vidange du sas.

Les dispositions suivantes ont été prises afin d'augmenter la tranquillité des navires dans le sas :

- fixation des conduites sur la poutre inférieure pour que les jets passent sous le fond des navires;
- placement des vannes du côté opposé au sas pour que les jets soient mieux redressés par les conduites. De plus, trois papillons tournent dans le sens des aiguilles d'une montre et deux autres dans le sens opposé.

Ces rotations dans des sens opposés présentent l'avantage de réduire la résultante des actions des

vannes sur la porte. La composante de ces actions suivant l'axe de la porte n'est pas négligeable pour certains angles d'ouverture des papillons compris entre la position fermée et complètement ouverte.

D'après les essais en laboratoire effectués à l'Université de Liège, le remplissage peut s'effectuer en 35 minutes pour une chute de 4,5 m sans que les efforts sur les amarres d'un navire de 100 000 tonnes dépassent 100 tonnes.

5.5.7. Les dispositifs de guidage latéral

Rappelons qu'une houle frontale de 0,70 m d'amplitude et de 8 secondes de période peut exercer une poussée totale de 650 tonnes sur la porte fermée dans le cas où l'action des cellules d'amortissement est réduite par exemple par la présence de navires.

Cette poussée se décompose comme suit sur les dispositifs de guidage :

- + 360 t sur celui du coin inférieur côté sas;
- 110 t sur celui du coin inférieur côté chambre;
- + 400 t sur celui du coin supérieur côté chambre.

Ces dispositifs ont été étudiés en détail par l'Administration de l'électromécanique.

Ceux qui sont situés aux coins inférieurs sont identiques et ont été dimensionnés pour un effort de 360 tonnes.

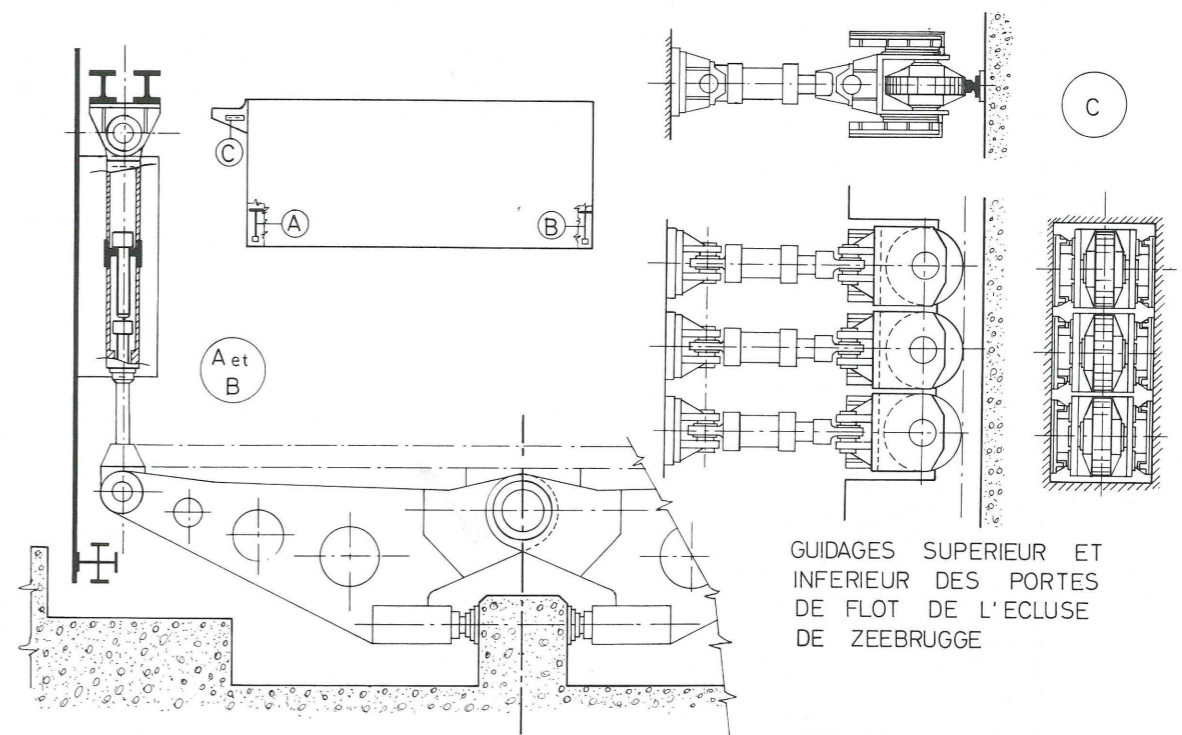


Fig. 23

Ils comprennent (fig. 23):

- deux bras de levier articulés sur un axe unique et formant une sorte de grande tenaille;

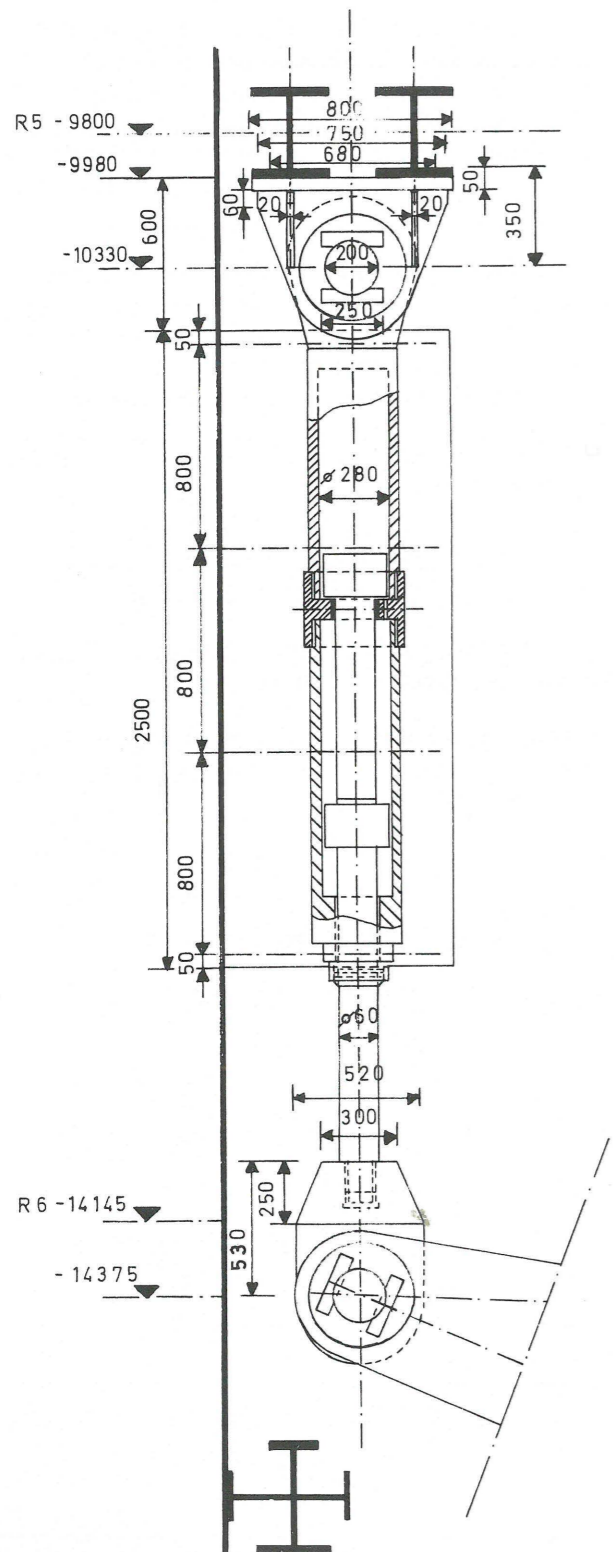


Fig. 24. - Vérin du dispositif de guidage inférieur des portes de flot.

