

2° zoeken welke de verkeersdrukte is in die zones, en er van afleiden hoeveel voertuigen op de Ring zullen rijden;

3° de verdeling, op de Ring, berekenen van het transitoverkeer.

Deze methode werd toegepast op de Ring van Brussel die kan worden vergeleken met een cirkel met $r = 7.45$ km.

Voor het transitoverkeer wordt uitgegaan van de onderstelling dat 5 % van de voertuigen die de Brusselse agglomeratie binnenrijden, er slechts doorvaren in de richting van de andere steden. De berekeningen leiden tot een gemiddeld transitoverkeer op de Ring van 2.000 voertuigen per dag.

Wat betreft het indringingsverkeer, d. w. z. het verkeer dat vanuit een buiten de Ring gelegen punt komt en een binnen de Ring gelegen punt als bestemming heeft, vindt men een gemiddelde van 5.400 voertuigen per dag.

Ten slotte zal het inwendig verkeer, d.w.z. dat tussen twee binnen de Ring gelegen willekeurige punten, 3.100 voertuigen per dag op de Ring bedragen. Bij het berekenen van het indringings- en inwendig verkeer werd rekening gehouden met het Zoniënbos, waar de verkeersdrukte als nul kan beschouwd worden.

Alles wel ingezien zal al het verkeer bijeen op de Ring gemiddeld 10.700 voertuigen bedragen.

Deze resultaten worden bevestigd zo men de methode toepast van R. M. Brown, assistant engineer of Road design in de U. S. A. Daar waar de heer Hondermarcq enkel de 100 % en 0 % gebruikzones van de autosnelweg in beschouwing neemt, bepaalt de heer Brown die zones op een meer genuanceerde wijze en past hij er veranderlijke gebruikpercentages op toe.

Beide berekeningen leiden tot een zeer bevredigende overeenstemming, zoals blijkt uit een vergelijking van de figuren 11 en 15.

Als besluit zij gezegd dat deze studie geenszins de pretentie heeft het toekomstig verkeer op de Ring te Brussel strak te bepalen, maar wel een hoegrootheid vast te stellen die als basis moet dienen voor het bepalen van de rendabiliteitsvoorwaarden.

Aangezien het rendabiliteitscriterium bereikt is bij een verkeer van 3.700 voertuigen per dag, bestaat er geen twijfel of het aanleggen van een Ring, waarop een verkeer van 10.700 voertuigen voorzien wordt, rendabel is.

Ducs d'Albe en palplanches métalliques.

Application au port de Zeebrugge.

L. VAN RIJSSELBERGHE,
Ingénieur en Chef-
Directeur des Ponts et Chaussées.

L. DESCANS,
Ingénieur principal honoraire
des Ponts et Chaussées,
Ingénieur Conseil.

Titre I. — PORT DE ZEEBRUGGE.

La planche I ci-contre reproduit les dispositions d'ensemble du port de Zeebrugge.

La rade, de 135 hectares environ de superficie, est abritée par un môle courbe en béton, de 2.478 m de développement. Un quai de 1.715 m de longueur, avec des profondeurs d'eau de 11,50 à 8 m sous marée basse, occupe sa face intérieure. La plate-forme, de 74 m de largeur, porte une gare maritime, des hangars, des grues et des voies ferrées.

Dans la rade débouche le canal maritime de Bruges, de 10 km de longueur, 8 m de tirant d'eau et 22 m de largeur au plafond, par une écluse maritime de 210 m de largeur utile, 20 m de largeur à l'entrée et 5,50 m d'eau sur les buses à marée basse.

Une darse contenant le poste d'accostage des ferries Zeebrugge-Harwich communique avec le canal, en amont de l'écluse. Le chenal maritime d'accès à cette dernière est relié à un port de pêche.

Titre II. — SITUATION DES OUVRAGES.

Les navires qui remontent le chenal d'accès à la tête aval de l'écluse de Zeebrugge (fig. 1), sont souvent exposés à des vents violents soufflant perpendiculairement à leur route (en particulier d'Ouest en Est). Deux rangées de ducs d'Albe ont dû être établies pour donner aux navires les guides ou les points d'appui dont ils peuvent avoir besoin pour embouquer correctement le pertuis de l'écluse. Chacune des lignes de ducs d'Albe est inclinée de 15/100 sur l'axe du chenal ; les ducs d'Albe

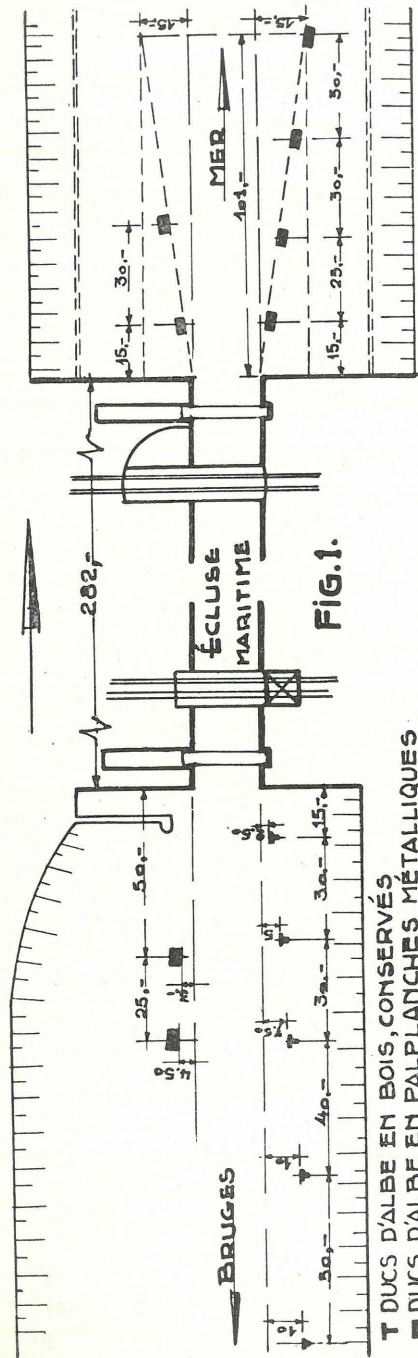


FIG. 1.

T DUCS D'ALBE EN BOIS, CONSERVÉS
 ■ DUCS D'ALBE EN PALPLANCHES MÉTALLIQUES

s'y dressent, distants l'un de l'autre de 25 à 30 mètres (1). Pour l'instant il n'a été construit que six ducs d'Albe en palplanches métalliques, savoir : deux sur la rive Ouest et quatre sur la rive Est.

De l'autre côté, sept ducs d'Albe guident l'entrée des navires venant du canal de Bruges dans la tête amont de l'écluse, dont deux construits récemment en palplanches métalliques.

Les ouvrages établis lors de la construction du port étaient des assemblages de pieux en bois, d'une résistance insuffisante, trop endommagés pour être encore réparés d'une manière convenable, ou détruits par faits de guerre. Ils ont été, à l'exception de cinq d'entre-eux (dans le canal de Bruges), remplacés par des ducs d'Albe en palplanches métalliques dont la conception, le calcul et le mode d'exécution font l'objet de la présente note.

(1) La construction d'ouvrages-guides était spécialement imposée à l'entrée de l'écluse de Zeebrugge parce que, d'une part, la largeur utile du pertuis a été réduite de 20 m à 19,75 m par suite de mouvements des bajoyers et que, d'autre part, l'écluse est traversée plusieurs fois par jour par les ferries du service Zeebrugge-Harwich qui ont, au maître-couple, une largeur hors tout, entre faces extérieures des ventrières, égale à 18,50 m.

Pour éviter une répétition trop fréquente d'avaries aux musoirs de la tête d'écluse, on les avait même munis de butoirs formés de dosses d'accostage en bois, encadrées dans les maçonneries et appuyées, au-dessus des tablettes, sur des charpentes métalliques.

La traversée de l'écluse par les ferries cessera après construction, dans la rade du port, d'un nouveau bassin d'accostage, dont les travaux sont en cours d'exécution.

PLANCHE I

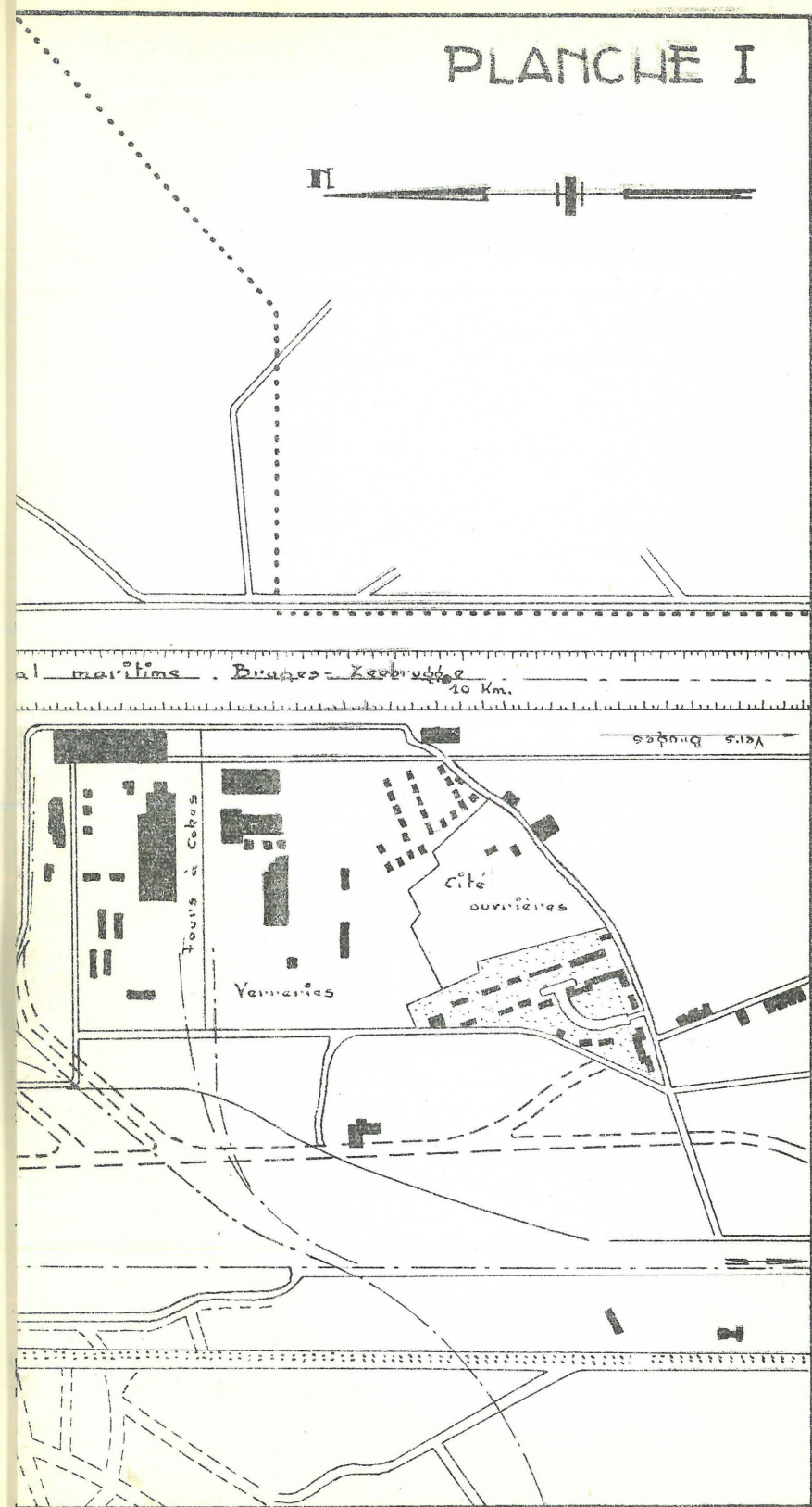
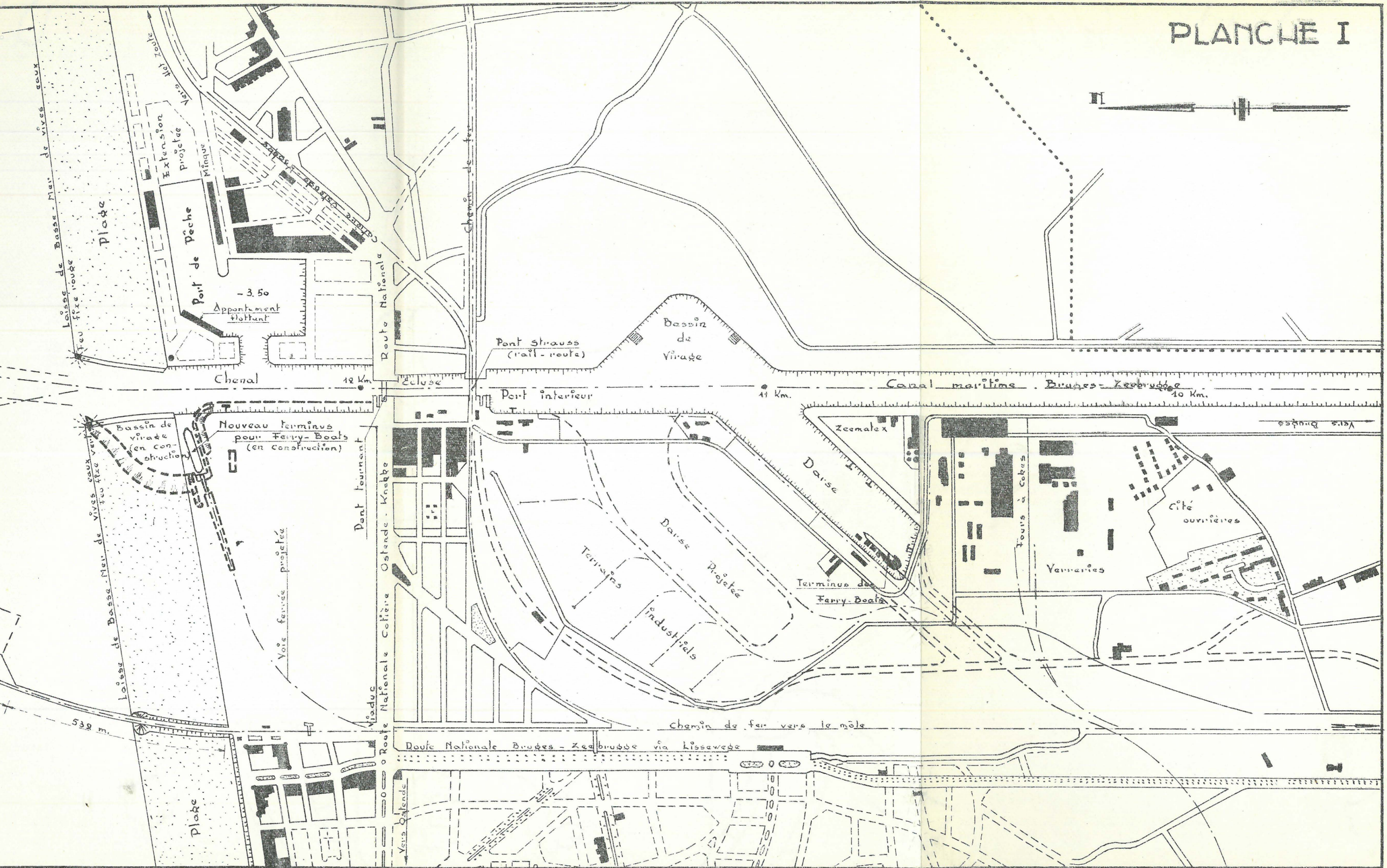


PLANCHE I



Titre III. — CONDITIONS DE SOLLICITATION DES DUCS D'ALBE.

Ces ouvrages doivent résister à deux genres d'actions, les unes statiques, les autres dynamiques.

Un navire ayant à lège un franc bord de 8 mètres, peut être drossé sur les ducs d'Albe d'une rangée par un vent de tempête d'une intensité (exceptionnelle en mer du Nord) de 150 kg par m². De ce chef, chaque duc d'Albe supporte un effort horizontal de 25 m × 8 m × 0,15 = 30 t.

Au cours de certaines manœuvres, le navire peut se haler sur une amarre fixée au bollard qui surmonte le duc d'Albe. Un navire de 5.000 t est muni, d'après le Lloyd, de cables en acier de 80 mm de périmètre, soit de 1 pouce environ de diamètre, présentant une résistance à la rupture de 30 à 40 t.

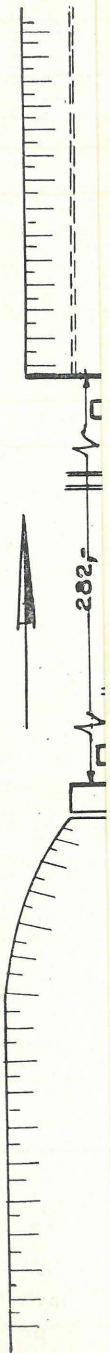
Dans d'autres cas, une amarre enroulée autour du bollard peut être larguée plus ou moins vite, sous un effort constant, afin d'arrêter sur un parcours plus ou moins long un navire qui s'éloigne du duc d'Albe. Un navire de 5.000 t, animé d'une vitesse de 1 m par seconde, peut être freiné en laissant filer 10 mètres d'amarre sous un effort constant P donné par :

$$P \times 10 \text{ m} = \frac{5.000}{9,81} \times \frac{1}{2}$$

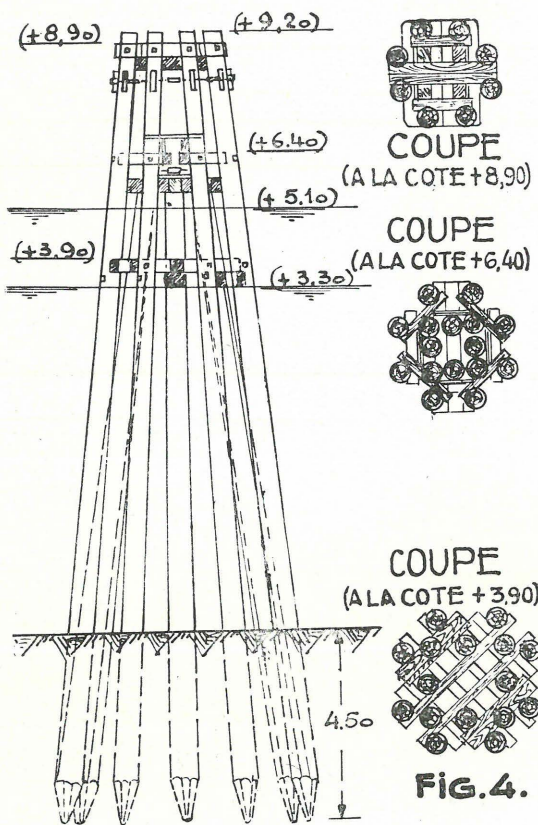
d'où P = 25 t environ. Le même effort de 25 t sur l'amarre freinera le même navire sur une longueur de 0,90 m environ si sa vitesse initiale n'est que de 0,30 m/s.

On peut donc admettre que chaque duc d'Albe doit pouvoir résister à un *effort statique*, horizontal, de 30 t, sans dépasser les taux normaux de travail, du sol de fondation au refoulement, et du matériau de l'ouvrage à la flexion. Une augmentation exceptionnelle de l'effort admis s'appliquera sans danger, du fait que, comme on le verra ci-après, le coefficient de sécurité adopté dans les calculs est au moins égal et presque toujours supérieur à 1,5.

Si, comme le supposait le projet primitif des ducs d'Albe de Zeebrugge, ces ouvrages donnent appui à des flotteurs montant et descendant avec le niveau de l'eau dans le chenal (fig. 2), la force de 30 t due à la poussée du vent s'appliquera au plus haut au niveau de marée haute, soit, normalement, à la cote (+ 4,50). L'effort de 30 t dû à la traction d'une amarre sur le bollard s'applique au contraire à la cote (+ 8,50). Nous avons pourtant calculé les ducs d'Albe pour un effort horizontal de 30 t à la cote (4,50) de marée haute normale.



Il semble pratiquement impossible de définir les conditions de



chocs obliques. On calculera donc la résistance dynamique du duc d'Albe dans l'hypothèse d'un choc normal, mais on limitera à un minimum assez faible la valeur de la vitesse V_0 résultant de l'équation ci-dessus.

Une limite de 0,15 m à 0,20 m par seconde est déjà acceptable ; une valeur de 0,30 mètre par seconde conduit à une sécurité satisfaisante.

Il peut être utile de signaler que les conditions les plus défavorables à la résistance statique se réalisent quand l'effort P agit le plus haut possible, tandis que la sollicitation dynamique la plus dangereuse se produit pour un

choc appliqué le plus bas possible, auquel correspond la plus petite valeur du travail de flexion du duc d'Albe.

Titre IV. — CHOIX DU TYPE DE DUC D'ALBE.

Pendant longtemps, les ducs d'Albe ont été formés de faisceaux de *pieux de bois*, les uns verticaux, les autres inclinés réunis au-dessus du niveau de l'eau par des traverses boulonnées ou des enroulements de câbles. Sur les voies maritimes, ces ouvrages comportent jusqu'à 16 ou 20 pieux. La figure 4 reproduit un type utilisé à Hambourg, formé d'un noyau de 8 pieux entouré d'une gaine de 8 pieux inclinés, de hauteur plus grande. L'ensemble présente une grande résistance, accompagnée, malheureusement, d'une trop grande rigidité.

Les grandes longueurs exigées pour les pieux sont difficiles à trouver, même en bois exotiques. Les entures éventuelles de deux pièces bout à

bout constituent des points faibles, même si la liaison est faite par des profilés et des carcans métalliques. A l'exception de certaines essences exotiques, coûteuses et non exemptes de défauts, le bois est exposé à la pourriture et, en eaux salées, à l'attaque des tarets. Les frais d'amortissement, d'entretien et de réparation d'un duc d'Albe en bois sont relativement élevés (1).

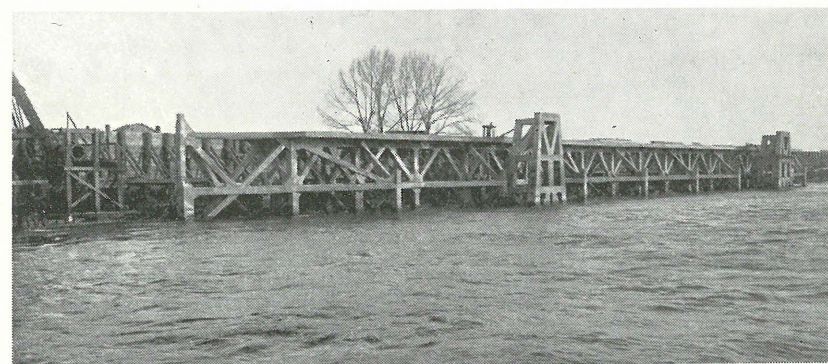


Fig. 5.

Pour assurer une meilleure liaison des têtes de pieux et pour protéger le bois contre la pourriture, on a parfois, notamment au port de Kiel, enrobé dans un bloc de béton la partie du duc d'Albe émergant des eaux (2).

En d'autres ports, on a construit des ducs d'Albe, entièrement en béton, formé de *pieux en béton armé* reliés, au-dessus du niveau de l'eau, par des traverses et des diagonales. La figure 5 donne une photo d'un duc d'Albe de ce type protégeant un poste d'accostage en Loire maritime (3).

Moyennant l'application des précautions connues, le béton armé se conserve bien en eaux salées et peut être éventuellement protégé contre

(1) Une étude publiée à la revue *Bautechnik* (1929, page 849) présente une comparaison détaillée de deux ducs d'Albe à 9 pieux verticaux, de 15 m de longueur, les uns en bois, les autres en palplanches métalliques du type « caisson ».

Les frais d'exécution de l'ouvrage métallique dépassent de 55 % ceux de l'ouvrage en bois, mais le capital représentant les frais d'exécution, d'amortissement et d'entretien est de 25 % plus élevé pour l'ouvrage en bois que pour le duc d'Albe en palplanches métalliques.

(2) A Kiel, le massif de béton comprend deux parties superposées : un plateau d'encastrement des têtes de pieux, surmonté d'un massif portant un bollard et des fenders. (*Bautechnik* 1930, page 545.)

(3) Kaufmann : Les ouvrages d'accostages en ciment armé du port de Nantes et de la Loire maritime. — *Annales des Ponts et Chaussées* (France), 1921, planches 4 et 5.

les eaux agressives d'un sous-sol tourbeux. Les ouvrages en béton armé sont rigides et ne se prêtent pas convenablement à l'amortissement de

chocs violents. La réparation des avaries est difficile et souvent imparfaite.

La trop grande rigidité des ducs d'Albe du type de la figure 4 provient de l'inclinaison des pieux qui s'inscrivent, dans un cercle de trop grand diamètre. On a remédié à cet inconvénient en construisant des ducs d'Albe qui ne comportent que des *pieux verticaux*. L'ouvrage représenté par la figure 6 comprend, par exemple, un noyau de 4 pieux relié par des fourrures à une gaine de 16 pieux extérieurs.

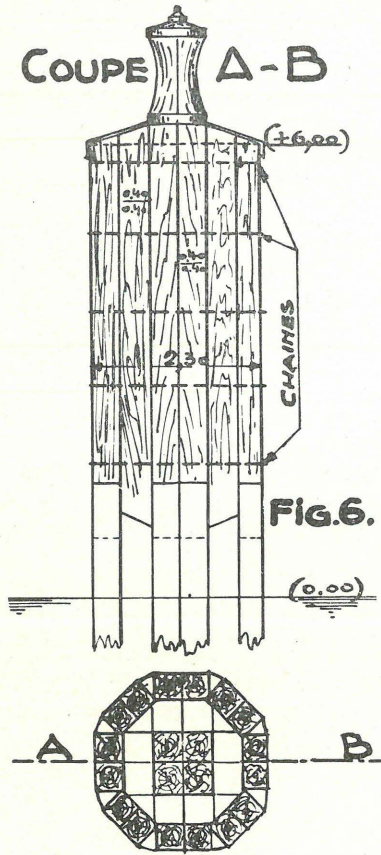


FIG. 6.

La durée de conservation de 50 ans au moins, de 80 à 120 ans peut-être.

La capacité de résistance d'un matériau donné aux actions dynamiques peut être caractérisée par le rapport du taux de travail au module

d'élasticité. Ce rapport, $\frac{\sigma}{E}$ égal à $\frac{1}{4.000}$ environ pour le béton armé

s'élève à $\frac{1.600}{2.100.000} = \frac{1}{1.310}$ pour l'acier est à $\frac{100}{100.000} = \frac{1}{1.000}$

pour le bois. L'acier peut être considéré comme largement supérieur au béton armé et comme au moins équivalent au bois pour les travaux hydrauliques si on remarque que le taux de travail normal du bois

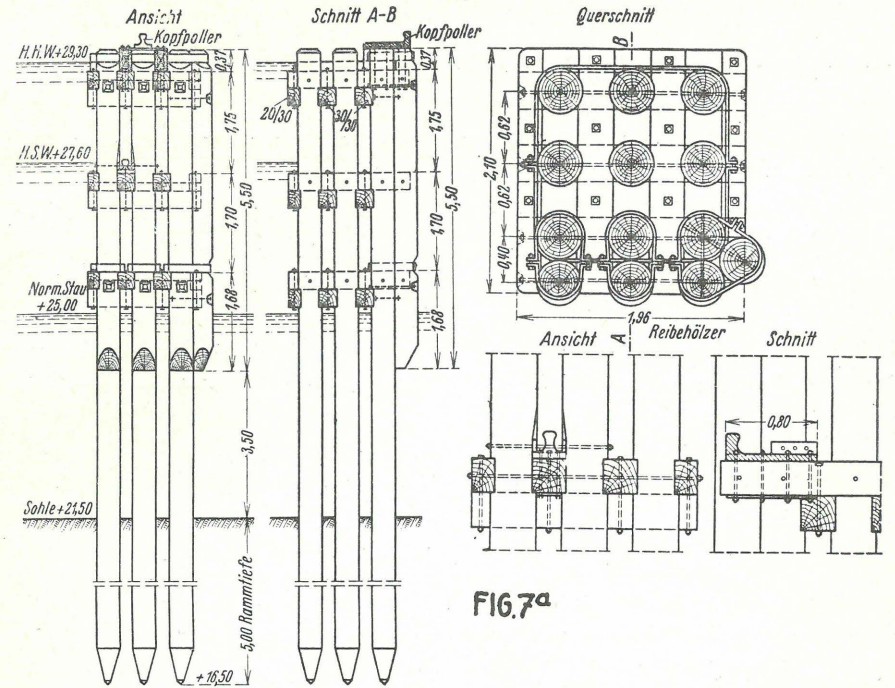


FIG. 7^a

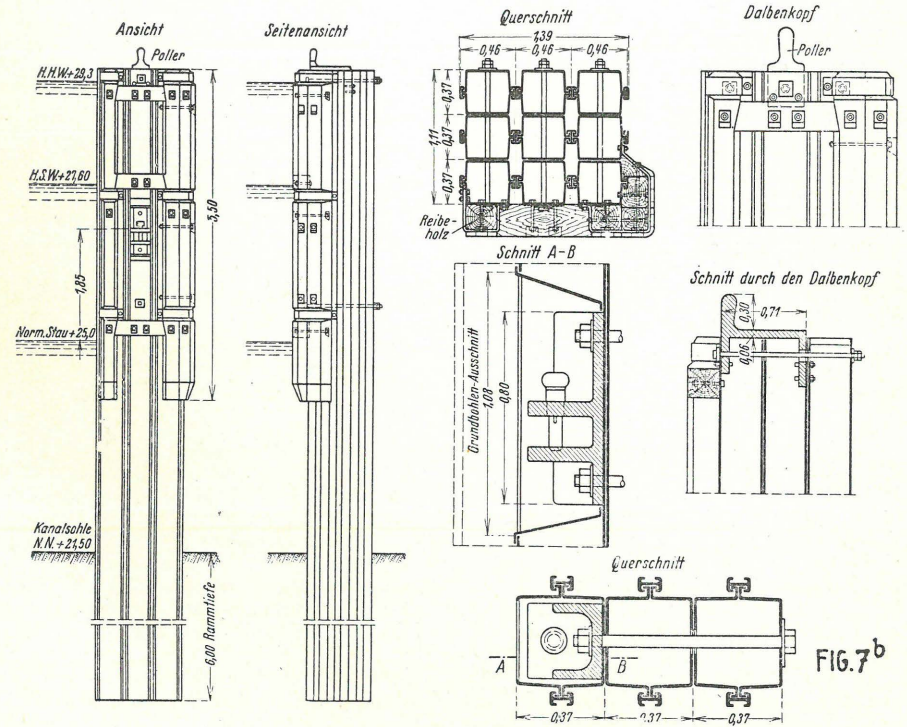


FIG. 7^b

doit être abaissé au-dessous de 100 kg/m² quand il est employé sous eau (1).