- deux patins en bronze d'aluminium fixés à l'une des extrémités de chaque bras de levier et équipés de coussins en caoutchouc qui uniformisent l'effort de guidage sur toute la surface des patins;
- deux vérins oléohydrauliques verticaux qui commandent chacun l'autre extrémité des bras de levier (fig. 24);
- une poutre médiane en béton armé formant saillie sur le fond de la rainure de porte et munie de chaque côté de plats de glissement en acier inoxydable (H.V.D.).

Les patins ont été préférés aux galets en raison de l'importance des efforts de guidage prévus.

Les plats de glissement sont reliés par une charpente métallique rigide noyée dans la poutre en béton et, qui les maintient rectilignes et à écartement pendant le bétonnage de la poutre.

Avant la translation de la porte, les vérins rapprochent les patins de leur plat de glissement et le réglage de leur position est tel que lorsque la porte se trouve dans sa position médiane, l'entre-distance entre patins et plats est de 5 mm.

Si pour des raisons quelconque, par exemple, par suite de la présence d'un corps étranger, la réaction sur un patin dépasse l'effort de précontrainte de 360 tonnes, le patin se dérobe mais continue à exercer le même effort.

Si les tolérances d'exécution sur la porte, ses fourrures, ses battées, ses rails, ses dispositifs de guidage sont respectées, les fourrures en caoutchouc de la porte en translation ne peuvent frotter qu'exceptionnellement contre leurs battées, la distance théorique entre ces deux éléments étant de 3 cm. Le contact entre ceux-ci implique des efforts de guidage supérieurs à ceux prévus ou un mauvais réglage.

Lorsque la porte est en position fermée, la pression dans la chambre supérieure des vérins est relâchée et la pression exercée dans la chambre inférieure écarte les patins des plats de glissement afin que la porte puisse s'appliquer contre ses battées.

Les dispositifs situés dans les bras en porte-à-faux comportent trois vérins oléohydrauliques horizontaux situés de chaque côté de la porte et, qui maintiennent trois galets à 5 mm des rails de guidage fixés contre la paroi des chambres de porte (fig. 23).

L'effort de 400 tonnes est transmis à ces dispositifs non par le bras en porte-à-faux mais par une poutre

horizontale située entre ces bras et solidaire de la porte.

Lorsque la porte est en position fermée, ces vérins écartent leurs galets de guidage des rails pour que la porte puisse s'appliquer contre ses battées.

Deux chambres étanches supplémentaires de $3,2 \times 9 \times 2,45$ m contiennent une partie des mécanismes de commande des dispositifs de guidage. Elles reposent isostatiquement sur la charpente de la porte et sont accessibles à partir du pont supérieur.

5.5.8. Les chariots

a) Caractéristiques du chariot inférieur et de ses rails:

dimensions: $9,58 \times 3,51 \times 0,70$ m;

masse: 20 tonnes;

galets: $\varnothing 1,20$ m en acier forgé 50 Cr Mo4 avec traitement superficiel de durcissement; résistance à la traction: $70-85 \text{ kg/m}^2$; limite d'élasticité: 50 kg/m^2 ; dureté en surface: 60 HRC; dureté à 10 mm de profondeur: 54 HRC;

axes des galets en acier inoxydable Ni Cr;

résistance à la traction: $50-65 \text{ kg/m}^2$;

limite d'élasticité 22 kg/mm^2 ;

buselures des galets en polyamide;

rouleaux: $\varnothing 0,51$ en acier inoxydable forgé Ni Cr avec traitement superficiel de durcissement; résistance à la traction: $55-70 \text{ kg/m}^2$; limite d'élasticité: 80; dureté superficielle: 60 HRC;

buselures des rouleaux en polyamide;

rails type MR 151 en acier Thomas;

résistance à la traction: $60-75 \text{ kg/m}^2$.

b) Caractéristiques du chariot supérieur et de ses rails:

dimensions: $13,0 \times 7,0 \times 1,25$ m;

masse: 55 tonnes sans la plate-forme;

galets: $\varnothing 1,20$ m acier.

Les caractéristiques des matériaux sont identiques à celles des matériaux du chariot inférieur.

Bourrelet d'un seul côté à cause des déplacements relatifs possibles des deux bajoyers de chacune des chambres de porte.

5.5.9. Hypothèse de calcul et réaction d'appui des portes

Porte fermée:

cas I:

niveau +7,00 m et +3,5 m;

houle A = 1 m T = 8 sec.;

puissance totale 5 300 tonnes

dont 1 017 pour la houle;

réaction sur les cadres d'extrémité: 3 860 t (73%);

réaction sur le seuil: 1 440 t (27%)

cas II:

niveau -1,00 m et +3,5 m;

pas de houle;

puissance totale 4 450 tonnes;

réaction sur les cadres d'extrémité: 2 818 t (63%);

réaction sur le seuil: 1 632 t (37%).

Porte en mouvement niveaux égaux: entre 0,00 m et +6,00 m;

différence de niveau hydrostatique de 0,10 m plus pression du vent de 45 kg/m^2 .

Dépôts sur le caisson: 250 kg/m^2 soit 150 tonnes au total.

Déformations des portes:

Pour les sollicitations considérées les déplacements transversaux maximaux au milieu des portes sont:

cas I: 6,50 cm au niveau de la poutre 2

cas II: 4,45 cm au niveau de la poutre 2.

Ces déplacements comprennent ceux dus à l'écrasement des fourrures et appuis en caoutchouc.

L'écrasement des fourrures en caoutchouc varie suivant l'emplacement considéré et est de l'ordre de 3 cm.

Stabilité des portes sur l'eau:

L'étude de stabilité a donné les résultats suivants:

- compartiments du caisson vides, avec chariot supérieur mais sans dépôt;

Enfoncement du caisson sous flottaison: 3,20 m.

Stabilité: métacentre 1,71 m au-dessus du centre de gravité.

- Même cas, mais avec dépôt;

Enfoncement du caisson sous flottaison: 3,44 m.

Stabilité: métacentre 1,52 m au-dessus du centre de gravité.

5.B. LES PORTES D'ÈBE

5.5.10. Caractéristiques

longueur entre cadres d'extrémité 58,60 m; (non compris le bras en porte-à-faux);
largeur 9,90 m (partie inférieure);
10,40 m (partie supérieure);
hauteur 24,30 m;
masse 2 000 t environ
dont 1 730 t pour la structure;
170 t pour le pont mobile;
100 t pour le système de remplissage et de vidange.

5.5.11. Description générale (photo 22)

Les portes d'èbe conservent un profil transversal en «H» comme les écluses de Zandvliet et de Kallo. Leur structure est composée de 6 poutres horizontales et de 21 cadres verticaux.

Leur caisson de ballastage est le même que celui des portes de flot sauf que ses extrémités sont arrondies.

Les fourrures d'étanchéité sont en azobé et l'entre-distance entre celles-ci et leurs battées est de 5 cm lorsque la porte est dans sa position médiane.

Les dispositifs de remplissage et de vidange du sas, les chariots supérieur et inférieur et les autres équipements sont identiques à ceux des portes de flot.