En assemblant (fig. 7) deux éléments de palplanches métalliques, on forme une poutre à section rectangulaire creuse qui peut constituer un *pieu métallique*. Ces pieux peuvent être fournis sans difficulté et battus en éléments de 20 m de longueur et plus. Ils peuvent avantageusement remplacer des pieux en bois dans la constitution de ducs d'Albe à pieux verticaux. Les deux parties de la figure 7 se rapportent, l'une à des ducs d'Albe en bois existant au canal du Rhin à l'Herne, l'autre à un projet de remplacement de ces ouvrages par la mise en œuvre de palplanches métalliques (2).

Les palplanches métalliques se prêtent facilement à la formation de *poutres à section creuse* (fig. 8) qui conviennent parfaitement à la construction de ducs d'Albe.

La poutre peut être montée sur la rive, puis, convenablement renforcée par quelques cadres provisoires, être conduite sur place et dressée verticalement. Les diverses palplanches sont ensuite battues à la fûche voulue. Après la pose des boulons ou des cadres d'entretoisement de la partie supérieure du duc d'Albe, le vide intérieur est rempli de sable ou de béton.

Les éléments du profil de la figure 8 doivent, pour leur assemblage, subir un pliage assez important.

Pour les palplanches de grande longueur, un pliage au delà de 30° est une opération coûteuse et délicate, surtout pour les aciers demi-durs. L'inconvénient de cette opération disparaît moyennant l'emploi de coins spéciaux d'angles, comme le montrent les deux profils de la figure 8^{bis}.

Ce genre de construction s'applique aussi à des ouvrages destinés à l'accostage de navires de mer. La figure 9 rappelle les dispositions de ducs d'Albe du port de Wilhelmshafen, comprenant un cylindre de 3 mètres de diamètre, formé par 20 pieux en palplanches métalliques (3).

(1) Suivant certains auteurs, cette réduction pourrait atteindre 50 %. En ce qui concerne les ducs d'Albe, on doit encore remarquer que les pieux en bois sont, en général, battus avec la partie la plus mince dans le sol. Le battage est facilité et la partie la plus large et la plus robuste du pieu se trouve au sommet du duc d'Albe, ce qui permet de meilleurs assemblages aux traverses et augmente la résistance à la pourriture. Par contre, la section du pieu au niveau du sol, qui correspond sensiblement à l'encastrement et à la plus forte sollicitation, a des dimensions réduites. Le bois qui la forme est le plus sujet aux nœuds et autres vices. Le taux de travail de 100 kg/cm² est trop élevé pour le bois d'un duc d'Albe, sauf en cas d'emploi de bois exotiques, très sains et d'un équarrissage constant.

(2) C'est à ces deux ouvrages que se rapporte la comparaison des prix, citée ci-dessus. A l'avantage de l'économie signalée s'ajoute, pour le duc d'Albe métallique, celui d'une résistance plus grande.

(3) *Bautechnik* 1929, page 80.

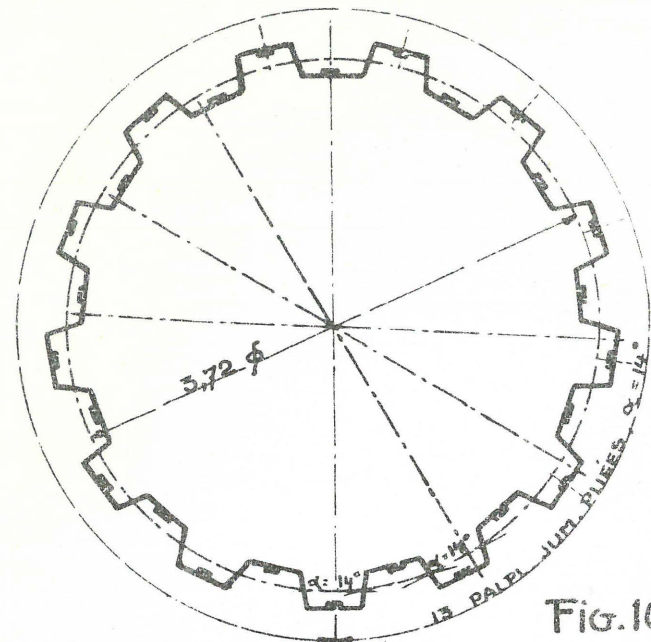
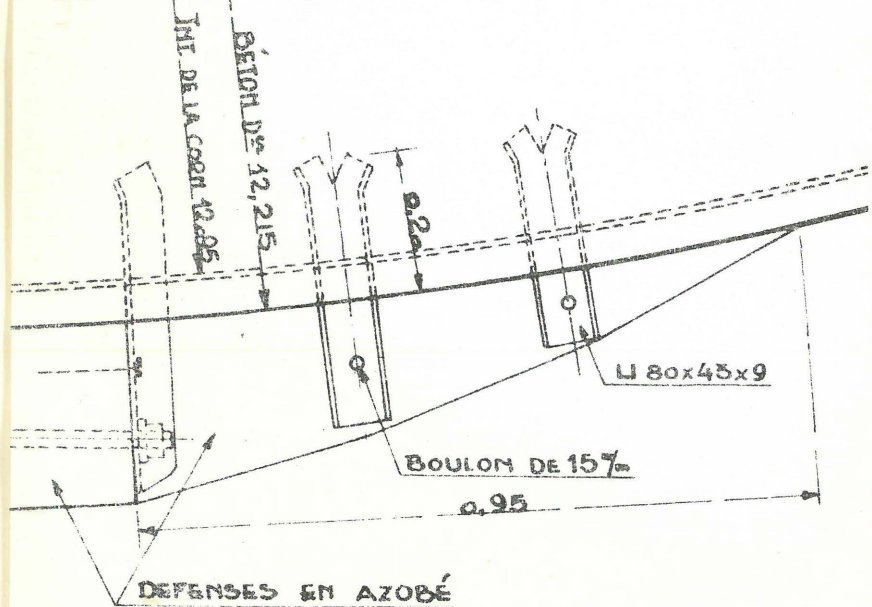


FIG. 10

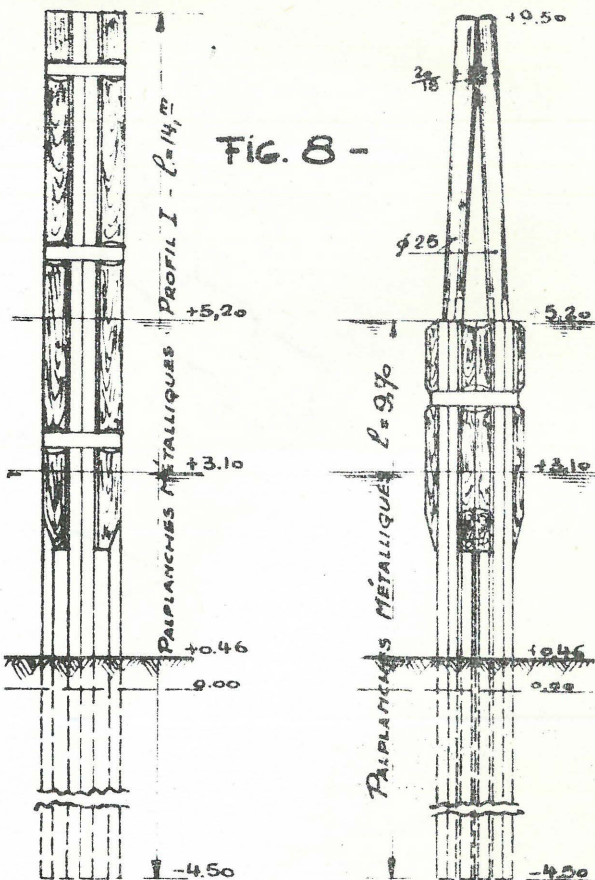
TONNAGE PAR DUC D'ALBE
15 PALPL. JUM. PLIÉES BZ I'N 25^m = 42^T

LE HAVRE)
VUE EN PLAN



ÉLEVATION
SUIVANT A

VARIANTE
SUIVANT B



COUPE HORIZONTALE DU
DUC D'ALBE

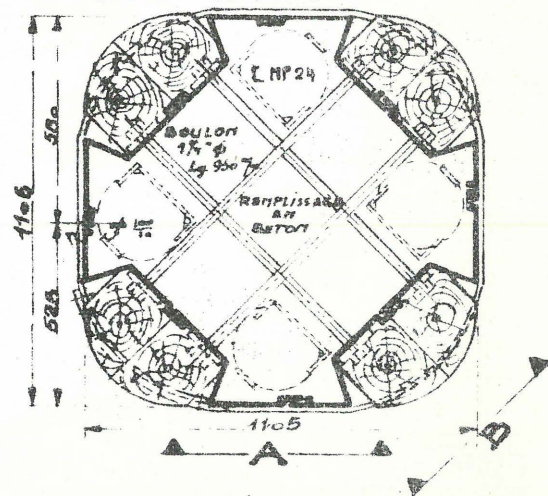
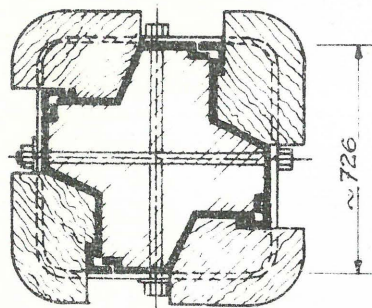
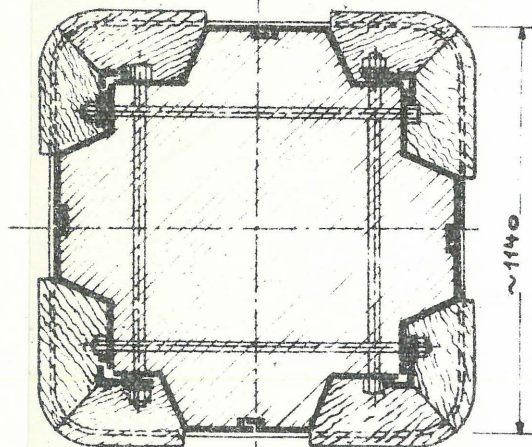


FIG. 8^{bis}
PROFILS SANS PLIAGE
DES PALPLANCHES

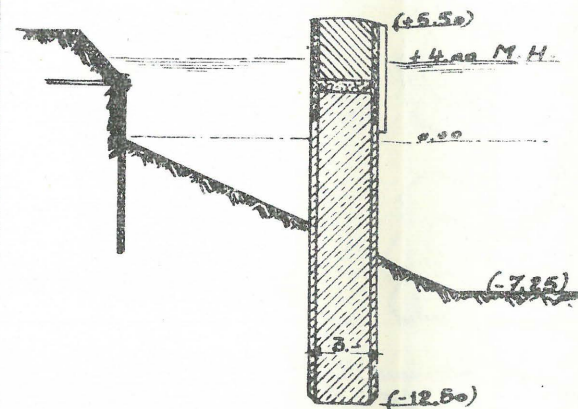
a) 4 ÉLÉMENTS DE PROFIL II



b) 8 ÉLÉMENTS DE PROFIL I



COUPE



DU
COUPE

CORDONS DE SOUD
DE 14 mm ENTRE LES
COTES (6,40) ET (8,00)

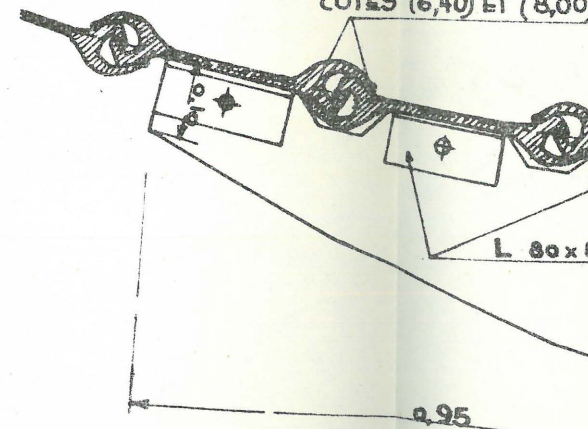
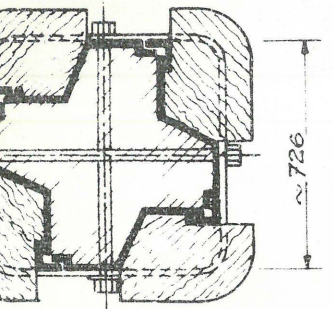
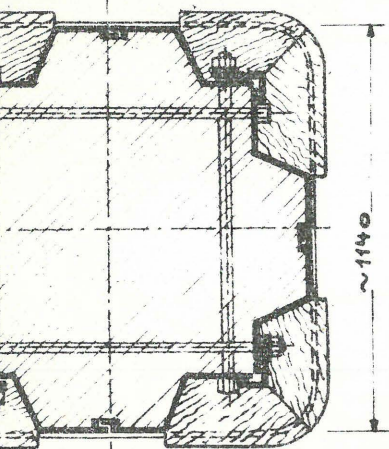


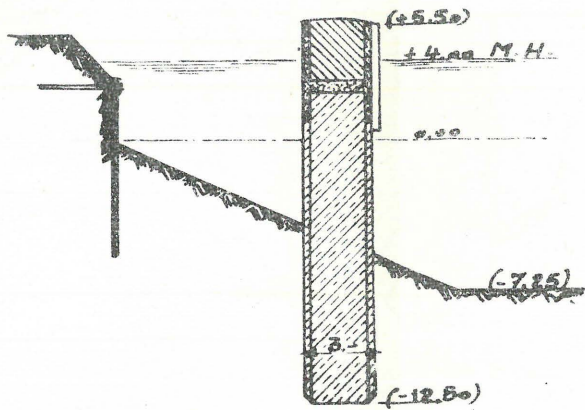
FIG. 8^{bis}
 ...LS SANS PLIAGE
 ...ALPLANCHES
 ...MENTS DE PROFIL II



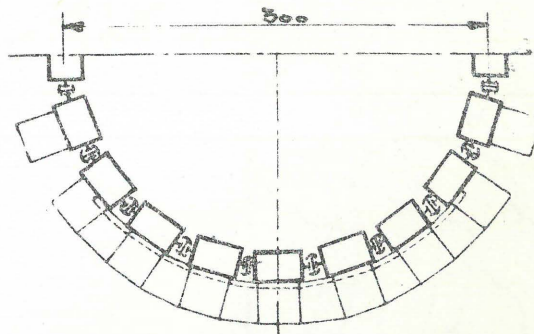
...MENTS DE PROFIL I



COUPE



VUE EN PLAN



DETAIL

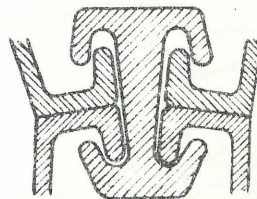


FIG. 9.

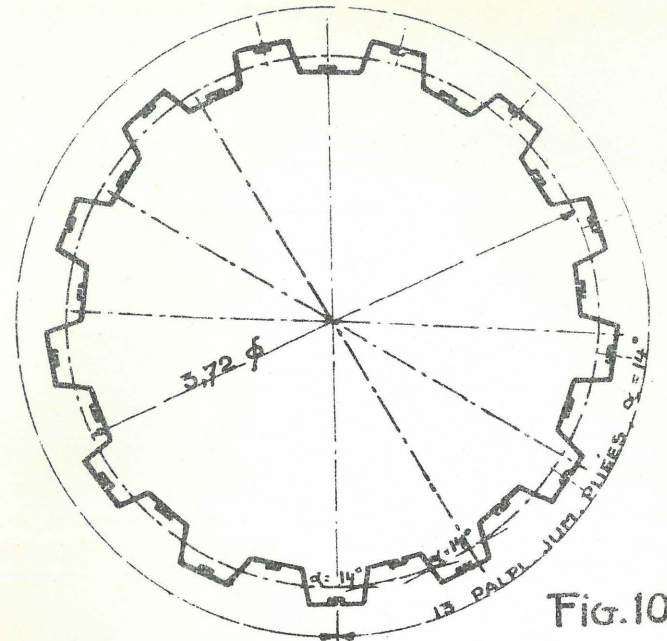


FIG. 10

TONNAGE PAR DUC D'ALBE
 15 PALPL. JUM. PLIÉES BZ II N 25^m = 42^T

DUC D'ALBE EN PALPLANCHES PLATES (LE HAVRE)
 COUPE HORIZONTALE ET VUE EN PLAN

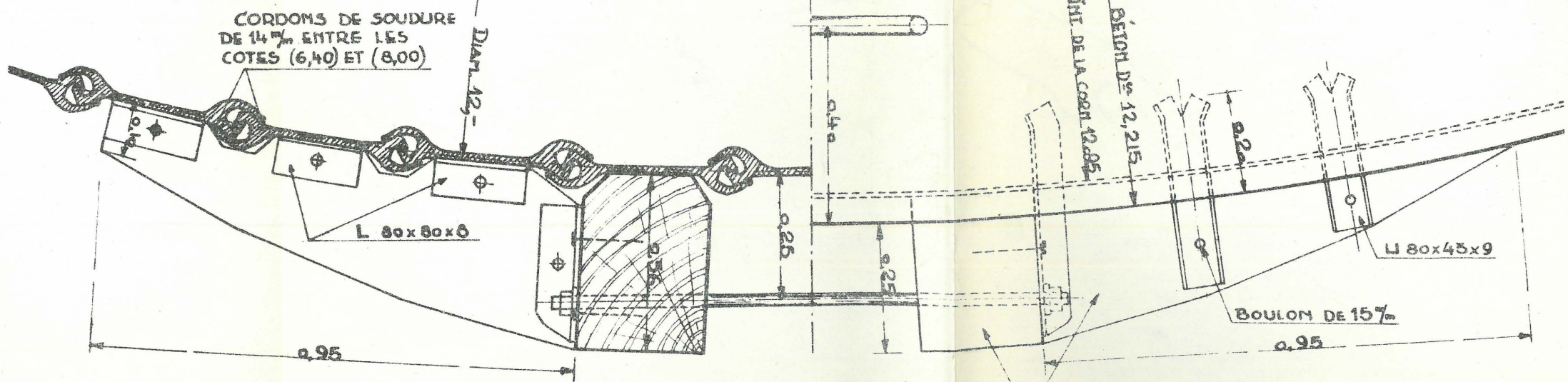


FIG. 10^{bis}

La figure 9^{bis} est la photo d'un duc d'Albe de section carrée dont le pourtour comprend 12 palplanches Peine (poutrelles à larges tables et agrafes).

La construction devient plus économique et moins rigide si, comme l'indique la figure 10, on réalise la section circulaire à l'aide de palplanches métalliques légèrement pliées pour permettre leur bon assemblage suivant la circonférence.

On peut aussi envisager la construction d'une cellule en palplanches plates, si la poutre ainsi formée peut être érigée au sol, sans battage, ou moyennant un battage modéré, au fond d'une fouille qu'on

remblaie ensuite de sable. La construction d'un duc d'Albe de ce type a été réalisée pour l'accostage, au Havre, du paquebot *Normandie* (fig. 10^{bis}). Ce duc d'Albe, de 12 m de diamètre et 25 m de hauteur, capable de résister à un effort de traction de 300 tonnes, avait fait l'objet d'essais de laboratoire décrits au numéro de mars 1938 des *Annales des Ponts et Chaussées de France* (1).

Sous l'effet du remplissage de sable, les joints entre palplanches se mettent en traction; les frottements qui en résultent contribuent à réduire les tendances au glissement des palplanches lors de la flexion de l'ouvrage. La constitution et le bon agrafage des joints doivent donc faire l'objet d'une attention toute spéciale (2). La tendance au glissement est encore

(1) Note sur trois essais sur modèle réduit au laboratoire autonome du Havre, par F. Beau, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

(2) En ce qui concerne les joints des palplanches plates, voir p. ex. l'étude publiée par M. le Professeur Baes, au n° de février 1948 de « L'Ossature métallique ».

Ce mémoire analyse les qualités des griffes d'accrochage des palplanches plates Belval P, dont la liaison se fait par un contact unique. La mise en tension sous les

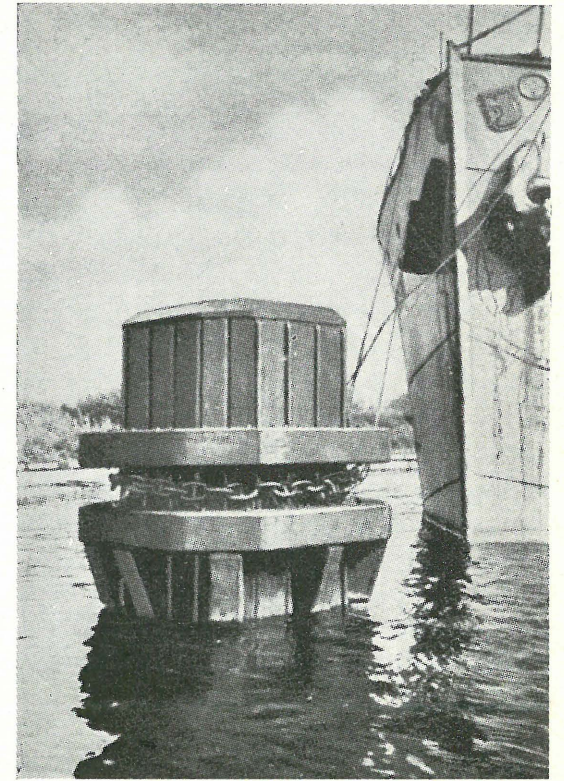


Fig. 9^{bis}. (Catalogue Peine)

doit
eau

on f
un p
battu
ment
à pic
à de
à un
palp

de p
cons

force
vert
voul
la p
sabl

subi

est
L'in
spéc

à l'
duc
3 m

con
géné
part
ce c
pou
à l'
la f
est
très

ci-d
celi

combattue (fig. 10^{bis}) par une soudure des joints dans leurs parties supérieures.

Le duc d'Albe du Havre ayant été éventré par une explosion lors des bombardements de 1944, le remblai intérieur en sable fin s'est écoulé et les palplanches se sont écroulées sous le poids du couronnement en béton.

Un cylindre de palplanches métalliques peut être avantageusement comparé aux ducs d'Albe (fig. 11) formés de *hauts caissons en béton armé* échoués dans des cunettes et remplis ensuite de sable (1).

Les ducs d'Albe en béton armé de Rotterdam et d'Ymuiden sont bien connus. La figure 11 se rapporte à un des ducs d'Albe circulaires, de 10 mètres de diamètre, utilisés au Havre, pour l'accostage du paquebot *Liberty*, conjointement avec des caissons rectangulaires de 10 m × 12 m.

Des ducs d'Albe formés de grands cadres rectangulaires, superposés, en béton armé, ont également été élevés à Bizerte. On peut aussi (comme projeté pour les ouvrages-guides de la nouvelle écluse de Terneuzen) réaliser l'ouvrage sous forme d'un caisson en béton armé foncé dans le sol par havage. Dans ces deux derniers cas, la cellule étant dépourvue de fond, le remplissage en sable n'intervient plus par son poids dans la stabilité du duc d'Albe.

La tour en béton armé ne se déforme que de quelques centimètres, tandis que, sous le même effort, le sommet d'une cellule en palplanches métalliques se déplace horizontalement de quelques décimètres. L'ouvrage en béton, beaucoup trop rigide, ne peut se prêter à l'accostage d'un navire que s'il est muni de tampons élastiques ou de fenders en bois, dont l'écrasement freine le navire abordeur (voir Titre IX ci-après).

poussées du sable de remplissage se produit dans des conditions statiquement déterminées, sans déformations appréciables. Des pressions élevées de contact se produisent sans compromettre la résistance des griffes.

Dans d'autres types de palplanches plates (Lakawanna ou Senelle, par ex.) les contacts s'établissent en plusieurs points de la griffe. Les effets de la mise en tension sont difficiles à prévoir et peuvent s'accompagner de fortes déformations des crochets.

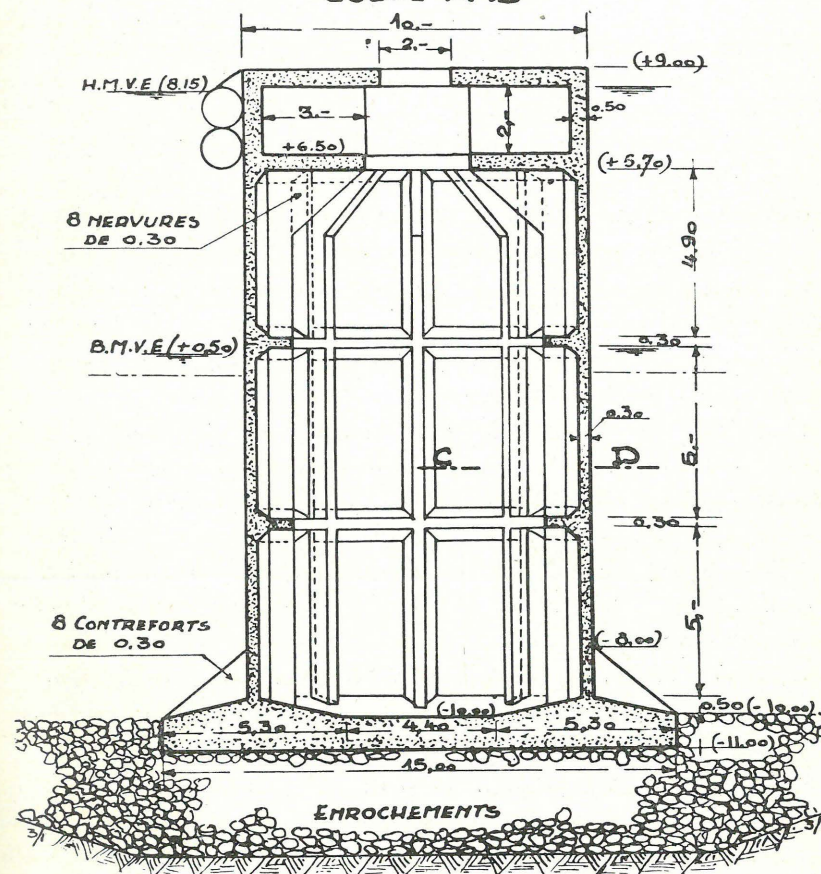
En cas de battage les griffes serrées, à plusieurs points de contact, peuvent provoquer des coincements et donner lieu à des déboitements de palplanches (voir à ce sujet le n° du mois de mars 1951 de la revue « Travaux » : « Quais et cales de lancement des chantiers de la Méditerranée à la Seyne », page 288).

(1) On remarquera que le remplissage en sable d'une cellule de palplanches métalliques ne peut contribuer à sa résistance au renversement que par frottement sur les parois intérieures. Dans la pile en béton armé, le sable de remplissage intervient beaucoup plus efficacement par l'action de son poids sur le fond du caisson.

Le frottement du sable de remplissage sur les parois intérieures d'une cellule en palplanches métalliques peut sans doute être augmenté par un serrage énergique de ce remplissage pour autant que les crochets d'assemblage des palplanches permettent la mise en tension de la paroi, sans déformation appréciable.

— Les conditions d'application de ce procédé devraient être précisées par des études et des essais.

DUK D'ALBE EN BETON ARMÉ (PORT DU HAVRE) COUPE A-B



PLAN ET COUPE C-D

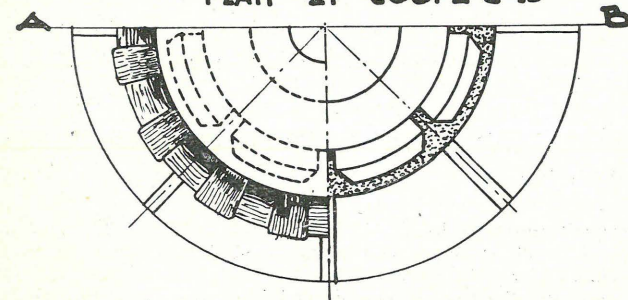


FIG. 11.

Des chocs répétés peuvent facilement créer dans le béton des fissures très préjudiciables à la conservation des armatures, et dont le colmatage est difficile ou impossible.

La mise en œuvre de palplanches métalliques aux abords de l'écluse de Zeebrugge ne pouvait se faire que par battage à cause de l'envasement considérable et rapide que subit toute cunette draguée dans ce port sous la cote (— 6,50) du fond du chenal d'accès. On a donc réalisé les ducs d'Albe à l'aide de palplanches I BELVAL, du profil IV, de 14 mm d'épaisseur de parois, de 0,50 m de largeur, pesant 159 kg/m². Le choix de ce profil relativement fort a été imposé par les difficultés du battage dans le sable plus ou moins coquillier sous la cote (Z — 8,00 m).

La construction des cadres de contreventement se simplifie et s'améliore si on remplace la section circulaire par une section rectangulaire. Les dispositions adoptées finalement sont indiquées à la figure 1 de la planche II de la présente note.

L'ouvrage est formé de 20 éléments de palplanches Belval B. Z. IV. N. 50 assemblés sur le pourtour d'un rectangle de 3,60 m × 2,60 m de dimensions extérieures. Les angles avaient été primitivement prévus par un simple pliage des deux éléments qui y aboutissent (voir fig. 3 de la planche II), mais en cours d'exécution ils ont été réalisés par des cornières spéciales Belval, afin d'éviter les inconvénients du pliage déjà signalés ci-dessus.

Le long côté du rectangle est établi parallèlement au chenal de manière à développer la butée résistante du sol sur la plus grande surface.

La longueur adoptée pour le petit côté est suffisante pour que le taux normal de travail de l'acier ne soit pas encore atteint au moment où s'amorcent le refoulement des terres et le chavirement du duc d'Albe.

Dans le chenal d'accès à l'écluse par la mer, la tête des ducs d'Albe se trouve à la cote (8,20) et les palplanches sont fichées à 8,30 m sous le niveau (— 6,50) du plafond, ce qui leur a donné une longueur totale de 23 mètres (1).

Trois cadres métalliques de contreventement sont prévus au-dessus de marée basse, dans la partie du duc d'Albe remplie de sable. Pour

(1) On pouvait songer à limiter la longueur des palplanches à 18 m en arasant leurs têtes à la cote (3,20) et en formant la partie supérieure du duc d'Albe d'un massif en béton faiblement armé. La réduction de longueur des palplanches aurait facilité leur battage et permis d'utiliser le profil III qui ne pèse que 124 kg par m². Cette variante prévue au cahier des charges d'adjudication des travaux, s'est révélée plus coûteuse, et d'une exécution moins rapide, que la solution adoptée des palplanches de 23 mètres de longueur.

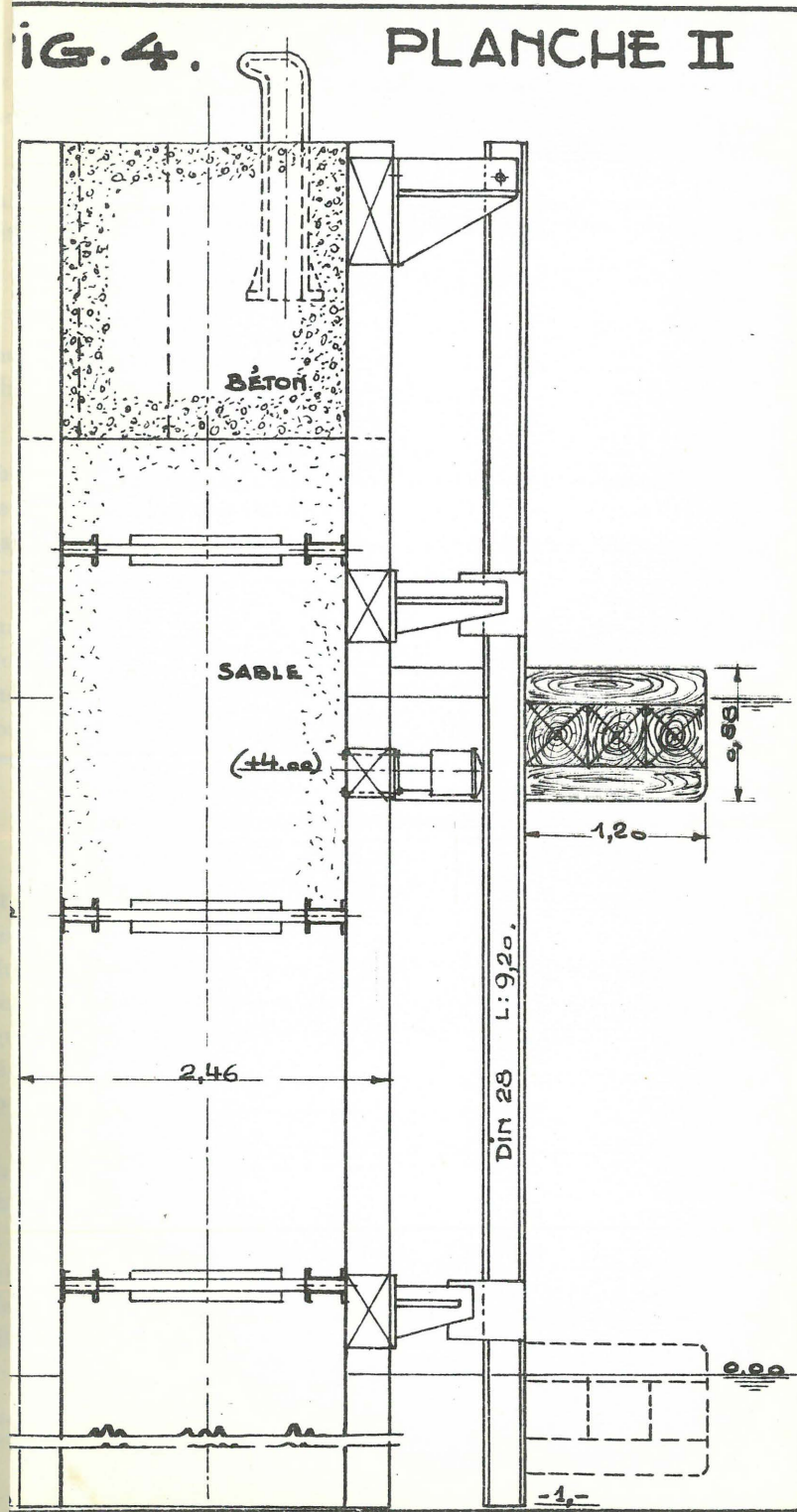


FIG. 1

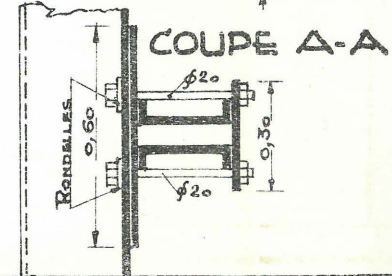
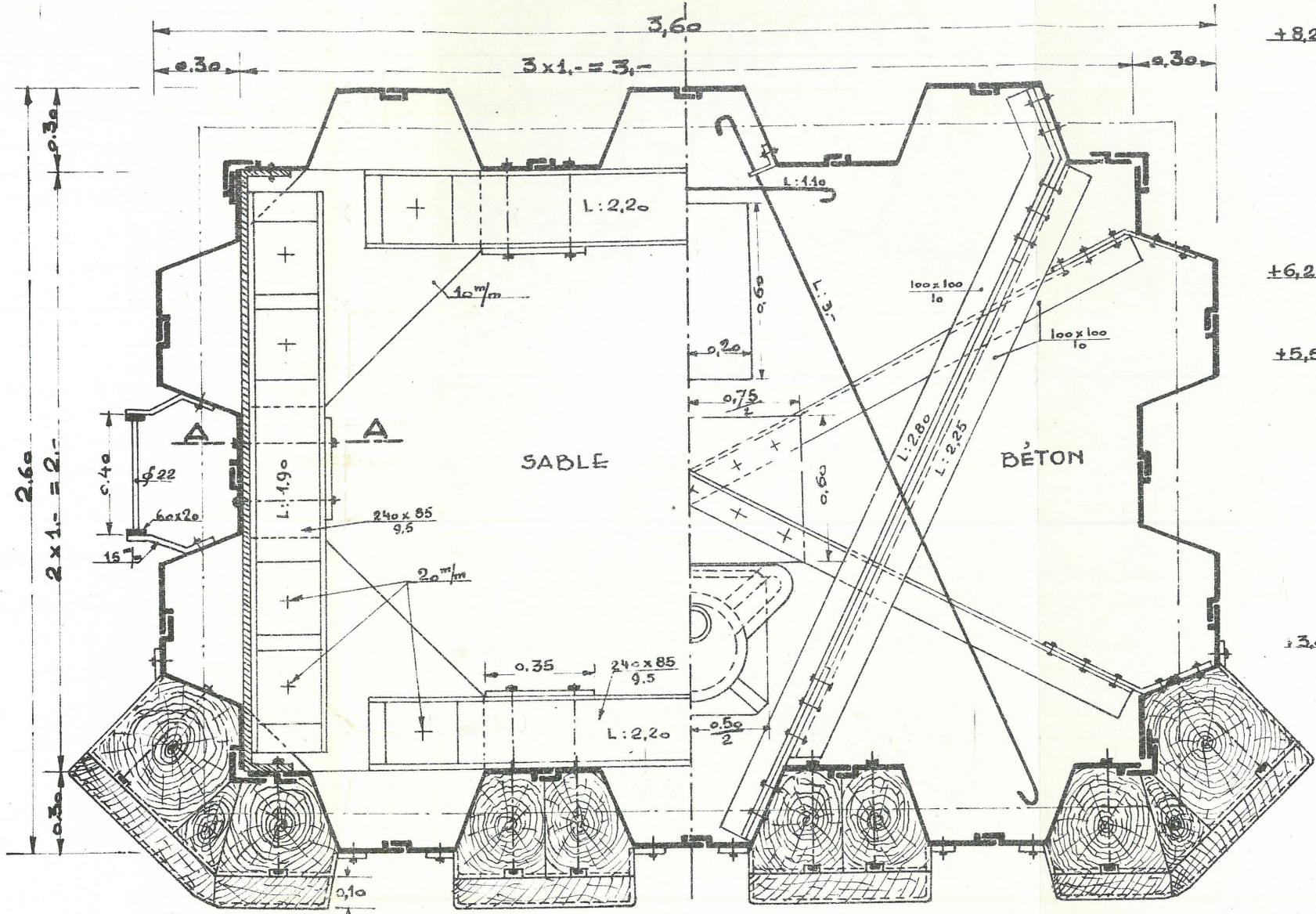


FIG. 2

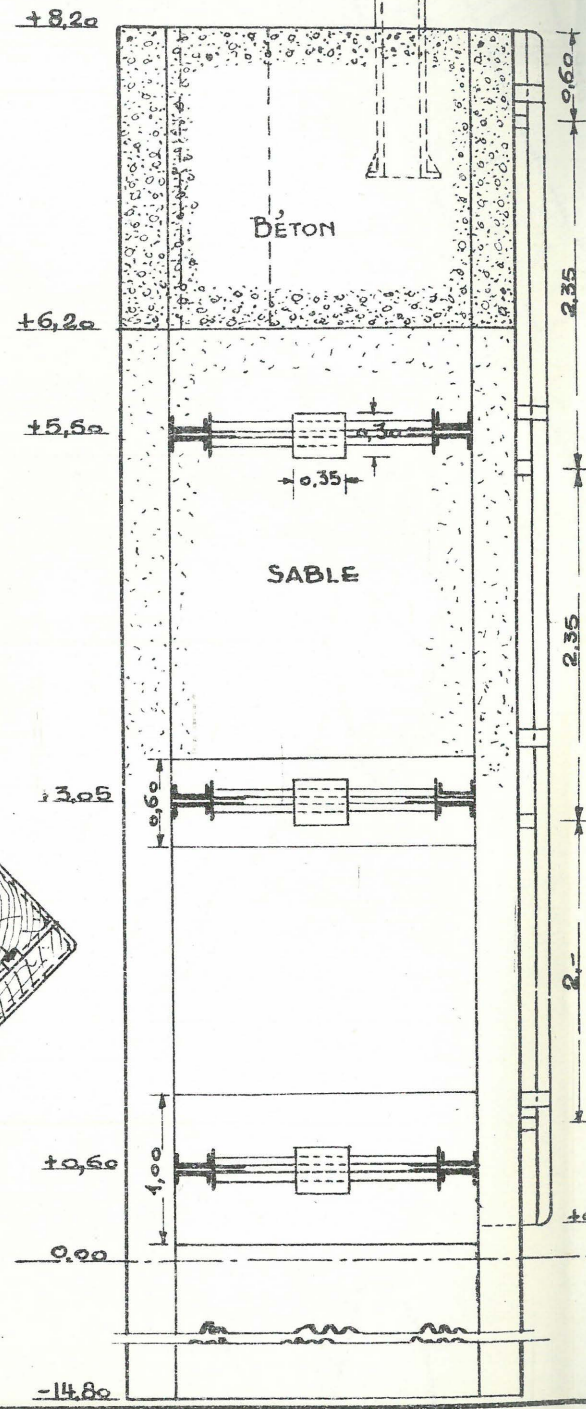


FIG. 2.

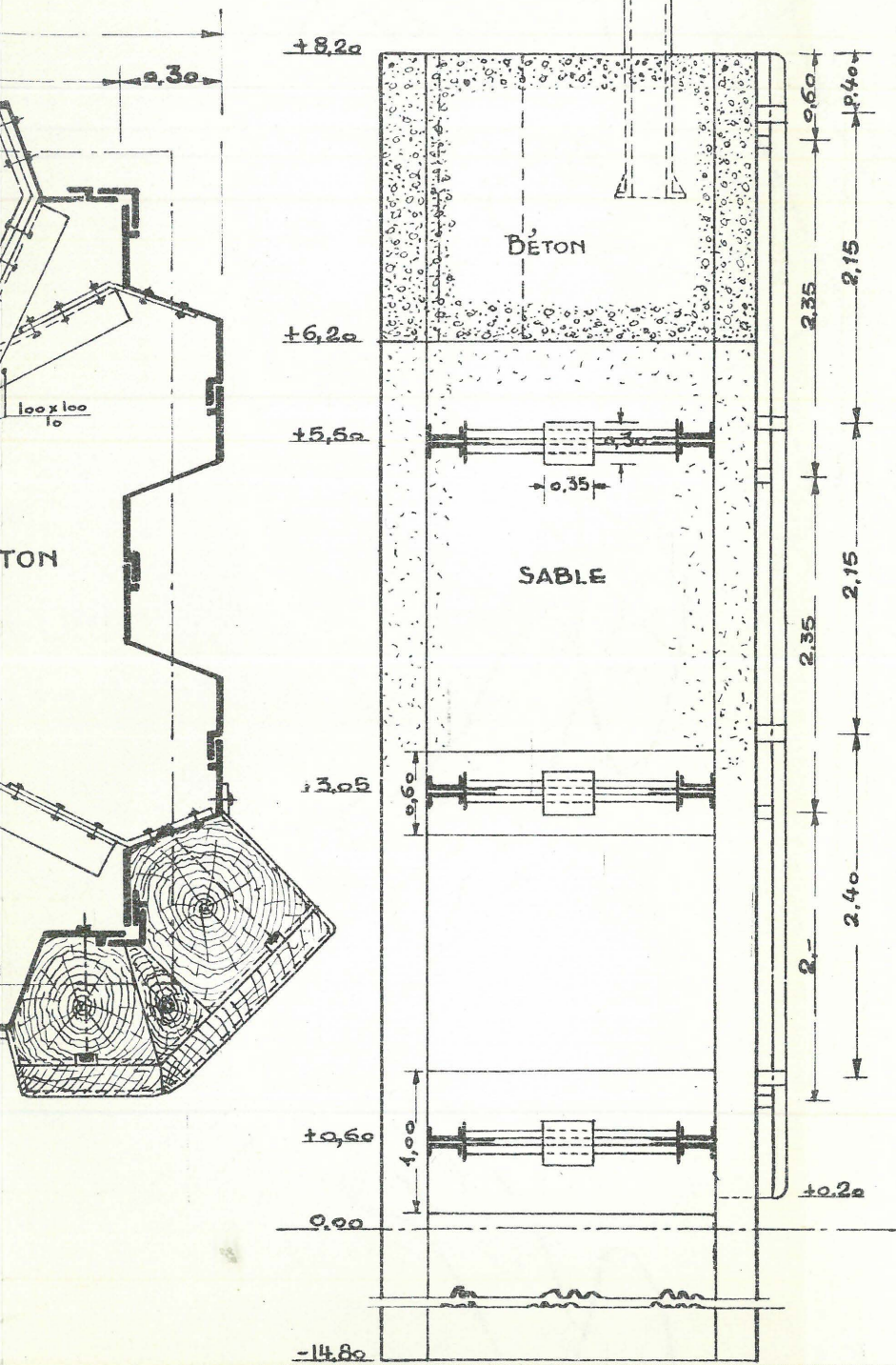


FIG. 3.

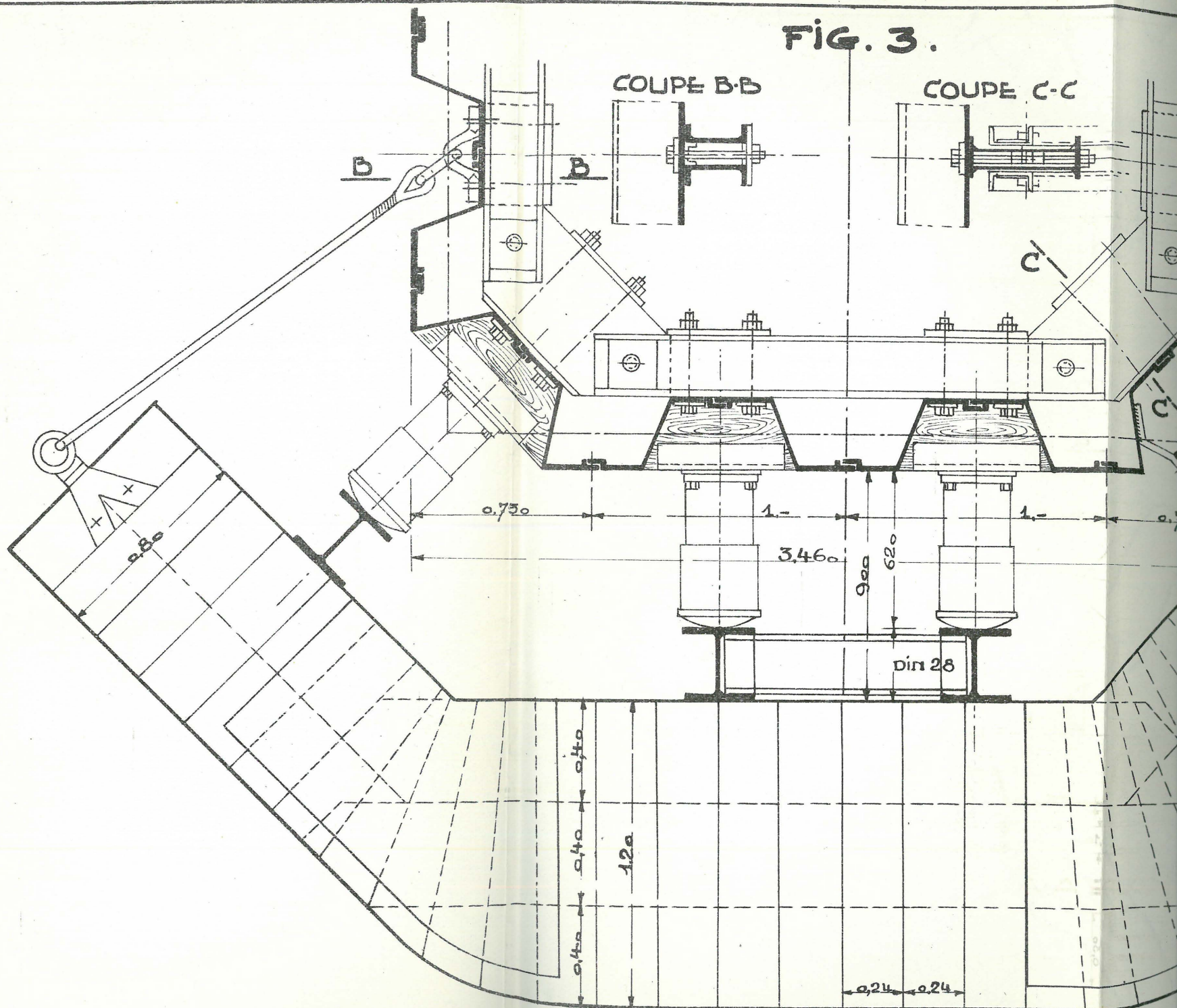


FIG. 3.

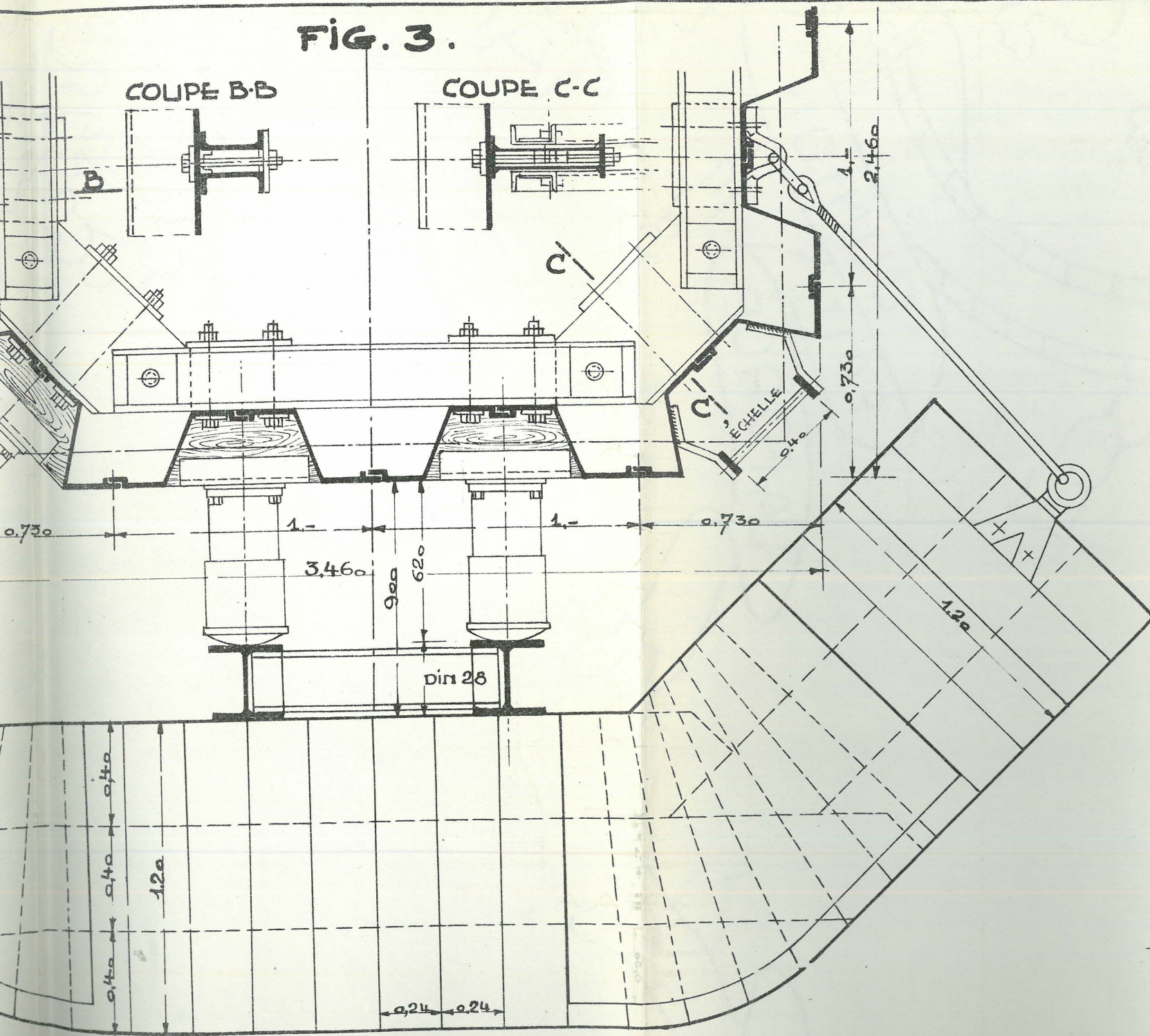
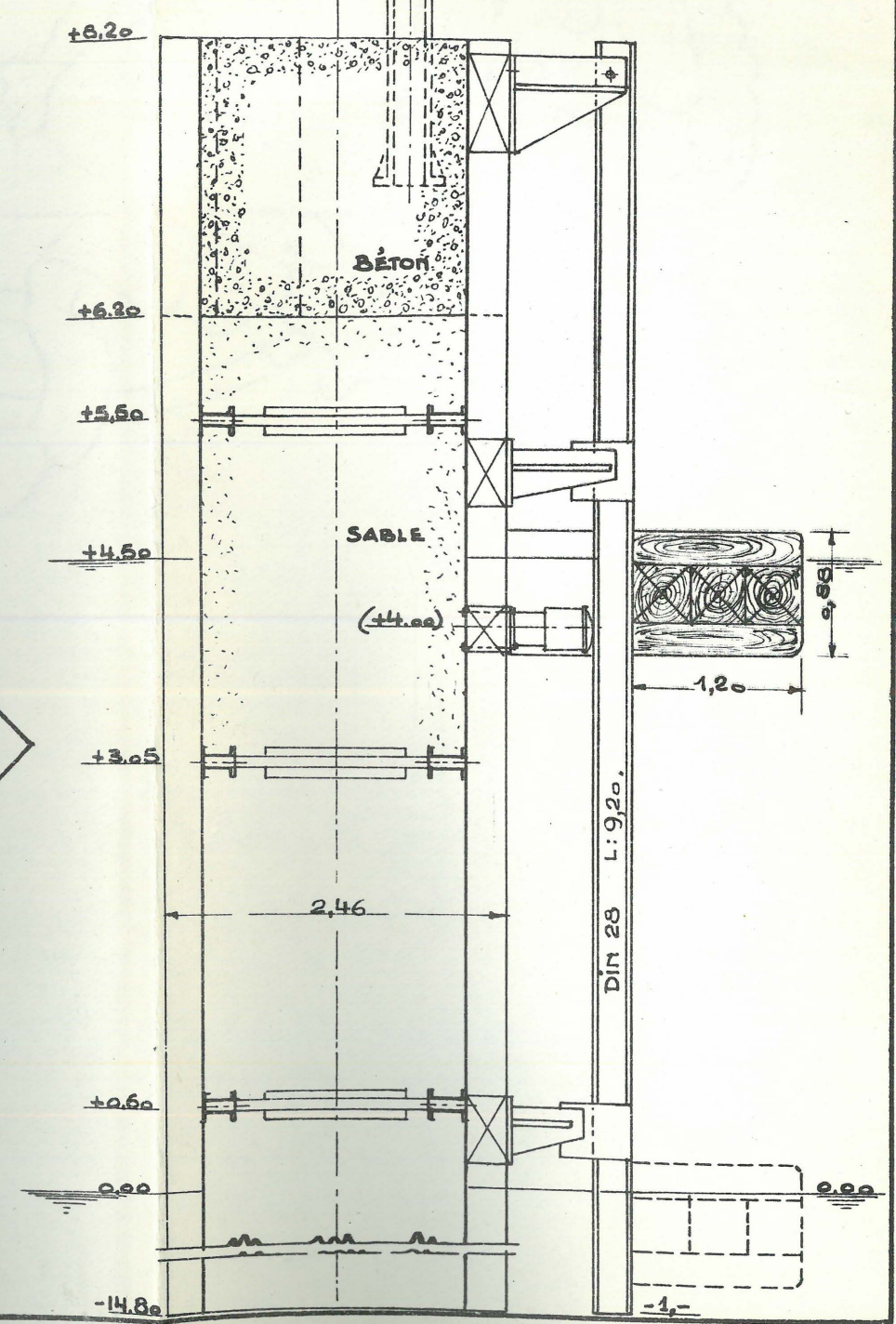


FIG. 4. PLANCHE II



faciliter leur montage, ils sont formés de fers U posés à plat, réunis par boulons aux palplanches et à quatre goussets d'angle.

Dans la partie supérieure du duc d'Albe, sur 2 m de hauteur, les palplanches sont réunies par des diagonales en cornières adossées. Le béton de remplissage est armé par quelques fers ronds (voir fig. 1 de la planche II).

Il porte le bollard et est traversé par un puits vertical permettant, en cas de besoin, de remettre à niveau, par remblai hydraulique, le remplissage inférieur de sable.

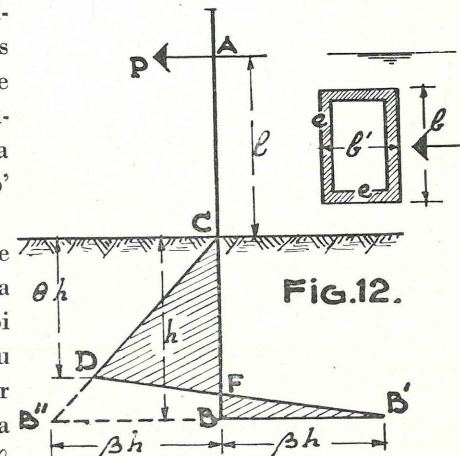
Des dosses d'accostage en Greenheart avec fourrures amovibles en chêne, forment un manteau protecteur sur la face du duc d'Albe tournée vers le chenal. Une échelle d'accès, logée dans un creux de la paroi de palplanches, complète l'ouvrage.

Dans le canal maritime de Bruges-Zeebrugge où le niveau d'eau se maintient sensiblement constant à la cote ($Z + 3,50$ m) et où le niveau du plafond n'atteint que la cote ($Z - 4,50$ m), les palplanches n'ont été fichées qu'à la cote ($Z - 10,50$ m), ce qui a permis de réduire leur longueur de 6,00 m et de la ramener à 17,00 m.

Titre V. — RESISTANCE AUX EFFORTS STATIQUES.

Le duc d'Albe présente (fig. 12) une fiche dans le sol, égale à h et est sollicité par un effort horizontal P_1 à la hauteur l au-dessus du fond. Nous lui supposons une section rectangulaire creuse de longueur b perpendiculairement à la ligne d'action de P_1 et de hauteur b' parallèlement à cette ligne (1).