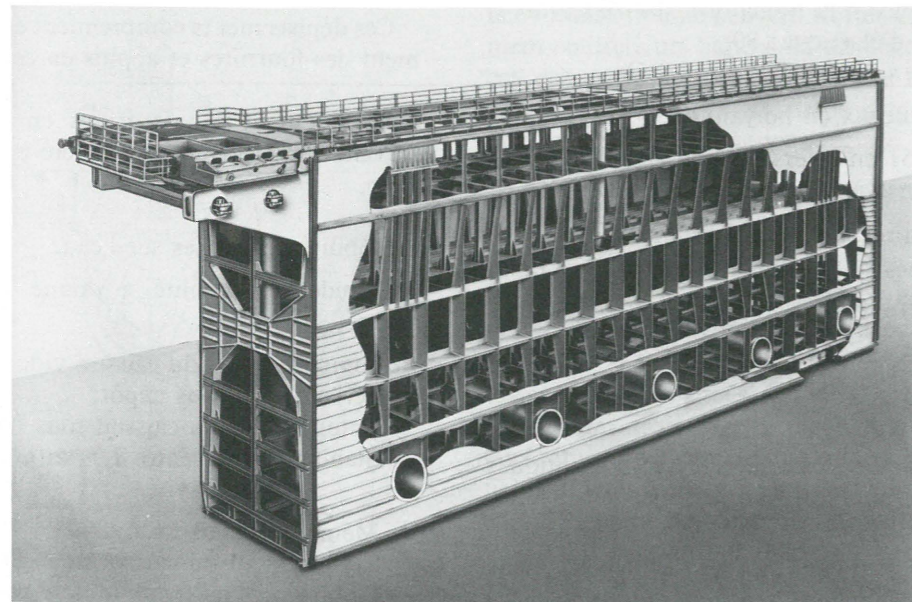


Photo 22. — Zeebrugge — Porte d'èbe. Maquette.

5.5.12. Le pont supérieur

Il est composé d'éléments fixes et amovibles.

A l'emplacement des deux cadres extrêmes et du cadre médian, trois éléments du pont supérieur sont solidaires de l'ossature de la porte.

Entre ces trois éléments, le pont supérieur est constitué de quatre parties de 12,7 m de longueur et pesant chacune 42 tonnes environ. Ces parties reposent sur l'extrémité supérieure de chaque cadre.

Le pont supérieur a une largeur de 7,10 m et présente deux pentes pour l'écoulement de l'eau.

La surface de roulement a une épaisseur de 5 cm.

De chaque côté existe une passerelle en bois.

5.6. Les portes de l'écluse de Berendrecht

Les caractéristiques de l'écluse de Berendrecht qui est actuellement la plus grande du monde sont :

longueur entre portes extérieures:	500 m
longueur entre bajoyers:	68 m
niveau des têtes:	(+ 9,00)
niveau du radier:	(- 13,50)
niveau dans les bassins:	(+ 4,25)
niveau des Basses Eaux Moyennes:	(0,00)
niveau des Hautes Eaux Moyennes:	(+ 5,50)

L'écluse a été construite à sec et un rabattement important de la nappe était nécessaire. Cependant, un

tel rabattement aurait asséché une couche de tourbe et provoqué des tassements importants dans les terrains voisins. Pour y remédier, la fouille a été entourée d'une enceinte en ciment de bentonite et les eaux provenant des rabattements ont servi à réalimenter la nappe à l'extérieur de l'enceinte.

Grâce à ce procédé d'exécution, il a été possible de réaliser une écluse du type classique avec têtes en béton massif armé.

La figure 25 représente une coupe transversale dans les chambres de porte. Les murs de celles-ci reposent sur un radier unique épais et étanche présentant aux portes un support rigide.

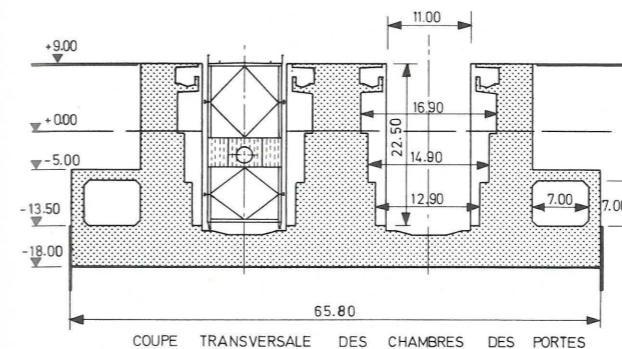


Fig. 25. — Ecluse de Berendrecht.

Les opérations de remplissage et de vidange s'effectuent par aqueducs de contournement.

5.6.1. Caractéristiques des portes (fig. 26)

longueur: 69,69 m (non compris le bras en porte-à-faux);
hauteur: 22,67 m;
épaisseur: 9,90 m;
entre-distance entre cadres verticaux: 3,03 m;
masse: 1 600 tonnes environ;
pont supérieur: incorporé dans la structure;
cadres verticaux: formés par des poutres en treillis rigides avec liaisons en diagonale.

Leur extrémité inférieure s'appuie sur la battée dans le radier par l'intermédiaire de blocs en caoutchouc dont la déformabilité a été déterminée par calcul.

La photo 23 représente la maquette de ces portes.

5.6.2. L'ossature et la transmission des poussées hydrostatiques

Aux portes de flot de l'écluse Van Damme à Zeebrugge, l'intégration du pont supérieur dans l'ossature confère à la porte la rigidité torsionnelle qui est nécessaire à son guidage latéral. Cependant, cette solution présente également un autre avantage: celui de réaliser une transmission plus rationnelle des poussées hydrostatiques aux maçonneries.

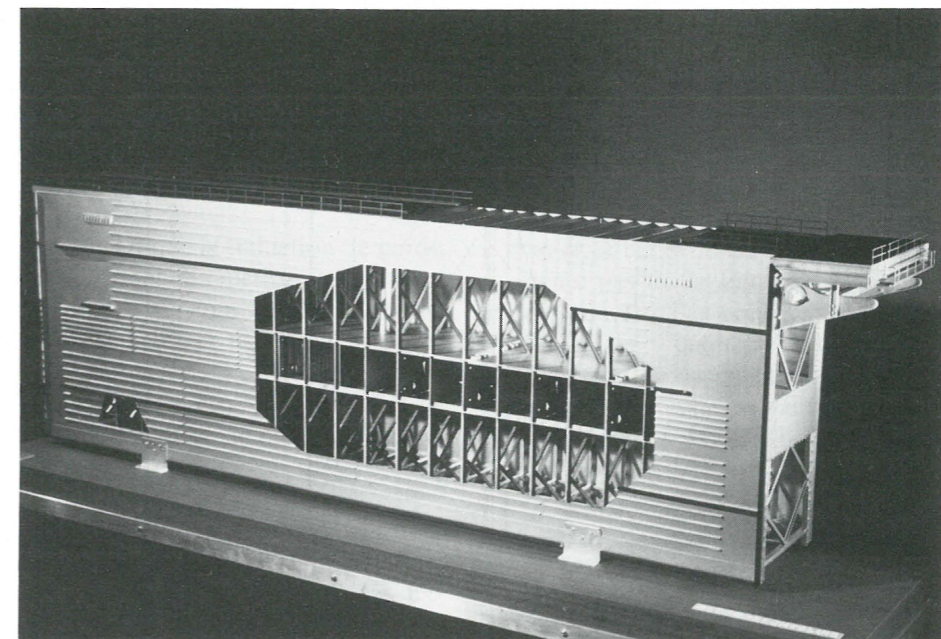


Photo 23. — Porte de l'écluse de Berendrecht. Maquette.

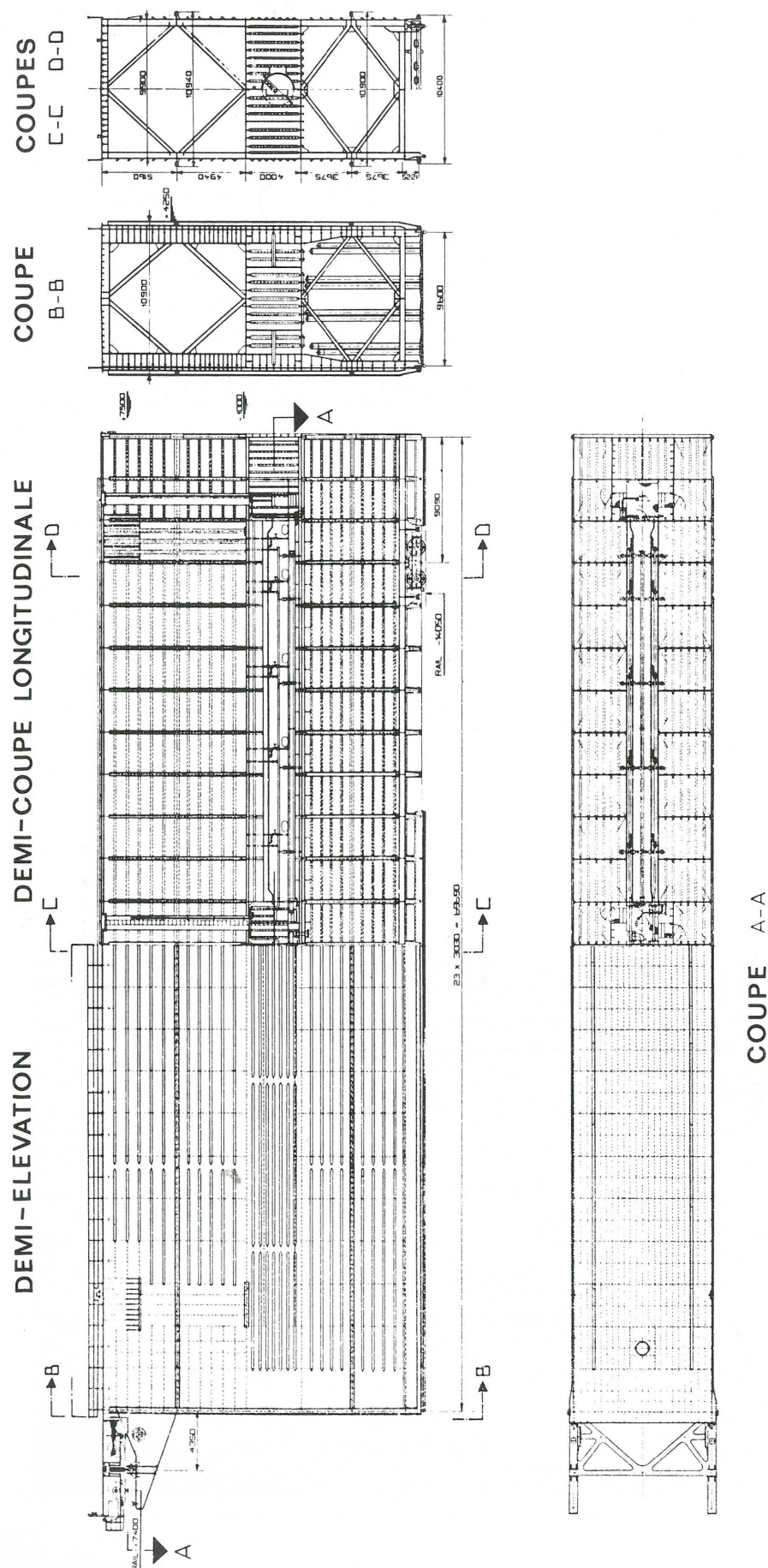


Fig. 26. — Berendrecht — Plan des portes.

Au fur et à mesure que le rapport entre la longueur et la hauteur de la porte augmente, il convient de prendre davantage appui sur la partie centrale du seuil dans le radier pour réduire le chemin de transmission des charges et le moment de flexion horizontal dans les portes. C'est le cas des portes de l'écluse de Berendrecht dont la longueur utile est de 68 mètres. Pour réduire leur poids et leur coût, certaines dispositions ont été prises dans le sens d'une bonne utilisation de la matière et d'une simplification de la construction.

Cependant une optimisation de la construction est pratiquement impossible car la distribution des efforts dépend d'une façon très complexe de nombreux facteurs qui dépendent eux-mêmes des caractéristiques géométriques de la porte, de la rigidité et des déplacements des appuis, des sollicitations variables avec la marée.

Parmi les facteurs liés aux caractéristiques des portes citons :

- ses dimensions (longueur, hauteur, épaisseur);
- la rigidité flexionnelle et torsionnelle de la porte;
- la rigidité flexionnelle des cadres et leur entre-distance.

Le problème se complique du fait que :

- les portes reposent sur trois côtés;
- les rigidités torsionnelle et flexionnelle sont interdépendantes;
- les sollicitations des tôles de bordage et de caisson en tant que plaques et éléments de l'ossature doivent être combinées.

L'influence quantitative de chacun de ces facteurs en vue d'une optimisation de la construction exigerait une masse extraordinaire de calculs sans rapport avec le coût et le temps disponible pour les études.

D'ailleurs, si on ne visait que la réduction de poids, il faudrait renoncer au caractère répétitif de la plupart des éléments de la porte ce qui compliquerait la construction et la rendrait finalement plus coûteuse.

A défaut de tels calculs, il est cependant possible de déterminer l'influence qualitative de certains facteurs précités.

Dans la majorité des portes, le caisson de ballastage constitue la poutre horizontale la plus importante. Les cadres verticaux transmettent les poussées hydrostatiques sur le seuil dans le radier et sur le caisson qui lui-même les transmet aux bajoyers. Les ca-

dres étant encastrés sur le caisson, leur réaction d'appui sur le seuil dépend de la position du centre de torsion de la rotation du caisson et de sa flèche au droit de ceux-ci, de la poussée hydrostatique qu'ils reprennent et, de leur rigidité flexionnelle. Cette rotation est maximum au milieu du caisson et en moyenne décroît vers ses appuis pour finalement devenir très faible au droit de ceux-ci.

Remarquons cependant que dans certains cas, cette rotation peut changer de sens entre le milieu du caisson et ses appuis. Les cadres étant identiques (sauf les cadres d'extrémité) le diagramme des réactions d'appui des cadres sur le seuil prend généralement l'allure d'une parabole symétrique dont les ordonnées sont faibles au droit des bajoyers. Si la rigidité torsionnelle de la porte est faible, son comportement est proche de celui d'une construction isostatique.

Or, le caisson de ballastage doit rester constamment immergé. Si le pont supérieur n'est pas intégré dans l'ossature et si les résultantes des poussées hydrostatiques varient entre deux niveaux situés près du centre de ce caisson l'un au-dessus et l'autre en-dessous (cas à l'écluse de Berendrecht), le caisson de ballastage supporte presque la totalité de ces poussées.

En intégrant le pont supérieur dans l'ossature on obtient trois effets favorables :

- un relèvement du centre de torsion;
- une augmentation de la rigidité torsionnelle de la porte;
- la réalisation d'une poutre horizontale au niveau supérieur de la porte.