Nous admettrons, suivant une hypothèse assez usuelle, que la butée du sol varie suivant la loi CDB' , caractérisée par le niveau (θh) du point D sous le sol et par les butées et contrebutées maxima $BB' = BB'' = \beta h$. Le paramètre β



(1) On trouvera au T. VII ci-après (Choix des coefficients à adopter dans les calculs) les corrections à appliquer dans le cas où le duc d'Albe a une section circulaire.

du genre « tonnes par m³ » dépend du poids spécifique du sol, de son angle de frottement interne (éventuellement aussi de sa cohésion) et de l'angle de frottement des terres sur les parois. Son choix est détaillé au Titre VII ci-après.

Lorsque s'amorce le chavirement, les frottements verticaux sur les parois extérieures prennent, à la profondeur h, la valeur ($\beta h \times f$) par unité de surface. Le coefficient f dépend des qualités du sol, comme il est indiqué au T. VII.

La résistance à l'effort statique normal, « de sécurité », s'évalue sans tenir compte des frottements verticaux à l'arrachement. Une équation d'équilibre en translation horizontale donne, en posant :

$$\rho_0 = \frac{6 P_1}{\beta l^3} \quad (1)$$

la position du point D par :

$$\theta = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \rho_0 \times \frac{1}{b} \times \left(\frac{l}{h}\right)^2 \quad (2)$$

Une équation de moment autour du point B conduit à :

$$\rho_0 = 3 \frac{b}{1} \times \frac{h}{1} \times \left[\sqrt{\left[3 + 2\left(\frac{h}{l}\right)\right]^2 + \left(\frac{h}{l}\right)^2} - \left(3 + 2\frac{h}{l}\right) \right]$$

ou approximativement :

$$\rho_0 = \frac{3}{2} \times \frac{b}{1} \times \left(\frac{h}{l}\right)^3 \times \frac{1}{3 + 2\frac{h}{l}} \quad (3)$$

P et l, de même que ρ_0 , sont des données du problème. L'équation (3) donne une première relation entre ces données, la hauteur de fiche h et la largeur b de la surface de contact avec le sol. Une deuxième relation s'obtient en limitant au taux normal R la tension maxima de l'acier à la flexion.

Le moment maximum s'applique en un point situé sous le niveau du sol à une profondeur x telle que :

$$\frac{x}{l} = \sqrt{\rho_0 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{b}}$$

et a pour valeur :

$$M = Pl \times \left(1 + \frac{2}{3} \frac{x}{l}\right) = \left[1 + 0,385 \sqrt{\rho_0 \times \frac{1}{b}}\right] \times Pl$$

ou, avec une approximation souvent suffisante (1) : $M = Pl$.

Le module de flexion d'une section rectangulaire creuse, à parois relativement minces, d'épaisseur e, a pour valeur :

$$\frac{I}{V} = \frac{4}{3} b^2 e \times a \quad (4)$$

à condition de poser :

$$a = \frac{b'}{b} \times \frac{3 + \frac{b'}{b}}{4} \quad (4bis)$$

La formule (4) s'applique encore :

— à la section rectangulaire pleine, à condition de faire :

$$e = \frac{b'}{8} \quad \text{et} \quad a = \frac{b'}{b}$$

— à la section circulaire creuse de diamètre extérieur d, à condition de prendre :

$$b = \frac{\sqrt{3\pi}}{4} d = 0,765 d \quad \text{et} \quad a = 1$$

— à la section circulaire pleine, à condition de faire :

$$b = 0,765 d \quad e = \frac{d}{8} \quad \text{et} \quad a = 1$$

Le taux de travail maximum R à la flexion est égal, sensiblement à

$$R = \frac{3}{4} Pl \times \frac{1}{b^2 l \times a}$$

d'où l'on déduit avec les notations précédentes :

$$\rho_1 = \frac{6 P}{l^2 R} = 8a \frac{e}{1} \times \left(\frac{b}{l}\right)^2 \quad (5)$$

R étant le taux normal, de sécurité, du travail de l'acier.

(1) On notera toutefois que l'erreur commise dans la valeur du moment peut atteindre 10 à 20 % dans certains cas (voir un exemple au T. VII ci-après). Il peut donc être prudent d'adopter pour le moment une valeur approchée $M = 1,14 Pl$, ce qui conduit à remplacer dans l'équation (5) ci-après le coefficient numérique 8 par 7.

Pour une section de forme quelconque de surface F , de rayon de giration r et pour laquelle V représente la distance de la fibre neutre à la fibre la plus éloignée, l'équation ci-dessus prend la forme générale :

$$P = \frac{F}{l^2} \times \left(\frac{r}{V}\right)^2 \times (R \cdot l \cdot V) \quad (5bis)$$

En général l'effort P et la hauteur l sont donnés, l'épaisseur e de la paroi est connue a priori, au moins approximativement, et le taux de travail normal R est imposé. L'équation (5) donne immédiatement le rapport $\frac{b}{l}$ dont la valeur portée dans l'équation (3) permet de calculer

la dernière inconnue $\frac{h}{l}$ du problème.

Il arrive souvent que la valeur ainsi obtenue pour $\frac{h}{l}$ est inacceptable à cause de sa grandeur exagérée, de sorte que les dimensions du duc d'Albe doivent se déterminer par quelques tâtonnements en se donnant a priori une certaine valeur de la fiche h , acceptable en pratique. L'équation (3) donne la valeur correspondante de b . Le taux de travail R résultant de l'application de l'équation (5), doit être inférieur au taux admissible.

Les tâtonnements nécessaires sont facilités par le premier abaque de la planche III ci-jointe. La partie de droite traduit l'équation (3). Elle comporte un réseau de droites convergentes graduées en $\left(\frac{h}{l}\right)$. Les valeurs

de ρ_0 se lisent en abscisses et celles de $\frac{b}{l}$ en ordonnées. La partie de gauche traduit l'équation (5) en adoptant pour le coefficient a la valeur 1 (section carrée creuse). L'axe des ordonnées, gradué en $\left(\frac{b}{l}\right)$ est le même

que pour la partie de droite. Les valeurs de $\left(\frac{h}{l}\right)$ se lisent en abscisses.

Les courbes sont graduées en ρ_1 .

**

Pour vérifier la condition énoncée au T. III exigeant qu'un maximum R' du taux de travail de l'acier par flexion ne soit pas dépassé

AMIQUES

PLANCHE III

NOTATIONS

N = TONNAGE DU NAVIRE

V_0 = VITESSE AMORTISSABLE

E = MODULE D'ÉLASTICITÉ } DU MATÉRIAU

R = TAUX DE TRAVAIL

β = COEFFICIENT DE BUTÉE DES TERRES (TONNES/M³)

1,6

1,5

1,4

1,3

1,2

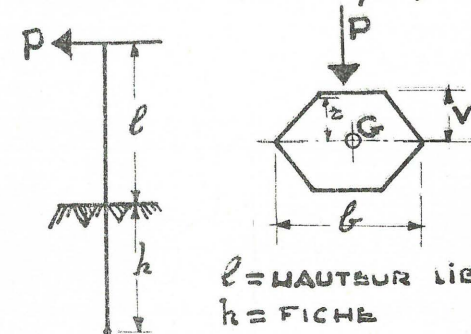
1,1

1,0

0,8

0,6

5



l = HAUTEUR LIBRE
 h = FICHE

SECTION

F = SURFACE

r = RAYON DE GIRATION

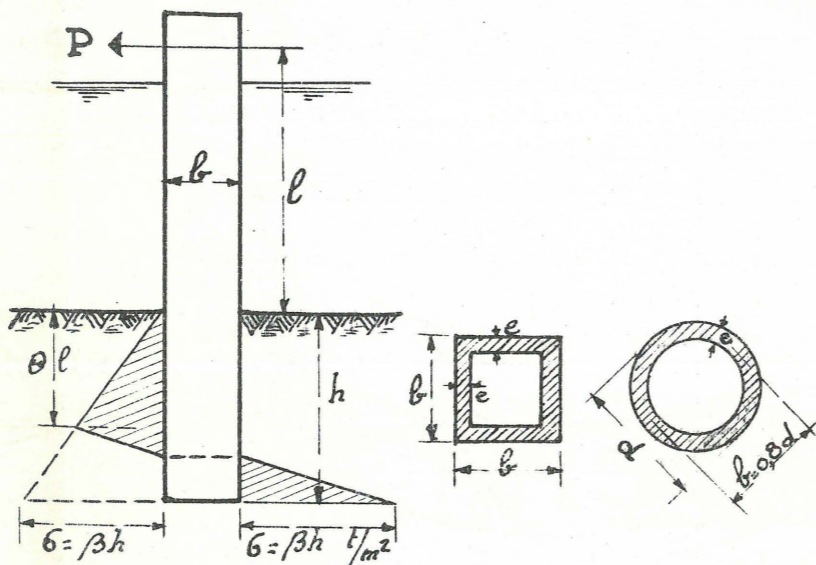
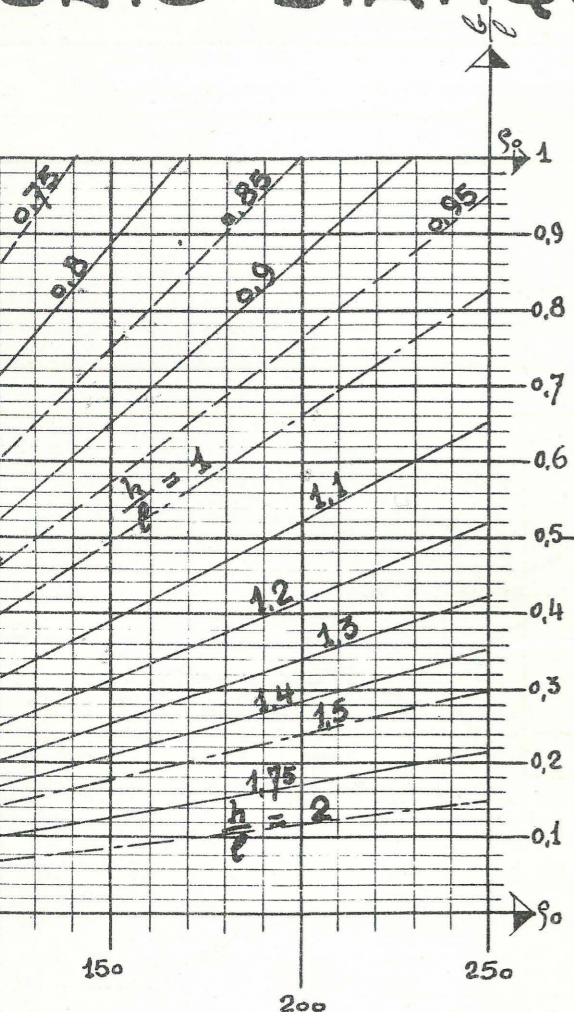
V = DISTANCE DE LA FIBRE NEUTRE À LA FIBRE LA PLUS ÉLOIGNÉE

b = LARGEUR DU PLAN VERTICAL RECEVANT LA BUTÉE DES TERRES.

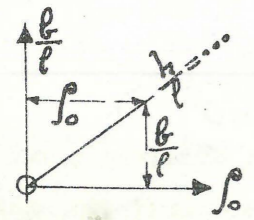
(POUR LE CERCLE: $b = 0,765 \times d$)

Pour le calcul des ducs d'albé

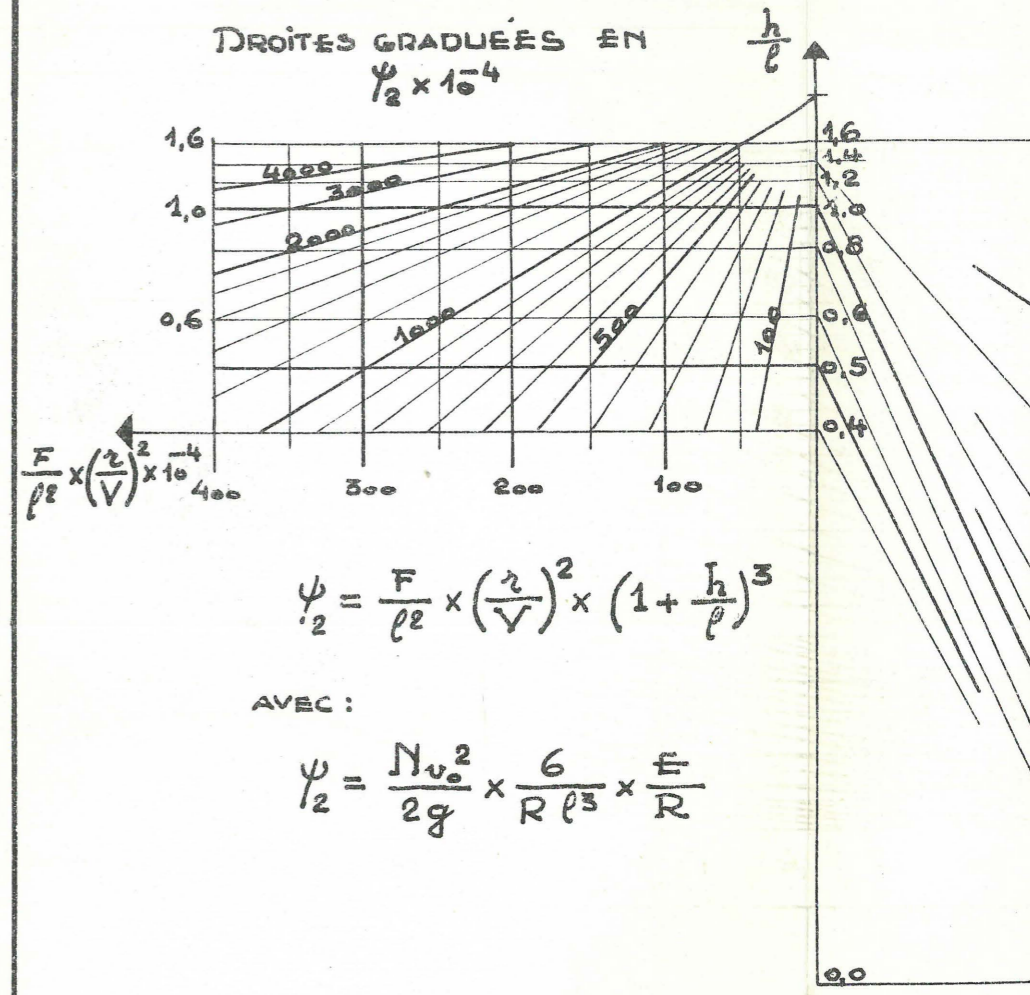
ports statiques.



$R =$ TAUX DE TRAVAIL DU MATÉRIAU (t/m^2)
 $\beta =$ COEFFICIENT DE RÉACTION DU SOL (t/m^3)
 $\beta = \gamma \left(\frac{1}{E} - \epsilon \right)$ AVEC :
 $\gamma =$ POIDS SPÉCIFIQUE DES TERRES IMMERGÉES.
 $\frac{1}{E} =$ COEFFICIENT DE BUTÉE.
 $\epsilon =$ COEFFICIENT DE POUSSÉE.



II - RÉSISTANCE AL



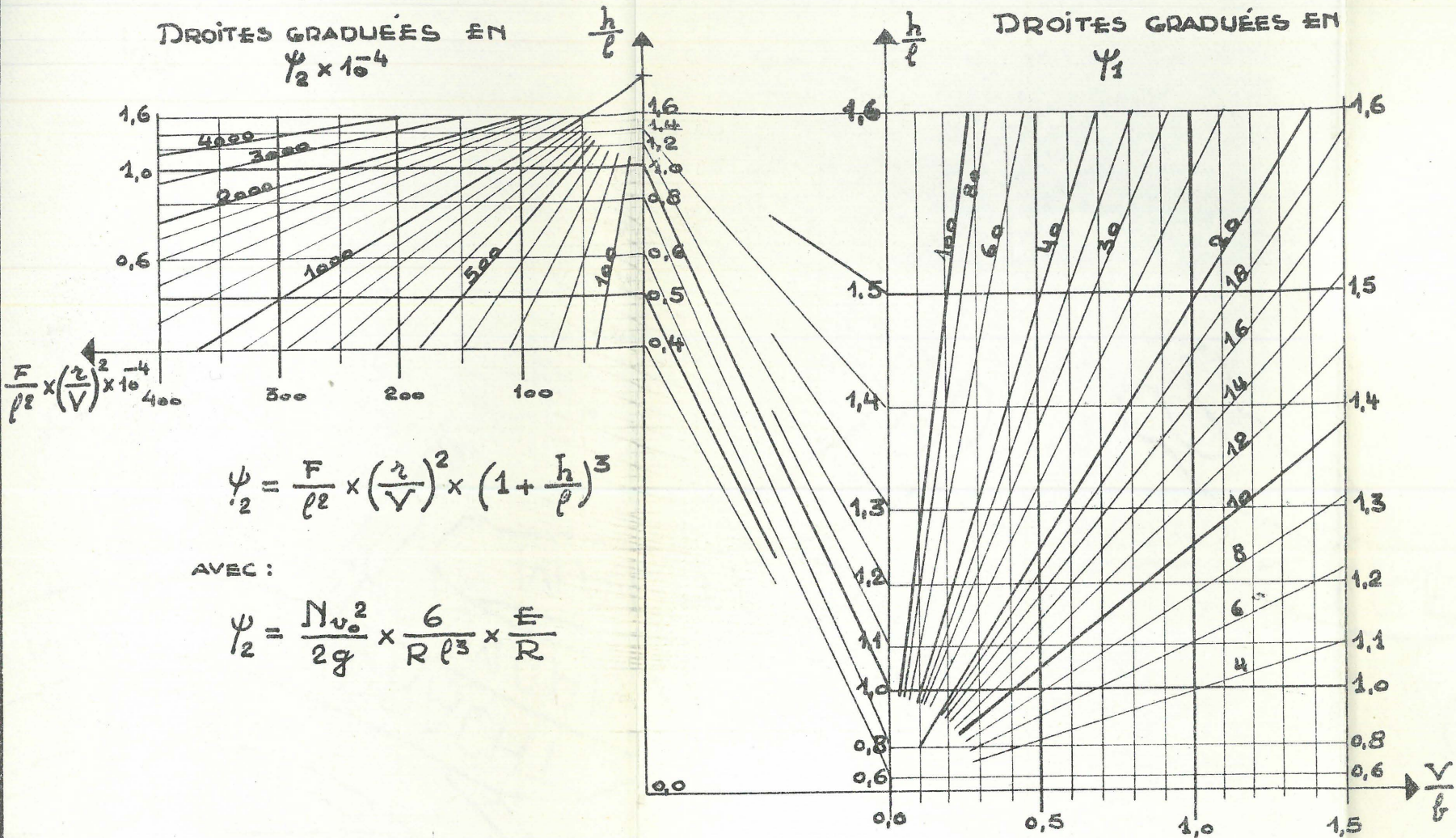
$$\psi_2 = \frac{F}{\rho^2} \times \left(\frac{v}{V} \right)^2 \times \left(1 + \frac{h}{\rho} \right)^3$$

AVEC :

$$\psi_2 = \frac{N v_0^2}{2g} \times \frac{6}{R \rho^3} \times \frac{F}{R}$$

II - RÉSISTANCE AUX ACTIONS DYNAMIQUES

PLANCHE III



$$\psi_2 = \frac{F}{\ell^2} \times \left(\frac{r}{V}\right)^2 \times \left(1 + \frac{h}{\ell}\right)^3$$

AVEC :

$$\psi_2 = \frac{N v_0^2}{2g} \times \frac{6}{R \ell^3} \times \frac{E}{R}$$

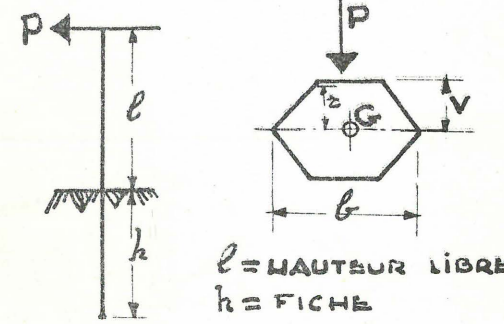
$$\psi_1 \times \frac{V}{b} = \left(\frac{h}{\ell}\right)^3 \times \left(1 + \frac{h}{\ell}\right)^2$$

AVEC :

$$\psi_1 = \frac{N v_0^2}{2g} \times \frac{36}{\beta b^4} \times \frac{E}{R}$$

NOTATIONS

- N = TONNAGE DU NAVIRE
- v₀ = VITESSE AMORTISSABLE
- E = MODULE D'ÉLASTICITÉ } DU MATÉRIAU
- R = TAUX DE TRAVAIL }
- β = COEFFICIENT DE BUTÉE DES TERRES (TONNES/M³)

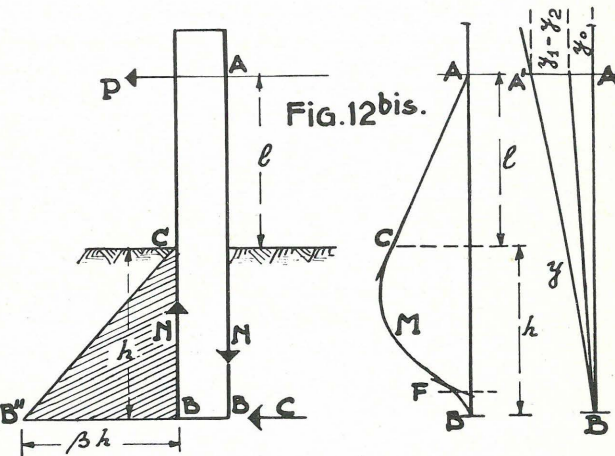


SECTION

- F = SURFACE
- z = RAYON DE GIRATION
- V = DISTANCE DE LA FIBRE NEUTRE À LA FIBRE LA PLUS ÉLOIGNÉE
- b = LARGEUR DU PLAN VERTICAL RECEVANT LA BUTÉE DES TERRES.
- (POUR LE CERCLE: b = 0,765 x d)

lorsque s'amorce le chavirement du duc d'Albe, il est nécessaire d'établir une valeur maxima P_2 de l'effort P correspondant au chavirement. Dans ce but :

1) nous exagérerons la valeur de P en admettant, conformément à l'hypothèse de Blum, que (fig. 12bis) les butées du sol suivent la loi $C B''$ et que les contrebutées soient concentrées en une force isolée horizontale au niveau de B. On trouve :



$$\frac{6 P'_2}{\beta l^3} = \frac{b}{h} \times \left(\frac{h}{l}\right)^3 \times \frac{1}{1 + \frac{h}{l}}$$

2) nous tiendrons compte des frottements verticaux dont le moment correspond à un accroissement P''_2 de l'effort, égal à :

$$P''_2 = \frac{\beta l^3}{2} \times f \times \frac{b}{h} \times \frac{b'}{l} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{l}\right)} \times \left(\frac{h}{l}\right)^2$$

ce qui donne finalement à l'effort cherché $P_2 = P'_2 + P''_2$ une valeur définie par :

$$P_2 = \frac{6 P_2}{\beta l^3} = \frac{b}{h} \times \left(\frac{h}{l}\right)^3 \times \left(\frac{1 + 3f \frac{b'}{h}}{1 + \frac{h}{l}}\right) \quad (6)$$

L'effort P_2 doit être inférieur à celui qui provoquerait un taux de travail limité R' admissible pour une sollicitation exceptionnelle de l'acier. Par application de l'équation (5), cette condition se traduit par :

$$\frac{\beta l}{R'} \leq 8a \frac{e}{1} \times \frac{b}{1} \times \frac{1 + \frac{h}{1}}{\left(\frac{h}{1}\right)^3 + (1 + 3f \frac{b'}{h})} \quad (7)$$

ou, pour une section de forme quelconque (équation 5bis) :

$$\frac{F}{l^2} \times \frac{r}{v} \times \frac{r}{b} \geq \frac{\beta l}{6R'} \times \left(\frac{h}{1}\right)^3 \frac{1 + 3f \frac{b'}{h}}{1 + \frac{h}{1}} \quad (7bis)$$

Titre VI. — RESISTANCE AUX ACTIONS DYNAMIQUES.

Son évaluation exige le calcul de la flèche produite par la force P appliquée à la hauteur l au-dessus du fond. (Fig. 12 ci-dessus.)

Au point F, où la butée et la contre-butée des terres s'équilibrent, le duc d'Albe ne subit pas de déformation linéaire, mais la section F subit une déformation angulaire résultant de la compression du sol sur la hauteur F B, correspondant aux contrebutées F B' B.

La hauteur F B est égale à $(h \times \frac{1 - \theta}{1 + \theta})$. Si on appelle k le coefficient de raideur du sol, la pression (βh) en B produit un déplacement horizontal $(\frac{\beta h}{k})$ et une rotation α de la section F égale à $(\frac{\beta h}{k} \times \frac{1}{FB})$.

Cette rotation provoque une première déformation horizontale y_0 en A, point d'application de P, égale à

$$y_0 = \alpha (1 + h) = l \frac{\beta}{k} \times (1 + \frac{h}{1}) \times (\frac{1 + \theta}{1 - \theta})$$

La valeur de θ est donnée par l'équation (2) du T. V qui, en remplaçant ρ_0 par sa valeur déduite de l'équation (3), se met sous la forme:

$$\theta = \frac{1}{2} \pm n \text{ avec } n = \frac{\frac{h}{1}}{4 (3 + 2 \frac{h}{1})}$$

On en déduit, en négligeant la valeur, très petite, de n^2

$$y_0 = l \times \frac{\beta}{k} \times \frac{(1 + \frac{h}{1}) (9 + 8 \frac{h}{1})}{(3 + 2 \frac{h}{1})} \quad (8)$$

Pour simplifier le calcul de la déformation produite en A par la flexion du mât, de F en A, nous adopterons l'hypothèse de Blum (fig. 12bis), c'est-à-dire que nous déterminerons pour la pièce AB encadrée en B et libre en A :

— la flèche y_1 , due à une force isolée P_2 définie par l'équation (6) et correspondant au chavirement du duc d'Albe par refoulement des terres ;

— la contre flèche y_2 due aux butées CB''B appliquées sur la partie inférieure BC du duc d'Albe.

Le moment d'inertie I se déduit des valeurs du module de flexion données au T. V sous la forme :

$$I = \frac{2}{3} b^3 e a' \text{ avec } a' = a \times \frac{b'}{b} \quad (9)$$

On trouve :

$$y_1 = \frac{P_2 (1 + h)^3}{3 EI} = l \times \frac{1}{12 a'} \times \frac{\beta l}{E} \times \frac{\left(\frac{h}{1}\right)^3 \times \left(1 + \frac{h}{1}\right)^2}{\left(\frac{b}{1}\right)^2 \times \left(\frac{e}{b}\right)} \times (1 + 3f \times \frac{h'}{b}) \quad (10)$$

et

$$y_2 = (b\beta h) \times \left[\frac{h^4}{30 EI} + \frac{h^3 l}{24 EI} \right] \text{ ou :}$$

$$y_2 = l \frac{1}{12 a'} \times \frac{\beta l}{E} \times \frac{\left(\frac{h}{1}\right)^3}{\left(\frac{b}{1}\right)^2 \times \left(\frac{e}{1}\right)} \times \frac{3 h}{20 l} (5 + 4 \frac{h}{1}) \quad (11)$$

Le déplacement horizontal total du point A (1) est donné par :

$$z = y_0 + y_1 - y_2$$

La force vive $\frac{Nv_0^2}{2g}$ du navire abordeur doit être égalée au travail

élastique de déformation $\frac{Pz}{2}$. Si on adopte pour P la valeur P_2 donnée par l'équation (6) et pour β le taux correspondant au refoulement du sol, le travail $\frac{P \times z}{2}$ représente l'énergie totale absorbable jusqu'au chavirement du duc d'Albe. Les dimensions de celui-ci ayant été déterminées de manière à satisfaire à l'inégalité (7), le taux de travail de l'acier au moment du chavirement reste inférieur à sa limite d'élasticité.

Titre VII.

CHOIX DES COEFFICIENTS A ADOPTER DANS LES CALCULS.

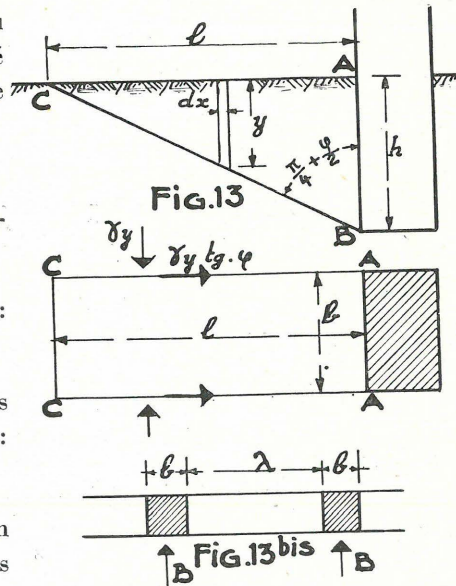
Dans les calculs numériques du T. VIII ci-après nous avons adopté comme caractéristiques du sol de fondation (sable de résistance normale, saturé d'eau) :

Poids spécifique des terres immergées : $\gamma = 1$ tonne/m³.

Angle de frottement interne : $\gamma = 30^\circ$.

Angle de frottement des terres sur les palplanches métalliques : $\gamma' = 15^\circ$.