Si de plus on augmente la rigidité flexionnelle des cadres et que l'on empêche une rotation d'ensemble de la porte, grâce à des appuis rigides, et au renforcement des cadres d'extrémité, on augmente les réactions d'appui des cadres centraux sur le seuil dans le radier, à condition que la rigidité flexionnelle n'augmente pas fortement en même temps que la rigidité torsionnelle. Par contre la rotation du caisson près des bajoyers étant entravée et les cadres étant très rigides, le déplacement de l'extrémité inférieure des cadres extérieurs est faible et ces cadres n'exercent pratiquement pas d'effort sur leur appui élastique.

Les dispositions qui précèdent sont celles qui ont été adoptées aux portes de l'écluse de Berendrecht c'est-à-dire :

- l'intégration du pont supérieur dans l'ossature;
- des cadres identiques et rigides;

— des appuis rigides sur les bajoyers qui entravent la rotation des extrémités du caisson.

La suppression du profilage de ces extrémités est favorable pour atteindre ce dernier objectif.

Par simplification, les appuis élastiques des cadres sur le seuil dans le radier sont également identiques. Il n'a pas été examiné dans quelle mesure des appuis de rigidité différente suivant les cadres pourraient éventuellement réduire les sollicitations de la porte.

Ouvrons une parenthèse, pour signaler, qu'à l'écluse Van Damme à Zeebrugge, les fractions des poussées hydrostatiques transmises par les portes de flot et d'èbe à leur radier sont du même ordre de grandeur, bien que dans les premières le pont supérieur soit intégré dans leur ossature.

Ceci s'explique par le fait que les portes de flot reposent sur leurs battées par l'intermédiaire des fourrures en caoutchouc dont l'écrasement sous l'ef-

fort des poussées hydrostatiques permet une certaine rotation d'ensemble de ces portes, tandis que les portes d'èbe reposent sur leurs battées par l'intermédiaire de fourrures en azobé, donc rigides.

5.6.3. Le caisson

Le caisson est de forme parallélépipédique. Les raidisseurs du plafond sont situés du côté intérieur afin de faciliter l'enlèvement des dépôts sur le caisson.

La figure 27 représente le tracé des réseaux de canalisation d'eau de mer et d'air pour le réglage des ballasts. Le système est symétrique par rapport au milieu de la porte et conçu de telle façon que chaque compartiment peut être rempli ou vidé indépendamment et possède son accès et ses instruments propres.

Un premier réseau comporte :

- deux prises d'eau de mer avec grilles situées sous le fond et au milieu du caisson;
- deux conduites centrales avec branchements qui distribuent l'eau de mer dans les compartiments.

Les branchements aboutissent juste au-dessus du fond des compartiments de sorte que le même réseau peut être utilisé pour leur vidange.

Un réseau amène l'air comprimé pour le distribuer dans chaque compartiment.

Le tronçon final de conduite aboutit près du plafond.

Un réseau qui part près du plafond des compartiments évacue l'air vers les cheminées extérieures au fur et à mesure que les compartiments se remplissent d'eau. Les mêmes conduites servent de trop-plein d'eau; celle-ci peut être évacuée vers le fond du tunnel en ouvrant la vanne qui se trouve sur le branchement vertical (fig. 2 coupe BB).

Les eaux qui se trouvent sur le fond du tunnel sont évacuées vers l'une de ses extrémités où elles sont recueillies dans un puisard et refoulées à l'extérieur par pompage dans une des deux conduites situées dans les cheminées extérieures.

5.6.4. Le dispositif de dégagement des rails du chariot inférieur

Les difficultés rencontrées à l'écluse de Zandvliet, après sa mise en service, lors des manœuvres des portes ont incité la Direction du Port d'Anvers à recher-

cher, en collaboration avec l'Administration de l'Electromécanique du Ministère des Travaux Publics et la Société Atlas Copco, une solution pour remédier aux entraves provoquées par les dépôts de vase et de sable.

Dans les cas exceptionnels où une porte est restée inutilisée pendant plusieurs semaines, il est arrivé qu'elle reste immobilisée et que les moyens ordinaires (chasse par jets d'eau) pour la remettre en service se soient avérés inefficaces.

Le chemin de roulement doit alors être débarrassé des dépôts par dragage.

Une installation du type «air lift» a été montée, testée et mise au point sur les portes de l'écluse de Zandvliet.

Des orifices d'aspiration sont répartis devant le chariot sur la largeur du chemin de roulement.

L'introduction d'air comprimé à la partie inférieure des conduites provoque un courant ascensionnel qui aspire les dépôts et les rejette sous flottaison devant la porte. L'installation est seulement mise en service quant l'importance des dépôts provoque une augmentation sensible de la résistance au déplacement de la porte.

L'installation présente l'avantage d'une usure faible malgré le caractère érosif du mélange eau-sédiments; par contre, la consommation d'énergie est importante.

Les enseignements tirés de l'expérience pratiquée à l'écluse de Zandvliet ont servi pour l'étude du dispositif qui équipe les portes de l'écluse de Berendrecht.

Cette dernière écluse se trouve dans le même chenal d'accès que l'écluse de Berendrecht dont elle est distante de 250 mètres environ (entre-distance d'axe en axe).

Le dispositif est représenté à la figure 28.

Il est prévu un débit de $3,18 \text{ m}^3$ d'air et de $30,5 \text{ m}^3$ de mélange d'eau et de sédiments par minute et par pompe (densité du mélange 1020 kg/m^3).

L'installation est alimentée par un compresseur mobile placé sur la porte.

Elle sera testée et réglée lors de sa mise en service.