Pour $\varphi = 30^\circ$ et $\varphi' = 15^\circ$, on trouve comme valeur de la butée des



(1) Les formules (9), (10) et (11), qui définissent les trois termes de y, s'appliquent à une section de forme quelconque à condition de poser :

$$a' \times \frac{e}{l} = \frac{3}{2} \frac{F}{l^2} \times \frac{r}{b} \times \frac{r}{l} \left(\frac{l}{b} \right)^2$$

terres à la profondeur h : $\beta h = 4,50 h$ t/m² ou $\beta = 4,5$ t/m³ dans le cas d'une paroi de longueur infinie (1).

Le duc d'Albe est isolé dans le sol et les terres qu'il refoule sur sa largeur b (fig. 13) tendent à entraîner les terres voisines dans leur déplacement. Sur les deux plans verticaux A B C qui prolongent les faces latérales du duc d'Albe, les terres pressées par celles qui remontent le talus AC, doivent se trouver dans un état d'équilibre intermédiaire entre la poussée et la butée. Nous admettrons qu'elles se trouvent à l'état « hydrostatique », c'est-à-dire que la pression horizontale en tous points du plan vertical A B C est égale à la pression verticale que subit une facette horizontale placée au même niveau, soit (γy) à la profondeur y sous la surface libre.

A ces pressions correspondent des forces de frottement ($\gamma y \text{ tg } \varphi$) dont la résultante pour les deux plans A B C est égale à

$$\frac{1}{3} \gamma l h^2 \text{ tg } \varphi.$$

La butée théorique sur la face AB, égale à $\left(\frac{1}{2} b^2 h \times \beta \right)$ subit

donc une augmentation relative égale à $\frac{2}{3} \frac{\gamma}{\beta} \times \frac{l}{b} \text{ tg } \varphi$ ou, en remarquant que :

$$l = h \text{ tg } \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \text{ et } \beta = \gamma \text{ tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

égale à :

$$\frac{2}{3} \times \frac{h}{b} \text{ tg } \varphi \times \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Pour $\varphi = 30^\circ$ l'augmentation relative de la butée est ainsi égale à $\frac{2}{9} \frac{h}{b}$ et, dans le cas du duc d'Albe de Zeebrugge, avec $h = 8,20$ m et $b = 3,46$ m, elle atteint 47 % (2).

(1) Les tables de Krey et autres, basées sur l'hypothèse de Coulomb des surfaces planes de glissement, donnent des valeurs exagérées de la butée dans le cas d'un angle φ' différent de zéro.

La valeur ci-dessus, de 4,5 t/m², pour la composante horizontale de la butée est déduite de l'abaque que présente Krey, basée sur l'hypothèse des surfaces de glissement en arcs de cercle.

(2) Pour nous rendre compte de l'exactitude probable de ce résultat, considérons (fig. 13bis) une rangée de pieux de largeur b séparés par des espaces libres de largeur lambda. Soit B la butée théorique sur un pieu. L'augmentation calculée ci-dessus,

Les pressions qui s'opposent au déplacement du duc d'Albe dans le sol sont, en réalité, égales à la différence entre la butée sur la face aval et la poussée sur la face amont soit, théoriquement, égales à $ch \times (4,5 - 0,3) \text{ t/m}^2$. Le β à introduire dans les présents calculs doit donc, finalement, être pris égal à :

$$\beta = (4,5 - 0,3) \times 1,47 \text{ ou sensiblement } 6 \text{ t/m}^3.$$

Ce taux correspond à la rupture d'équilibre du sol par refoulement (1) et sera donc utilisé pour le calcul de la résistance du duc d'Albe au chavirement. Pour l'étude de la résistance aux efforts statiques qui peuvent s'appliquer normalement à l'ouvrage, nous adopterons un coefficient de sécurité de 1,5, soit $\beta = 4 \text{ t/m}^3$.

**

Sur la paroi amont du duc l'Albe, soumise à la poussée des terres, les composantes verticales de ces poussées sont relativement faibles et nous avons négligé leurs effets dans les calculs de la résistance statique. Au moment du chavirement, cette paroi, en s'arrachant du sol, modifie l'état d'équilibre des terres. Les frottements verticaux, à la profondeur h , peuvent s'élever, d'après Dörr, à $(\gamma h \text{ tg } \varphi)$ soit, ici, à $(h \times 0,58) \text{ t/m}^2$. Cette pression a été introduite dans les calculs sous la forme $(f \beta h)$, ce qui, avec $\beta = 6 \text{ t/m}^3$ donne au coefficient f des équations (6) et (10) la valeur 0,10.

**

Pour le coefficient de raideur k du sol, nous avons adopté une valeur, relativement faible, $k = 5 \text{ kg/cm}^3$, eu égard aux fortes pressions qui se développent à la base du duc d'Albe, quand on approche de la rupture d'équilibre du sol.

soit $(B \times \frac{2}{9} \frac{h}{b})$ sera égale à la butée $(B \times \frac{\lambda}{b})$, qui agirait sur le plan vertical réunissant deux pieux, si $\lambda = \frac{2}{9} h$.

Cela signifierait, p. ex. qu'une rangée de pieux de 4 m de fiche, séparés par des intervalles de 0,88 m et réunis par un chapeau, supporterait dans son ensemble la même butée que si elle était formée de pieux jointifs. De même les boucliers d'ancrage de palplanches enterrés à 3 m de profondeur et séparés par des intervalles de 0,66 m, présenteraient la même résistance qu'un muret continu. Cela semble très admissible.

(1) On se fera une idée de l'importance des pressions mises en jeu en remarquant que, pour une fiche de 8 m, la butée horizontale atteint $6 \times 8 = 48 \text{ t/m}^2$. Cette même pression se développerait au pourtour d'une fondation chargée verticalement de 3×48 ou, environ 150 t/m^2 , ou 15 kg/cm^2 .

L'ordre de grandeur du taux de butée β semble bien en rapport avec les conditions d'une rupture d'équilibre par refoulement d'un sous-sol sableux.

Les calculs ci-dessus ont été conduits pour un duc d'Albe, à section rectangulaire; les butées et poussées s'exerçant sur des surfaces verticales planes, de largeur b . Il est intéressant d'établir la valeur des poussées et butées sur un cylindre de section circulaire, au diamètre d , cette section pouvant être envisagée pour la construction de ducs d'Albe en palplanches métalliques.

Les butées q agissant dans le sol à un certain niveau (fig. 14) donnent sur un élément $rd\alpha$ une pression normale $(q \times r d\alpha \cos^2 \alpha)$. Les composantes de ces pressions normales, parallèles à la direction du refoulement ont une résultante égale à :

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} q \times r \cos^3 \alpha \, d\alpha = q \times \frac{2}{3} d$$

Aux pressions normales s'ajoutent des forces de frottement de grandeur $q r d\alpha \times \cos^2 \alpha \text{ tg } \varphi'$, dont les composantes dans la direction du refoulement ont pour résultante :

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} q r \text{ tg } \varphi' \times \sin \alpha \cos^2 \alpha \, d\alpha = q \times \frac{d}{3} \text{ tg } \varphi'$$

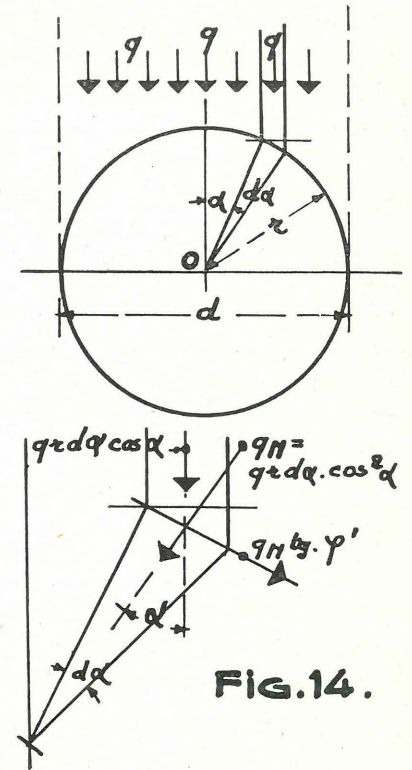
La butée totale sur le demi-cercle est donc égale à :

$$d \times q \times \frac{2}{3} \left(1 + \frac{\text{tg } \varphi'}{2} \right) \text{ ou avec } \varphi' = 15^\circ \dots q = 0,76 d$$

On a vu au T. V ci-dessus que, pour le calcul des moments d'inertie et des modules de flexion, la section circulaire pouvait être assimilée à une section carrée de côté égal à $(0,765 d)$. La même assimilation est donc valable pour le calcul des butées et des poussées.

Titre VIII. — DETAILS DU PROJET D'UN DUC D'ALBE.

L'application des considérations ci-dessus aux ducs d'Albe de l'avant-port de Zeebrugge s'est présentée comme suit.



L'effort statique P de 30 tonnes s'applique à la cote (+ 4,50) soit à l = 11 mètres au-dessus du fond du chenal. Le sol est formé de sable résistant, sous la cote (-8) surmonté d'une couche de vase de 1,50 m environ d'épaisseur. Cette vase, qui n'est jamais remuée par les dragages, est relativement compacte et sa cohésion lui permet certainement de développer les faibles butées qui doivent régner dans le sol entre les cotes (- 6,50) et (- 8,00). On peut donc limiter la longueur émergente l à 11 m et compter la fiche h à partir du niveau du fond du chenal.

Si le duc d'Albe est formé d'une simple rangée de palplanches Belval IV (imposées par les conditions de battage) on peut, pour les premiers tâtonnements, assimiler la section de l'ouvrage à un carré, un rectangle ou un cercle creux dont la paroi a une épaisseur égale à 14 mm, d'où :

$$\frac{e}{l} = \frac{1,4}{11 \times 10^2} = 1,28 \times 10^{-3}$$

En adoptant pour l'acier un taux normal de travail R = 1.600 kg/cm², le rapport ρ₁ de l'équation (5) prend la valeur :

$$\rho_1 = \frac{6 P}{l^2 R} = \frac{6 \times 30}{11^2 \times (1,6 \times 10^4)} = 0,93 \times 10^{-4}$$

Avec $\frac{e}{l} = 1,28 \times 10^{-3}$ la moitié de gauche de l'abaque-planche III

[ou l'équation (5)] donne $\frac{b}{l} = 0,12$.

D'autre part, en prenant pour β le taux de sécurité $\frac{6}{1,5} = 4 \text{ t/m}^3$ on a (équation 3) :

$$\rho_0 = \frac{6 P}{\beta l^3} = \frac{6 \times 30}{4 \times 11^3} = 34 \times 10^{-3}$$

Cette valeur, combinée avec $\frac{b}{l} = 0,12$, donne par l'abaque ou par

l'équation (3) la fiche relative : $\frac{h}{l} = 1$.

Pour réaliser simultanément les conditions de sécurité au refoulement des terres et au taux de travail de l'acier, on devrait donc adopter une fiche de 11 m et une section carrée de 1,32 m de côté. La fiche est, pratiquement, trop forte et nous reprendrons les calculs en partant d'une

fiche réduite à 8 m, donnant $\frac{h}{l} = \frac{8}{11} = 0,73$.

La moitié de droite de l'abaque (équation 3) donne alors $\frac{b}{l} = 0,27$, ce qui correspond à une section carrée de 3 m de côté ou à une section circulaire de $\frac{3}{0,765} = 3,90$ m de diamètre.

Avec ces dimensions, la sécurité est normale en ce qui concerne le danger du refoulement des terres tandis que la valeur de ρ₁ est largement supérieure à la limite calculée ci-dessus, et le taux de travail de l'acier fort réduit.

On peut donc, sans danger, remplacer la section carrée ou circulaire par une section rectangulaire de 3 m de largeur et dont la hauteur b' soit plus petite que b. L'étude des agencements possibles des palplanches Belval IV nous a conduit aux sections indiquées aux fig. 3 et 1 de la planche II, soit hors tout, respectivement 3,46 m × 2,46 m et 3,60 m × 2,60 m.

**

Les conditions définitives de travail du duc d'Albe se déterminent facilement (1). Ainsi pour le duc d'Albe de la fig. 3, planche II.

On a $\frac{h}{l} = 0,73$ et $\frac{b}{l} = 0,314$. L'équation (3), ou l'abaque, donne ρ₀ = 0,041 d'où, en sécurité normale, pour l'effort statique applicable à la cote (4,50) :

$$0,041 \times \frac{6l^3}{6} = 0,041 \times \frac{6}{1,5} \times \frac{11^3}{6} = 36,5 \text{ tonnes.}$$

(1) Certaines cotes adoptées pour les calculs du projet ont subi de légères modifications en cours d'exécution. La fiche par exemple a été portée de 8,00 m à 8,30 m. Le profil réalisé est celui de la fig. 1 (planche II).

Pour l'effort applicable à la cote (8,00) on a : $l = 14,50$ m ;
 $\frac{h}{l} = 0,55$; $\frac{b}{l} = 0,24$; d'où l'on déduit $\rho_0 = 0,015$ et $P = 0,015$
 $\times \frac{6}{1,5} \times \frac{14,50^3}{6} = 30,50$ tonnes.

L'effort P_2 qui, appliqué à la cote (4,50) provoque le chavirement, a pour valeur d'après l'équation (6bis) :

$$P_2 = \frac{6 \times 11^3}{6} \times 0,314 \times \frac{0,75^3}{1,73} \times \left(1 + \frac{3}{10} \times \frac{2,46}{8}\right) = 102 \text{ tonnes}$$

Le moment d'inertie du profil du duc d'Albe autour d'un axe parallèle au chenal est égal à $1.440 \times 10^4 \text{ cm}^4$, le module de flexion vaut $1,18 \times 10^5 \text{ cent}^3$. Le carré creux de 3,46 m de coté aurait pour moment d'inertie $\frac{2}{3} \times 3,46 \times 1,4 = 3.900 \times 10^4 \text{ cent}^4$ et pour module

de flexion $\frac{4}{3} \times 3,46 \times 1,4 = 2,23 \times 10^4 \text{ cent}^3$. Les coefficients a et a'

définis par les équations (4) et (9) ont donc pour valeur :

$$a = \frac{1,18}{2,23} = 0,53 \text{ et } a' = \frac{1.440}{3.900} = 0,37$$

Le rapport ρ_1 défini par l'équation (5) a pour valeur :

$$\rho_1 = \frac{6P}{l^2 R} = 8 \times 0,53 \times (1,28 \times 10^{-3}) \times (0,314^2) = 0,536 \times 10^{-3}$$

ce qui donne pour le taux de travail de l'acier au moment du chavirement :

$$R = \frac{6 \times 102 \times 10^3}{1.100^2 \times 536 \times 10^{-3}} = 950 \text{ kg/cm}^2$$

(valeur encore égale à $\frac{102 \times 11}{1,18}$)

Suivant les indications du T V, le moment adopté ($P \times l$) doit être majoré de $0,385 \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \times \frac{1}{b}}$ ou, comme

$$\rho_0 = \frac{6 \times 102}{6 \times 11^3} = 0,08 \text{ de } 0,385 \sqrt{\frac{0,08}{0,314}} = 1,194$$

Le taux réel de travail de l'acier est donc de :

$$1,194 \times 950 = 1.140 \text{ kg/cm}^2$$

Les diverses conditions imposées au point de vue des efforts statiques sont satisfaites.

**

La résistance aux actions dynamiques s'établira par le calcul de la déformation z (équation 9, 10, 11 et 12) due à la force de 102 tonnes qui, appliquée à la cote (4,50) provoque le chavirement. On trouve :

$$1 \times \frac{\beta l}{E} = 11 \times \frac{6 \times 11}{2.100 \times 10^4} \times 10^3 = 0,0345 \text{ mm.}$$

$$\frac{E}{kl} = \frac{2.100}{(5 \times 10^3) \times (11 \times 10^2)} = 380.$$

$$\frac{\left(1 + \frac{h}{l}\right) \left(9 + 8 \frac{h}{l}\right)}{\left(3 + 2 \frac{h}{l}\right)} = \frac{1,73 \times (9 + 8 \times 0,73)}{3 + 2 \times 0,73} = 5,75$$

d'où, pour le déplacement dû à la compressibilité du sol au pied du duc d'Albe :

$$y_0 = 0,0345 \times 380 \times 5,75 = 75 \text{ mm}$$

On a encore :

$$\frac{1}{12a'} \times \frac{\left(\frac{h}{l}\right)^3}{\left(\frac{b}{l}\right)^2 \times \frac{e}{l}} = \frac{1}{12 \times 0,37} \times \frac{0,73^3}{0,314^2 \times 1,28 \times 10^3} = 695.$$

$$\left(1 + \frac{h}{1}\right)^2 \times \left(1 + 3 f \frac{b'}{h}\right) = (1 + 0,73)^2 \times \left(1 + \frac{3}{10} \times \frac{2,46}{8}\right) = 3,33$$

d'où pour la flèche due à l'action de flexion de la force P de 102 tonnes :

$$y_1 = 0,0345 \times 695 \times 3,33 = 80 \text{ mm.}$$

Enfin

$$\frac{3}{20} \frac{h}{1} \times \left(5 + 4 \frac{h}{1}\right) = \frac{3}{20} \times 0,73 (5 + 4 \times 0,73) = 0,865.$$

d'où pour la contre-flèche due aux butées du sol :

$$y_2 = 0,0345 \times 695 \times 0,865 = 20 \text{ mm}$$

et, pour le déplacement horizontal total du point d'application de la force P de 102 tonnes :

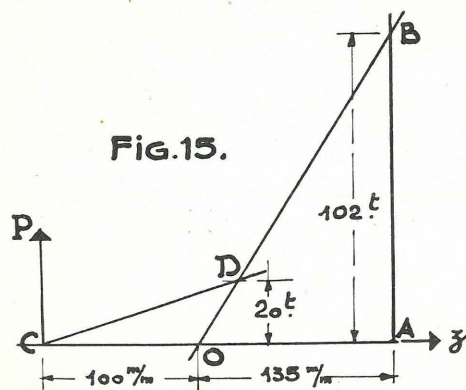
$$Z = y_0 + y_1 - y_2 = 75 + 80 - 20 = 135 \text{ mm.}$$

Le travail de déformation du duc d'Albe est égal à :

$$W = \frac{102 \times (135 \times 10^{-3})}{2} = 6,9 \text{ Tonnes-mètres,}$$

ce qui permet d'amortir le choc normal d'un navire de 5.000 t animé d'une vitesse v_n donnée par :

$$v_n = \sqrt{\frac{2gw}{N}} = \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 6,9}{5.000}} = 0,165 \text{ mètre par seconde.}$$



Le diagramme de la figure 15 donne en O B la loi de variation de l'effort appliqué au duc d'Albe en fonction du déplacement horizontal à la cote (4,50).

Si, comme il est détaillé au Titre IX ci-après, on munit le duc d'Albe d'un flotteur transmettant les chocs des navires par l'intermédiaire de deux tampons à ressort se comprimant chacun de 10 centimètres sous un effort de 10 t, on augmente l'énergie absorbable de

$2 \times \left(\frac{1}{2} \times 10^t \times 0,10\right) = 1 \text{ t.m.}$, ce qui porte ce travail à $6,9 + 1 = 7,9 \text{ t.m.}$ et la vitesse amortissable à :

$$0,165 \times \sqrt{\frac{7,9}{6,9}} = 0,18 \text{ m/sec.}$$

Le diagramme de variation de la force P en fonction de son déplacement devient C D B au lieu de O B. Sur un parcours de 113 mm environ, la force appliquée au freinage, du navire abordeur n'augmente que de 20 tonnes. Elle croît ensuite de 82 tonnes sur les derniers 122 mm du parcours (1).

**

La construction d'un duc d'Albe en palplanches métalliques donne encore lieu aux remarques ci-après, relatives, les unes aux glissements relatifs des éléments que tend à produire l'effort tranchant, les autres aux effets du remplissage en sable.

Nous avons implicitement admis que les sections du duc d'Albe restaient planes pendant la flexion. Pour cela, les glissements relatifs des palplanches doivent être empêchés.

Les poussées du sable de remplissage mettent les joints des palplanches en traction (ce à quoi les assemblages Belval résistent parfaitement). Des frottements naissent dans les joints et les atteintes de la rouille tendent à les augmenter. Il serait toutefois imprudent de compter sur ces actions pour bloquer les glissements relatifs des éléments de la section du duc d'Albe.

On pourrait souder les joints entre palplanches. Mais, même si le duc d'Albe est dressé sur le fond en une pièce, montée sur la rive, les palplanches doivent, en général, être ensuite, battues et fichées dans le sol, par un ou deux éléments à la fois (2). Cela ne permet une soudure préalable que par quelques points, qui sautent au battage. Une nouvelle soudure des joints, après battage, ne peut être faite qu'au-dessus du niveau de l'eau. Elle est d'exécution difficile et ses réparations, en cas d'avaries, sont malaisées.

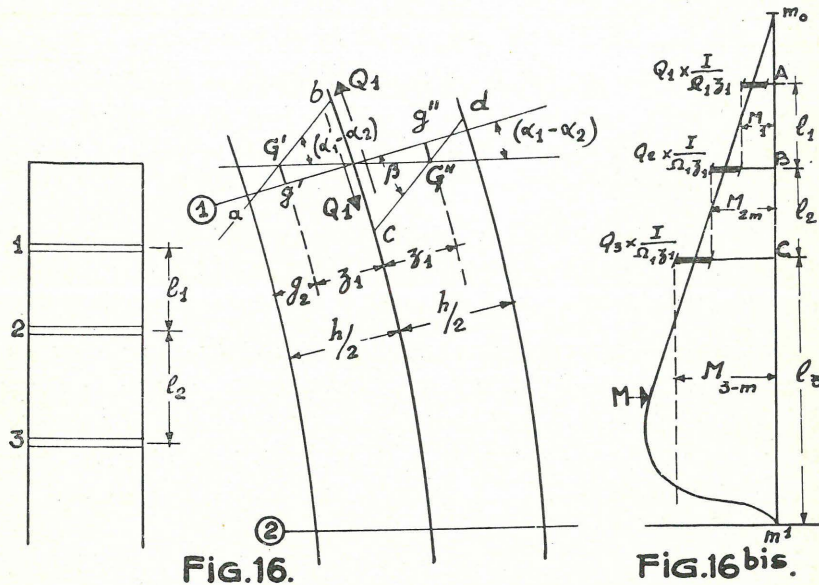
(1) On trouvera au T. IX ci-après des indications complémentaires, relatives aux amortisseurs de chocs.

(2) Cette restriction ne s'applique pas au cas (T. IV) d'un duc d'Albe construit en palplanches plates et déposé, tout fait, sans battage, sur le fond d'une fouille qu'on remplit ensuite de sable.

Nous avons préféré établir, après battage, des liaisons capables d'empêcher les glissements, en utilisant les cadres horizontaux qui forment contreventements de l'ouvrage au-dessus du niveau de marée-basse.

La tendance au glissement est maxima sur l'axe neutre de la section et ses effets peuvent se calculer comme suit.

Si les deux moitiés du profil sont entièrement libres de glisser l'une par rapport à l'autre, l'ouvrage se divise en deux pièces identiques placées cote à cote (fig. 16). Chacune de ces pièces supporte la moitié du moment fléchissant M et la moitié de l'effort tranchant T appliqués à l'ensemble de l'ouvrage. Chaque demi-poutre a une section connue Ω_1



dont le centre de gravité se trouve à la distance z_1 du plan de contact. Elle possède un moment d'inertie I_1 autour de ce centre G' ou G'' (1). Les deux moitiés de la poutre sont rendues solidaires par des cadres rigides 1, 2, distants de l_1, l_2

Au droit du cadre rigide 2 la section totale de la poutre complète reste plane pendant la flexion et subit une certaine rotation α_2 . Chacune des demi-poutres du tronçon supposées libérées du cadre 1, prendrait une déformation angulaire α'_1 , telle que :

(1) Le moment d'inertie I de la section totale de l'ouvrage est égal à : $I = 2 (I_1 + \Omega_1 Z_1^2)$.

$$(\alpha'_1 - \alpha_2) = \int_2^1 \frac{M}{2} \times \frac{dx}{EI_1}$$

ce qui produit un glissement de grandeur bc suivant le plan de contact.

Par suite de la rigidité du cadre 1, ce glissement disparaît sous l'action de deux forces Q_1 , égales et directement opposées, appliquées aux deux moitiés de l'ouvrage.

La force de compression Q_1 sur la moitié de gauche abaisse le centre de gravité G' de $G'g' = \frac{Q_1 l_1}{E \Omega_1}$ et provoque une rotation positive

$$\beta = Q_1 z_1 \times \frac{l_1}{EI_1}$$

Sur la moitié de droite la traction Q_1 relève le centre de gravité G'' de $G''g'' = G'g'$ et provoque la même rotation positive β . Les forces Q_1 doivent être telles que la rotation finale relative ($\alpha_1 - \alpha_2$) du cadre 1 par rapport au cadre 2 soit égale à l'inclinaison de $g'g''$ sur $G'G''$, c'est-à-dire que :

$$\alpha'_1 - \alpha_2 - \beta = \frac{G'g'}{Z_1} = \frac{Q_1 I_1}{E \Omega_1 Z_1}$$

D'après les valeurs établies ci-dessus pour ($\alpha'_1 - \alpha_2$) et pour β , on trouve :

$$\frac{1}{2 EI_1} \int_2^1 M dx = \frac{Q_1 l_1}{E} \times \frac{I_1 + \Omega_1 z_1^2}{I_1 \Omega_1 z_1} = \frac{Q_1 l_1}{EI_1} \times \frac{I}{2 \Omega_1 z_1}$$

en appelant I le moment d'inertie de la section totale de l'ouvrage. On en déduit pour l'effort Q_1 appliqué à l'assemblage du cadre :

$$Q_1 = \frac{1}{l_1} \int_2^1 M dx \times \frac{\Omega_1 z_1}{I}$$

Le produit des deux premiers facteurs représente le moment fléchissant moyen appliqué au tronçon 1 — 2, de longueur (l_1) de la poutre totale (1).

(1) La valeur calculée pour Q_1 donne pour la rotation relative ($\alpha_1 - \alpha_2$) des sections 1 et 2 de la poutre totale la valeur, conforme, de $(\alpha_1 - \alpha_2) = \frac{Q_1 l_1}{E \Omega_1 Z_1}$

$$= \int \frac{M}{I} dx.$$

Si, dans le tronçon suivant (l_2) on suppose le cadre 2 enlevé, chaque moitié de poutre prend la déformation angulaire $\frac{1}{2 EI} \int_2^3 M dx$. La

rigidité du cadre 2 rétablit la déformation plane en 2 par l'action des forces Q_2 qui s'ajoutent aux forces Q_1 du cadre 1 pour provoquer les déformations voulues du tronçon 2-3. Les mêmes calculs que ci-dessus conduisent à :

$$Q_1 + Q_2 = \frac{1}{l_2} \times \int_2^3 M dx \times \frac{\Omega_1 z_1}{I},$$

d'où l'on déduit :

$$Q_2 = \left[\frac{1}{l_2} \times \int_2^3 M dx - \frac{1}{l_1} \int_1^2 M dx \right] \times \frac{\Omega_1 z_1}{I}.$$

La force Q appliquée à un cadre quelconque est donc égale à la différence des moments moyens dans le tronçon inférieur et dans le tronçon supérieur, divisée par la longueur $\frac{I}{\Omega_1 z_1}$.

Si donc (fig. 16bis) on trace sur le lieu des moments fléchissants appliqués à l'ouvrage la ligne à gradins des moments moyens dans les divers tronçons entre cadres, le gradin au droit d'un cadre quelconque est égal au produit par $\left(\frac{I}{\Omega_1 z_1}\right)$ de la force appliquée à ce cadre (1).

Les fers U horizontaux des cadres de contreventement ne peuvent résister suffisamment par flexion aux efforts de liaison des cadres aux palplanches. Il a fallu, au moins pour les cadres inférieurs, les plus sollicités, assurer la liaison des palplanches les plus voisines de la fibre neutre par des tôles verticales rivées à ces palplanches. Ces assemblages ont été calculés avec un taux de travail voisin de la limite d'élasticité, sous l'action de l'effort qui provoquerait le chavirement du duc d'Albe.

Les efforts Q donnent dans les divers tronçons de la poutre des efforts de compression et de flexion qui créent des tensions s'ajoutant aux tensions normales. Leur calcul est facile. Dans le cas du duc d'Albe

(1) L'équation en Q_2 , appliquée à des cadres uniformément espacés de dx donne, $qd\alpha = dM \times \frac{\Omega_1 z_1}{I}$, ce qui est l'expression de l'effort rasant sur la fibre neutre d'une pièce fléchie.

de Zeebrugge on a trouvé que les suppléments de tensions pouvaient atteindre 13 % environ des tensions principales dues à la flexion générale de l'ouvrage (1).

En l'absence de cadres de contreventements horizontaux, la solidarité des palplanches peut être réalisée uniquement par un massif de béton (ou un chapeau) à la tête du duc d'Albe, armé et solidement relié aux palplanches. Les forces de liaison Q sont relativement fortes, de même que les suppléments de tensions qu'elles provoquent dans les palplanches et que les efforts axiaux, d'enfoncement ou d'arrachement, qu'elles leur appliquent.

**

Entre la face inférieure du massif de béton (cote 6,20) et le fond naturel (cote — 6,50) l'enceinte de palplanches forme un silo de 12,70 m de hauteur, rempli de sable. A marée basse, le sable est sec sur 6,20 m de hauteur et saturé d'eau sur 6,50 m.

Le silo a une section rectangulaire, intérieure, de 4,17 m \times 2,17 m, dont le rayon moyen $t = \frac{\Omega}{X} = 0,65$ m.

Suivant les errements habituels, on trouve que la poussée sur les parois du silo est limitée à $\frac{\gamma t}{\text{tg } \varphi}$ soit (pour $\varphi = 30^\circ$) 2,3 t/m² pour le sable sec et 1,15 t/m² pour le sable saturé d'eau (les pressions d'eau s'équilibrant sous le niveau de marée basse).

Ces poussées sont calculées par la formule de Jansen qui admet, sur les parois, un coefficient de frottement égal à $(\text{tg } \varphi)$, frottement interne du matériau ensilé, même lorsque (dans les silos à grains p. ex.) les parois internes sont rapidement polies par les glissements des grains à chaque opération de vidange. Dörr a signalé les inexactitudes de cette formule (2) et montré que la poussée limite $\frac{\gamma t}{\text{tg } \varphi}$ se réalisait dans un silo à parois lisses ($\varphi' = 0$).

(1) Pour une poutre à section rectangulaire pleine, les suppléments de tension peuvent, d'après l'allure du lieu des moments fléchissants, représenter 12 à 25 % des tensions principales. On sait que des augmentations de tension de cet ordre de grandeur ont été constatées dans des poutres jumelées, formées p. ex. de poutres identiques en bois, réunies par une série de cales.

(2) Dörr: Bauten für besondere Zwecke. (Handbuch für Eisenbetonbau, (Empinger.)

Dans le cas qui nous occupe, le sable ne subit aucun glissement qui puisse polir les parois intérieures. On peut donc tenir compte d'un certain angle de frottement φ' entre sable et parois. La poussée limite s'abaisse alors à :

$$\gamma t \times \frac{\cos \varphi \cos \varphi'}{\sin (\varphi + \varphi')}$$

soit pour $\varphi = 30^\circ$ et $\varphi' = 15^\circ$: $\frac{\sigma t}{0,86}$ au lieu de $\frac{\sigma t}{\text{tg } 30^\circ} = \frac{\sigma t}{0,58}$, ce qui réduit de 30 % environ les poussées limites à considérer.

Les palplanches sollicitées par ces poussées travaillent en poutres continues appuyées sur le sol sous la cote (— 6,50) et sur les cadres de contreventements horizontaux. L'étude de la sollicitation correspondante conduit à un taux de travail maximum de l'acier égal à 360 kg/cm², au droit du cadre inférieur.

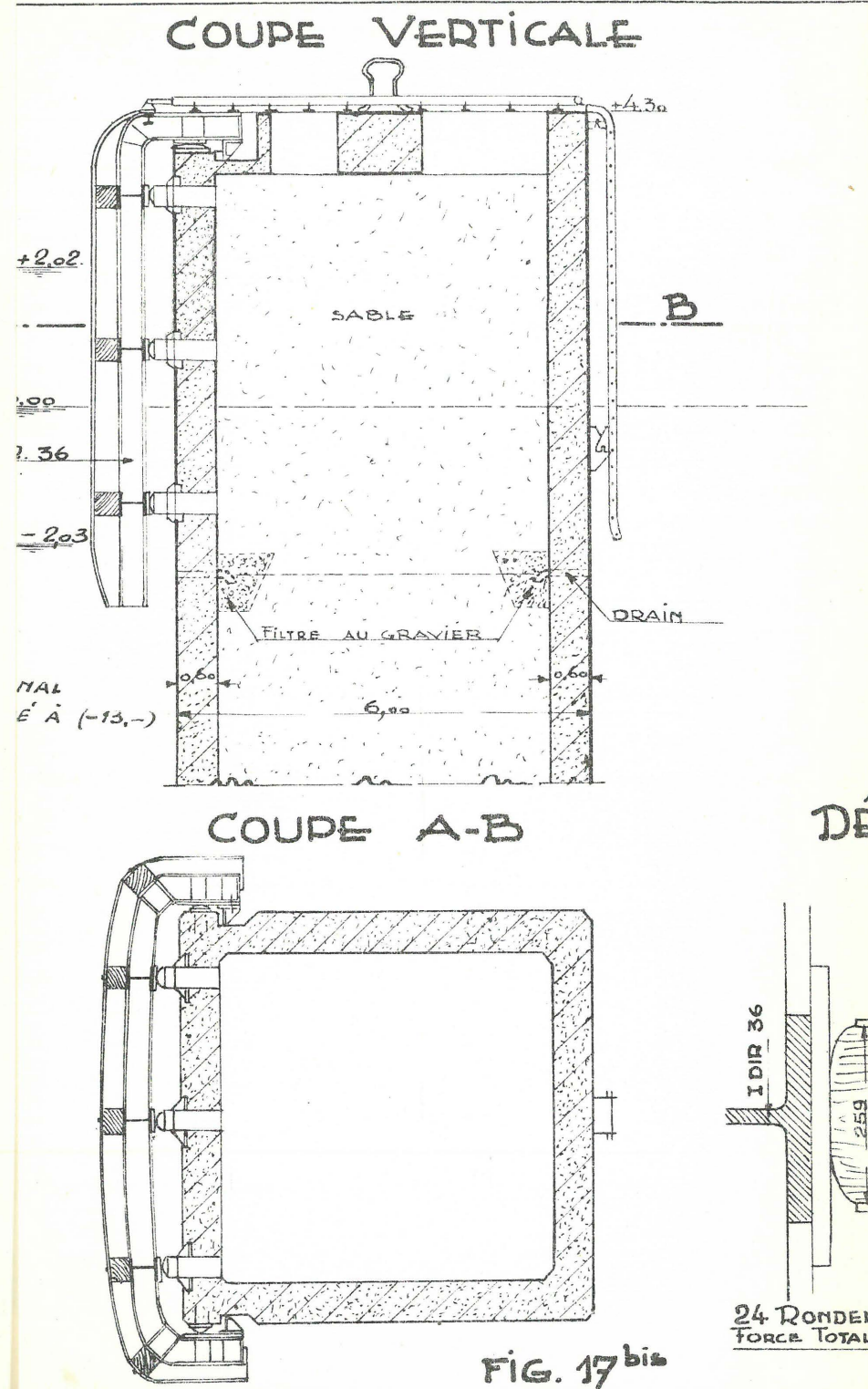
Dans un duc d'Albe à section circulaire, les poussées du sable créent des tensions perpendiculaires à celles qu'engendre la flexion de l'ouvrage et mettent les agrafes des palplanches en traction.

Titre IX. — AMORTISSEURS DE CHOCS.

Depuis longtemps on a intercalé des organes élastiques entre les dosses d'accostage et le mur de quai ou le duc d'Albe qu'elles doivent protéger. La fig. 17 rappelle le dispositif appliqué notamment aux quais du bassin du Lek à Rotterdam. Chaque dosse est munie de deux butoirs à ressort s'appuyant sur des selles métalliques fixées sur le mur. La suspension et le guidage du fender pendant son déplacement horizontal sont assurés par deux étages de deux boulons chacun, coulissant dans des rainures ouvertes dans des consoles solidaires des selles métalliques.

L'application d'un dispositif analogue est projetée pour des ducs d'Albe de la nouvelle écluse de Terneuzen. Comme le montre la fig. 17bis, le duc d'Albe (tour en béton armé de 6 m × 6 m) est protégé par un bouclier métallique en contact avec la paroi par l'intermédiaire de 9 tampons à ressorts, capables chacun d'une réaction de 20 à 25 tonnes (1).

(1) Parmi les très nombreuses variantes de ce dispositif, on peut citer p. ex. la protection de certains quais de Malmö (Suède), formée de rideaux de 2,50 m de longueur en palplanches Belval, appuyés sur 10 tampons à ressort de 4 tonnes de force chacun (*Bautechnik* 1936, page 264); — et les longs boucliers horizontaux de 3,50 m de hauteur, formés de palplanches métalliques horizontales garnies de fourrures de bois et appuyées sur des ressorts métalliques, qui protègent des piles de pont à Stralsund (même revue, 1937, page 449).



MONTANTS D'ACCOSTAGE
DES QAIS DE ROTTERDAM

COUPE A-B

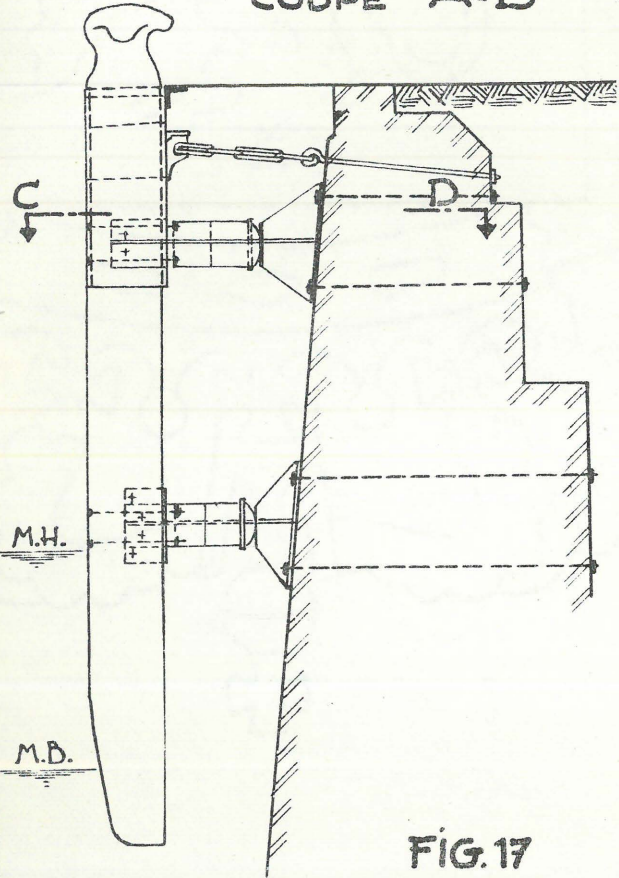
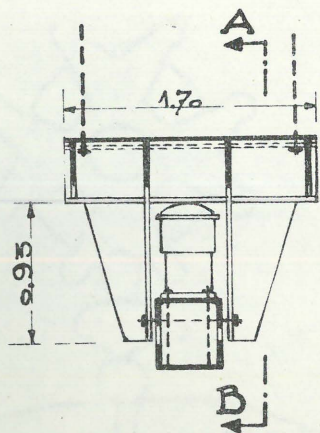
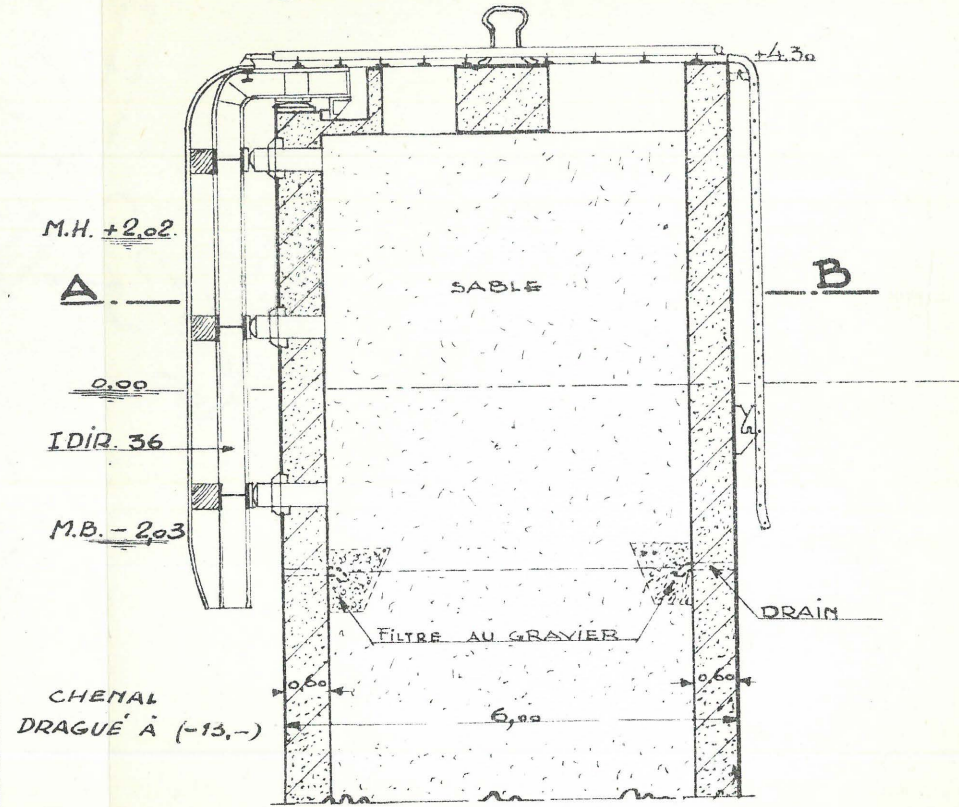


FIG. 17

COUPE C-D



COUPE VERTICALE



COUPE A-B

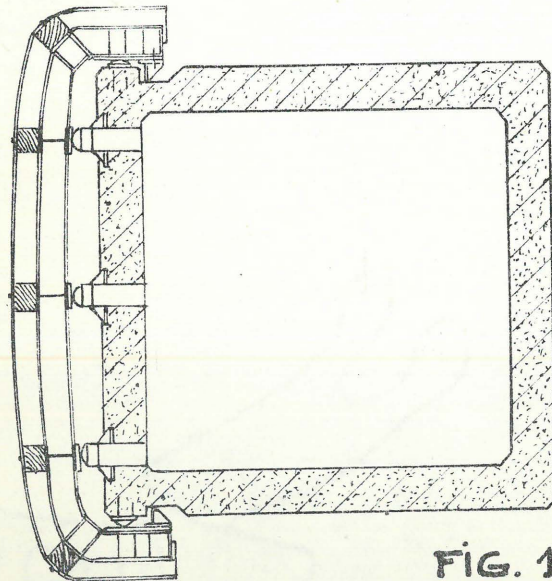
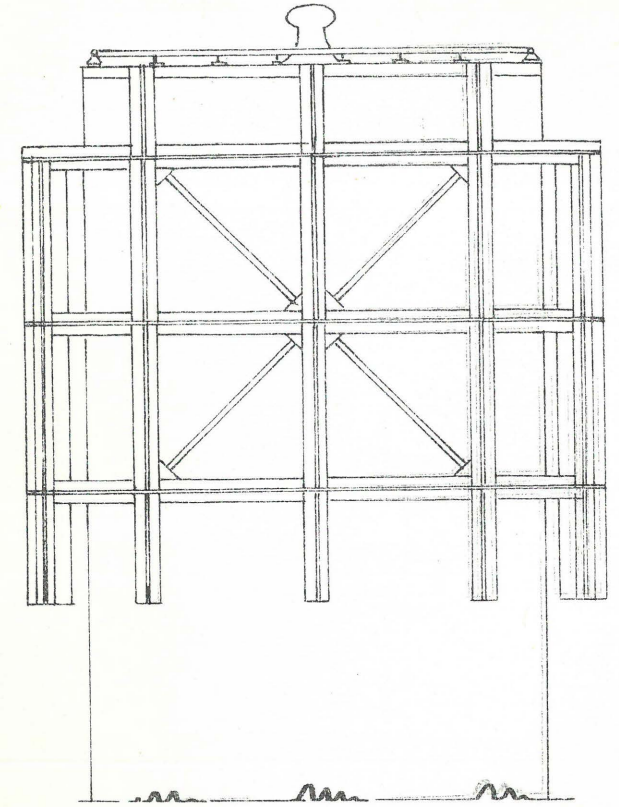
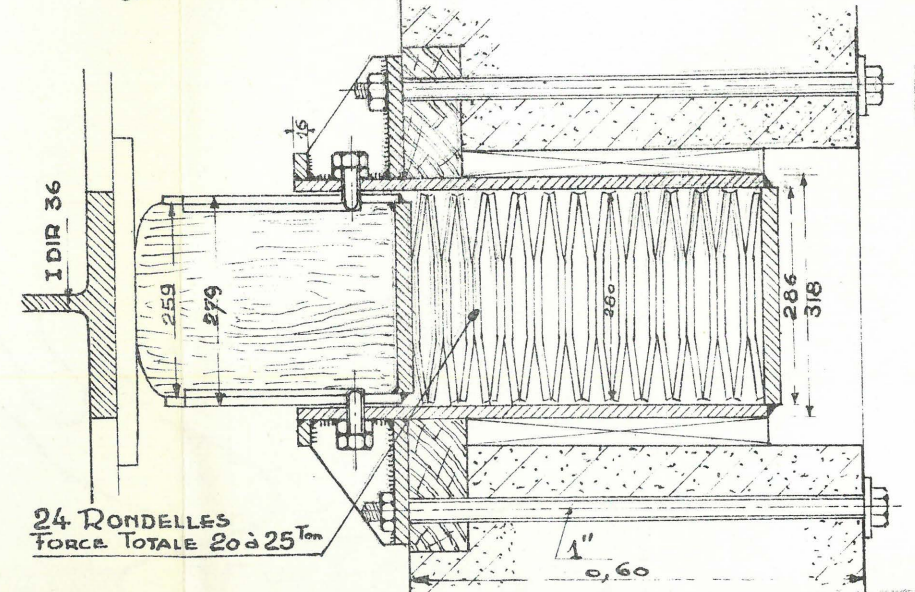


FIG. 17 bis

ÉLÉVATION



DÉTAIL D'UN TAMPON DE CHOC



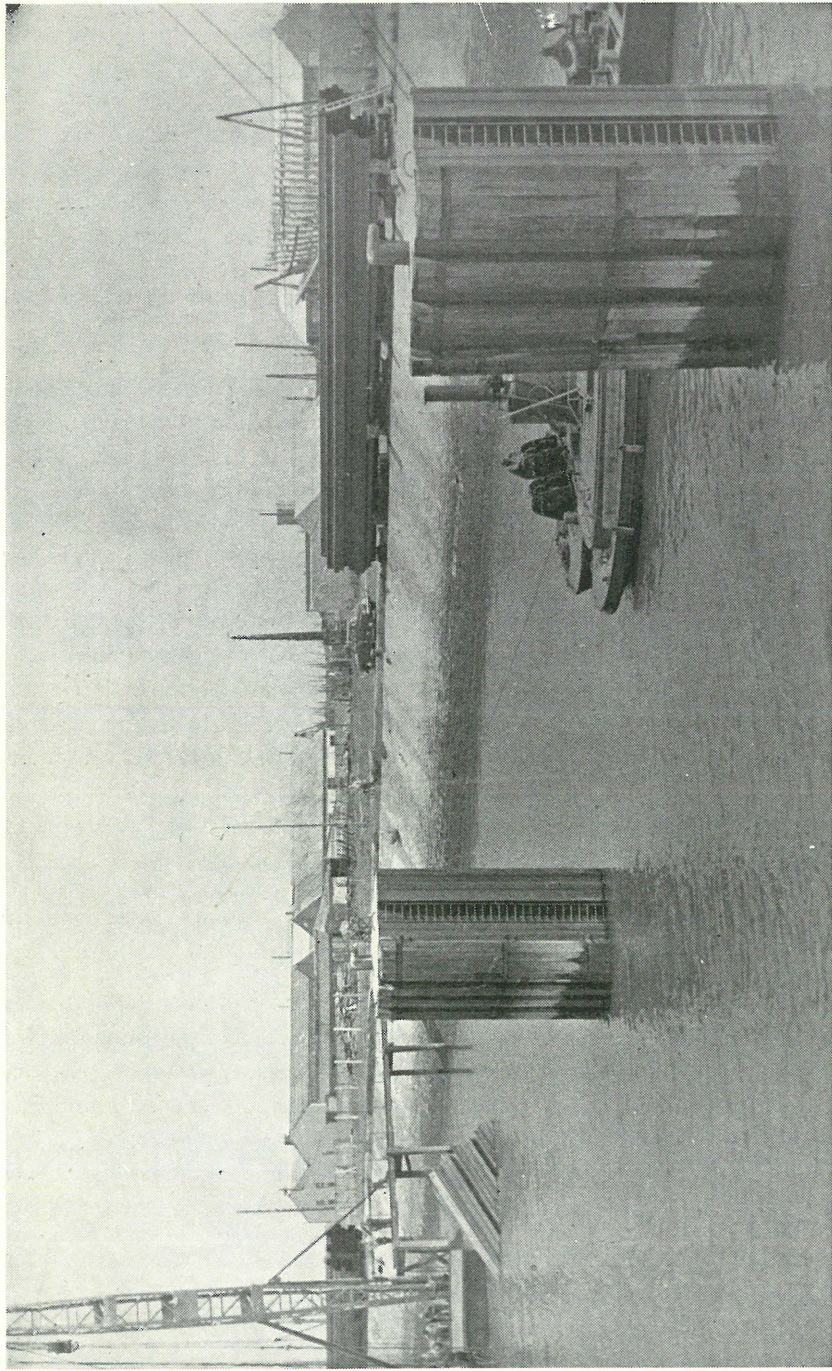


Fig. 18.

Le projet du duc d'Albe de Zeebrugge comportait, comme le rappelle les fig. 3 et 4 de la planche II, la mise en œuvre de deux butoirs élastiques, de 10 tonnes chacun (tampons de choc usuels du matériel de chemin de fer) sur lesquels appuyaient deux poutrelles Grey suspendues au sommet du duc d'Albe. Un flotteur en bois devait recevoir les chocs des navires au niveau de la flottaison et les transmettre aux butoirs par des poutrelles. L'effet de ces butoirs a été analysé au T. VIII ci-dessus.

Ce dispositif fut combattu par les représentants de la société des ferries Zeebrugge-Harwich pour les raisons suivantes :

1) Le flotteur pourrait causer des avaries au navire, s'il était pressé trop fortement sur la coque. Cet argument tombe, à notre avis, si le flotteur est assez long pour s'appuyer à la fois sur deux membrures du navire et on peut remarquer à ce sujet que les amortisseurs montés sur l'estacade du Verdon (dont question ci-après), sont capables d'un effort de 125 tonnes, développé sur un bouclier qui n'a que 1,25 m de largeur.

2) Les bordés longitudinaux des ferries, au lieu d'être verticaux sur presque toute la hauteur de la coque, comme dans les navires modernes, présentent une inclinaison relativement forte déjà au-dessus de la flottaison à lège. Si, par suite d'une trop grande émergence du navire, c'est la partie inclinée, fuyante, de la coque qui touche le flotteur, les ventrières fixées à la partie haute du bordé pourraient rencontrer les poutrelles du duc d'Albe et les endommager ainsi que les butoirs. Cet inconvénient n'existe pas pour les cargos normaux.

3) Les flotteurs et les amortisseurs sont des organes assez coûteux dont la réparation ou le remplacement est onéreux pour l'auteur d'une avarie.

Finalement le projet de ce modeste essai d'accostage élastique fut abandonné et les ducs d'Albe ont été simplement protégés par des fenders en greenheart avec fourrures extérieures en chêne, boulonnés sur les palplanches métalliques (photo-fig. 18).

**

On sait qu'il existe des dispositifs de « pare-chocs » beaucoup plus puissants que les systèmes à ressorts pour amortir les accostages. Ces appareils sont coûteux et, de ce chef, leur emploi n'a pu être adopté pour Zeebrugge. Nous rappellerons pourtant ci-après les caractéristiques de deux dispositifs, de principes différents, qui ont fait leurs preuves.

Les amortisseurs montés sur l'estacade du Verdon, à l'embouchure de la Gironde (fig. 19) sont formés (1) d'un matelas d'abordage (charpente métallique et couverture en bois) de 5 m de hauteur et 1,25 m de largeur, oscillant autour d'un axe horizontal.

Le bouclier porte un contrepoids de 32 tonnes, qui le pousse au

AMORTISSEUR DE CHOC DU POSTE D'ACCOSTAGE DU VERDON

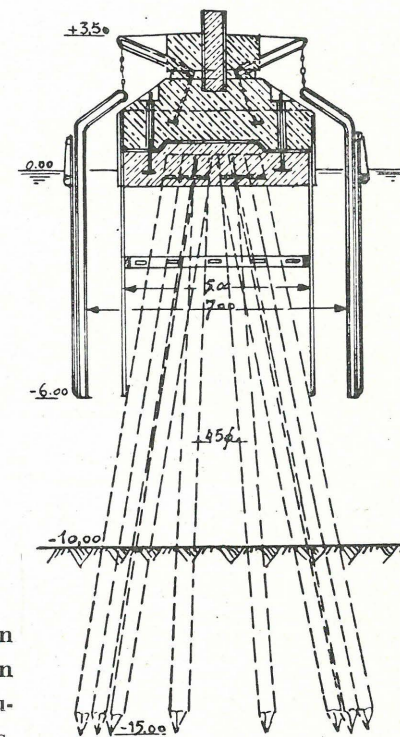
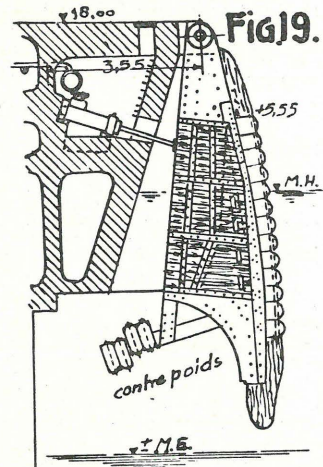


Fig.20.

large. Il est relié par une bielle à un piston qui refoule de l'huile dans un cylindre communiquant par une soupape tarée avec un réservoir à la pression atmosphérique. L'effort sur la bielle peut s'élever à 125 tonnes. La course du piston est de 0,55 m. L'énergie absorbable est de 70 tm environ, ce qui permet à 4 amortisseurs fonctionnant simultanément de freiner un navire de 60.000 tonnes abordant à la vitesse de 0,30 m/sec.

Depuis 1930 le port de Kiel possède des ducs d'Albe du type « à cloche »

(1) Revue « Travaux », numéro de juin 1947 (page 293) : Le pare-choc marin « Simca ».

qui se caractérisent par un dispositif fort intéressant de freinage hydraulique sans piston ni soupape. Comme le rappelle la fig. 20 et 20^{bis} (1), un duc d'Albe de type normal, formé d'un massif de béton assis sur des pieux verticaux et inclinés, est enveloppé par une cloche métallique que des chaînes suspendent au massif de béton. La cloche entoure une chemise métallique fixée au duc d'Albe et qui descend assez profondément sous eau.

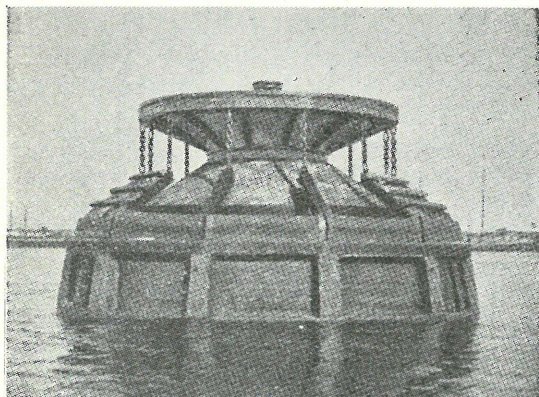


Fig. 20bis.

Sous le choc d'un navire, la cloche est repoussée vers le duc d'Albe. Le travail d'amortissement résulte, pour une faible part, de l'inertie de la cloche, de son soulèvement (2), de frottements divers et de la résistance qui s'oppose à un déplacement rapide de la cloche dans l'eau. La plus grande partie du travail résulte d'un freinage hydraulique à l'intérieur de la cloche.

Du côté où se produit le choc, la cloche se rapproche rapidement de la chemise intérieure. L'eau s'élève entre la cloche et la chemise. La pression hydrostatique correspondante sur la paroi intérieure de la cloche crée une première force qui freine le navire (voir la fig. 21 qui est un croquis sommaire utilisé pour l'étude d'une adaptation éventuelle de la cloche aux ducs d'Albe les plus exposés du chenal de Zeebrugge).

Du côté opposé (disons « sous le choc », par analogie avec l'expression « sous le vent ») la cloche s'écarte de la chemise. L'eau descend sous le niveau extérieur et une pression hydrostatique naît qui crée de ce côté, sur la paroi extérieure de la cloche, une deuxième force tendant à freiner le navire.

La montée de l'eau dans le compartiment au choc et sa descente dans le compartiment sous le choc sont contrariées par un écoulement d'eau par le bas, vers l'extérieur, du côté au choc et par un appel d'eau de l'extérieur, du côté sous le choc. De plus, il se produit des mouve-

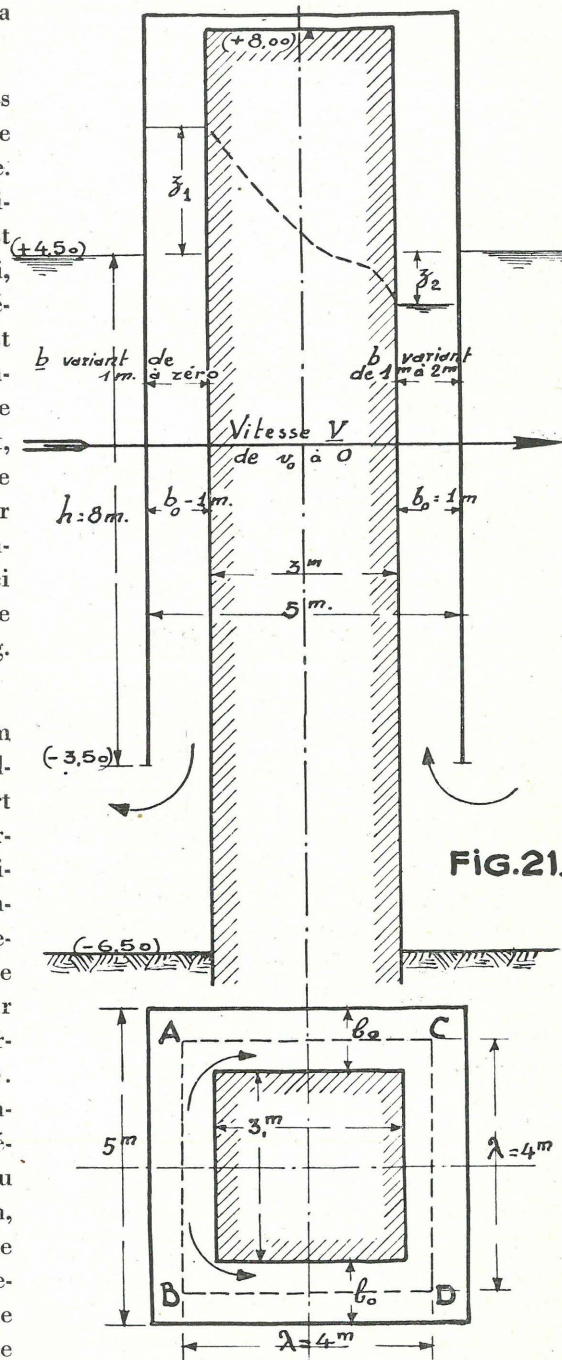
(1) Revue « Bautechnik » 1930, page 545.