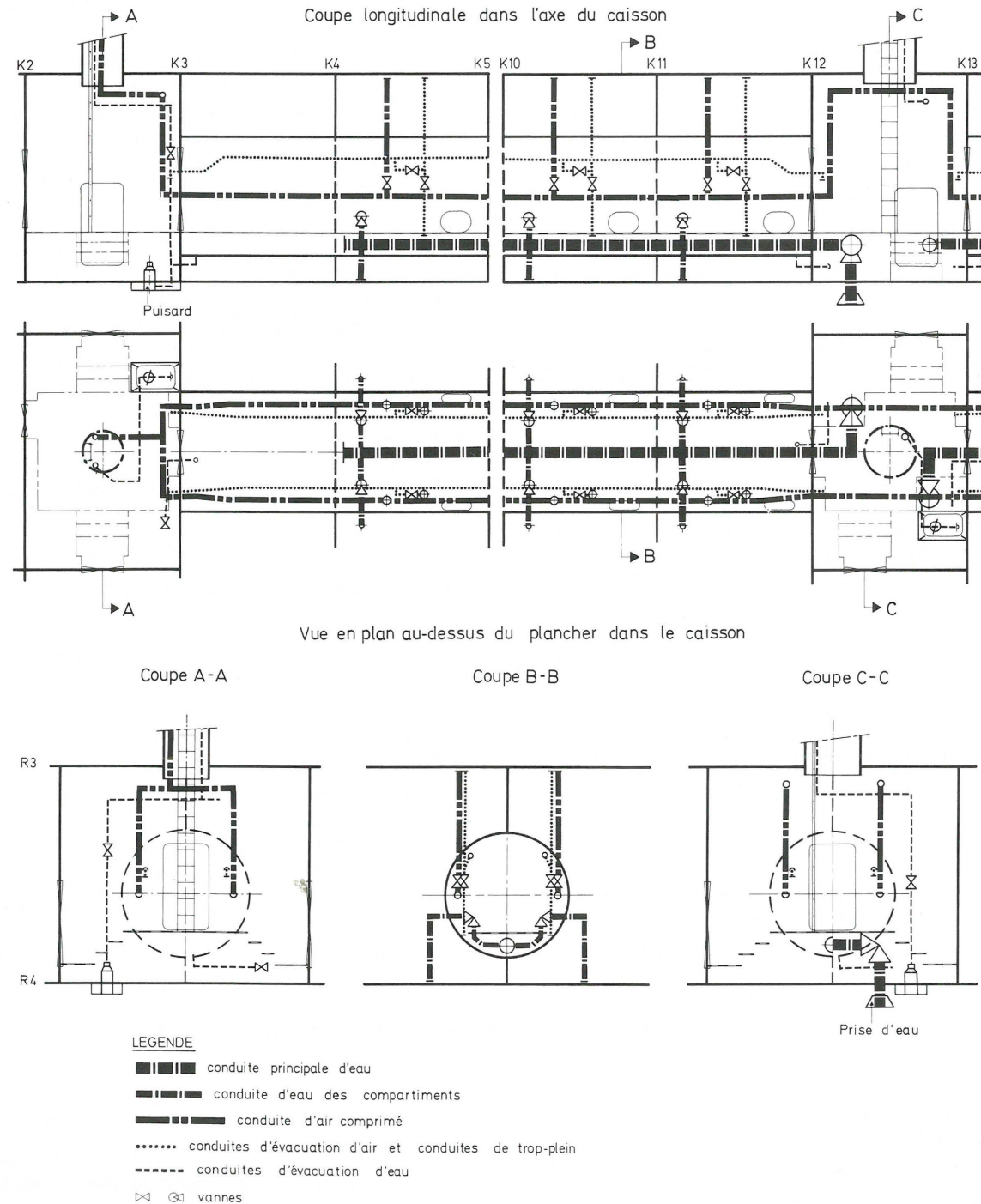


Fig. 27. — Ecluse de Berendrecht. Vue en plan schématique des canalisations dans le caisson de ballastage.

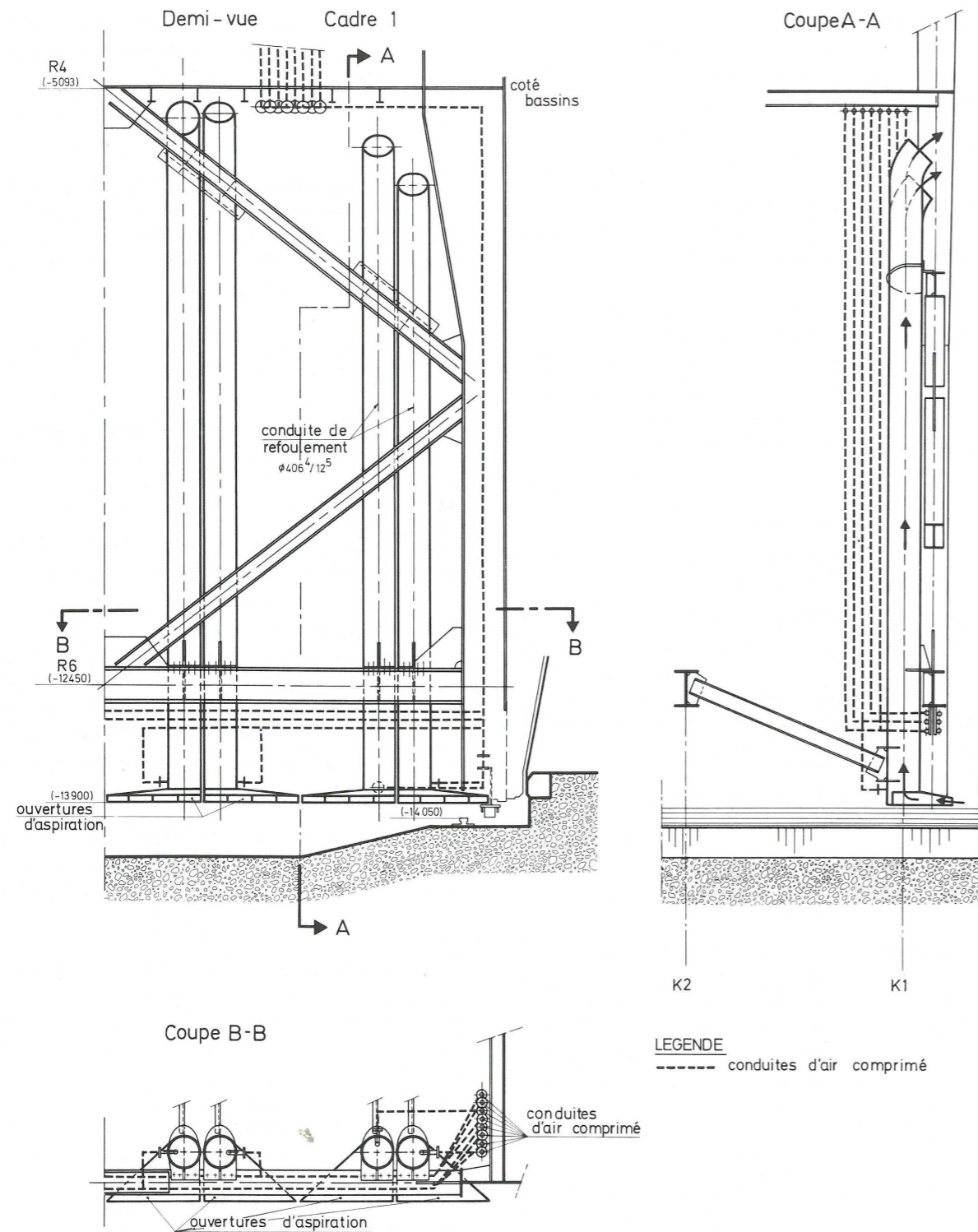


Fig. 28. — Ecluse de Berendrecht. Système «Airlift».

5.6.5. Essais

La stabilité de la porte sur l'eau a été étudiée sur un modèle réduit.

Les portes feront l'objet d'une campagne de mesures (tensions et déformations) dans le but de comparer les résultats des calculs avec la réalité.

6. Poids des portes

Aux portes de l'écluse de Berendrecht, une nouvelle conception de leur ossature et un calcul affiné à l'ordinateur ont permis une meilleure utilisation de la matière qui se traduit par une réduction sensible de leur masse par unité de surface malgré leurs grandes dimensions.

Le tableau ci-dessous donne le poids des différentes portes par unité de surface.

Ecluses	Dimensions des portes long. × haut. en m. et surfaces en m ²	Poids d'acier (non compris les équipements) en T.	Poids par unité de surface kg/m ²
Boudewijn	47,0 × 18,8 = 883,6	864,4	978
Zandvliet	58,6 × 22,5 = 1318,5	1570,0	1191
Kallo	51,6 × 23,7 = 1222,9	1470,0	1202
flot	51,6 × 20,7 = 1068,1	1370,0	1283
Zeebrugge	58,6 × 24,5 = 1435,7	1843,0	1284
flot	58,6 × 24,5 = 1435,7	1730,0	1205
èbe			
Berendrecht	69,6 × 22,7 = 1579,9	1600,0	1013

7. RÉSUMÉ DE LA PREMIÈRE PARTIE ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Après la dernière guerre mondiale, la Belgique a consacré des crédits considérables pour adapter son infrastructure portuaire au développement et à l'évolution du transport maritime, notamment à l'augmentation du gabarit des navires.

Cet effort s'est concrétisé entre autre par la construction de cinq écluses maritimes de grandes dimensions.

Les têtes de ces écluses constituent des maillons de la protection contre les marées tempêtes et des ouvrages de retenue.

De par l'importance de ces fonctions et les conséquences financières qu'entraîneraient une mise hors service de l'écluse ou, plus grave encore, la rupture

d'une porte, les conceptions ont été guidées par le souci primordial de conférer aux ouvrages une grande sécurité, fiabilité et durabilité.

Les conditions locales et notamment la qualité du sol de fondation ont une influence sur les ouvrages.

Les maçonneries sont en béton armé massif, sauf à l'écluse Van Damme à Zeebrugge.

Les têtes des écluses sont équipées de quatre portes.

La préférence a été donnée au système de remplissage et de vidange par aqueducs de contournement plutôt qu'aux systèmes incorporés dans les portes.

Les têtes ont été conçues et réalisées pour constituer des appuis les plus stables possibles pour les portes. Certains dispositifs de réglage ont été prévus pour pallier les déplacements et déformations inévitables après exécution des ouvrages.

Les portes fonctionnent dans des conditions très défavorables; le milieu est agressif, leurs déplacements s'effectuent à travers des accumulations rapides de dépôts de sable et de boue.

Les réactions d'appuis sont mal déterminées et les sollicitations des portes peuvent être dangereusement aggravées par la dégradation des appuis ou les mouvements des maçonneries.

Il est quelques fois arrivé qu'un navire heurte une porte et y provoque des dégâts importants.

Pour toutes ces raisons les portes sont très robustes. Comme elles sont dimensionnées pour des niveaux de marée extrêmes, elles possèdent une réserve de résistance non négligeable dans les cas normaux de sollicitations.

Les dispositifs de manœuvre sont largement dimensionnés.

Les entretiens importants et les réparations sous flottaison sont effectués dans les chambres de porte mises à sec.

Les protections prévues et toute une série d'équipements limitent le nombre et les durées des mises à sec et des entretiens (caisson d'obturation des chambres de porte, tunnel pour mise à sec des rails...).

Les dispositifs à air comprimé avec cloche et sas pour accéder au chariot inférieur ont été abandonnés.

Les portes des écluses maritimes belges, construites après la seconde guerre mondiale, ont toutes des points communs :

- elles sont du type «brouette»;
- leurs chariots supérieur et inférieur avec leurs dispositifs de déplacement latéral sont respectivement conformes aux figures 7 et 8;
- leur caisson de ballastage avec tunnel central et réseaux de tuyauteries d'eau et d'air est réalisé suivant le même schéma (fig. 27);
- elles sont manœuvrées par des treuils avec câbles passant sur des poulies de renvoi et fixés sur le chariot supérieur.

Les ossatures sont constituées par des poutres horizontales, dont le caisson est la poutre principale, et des cadres verticaux. Elles diffèrent par leurs rigidités torsionnelle et flexionnelle et la façon dont elles transmettent les charges aux maçonneries.

Une meilleure conception, une simplification de la construction et, l'utilisation de l'ordinateur ont permis d'alléger les portes tout en leur conservant une grande robustesse.

L'intégration du pont supérieur dans l'ossature de la porte, et une grande rigidité des cadres verticaux permettent de transmettre une plus grande partie de la poussée hydrostatique au radier et, de ce fait, de diminuer les sollicitations de la porte.

Par contre, si les extrémités de la porte peuvent tourner (par exemple par manque de rigidité des cadres d'extrémité ou écrasement des fourrures) il en résulte une rotation d'ensemble de la porte qui réduit son appui sur son seuil.

Le bon comportement des portes et la réduction des entretiens dépendent de toute une série d'équipements dont l'étude doit être approfondie et poussée jusque dans le moindre détail.

Cette étude s'est basée sur l'expérience des ouvrages antérieurs et sur l'expérimentation de nouveaux dispositifs et matériaux.

C'est le cas pour la protection des aciers, le dégagement des rails, les axes et les coussinets des galets, le réglage des rails...

Les portes de l'écluse Boudewijn, mise en service en 1955, marquent une nouvelle étape bien qu'elles ne prennent pas appui sur le seuil dans le radier de la tête. Sur plusieurs points elles ont servi de modèle

aux portes des écluses de Zandvliet, de Kallo et aux portes d'èbe de l'écluse Van Damme à Zeebrugge.

Les portes de cette dernière écluse constituent des cas particuliers.

Pour des problèmes d'exécution, les têtes ont été simplifiées et les dispositifs de remplissage et de vidange des sas ont été incorporés dans les portes.

De plus, l'écluse pouvant être exposée à la houle, malgré des murs d'embeckement comportant des cellules d'amortissement, les portes de flot ont dû être équipées de dispositifs spéciaux de guidage transversal. La rigidité torsionnelle de ces portes a dû être renforcée par incorporation du pont supérieur dans l'ossature, et leurs fourrures sont en caoutchouc pour amortir les chocs dus à leur battement contre leurs appuis lorsqu'elles ne sont plus maintenues par le système de guidage latéral.

Les extrémités des caissons de ballastage ne sont plus profilées afin d'assurer une meilleure transmission des charges sur les battées latérales.

Enfin les portes de l'écluse de Berendrecht, bien que sensiblement plus grandes que les autres, ont pu être allégées grâce à l'incorporation du pont supérieur dans l'ossature et aux contreventements en diagonale des cadres verticaux. Ces cadres s'appuient sur le seuil dans le radier par l'intermédiaire d'appuis en néoprène.

Les portes de l'écluse de Berendrecht sont équipées d'un système airlift pour le dégagement des rails qui a été testé sur les portes de l'écluse de Zandvliet.

Les portes des différentes écluses ont été assemblées dans des cales sèches ou sur un slipway et, leur transport a été effectué suivant les moyens dont disposaient les entrepreneurs.

Au cours des temps, les portes des écluses maritimes belges ont bénéficié de l'expérience acquise, des progrès de la technique et du calcul à l'ordinateur, mais on ne peut prétendre que les solutions adoptées soient définitives.

Leur conception dépend de nombreux facteurs complexes parmi lesquels la fiabilité, la sécurité, la durabilité, les conditions de fonctionnement défavorables, la complication de l'ossature, les coûts d'exécution, de transport, d'exploitation et d'entretien.

Si à ces facteurs, on ajoute le petit nombre de réalisations, on comprendra que des améliorations restent possibles.

De plus, la conception des portes dépend également des conditions locales et du gabarit de l'écluse.

Dans l'hypothèse où des écluses maritimes seraient

encore construites, il est probable que des améliorations y seraient apportées, éventuellement des solutions nouvelles, ne serait-ce qu'en fonction des techniques et matériaux nouveaux.