(2) Le poids de la cloche ne joue qu'un rôle peu important dans l'amortissement du choc. Au lieu d'établir une lourde cloche en acier-coulé, on peut la réaliser, plus légèrement, à l'aide de montants en profilés d'acier réunis par des panneaux relativement étanches, en bois.

ments de l'eau d'une face à l'autre par les parties latérales de l'espace variable compris entre la cloche et la chemise.

La complexité de ces mouvements de l'eau défie l'analyse mathématique. Des calculs d'une approximation grossière, qu'il est inutile de reproduire ici, nous ont amené à considérer comme probable l'effet suivant d'une cloche montée sur un des ducs d'Albe de Zeebrugge, comportant, au repos, un espace libre de 1 m de largeur autour de l'enceinte des palplanches et entourant celle-ci jusqu'à 8 m sous marée haute (cote — 3,50) (fig. 21 et 22).

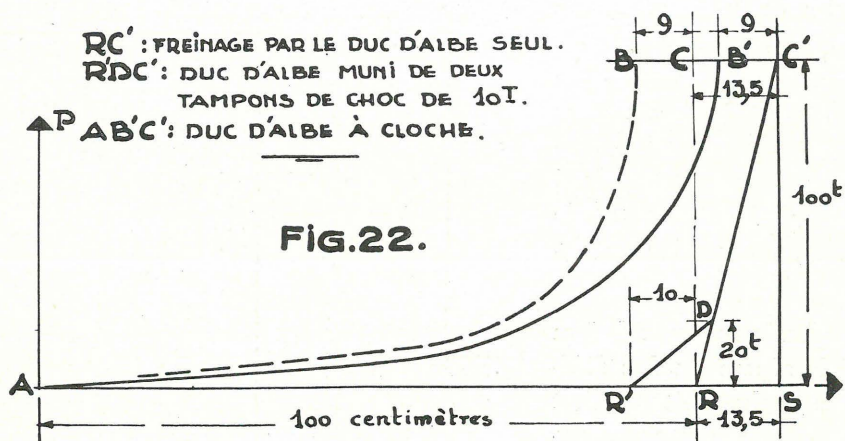
Sur le parcours de 1 m qui la sépare du duc d'Albe, la cloche subit un effort qui croît (suivant une courbe à faible inclinaison initiale) de 0 à 100 tonnes environ pendant les 9 premiers décimètres et reste sensiblement constante sur le dernier décimètre (courbe A B C de la fig. 22). La loi rectiligne R C donne, d'autre part, les déplacements horizontaux du duc d'Albe par flexion, sous un effort croissant de 0 à 100 tonnes. Le déplacement d'un navire pour une force donnée de freinage



est égal à la somme des déplacements correspondants de la cloche du duc d'Albe, ce qui donne finalement une courbe telle que A B' C' pour traduire la loi des forces de freinage en fonction des déplacements du navire.

L'énergie absorbée par la flexion du duc d'Albe est de 7 tm environ (T. VIII). Le freinage hydraulique de la cloche pourrait donner d'après notre évaluation (très grossière) 22 tm. L'énergie totale de freinage serait plus que quadruplée et la vitesse admissible pour le navire abordeur plus que doublée.

Il ne s'agit là, répétons-le, que d'une approximation d'une valeur plus ou moins suspecte, dont les résultats devraient être remplacés par ceux



d'essais de laboratoire sur un modèle à échelle réduite. Signalons à ce propos que des essais faits à Kiel sur un modèle à 1/20 ont montré que le duc d'Albe à cloche pouvait absorber une énergie égale à 6 fois environ celle qui correspond à la flexion du duc d'Albe formant le noyau du système. Le dispositif « à cloche » semble donc très intéressant pour la protection de ducs d'Albe fort exposés (1).

(1) Les dispositifs du Verdon et de Kiel sont en service depuis une vingtaine d'années. Un compte rendu bibliographique des *Annales des Travaux Publics* de décembre 1946 (page 787) présente pourtant (d'après « The Engineer »), comme créés récemment par une firme anglaise de Londres des types d'amortisseurs qui semblent bien inspirés par les modèles du Verdon et de Kiel. Ils en diffèrent par quelques modifications peu heureuses et par une mauvaise interprétation du fonctionnement du duc d'Albe à cloche. Le principal amortissement du choc résulte du soulèvement du centre de gravité de la cloche quand celle-ci roule sur une surface sphérique qui couronne la partie fixe, intérieure, du duc d'Albe. (*Dock and Harbour Authority* 1948 — ducs d'Albe de la jetée de Heysham).

Titre X. — MODE D'EXECUTION.

Tous les éléments constitutifs des ducs d'Albe ont été amenés à pied d'œuvre soit par fer soit par eau et entreposés sur la rive.

Chaque duc d'Albe a été monté à terre, en position horizontale. A cette fin, chaque palplanche, maintenue dans une position bien horizontale par deux grues, était tirée au treuil, et emboîtée dans les griffes de sa voisine.

Le cylindre métallique ainsi monté était consolidé par 4 forts cadres en bois, constitués par des tronçons de poutres en chêne de 40 cm d'équarrissage. Les cadres solidement entretoisés par des Croix de St.-André, étaient fixés aux palplanches par des bouts de cornières soudés à ces dernières. Dans le but d'éviter tout glissement tant des palplanches que

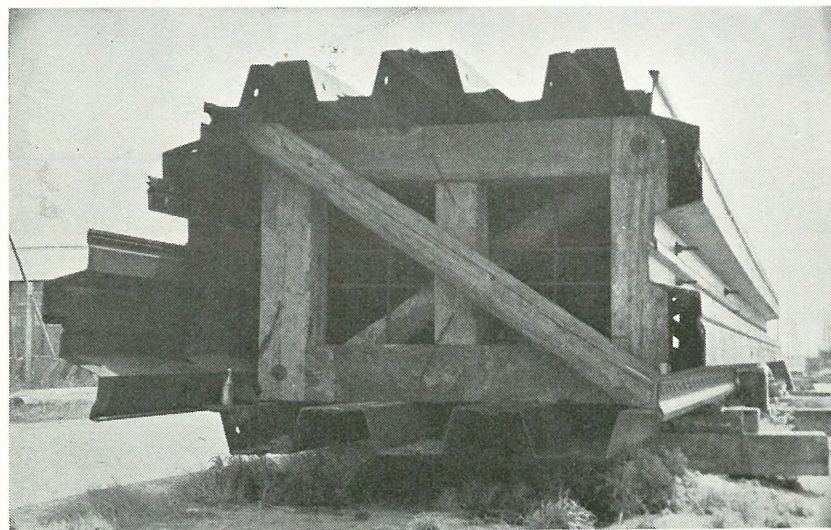


Fig. 23.

des cadres, il était posé immédiatement derrière ceux-ci et à travers les palplanches 4 tirants croisés deux à deux constitués par des fers ronds de $\varphi = 30$ mm.

La photo de la fig. 18 montre à l'arrière plan un duc d'Albe monté sur la rive. La photo fig. 23 donne une vue des cadres provisoires de renforcement.

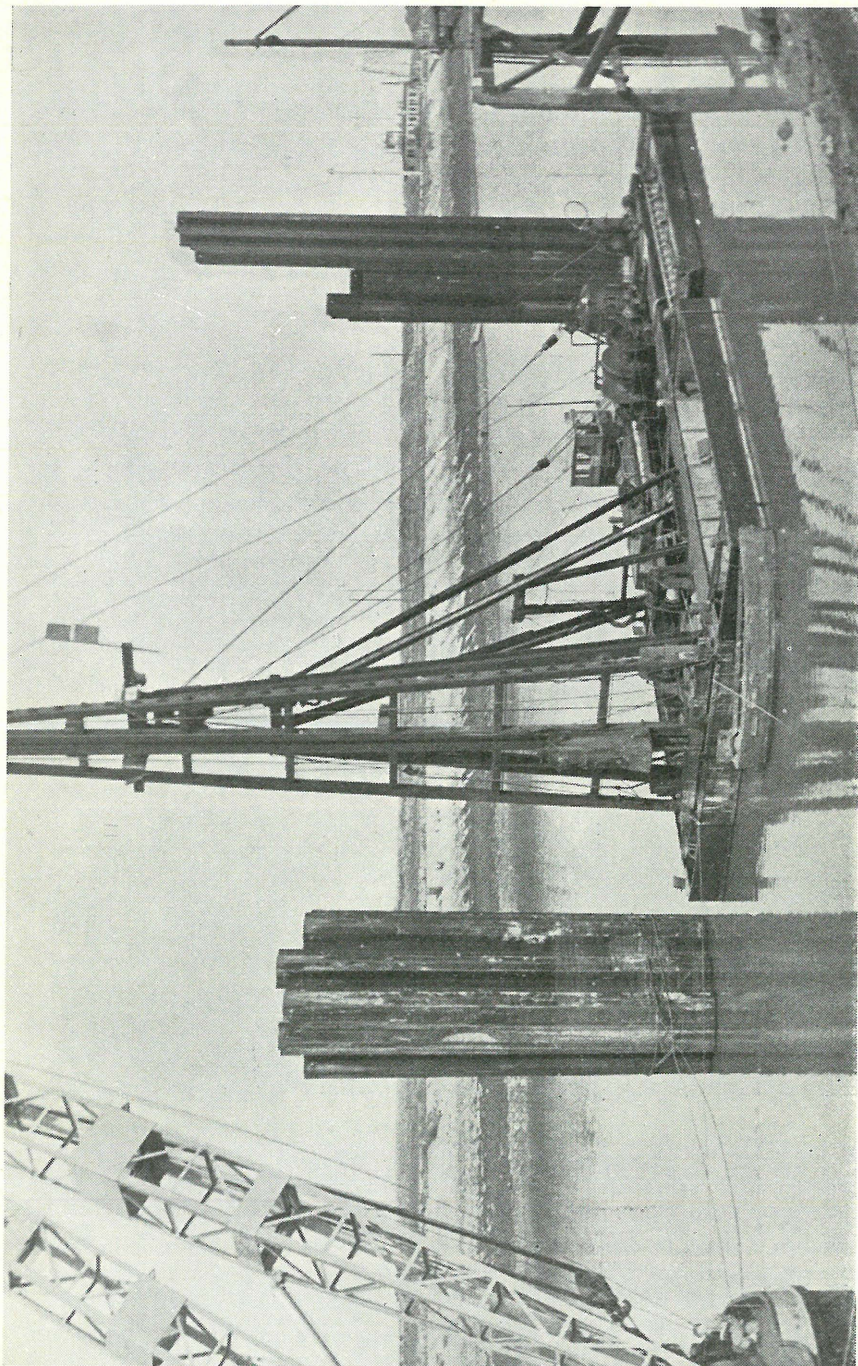


Fig. 24.

Le duc d'Albe ainsi consolidé était descendu sur un ponton plat et amené à l'emplacement où il devait être battu.

Redressé en cet endroit dans sa position normale, c'est-à-dire verticale, il s'enfonçait dans la vase du fond du chenal par son propre poids jusqu'à une certaine profondeur.

A partir de ce moment les palplanches ont été successivement enfoncées par étapes de 4 mètres de hauteur au maximum. La photo de la fig. 24 montre deux ducs d'Albe en cours de battage.

Après battage complet, il a été procédé à la pose de cadres de contreventements définitifs en profilés d'acier ; à la fixation des dosses d'accostage et au remplissage à l'aide de sable.

Le couronnement en béton avec pose du hollard terminait le travail de montage.

NOTE ANNEXE.

Les ducs d'Albe du port de Zeebrugge ont été calculés pour résister à des efforts statiques donnés, après quoi leur résistance aux actions dynamiques a été évaluée. Pour des ducs d'Albe qui ne doivent que protéger des quais ou des piles de ponts sans être utilisés normalement pour l'amarrage, le calcul des dimensions doit se faire en se basant sur la résistance aux chocs ; l'évaluation de l'effort statique admissible n'a plus qu'un intérêt secondaire.

Ce calcul par la sollicitation dynamique peut être conduit de la manière suivante.

L'effort maximum P (fig. 25) appliqué à la hauteur l au-dessus du fond ne peut dépasser, ni la valeur qui provoque le refoulement des terres, ni celle qui produit dans le matériau un taux de travail supérieur à la limite admissible.

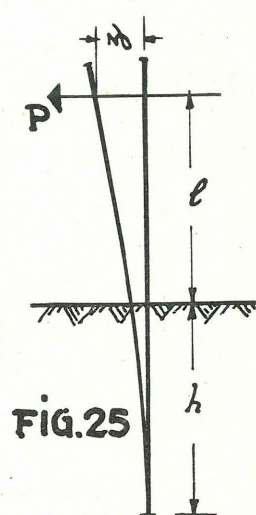


FIG.25

La première de ces valeurs est donnée par

$$P' = \frac{\beta l^3}{6} \times \frac{b}{l} \times \left(\frac{h}{l}\right)^3 \times \frac{1}{1 + \frac{h}{l}} \quad (13)$$

en adoptant les notations de l'équation (6) et en négligeant le frottement entre sol et parois au moment de l'arrachage.

La deuxième expression de P est donnée par :

$$P'' = \frac{1}{l} \times R \frac{I}{V} = F.R \times \frac{r^2}{IV} \quad (14)$$

conforme à l'équation (5bis).

Comme on l'a vu par l'établissement de l'équation (12) la valeur de la flèche produite par la force P se présente sous une forme assez compliquée. Nous simplifierons l'exposé ci-après en supposant que la flèche (y_0) due à la rotation de la section d'encastrement dans le sol soit compensée par la contre-flèche (y_2) due aux butées des terres, ce qui donne à la flèche cherchée l'expression simple, approchée (1) :

$$Z = \frac{P l^3}{3 EI} \times \left(1 + \frac{h}{l}\right)^3 \quad (15)$$

La force vive ($\frac{N v_0^2}{2 g}$) du navire de tonnage N abordant le duc d'Albe

de front à la vitesse v_0 doit être égale au travail élastique de flexion :

$$\frac{N v_0^2}{2 g} = \frac{Pz}{2} \quad (16)$$

La combinaison des équations (13), (15) et (16) conduit à :

$$216 \times \frac{v_0^2}{2 gl} \times \frac{NE}{\beta^2 l^4} = \left(\frac{h}{l}\right)^6 \times \left(1 + \frac{h}{l}\right) \times \frac{1}{\left(\frac{r}{b}\right)^2 \times \left(\frac{F}{l^2}\right)} \quad (17)$$

La combinaison des équations (14), (15) et (16) donne :

$$6 \times \frac{v_0^2}{2 gl} \times \frac{NE}{R^2 l^2} = \left(1 + \frac{h}{l}\right)^3 \times \left(\frac{r}{V}\right)^2 \times \frac{F}{l^2} \quad (18)$$

(1) Sauf pour les terrains peu compressibles, possédant un coefficient de raideur k relativement grand, cette hypothèse est défavorable et peut réduire assez sensiblement la résistance aux actions dynamiques. Les résultats, éventuellement peu satisfaisants, d'un calcul mené comme il est dit ci-après, peuvent souvent être améliorés par l'application des équations (9) à (12) ci-dessus aux dimensions calculées comme ci-après.

L'élimination de $\frac{v_0^2}{2 gl}$ entre ces deux équations conduit à la relation auxiliaire :

$$\frac{F}{l^2} \times \frac{r}{V} \times \frac{r}{b} = \frac{1}{6} \frac{\beta l}{R} \times \frac{\left(\frac{h}{l}\right)^3}{1 + \frac{h}{l}} \quad (19)$$

qui traduit également l'égalité des valeurs de P des équations (13) et (14).

En éliminant $\frac{F}{l^2}$ entre les équations (17) et (19), on trouve :

$$\psi_1 \times \frac{V}{b} = \left(\frac{h}{l}\right)^3 \times \left(1 + \frac{h}{l}\right)^2 \quad (20)$$

à condition de poser :

$$\psi_1 = \frac{N v_0^2}{2 g} \times \frac{36}{\beta l^4} \times \frac{E}{R} \quad (20bis)$$

En éliminant β entre (17) et (19) on a d'autre part :

$$\psi_2 = \frac{F}{l^2} \times \left(\frac{r}{V}\right)^2 \times \left(1 + \frac{h}{l}\right)^3 \quad (21)$$

en posant :

$$\psi_2 = \frac{N v_0^2}{2 g} \times \frac{6}{R l^3} \times \frac{E}{R} \quad (21bis)$$

Pour un profil d'une forme donnée, les rapports $\frac{r}{v}$, $\frac{r}{b}$ et $\frac{V}{b}$ sont en général constants, indépendants de la grandeur de la section.

L'équation (20) permet alors de calculer la fiche h nécessaire pour absorber une énergie de grandeur donnée. L'équation (21) donne ensuite la grandeur de la surface du profil, ce qui permet d'en fixer les dimensions.

Pour une solution rapide de certains problèmes, il peut être utile de remplacer l'une des équations (20) ou (21) par l'équation (19) qui en est un corollaire.

Les calculs se simplifient par l'emploi de l'abaque de la planche III ci-jointe. La moitié de droite traduit l'équation (20) par un faisceau de droites graduées en ψ_1 .

Le rapport $\frac{V}{b}$ se lit en abscisses tandis que les ordonnées correspondant aux valeurs de la fonction $\left(\frac{h}{l}\right)^3 \times \left(1 + \frac{h}{l}\right)^2$ sont graduées

en $\frac{h}{l}$.

La partie de gauche de l'abaque traduit l'équation (21) par un faisceau de droites graduées en ψ_2 . Les ordonnées sont cotées en $\frac{h}{l}$ et les abscisses donnent les valeurs de

$$\left[\frac{F}{l^2} \times \left(\frac{r}{V}\right)^2 \right]$$

**

Les tableaux I et II de la planche IV ci-jointe permettent de comparer dans des conditions variées divers profils de ducs d'Albe.

Le tableau II se rapporte à diverses formes de sections, pour lesquelles on a déterminé la fiche et la surface dans le but de résister au choc d'un navire de 1.000 tonnes abordant normalement le duc d'Albe à la vitesse de 0,30 mètre par seconde. La hauteur libre l est prise égale à 5 mètres (ouvrages de navigation intérieure).

Le taux de butée β du sol et le taux de travail R du matériau à la flexion étant donnés, la fiche h se calcule par l'équation (20). La fiche est d'autant plus grande que le rapport $\frac{V}{b}$ est plus élevé. La fiche la plus petite correspond à des profils de faible hauteur relative (tel que le rectangle creux du cas n° 9) ; la plus grande s'applique aux profils de grande hauteur relative (cercle (1) du cas n° 12 et poutrelle de profil normal du cas n° 11).

(1) La hauteur relative $\frac{V}{b}$ du cercle, creux ou plein, dépasse 0,50 parce que la butée appliquée à un cylindre n'est égale qu'à celle qui agit sur un plan vertical de largeur b égale à 0,765 fois le diamètre (voir T. VII).



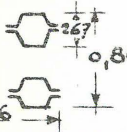
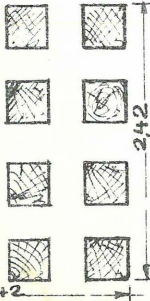
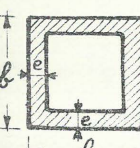
PLANCHE IV			
VITESSE DE 0,30 M./SEC.			
CAS DU	EFFORT P. MAX.	FLÈCHE MAX.	REMARQUES
(SECTION EN MÈTRES)			
CAS.			
 16 PIEUX $\frac{28}{28}$ ②	42,0	22,6	② LES SECTIONS CI-CONTRE SE RAPPORTENT À DES PIEUX ASSEMBLÉS D'UNE MANIÈRE RIGIDE. UN DUC D'ALBE RÉPONDANT AUX MÊMES CONDITIONS PEUT ÊTRE FORMÉ DE 16 PIEUX DE 38 x 38 SIMPLEMENT ACCOLÉS (VOIR TEXTE DE LA NOTE ET CAS 13 ^{bis} CI-APRÈS)
 9 PIEUX DE 38 $\frac{38}{38}$ ②	44,0	21,0	
BOULONS			
 267 0,84 26	17,8	53,5	
 24,2 4,2	25,9	37	TONNES cent.

TABLEAU I - DUC D'ALBE A SECTION CARRÉE CREUSE

		DALPLANCHES MÉTALLIQUES							Bois PROFIL THÉORIQUE	BÉTON ARMÉ PROFIL POUR 1/10 RÉDUIT À 0,15/11
		PROFIL THÉORIQUE	VARIATION DE LA FICHE		VARIATION DE LA SECTION		VARIATION DE LA BUTÉE DU SOL			
			DIMINUTION DE 20%	AUGMENTA- TION DE 20%	DIMINUTION DE 20%	AUGMENTATION DE 20%	$\beta = 12 \frac{t}{m^3}$	$\beta = \infty$ (ENCASTREMENT DANS LE ROCHER)		
TAUX DE TRAVAIL	BUTÉE β	6 $\frac{t}{m^3}$	6 $\frac{t}{m^3}$	3,85	4,8	6 $\frac{t}{m^3}$	12 $\frac{t}{m^3}$	∞	6 $\frac{t}{m^3}$	6 $\frac{t}{m^3}$
	TAUX DE TRAVAIL DU MATÉRIAU R	1600 $\frac{kg}{cm^2}$	940	1.600,	1600,	1.340,	1.600,	1.600,	90,	50,
FICHE	RELATIVE $\frac{h}{e}$	1,62	1,30	1,94	1,62	1,62	1,375	—	1,56	1,55
	h MÉTRES	8,10	6,50	9,70	8,10	8,10	6,88	—	7,80	7,75
PROFIL	SECTION CENT.2	385	385	385	308	460	512,5	6.350,	6.125,	10.625,
	COTE DU CARRÉ $\frac{e}{cent}$	97cent	97	97	77	115,	129,	568,	88,	183,
	ÉPAISSEUR e CENT.	1	1	1	1	1	1,	2,8	24,	16,
EFFORT P.	DE SECURITÉ TONNES	16,7	9,8	16,7	10,8	20,0	29,6	136,0	9,9	25,3
	MAXIMUM TONNES	40,0	23,5	40,0	25,6	48,0	71,0	408,0	23,5	60,0
FLÈCHE MAXIMA CENT.		23,7	9,4	33,0	29,5	16,5	13,3	0,23	39,5	3,95
ÉNERGIE ABSORBABLE t.m.		4,64	1,1	6,5	3,74	3,90	4,64	4,64	4,64	1,16
VITESSE AMORTISSABLE M/11		0,30	0,145	0,36	0,27	0,28	0,30	0,30	0,30	0,15
NOS D'ORDRE		1	2	3	4	4 ^{bis}	5	6	7	8

DONNÉES GÉNÉRALES

- TONNAGE DU NAVIRE : 1.000 Ton.
- HAUTEUR LIBRE : $l = 5^m$
- SECTION CARRÉE CREUSE



$\frac{\sqrt{t}}{l} = 0,816$
 $\frac{t}{e} = 0,408$
 $\frac{v}{e} = 0,500$


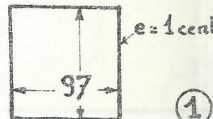
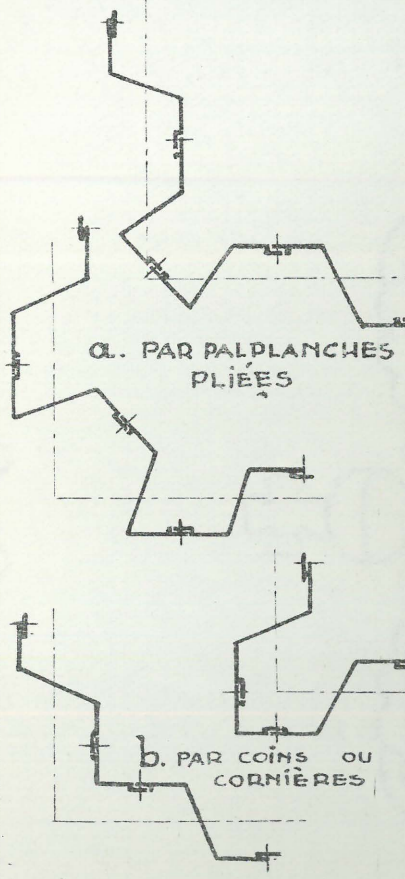

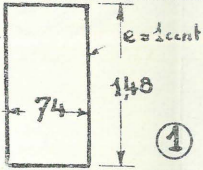
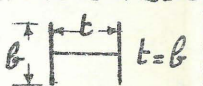
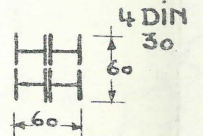
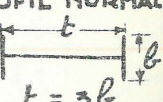
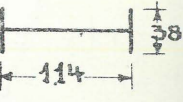
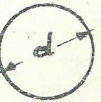
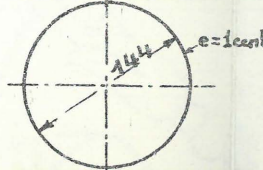
- Taux de travail limite:
BUTÉE DU SOL (SAUF CAS 5 ET 6)
 $\beta = 6 \frac{t}{m^3}$

MATÉRIAU:
 ACIER : $R = 1600 \text{ Kg/cm}^2$
 BOIS : $R = 90 \text{ kg/cm}^2$

BÉTON ARMÉ (TAUX MOYEN DE LA SECTION SUPPOSÉE HOMOGENE) $R = 50 \text{ Kg/cm}^2$

NOTE: LES CHIFFRES ENCADRÉS, EN TRAITS GRAS, DONNENT LES VALEURS DES DONNÉES PARTICULIÈRES, ADOPTÉES POUR LA SOLUTION DES DIVERS PROBLÈMES POSÉS.

TABLEAU II - COMPARAISON DES DONNÉES GÉNÉRALES : DUCS D'ALBE DE 5M. DE HAUTEUR LIBRE , ABOR

N°	MATÉRIAU	SECTION	CARACTÉRISTIQUES DE LA SECTION			FICHE		ÉLÉMENTS DU PROFIL		EFFORT MAX.	FLÈCHE MAX.	REMARQUES	N°
			$\frac{r}{V}$	$\frac{r}{b}$	$\frac{V}{b}$	$\frac{h}{b}$	$\frac{h}{\text{en mètres}}$	SECTION F (cm ²)	DIMENSIONS (CENTIMÈTRES)				
A. POUTRES CREUSES.													
1	PALPLANCHES MÉTALLIQUES R = 1600 Kgs/cm ² $\beta = 6 \frac{7}{m^3}$	CARRÉ CREUX 	0,816	0,408	0,500	1,62	8,10	385		40,0	23,7	① ANGLES DES CAISSONS EN PALPLANCHES MÉTALLIQUES. 	13
9		RECTANGLE CREUX 	0,884	0,221	0,250	1,37	6,85	440		40,5	23,0		14
10		POUTRELLE À LARGES TABLES 	1,00	0,500	0,500	1,62	8,10	255		26,5	35,6		9 bis
11		POUTRELLE DE PROFIL NORMAL 	1,00	1,500	1,500	2,10	10,50	153		29,0	33,5		13 bis
12		CERCLE CREUX 	0,710	0,465	0,654	1,72	8,60	450		53,0	17,7		

Comme le montrent les équations (20) et (20bis) la fiche augmente avec le rapport $\frac{E}{R}$ du module d'élasticité au taux de travail.

Les cas n° 1 et 8 du tableau I se rapportent au même profil en carré creux réalisé, soit en palplanches métalliques, soit en béton armé. Les fiches ne sont comparables (8,10 m et 7,75 m) que parce que le duc d'Albe en béton armé n'a pu être prévu que pour l'amortissement d'une vitesse de 0,15 m par seconde seulement. L'amortissement d'une vitesse de 0,30 m nécessiterait une fiche, inacceptable, de $2,50 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 12,50 \text{ m}$.

La fiche étant connue, la section F du profil se calcule par l'une des équations (20) ou (19).

Cette dernière montre que, abstraction faite de l'influence de la fiche, la section F varie en raison inverse des rapports $\frac{r}{V}$ et $\frac{r}{b}$.

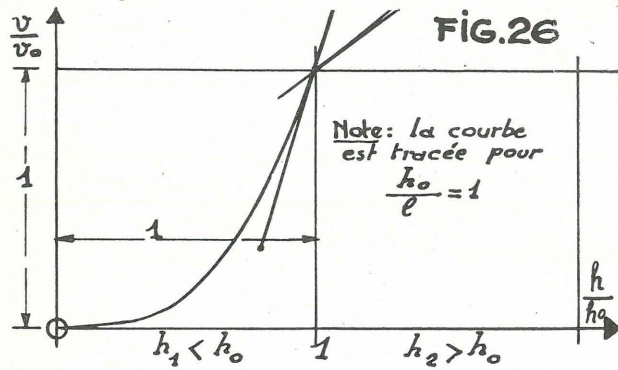
Le tableau II montre que, pour un ouvrage métallique, la plus faible section est obtenue par la poutrelle de profil normal, relativement haute (cas n° 11) et la plus forte section pour le rectangle creux ou le cercle creux (cas 9 et 12).