TABLE DES MATIÈRES (Première partie)

1. GÉNÉRALITÉS	7	5. DESCRIPTION DES PORTES D'ÉCLUSES	28
2. LES TÊTES DES ÉCLUSES CONSTRUITES APRÈS LA GUERRE (1940-1945) ET LEURS PORTES — DISPOSITIONS GÉNÉRALES	8	5.1. Les portes de l'écluse Van Cauwelaert	28
3. CHOIX DU TYPE DE PORTE	11	5.1.1. Caractéristiques	28
4. LES PORTES DU TYPE «BROUETTE» ET LEURS ÉQUIPEMENTS	11	5.2. Les portes de l'écluse Boudewijn	31
4.1. Description générale des portes et leur fonctionnement	11	5.2.1. Caractéristiques	31
4.1.1. L'ossature	12	5.3. Les portes de l'écluse de Zandvliet	33
a) Les poutres horizontales	12	5.3.1. Caractéristiques	33
b) Les poutres verticales	12	5.4. Les portes de l'écluse de Kallo	33
c) Les bras en porte-à-faux	13	5.4.1. Caractéristiques	33
4.1.2. Les bordages	13	5.5. Les portes de l'écluse Van Damme à Zeebrugge	33
4.1.3. Les dispositifs d'étanchéité	13	5.5.1. Généralités	33
4.1.4. Le caisson, le ballastage et la stabilité de la porte flottante	14	5.A. LES PORTES DE FLOT	34
4.1.5. Le pont supérieur	16	5.5.2. Caractéristiques	34
4.1.6. Les chariots	16	5.5.3. Action de la houle sur les portes de flot	34
a) Le chariot inférieur	17	5.5.4. La structure des portes de flot	37
b) Le chariot supérieur	18	5.5.5. Le caisson de ballastage	37
4.2. Les aciers des portes	20	5.5.6. Les dispositifs de remplissage et de vidange du sas	38
4.3. La protection des portes	20	5.5.7. Les dispositifs de guidage latéral	39
4.4. Les sollicitations des portes	21	5.5.8. Les chariots	41
4.5. Les équipements des portes	21	a) Caractéristiques du chariot inférieur et de ses rails	41
4.5.1. Le guidage de la porte en translation	22	b) Caractéristiques du chariot supérieur et de ses rails	41
4.5.2. Les dispositifs de dégagement des rails	22	5.5.9. Hypothèses de calcul et réaction d'appui des portes	41
4.5.3. Les dispositifs de manœuvre	23	Déformations des portes	41
4.5.4. Les appuis sur les maçonneries	23	Stabilité des portes sur l'eau	41
4.6. L'exécution des portes	23	5.B. LES PORTES D'ÈBE	42
4.7. Le transport des portes et leur mise en place	23	5.5.10. Caractéristiques	42
4.8. Les dispositifs, les moyens et les procédés de contrôle, d'entretien et de réparation des portes et de leurs équipements	25	5.5.11. Description générale	42
4.8.1. Les dispositifs et leur utilisation	25	5.5.12. Le pont supérieur	42
a) Les caissons d'obturation des chambres des portes	25	5.6. Les portes de l'écluse de Berendrecht	42
b) Les appuis provisoires	26	5.6.1. Caractéristiques des portes	43
c) Le bouclier sur la rainure dans le radier de la tête	27	5.6.2. L'ossature et la transmission des poussées hydrostatiques	43
d) Les cloches à air comprimé	27	5.6.3. Le caisson	47
4.8.2. Remplacement des chariots inférieurs	27	5.6.4. Le dispositif de dégagement des rails du chariot inférieur	47
4.8.3. Le contrôle et le travail par plongeurs	27	5.6.5. Essais	49
		6. POIDS DES PORTES	49
		7. RÉSUMÉ DE LA PREMIÈRE PARTIE ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	49

SAMENVATTING :

DE SLUISDEUREN DER BELGISCHE ZEESLUIZEN

Het eerste deel van deze studie heeft tot doel de Belgische realisaties op het gebied van grote zeeluisdeuren voor te stellen, en de complexiteit van dergelijke konstrukties aan te tonen.

De aangenomen schikkingen worden gerechtvaardigd, de werkingsprincipes worden uiteengezet en er wordt een meer gedetailleerde beschrijving gegeven van de voornaamste verwezenlijkingen.

De hoofdstukken 1 tot 3 behandelen de functies van de sluisdeuren, hun integratie in de betonnen sluis hoofden, alsook de verschillende andere beschouwingen die tussenkomen in hun ontwerp (milieu, uitvoering, transport, uitbating, onderhoud, enz...).

In hoofdstuk 4 wordt een type-sluisdeur beschreven met inbegrip van haar werking, de bewegingsuitrusting en haar onderhoud.

De deuren van de voornaamste Belgische zeesluizen worden elk afzonderlijk beschreven in hoofdstuk 5. Hierbij wordt mede de aandacht gevestigd op de evoluties die zijn opgetreden in de structuur, in de beschermingsmethodes en in bepaalde uitrustingen. Dit hoofdstuk getuigt ook van een dosis ondervinding opgedaan in de uitbating. De sluisdeuren van de Vandammesluis te Zeebrugge worden vrij uitgebreid behandeld terwille van de niet conventionele uitvoeringswijze van de betonwerken die geleid hebben tot het incorporeren in de deuren van de dispositieven voor

vulling en lediging van de saskolk, en terwille van de speciale voorzieningen die aangenomen werden omdat de afwaarste deuren rechtstreeks aan de golfslag vanuit de zee onderhevig kunnen zijn.

In de slotbeschouwingen wordt de noodzaak onderstreept om de deuren stabiele en stijve afsteuningen te geven, om de deuren zelf robuust en uiterst betrouwbaar te ontwerpen, ze ruim te dimensioneren om te weerstaan aan belastingen die soms slecht gekend zijn of maar occasioneel optreden, alsmede aan zeer strenge exploitatieomstandigheden. Daarenboven moeten deze sluisdeuren een reeks uitrustingen bevatten met het oog op snelle en doeltreffende onderhouds- of herstellingswerkzaamheden.

Nochtans hebben geëvolueerde inzichten, de technische vooruitgang en de mogelijkheden van de computerberekeningen toegelaten de konstrukties te vereenvoudigen en ze lichter uit te voeren, en dit met behoud van hun stevigheid.

DEEL 2

ANALYSE VAN DE GLOBALE BEREKENING VAN DE BERENDRECHTSLUISDEUREN, EN ALGEMENE BESCHOUWINGEN AANGAANDE DE BEREKENING VAN HET KRACHTENSPEL IN DERGELIJKE SLUISDEUREN

1. INLEIDING

Deze bijdrage heeft niet de bedoeling de hele berekening van een sluisdeur in detail te bespreken. Er wordt hier dus geen volledigheid nagestreefd. Daarvoor dient verwezen te worden naar de berekeningsnota's zelf. Enkel zal getracht worden aan de hand van de recente studie van de Berendrechtsluisdeuren enige globale aspecten van de berekeningsresultaten weer te geven, ten einde het gedrag van de sluisdeur onder de aangebrachte belasting beter te verstaan. Daartoe moet eerst aangegeven worden hoe de deur voor de computerberekening gemodelleerd is, welke randvoorwaarden er beschouwd zijn en welke belastingen er ingevoerd werden. Vervolgens zal nagekeken worden hoe de reactiekrachten zich verdelen over de aanslagen, zal gepoogd worden na te gaan hoe de globale krachtsverdeling in de deurkonstruktie verloopt, en zullen de globale vervormingen geanalyseerd worden. Dit geheel zou een inzicht moeten verschaffen over het gedrag van de sluisdeur en over de mogelijkheid om dit gedrag b.v. ten behoeve van een

voorontwerpberekening, door middel van een eenvoudig mathematisch model toch vrij natuurgetrouw weer te geven. Bij deze laatste opgave zullen we echter op een aantal moeilijkheden stuiten die hieronder besproken zullen worden. Na onderzoek van enige varianten en na de mogelijkheid aangegeven te hebben voor optimalisatie van een dergelijke konstruktie zal nog een blik geworpen worden op de vroegere sluisdeuren en zal nog aangegeven worden hoe na de globale berekening de studie voortgaat.

2. GLOBAAL MODEL EN RANDVOORWAARDEN

2.1. Model van de sluisdeur

De sluisdeur, met inbegrip van de uitkragende arm, is in zijn geheel zo werkelijkheidsgetrouw mogelijk gemodelleerd door middel van plaalementen, balkelementen en staafelementen, met elkaar verbonden in de knopen. Dit geheel is gesitueerd in een driedimensionaal assenstelsel, met de X-as volgens de