L'équation (19) montre également que la section varie en raison inverse du taux de travail R. Les sections des ouvrages en bois et en béton armé (cas 7, 8, 13 et 14) dépassent notablement celles des ouvrages en palplanches métalliques. Pour ces derniers, il y a avantage à employer des aciers à haute résistance.

Pour tous les cas autres que (5) et (6) nous avons admis un coefficient de butée β de 6 t/m^3 , justifié au T. VII ci-dessus. Certains auteurs, Blum notamment, adoptent un poids spécifique des terres immergées égal à 2 t/m^3 au lieu de 1 ou $1,1 \text{ t/m}^3$, ce qui conduit à doubler β et à en porter la valeur à 12 t/m^3 . A notre avis, cette hypothèse n'est pas admissible pour l'étude d'actions statiques sur le duc d'Albe car la butée du sol ne peut résulter que du poids de la phase solide du terrain, allégée par son immersion.

Toutefois, certains essais de Bayer (1) ont montré que l'eau contenue dans le sol exerçait une action amortissante très sensible sur les effets

(1) Bayer. — Untersuchungen an Dalben (1940). — Mitteilungen aus dem Gebiet des Wasserbaues und der Baugrundforschung (Heft 13).



dynamiques, ce qui permettrait d'augmenter le coefficient de butée pour leur étude.

Quoi qu'il en soit, nous avons donné aux cas 5 et 6 du tableau I les résultats des calculs correspondant à un profil en carré creux pour $\beta = 12 \text{ t/m}^3$ et $\beta = \infty$ (ouvrage encastré dans le rocher).

La fiche diminue, la section augmente et l'ouvrage, plus raide et moins flexible, ne peut encaisser le choc du navire qu'en appliquant à ce dernier des forces d'impact relativement fortes.

**

Les cas (1) à (4bis) du tableau I montrent comment varie la capacité résistante d'un duc d'Albe à profil carré creux quand on lui donne une fiche ou une section différente de celles qui permettent d'absorber une énergie de grandeur donnée en réalisant simultanément les taux de travail limites du sol et du matériau.

Si (cas n° 2) on donne à la fiche une valeur h_1 inférieure à la valeur h_0 qui satisfait aux conditions limites, le chavirement se produit avec un taux de travail R donné par l'équation (19) et inférieur à la limite. L'équation (20) montre que la vitesse amortissable v_1 est donnée par :

$$v_1 = v_0 \times \left(\frac{h_1}{h_0}\right)^3 \times \sqrt{\frac{1 + \frac{h_1}{1}}{1 + \frac{h_0}{h}}}$$

v_0 étant la vitesse qui correspond à la fiche h_0 et aux taux limites de travail.

Le diagramme de la fig. 26 montre que v_1 diminue rapidement avec h_1 .

Si (cas n° 3) on donne à la fiche une valeur h_2 supérieure à h_0 , la butée reste inférieure au taux limite mais la vitesse amortissable augmente quand même dans le rapport :

$$v_2 = v_0 \times \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{h_2}{1}\right)^3}{\left(1 + \frac{h_0}{1}\right)^3}}$$

On reconnaît de même que toute variation de section entraîne une diminution de la vitesse amortissable (cas n°4 et 4bis et fig. 26, bas). Pour une section F_1 plus petite que la section théorique F_0 :

$$v_1 = v_0 \times \sqrt{\frac{F_1}{F_0}}$$

et, pour une section F_2 plus grande que F_0 :

$$v_2 = v_0 \times \sqrt{\frac{F_0}{F_2}}$$

**

Les tableaux I et II donnent, pour chaque profil étudié, l'effort maximum $P \text{ max.}$ (équation 13), la flèche correspondante Z (équation 15) et l'énergie absorbable $\frac{Pz}{2}$. L'effort P « de sécurité » du tableau I se déduit du $P \text{ max.}$ par l'application d'un coefficient de sécurité de 1,5 et en tenant compte du rapport des coefficients ρ_0 et ρ_2 , définis par les équations (3) et (6).

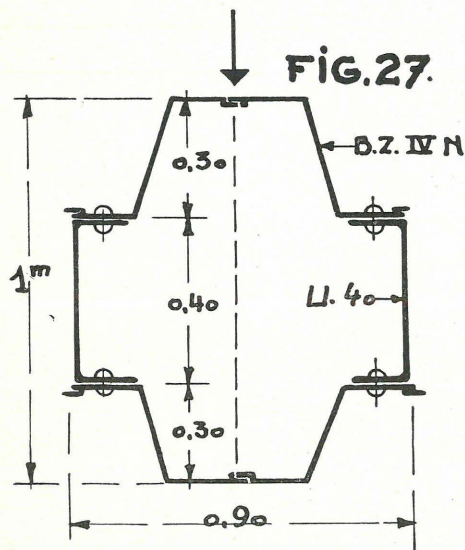
Un effort P exagéré peut être dangereux pour le navire. Ce cas se présente pour les ouvrages en béton armé (cas n° 8) et pour ceux qui, encastrés dans un sol très résistant, ont dû recevoir une section trop considérable (cas n° 6). Il est indispensable, dans des cas pareils, d'établir des amortisseurs de choc qui freinent suffisamment le navire avant que naisse une trop grande pression d'impact.

**

Les comparaisons des profils n'ont été faites ci-dessus que pour des ouvrages de navigation intérieure. Les mêmes méthodes de calcul s'appliquent évidemment à des ouvrages destinés à des voies maritimes.

Si, p. ex., on considère la section en rectangle creux, de hauteur égale à la moitié de la largeur (cas n° 9), mais en adoptant une hauteur libre l de 11 mètres, un tonnage N du navire égal à 5.000 tonnes et une vitesse amortissable de 0,30 m/sec, on trouve une fiche h de 10,30 m et une section de 1780 cm² correspondant pour une épaisseur de métal de 1,4 cm, à une enceinte rectangulaire de palplanches de 4,25 × 2,13 m.

Si, conservant cette même section, on réduit, pour des raisons d'exécution, la fiche à 8 m, la vitesse amortissable n'est plus que de 0,14 m/sec.



Les calculs exacts de la flèche, suivant les indications du T. VI, conduisent à une meilleure résistance dynamique.

**

Nous n'insisterons pas sur le mode de réalisation de divers profils de ducs d'Albe à l'aide de palplanches métalliques. Nous en avons donné plusieurs exemples au T. IV.

Sur les canaux de navigation intérieure, le duc d'Albe peut être assimilé à un pieu métallique dont

le profil se conçoit de diverses façons (1).

Le profil de la fig. 27, emprunté à certains catalogues allemands — et dont la réalisation peut présenter quelques difficultés, — est formé de 4 demi palplanches du type IV et de deux fers U de 40. Il présente une section de 588 cm² et un moment d'inertie de 59,9 × 10⁴ cm⁴, ce qui conduit à :

$$\frac{r}{V} = 0,636 ; \frac{r}{b} = 0,352 ; \frac{V}{b} = 0,555.$$

(1) Voir p. ex. le tableau des sections de pieux métalliques présenté par Agatz au chapitre « Spundwandbauwerke » de la division « Grundbau » du « Taschenbuch für Bauingenieur » (1949). Voir aussi les croquis insérés dans l'étude du professeur Verdeyen : « Palplanches et pieux métalliques », page 399, du n° de septembre 1950 de la revue « L'Ossature métallique ».

On réalisera simultanément la butée limite de 6 t/m³ et le taux de travail limite de 1.600 kg/cm² en donnant aux palplanches (équation 19) une fiche de 8,20 m (pour une hauteur libre l de 5 mètres).

L'équation (20) (ou 21) indique que la vitesse amortissable d'un bateau de 1.000 tonnes sera de 0,294 m/sec.

Si on n'implante le pieu qu'avec une fiche de 6,15 m, la butée sera de 6 t/m³ au chavirement, mais le taux de travail de l'acier (équation 19) ne dépassera pas 800 kg/cm². La vitesse amortissable (équation 21) se réduira à 0,115 m/sec.

**

Certains ducs d'Albe (fig. 7 du T. IV) sont formés de groupes de pieux verticaux, métalliques ou en bois, réunis au-dessus de l'eau par des traverses qui assurent l'égalité de leurs déformations horizontales et de leurs sollicitations.

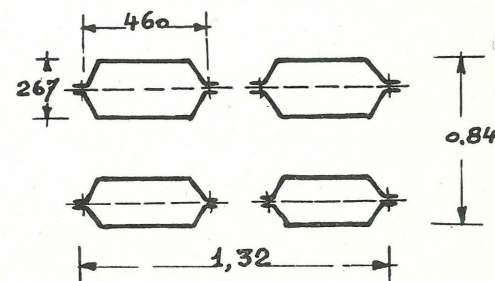


FIG. 28

Si (fig. 28) nous considérons un groupe carré de (n²) pieux présentant chacun une section rectangulaire creuse de hauteur égale à la moitié de la largeur (cas n° 9 du tableau II) on a :

$$\frac{r}{V} = 0,884 ; \frac{r}{b} = \frac{221}{n} \text{ et } \frac{V}{b} = \frac{0,25}{n}.$$

Pour n = 2 (soit pour un groupe de 4 pieux) et pour une réalisation en palplanches métalliques, on établit que le duc d'Albe amortira le choc d'un bateau de 1.000 tonnes à 0,30 m/sec pour une fiche de 1,16 × 5 = 5,80 m et une section totale de 4 × 146 = 584 cm².

Si on adopte pour chaque pieu un profil en caisson de 460 × 267 (type usuel de certains laminoirs) d'une section de 172 cm², un calcul de vérification montre que, avec la fiche de 5,80 m, le duc d'Albe freinera le bateau de 1.000 tonnes à la vitesse de 0,25 m par seconde.

Les ducs d'Albe à pieux accolés présentent, au point de vue dynamique, de sérieux avantages par rapport aux ducs d'Albe équivalents, formés d'une poutre creuse.

Si nous comparons l'ouvrage à 4 pieux étudié ci-dessus (cas 9^{bis} du tableau II) à l'ouvrage en poutre creuse équivalent (cas 9 du même tableau) nous constatons que :

- 1) La fiche des pieux accolés n'est que de 5,80 m au lieu de 6,85 m.
- 2) Au moment du chavirement, la tête de la poutre creuse ne s'est déplacée que de 23 cm sous un effort de 40,5 tonnes, tandis que les têtes des pieux accolés se déplacent de 53,5 cm sous un effort réduit à 17,8 t.

La pression d'impact sur le navire est donc fortement diminuée pour les mêmes conditions d'abordage, ce qui constitue un avantage très sérieux. Par contre, la section totale de l'ouvrage augmente (584 cm² au lieu de 440) et la force statique applicable en sécurité normale est sensiblement réduite.

Le type à pieux accolés peut s'appliquer sur les voies maritimes. On trouve p. ex. qu'un duc d'Albe carré formé de 9 pieux de 0,69 m × 0,345 m (épaisseur des parois 14 mm) peut amortir le choc, à 11 mètres au-dessus du fond, d'un navire de 5.000 tonnes abordant à la vitesse de 0,30 m/sec.

On a vu ci-dessus que le même résultat pouvait être donné par une poutre creuse de 4,25 m × 2,13 m de section. La fiche devait être égale à 10,30 m. La force vive de 23 tonnes-mètre s'amortit par un déplacement de la tête, égal à 21 cm, sous un effort montant à 213 tonnes.

Les 9 pieux accolés équivalents comprennent des éléments de 290 cm² de section chacun, correspondant p. ex. à deux poutrelles à larges tables DIN 35, accolées (ou à deux profils 35 de palplanches Peine). La fiche est réduite à 7,85 m. La force vive de 23 tm est absorbée, sur une course de 87,5 cm, sous un effort dont le maximum ne dépasse pas 51 tonnes.

Les types à pieux accolés conviennent donc particulièrement aux cas où la résistance aux actions dynamiques est le principal des objectifs. Les types à poutre creuse sont intéressants dans les cas où domine le souci d'une grande résistance à des efforts statiques.

*

**

Pour la navigation intérieure, les pieux du faisceau peuvent aussi être réalisés en bois. Considérons p. ex. (fig. 27 et cas 13^{bis} du tableau II) un groupe de (n²) pieux de section carrée pleine. D'après les indications du tableau II (cas 13 et 13^{bis}) :

$$\frac{r}{V} = 0,58 ; \frac{r}{b} = \frac{0,29}{n} ; \frac{r}{b} = \frac{0,50}{n}$$

Pour n = 4 (groupe de 16 pieux, fig. 29), et pour une réalisation en bois on établit (avec N = 1.000 tonnes et v₀ = 0,30 m/sec) que la fiche des pieux doit être 1,11 m × 5 m = 5,55 m et la section totale 16 × 1.400 cm², soit très sensiblement 16 pieux carrés de 38 cm de côté. L'emploi de pieux de 40 × 40, pour la même fiche, réduit la vitesse amortissable à 0,29 m/sec.

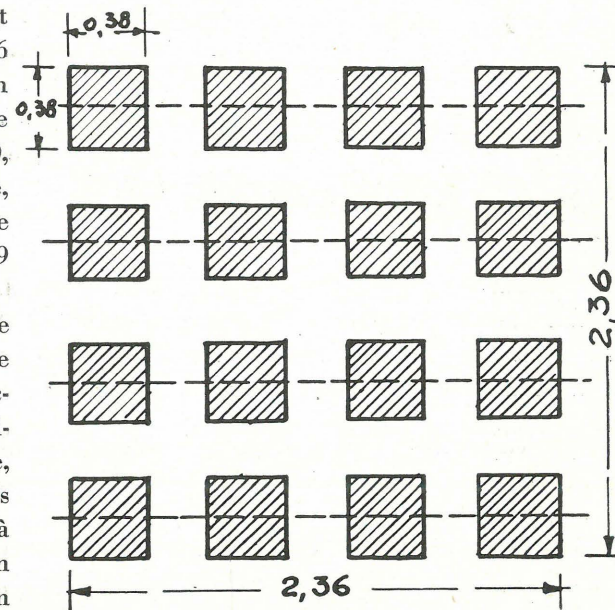


FIG. 29

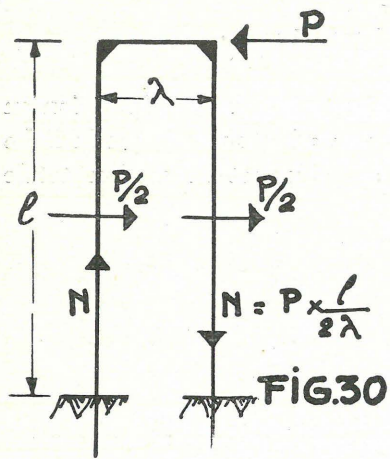
Le duc d'Albe de navigation intérieure en pieux verticaux accolés est donc pratiquement réalisable, soit en palplanches métalliques, soit à l'aide de pieux en bois. La réalisation en métal présente de nombreux avantages; nous l'avons déjà signalé au T. IV.

**

Il serait désavantageux d'établir entre les têtes des pieux une liaison absolument rigide par l'intermédiaire de fortes traverses (1). Dans cette hypothèse, le duc d'Albe de la fig. 26 comprendrait (fig. 30) deux portiques formés chacun de deux montants relativement très souples, réunis par une traverse à qui sa très courte longueur assure une rigidité relativement très grande.

On trouve facilement que, par rapport aux pieux simplement accolés, l'énergie absorbable reste très sensiblement la même, mais la déforma-

(1) Une telle liaison est concevable pour des pieux métalliques rivés à des traverses. Elle n'est pas réalisable, d'une manière durable, pour des pieux en bois car, après un certain temps, les boulons d'assemblage jouent dans les traverses dont le bois pourrit lentement.



tion horizontale est réduite de moitié environ et la pression d'impact approximativement doublée, ce qui ne peut être que désavantageux pour le navire abordé.

De plus, les pieux sont soumis à d'importants efforts axiaux tendant à enfoncer le pieu arrière et à arracher le pieu avant, ce qui ne peut être que désavantageux pour la bonne tenue du duc d'Albe.

**

Certains ouvrages à pieux accolés sont conçus de telle façon que, au premier contact du navire, les pieux métalliques d'avant se déforment seuls, mais viennent assez vite en contact avec les pieux arrière pour les entraîner dans une flexion d'ensemble de tous les éléments accolés (1).

Théoriquement, l'énergie totale absorbable est légèrement réduite, mais cette perte est compensée par le travail correspondant aux frottements qui accompagnent les déplacements relatifs des pieux au début du choc. De plus, pendant cette même période, la pression d'impact augmente moins vite que lors de la déformation simultanée de tous les pieux, ce qui rend moins brutal le premier contact du navire avec le duc d'Albe.

(1) Voir, notamment, les dispositifs adoptés à certains ducs d'Albe à chevalets métalliques devant les cales sèches de Rotterdam.

Voir aussi le dispositif original appliqué à certains ducs d'Albe à six pieux métalliques verticaux accolés, au port intérieur de Emden (revue *Bautechnik*, 1939, page 42). A Emden, les intervalles entre les pieux sont occupés, à la partie supérieure du duc d'Albe, par un groupe de bielles horizontales, articulées entre elles. La flexion d'un premier pieu provoque une rotation relative des bielles qui, à la manière de ciseaux, se coincent sur les pieux et les mettent successivement en charge. Le dispositif semble être d'une exécution assez difficile.

Plus récemment, on a simplement établi (canal de Kiel) entre les têtes des pieux verticaux d'un même duc d'Albe un plateau métallique qui se déplace horizontalement sous la flexion du premier pieu abordé et entraîne progressivement les pieux suivants dans une déformation d'ensemble de l'ouvrage. L'analyse

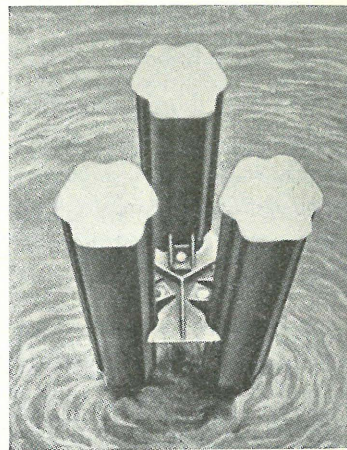


Fig. 31.

Un perfectionnement intéressant a été réalisé à Brunshüttelkoog suivant une note parue à la revue *Hansa* (1) (*Hafenbautechnisches Heft*, du 18 novembre 1950). Par suite de la mise en charge progressive, les pieux du noyau du duc d'Albe se déforment moins que ceux de la ceinture. En établissant entre les pieux du noyau des liaisons plus ou moins rigides, on augmente sensiblement l'effort qu'ils opposent à la flexion réduite, leur réservée dans le jeu de l'ensemble du duc d'Albe.

La force vive absorbable augmente, mais la pression d'impact supplémentaire correspondante ne se produit qu'à la fin du freinage du navire, au moment où la résistance du duc d'Albe est sur le point de s'épuiser.

**

Nous terminerons cette étude par une dernière remarque relative à la hauteur du point d'application du choc.

Si, dans un duc d'Albe répondant à des taux de travail donnés β et R , de section F et de fiche h connues, on fait varier la hauteur libre l ,

détaillée du fonctionnement de ce dispositif a été présentée par l'ingénieur Wadekind aux numéros de septembre et octobre 1950 du *Bauingenieur*. Les fig. 31 et 31bis se rapportent à de petits ducs d'Albe de ce type, établis à Hambourg. (Voir aussi les comptes-rendus bibliographiques du numéro d'avril 1951 des *Annales des Travaux Publics*.)



Fig. 31bis.

(1) Il s'agit, en l'espèce, de ducs d'Albe formés de tubes métalliques creux sans soudure. D'autres exemples d'application des tubes Mannesmann aux ducs d'Albe figurent au numéro d'avril 1951 de la revue *Schiff und Hafen*.

l'énergie amortissable peut, d'après les équations (19) et (20), se mettre sous la forme :

$$\frac{N v^2}{2 g} = \frac{\epsilon l^3}{36} \times \frac{R}{E} \times (1 + h)$$

Elle varie proportionnellement à la longueur totale $(1 + h)$. La résistance dynamique augmente donc quand le point d'application du choc se relève.

Quand un navire de type moderne, à bordé vertical, aborde un duc d'Albe à pieux inclinés, le choc se produit sous le niveau de l'eau. Si le duc d'Albe est vertical, sa flexion au contact du navire déplace le point d'impact vers le bas, jusqu'au bord inférieur du bordé, soit près du niveau de la quille.

Il peut en résulter une importante diminution de la résistance dynamique du duc d'Albe.

Cet inconvénient disparaît partiellement si le duc d'Albe est muni d'un flotteur qui maintient le choc au niveau de l'eau (variable en général).

Dans une étude parue au n° de septembre 1950 (page 258) du *Bautechnik*, l'ingénieur Reimer propose de supprimer complètement cet inconvénient en munissant le duc d'Albe d'une sorte de potence dont le bras horizontal est fixé par deux rotules à la partie avant et à la partie arrière du duc d'Albe, au niveau de sa tête, tandis que le bras vertical, convenablement raidi, pend au devant de l'ouvrage.

La force horizontale d'impact est toujours transmise à la tête du duc d'Albe, ce qui porte sa résistance dynamique au maximum possible. Ce transport de la force horizontale s'accompagne de la production d'efforts verticaux d'enfoncement ou d'arrachement des pieux. Ces efforts deviennent gênants si la largeur du duc d'Albe est trop faible.

Il est montré dans cette même étude du *Bautechnik*, comment la résistance dynamique d'un duc d'Albe diminue rapidement si le choc s'applique au-dessous de la plus basse des traverses de liaison des pieux et force le seul pieu abordé à transmettre l'effort d'impact par flexion aux autres pieux du groupe.

SAMENVATTING :

Dukdalven in stalen damplanken. Toepassing aan de haven te Zeebrugge.

T. I, II en III : *De toegangseulen tot de zeesluis van Zeebrugge zijn voorzien van dukdalven in stalen damplanken.*

Als geleidingswerken en ook als steunpunten zijn deze dukdalven onontbeerlijk voor een degelijk binnenlopen van de schepen in de sluis.

Iedere dukdalf kan in alle veiligheid weerstaan aan een horizontale statische kracht van 30 t, kracht die kan uitgeoefend worden 't zij door de druk van een door de wind gedrongen schip, 't zij door de trekkracht uitgeoefend op een kabel bij het sturen van het schip.

Iedere dukdalf kan ook rechtstreeks aangevaren worden door een schip van 5.000 t, varende met een snelheid van 0,17 m/sec. Het omkantelen van de dukdalf kan zich slechts voordoen door het wegpersen van de ondergrond, vóór dat de spanning van het staal ergens de elasticiteitsgrens zou bereikt hebben. Een geweldige stoot kan dus de dukdalf doen hellen zonder dat er evenwel breuk of blijvende vervorming optreedt in om 't even welk onderdeel van de constructie.

Het oprichten en terug in bedrijf stellen van de constructie kan zonder moeilijkheden geschieden.

T. IV : *Het gebruik van metalen damplanken werd slechts in overweging genomen na een kritische studie van bestaande dukdalven in hout of in gewapend beton.*

Het weerstandsvermogen van een gegeven materiaal tegen stoot kan gekarakteriseerd worden door de verhouding $\frac{\sigma}{E}$ van de spanning tot de elasticiteitsmodulus. Onder dit opzicht is staal te verkiezen aan gewapend beton; ook op bestendig in water gedompeld hout biedt het zekere voordelen.

De dukdalven in gewapend beton gevormd uit palen zoals in Nantes, of samengesteld uit op de bodem opgerichte torens, zoals in Rotterdam, IJmuiden en Le Havre, hebben een te grote stijfheid om behoorlijk schokken te kunnen ondergaan. Zij moeten van schokdempers voorzien worden. Bij beschadiging zijn de herstellingen zeer lastig en meestal onvolmaakt.

De grote houten dukdalven met schuine palen, zoals in Hamburg, vertonen eveneens een te grote stijfheid, en worden nu meestal vervangen door een bundel verticale palen. Het hout is vergankelijk en de kosten van onderhoud en herstelling van een houten dukdalf zijn veel hoger dan die van een metalen constructie.

Er bestaan veel voorbeelden van dukdalven in metalen damplanken. Op de binnenscheepvaartkanalen en op de zeevaartlijnen vindt men groepen van metalen palen of holle balken met rechthoekige of cirkelvormige doorsnede, verwezenlijkt door samenvoeging van metalen damplanken.

Op de zeevaartlijnen doen deze balken zich voor onder vorm van cirkelvormige cellen van verschillende diameter: 3 m te Wilhelmshafen; 12 m voor een dukdalf ontworpen te Le Havre voor het aanleggen van de pakketboot « Normandie ».

De dukdalven te Zeebrugge hebben een rechthoekige doorsnede van 3,60 m \times 2,60 m verwezenlijkt door 20 Belval damplanken, type B. Z. IV. N. 50. Boven het niveau van laag water, in het gedeelte van de dukdalf dat met zand gevuld is, werden er drie metalen windverbanden aangebracht. Aan het bovenste gedeelte van de dukdalf is er een 2 m dikke betonvulling aangebracht, die het laatste windverband omgeeft en waarop een bolder vastgehecht is.

Langs de zijde van de vaargeul werd de constructie voorzien van wrijfhouten in greenheart met afneembare belegstukken in eikenhout.

T. V t. e. m. VIII: De afmetingen van de dukdalven te Zeebrugge werden op zulke wijze gekozen dat ze kunnen weerstaan aan een statische kracht van 30 Ton. Dezelfde hypothesen werden beschouwd als bij het gewoon berekenen van een mast. De keuze van de aan te nemen coëfficiënten, namelijk voor het bepalen van de grondweerstand maakt het voorwerp uit van een nauwkeurig onderzoek.

Het omkantelen van de dukdalf kan slechts aanvang nemen onder de werking van een kracht van 102 Ton uitgeoefend op hoogwater-niveau, 't zij 11 m boven de kanaalbodem. Deze kracht veroorzaakt een horizontale uitwijking van 135 mm van het aangrijpingspunt. De hiermee overeenstemmende inwendige arbeid van 6,9 Ton-meter staat gelijk met de levende kracht van een schip van 5.000 Ton varende met een snelheid van 0,17 m/sec.

In de beschrijving van de uitvoeringsdétails vindt men de uiteenzetting van de maatregelen die genomen werden om de onderlinge glijding van de damplanken gedurende de doorbuiging van de dukdalf tegen te gaan. De uitwerkingen van de druk door de zandvulling werden ook onderzocht.

T. IX: Omwille van speciale voorwaarden die afhangen van de dienst der Ferryboten Zeebrugge-Harwich werden de dukdalven te Zeebrugge niet van schokdempers voorzien.

Ter bescherming van kaaimuren, brugpijlers en dukdalven werd het systeem van verende stootbuffers veel toegepast. De aanlegpost van Verdon, in de monding van de Gironde, werd voorzien van zeer krachtige schokbrekers in de vorm van de hydraulische stootbuffers. Sommige dukdalven in de haven van Kiel werden aan de kop voorzien van een klok die op het ogenblik van de aanvaring door het schip naar de kern van de constructie geduwd wordt. Het water stijgt snel tussen de klok en de kern van de zijde van de dukdalf waar de stoot terecht kwam, terwijl het daalt aan de tegenovergestelde zijde. Deze bewegingen veroorzaken belangrijke remkrachten. Benaderende berekeningen en proefnemingen hebben aangetoond dat bij de dukdalven, voorzien van dergelijke klok, het vermogen om arbeid op te sloppen vier- tot zesmaal groter kan worden.

T. X: Geeft de beschrijving der uitvoeringswijze bij wijze van: het monteren in horizontale ligging aan wal, neerzetten op ponten, vertikaal oprichten der dukdalven en ten slotte hun trapsgewijze inheien.

BIJVOEGSEL.

In deze bijgevoegde nota vindt men de methoden tot het berekenen van de afmetingen van een dukdalf gesteund op de noodwendigheden van een gegeven weerstandsvermogen tegen dynamische krachten. Deze berekeningen, toegepast op verschillende constructies en materialen, werden aangevuld met tabellen die toelaten de vergelijking te maken tussen de verschillende oplossingen aangepast voor de dukdalven die voor de binnenscheepvaart van belang zijn.

Egouts publics. Epuration.

(2^e Suite)*

Ch. DUBOSCH,

Conducteur Principal honoraire des Ponts et Chaussées;
ancien Directeur technique du Haut-Commissariat Royal
de Flandre Orientale — Anvers.

CHAPITRE V.

PRETRAITEMENTS ET TRAITEMENTS PARTIELS.

(Pretreatments and partial treatments ; Vorreinigung und Teilreinigungen ;
Vóórzuivering en gedeeltelijke zuivering).

I. — CONSIDERATIONS LIMINAIRES.

La distinction entre ce qu'on désigne par *prétraitement* et ce qui est considéré comme *traitement partiel* n'est pas toujours facile à établir.

Le traitement du sewage ou d'un effluent, de décantation p. ex., au chlore, en vue de garder sa fraîcheur à la masse liquide, constitue certainement un prétraitement, et, dans le cas de l'effluent visé, parfois un post-traitement, mais il existe aussi un traitement partiel au chlore.

La décantation physique est à considérer comme un traitement partiel dans la presque généralité des cas. Pourtant, quand elle a uniquement pour objet de débarrasser le sewage des boues, qui pourraient produire le feutrage des champs d'épandage ou présenter des dangers au point de vue hygiénique pour l'irrigation et l'arrosage des champs cultivés, ou quand elle est pratiquée en vue de simplifier le traitement chimique subséquent, elle ne constitue plus qu'un prétraitement, soit d'une épuration biologique naturelle, soit de l'utilisation agricole du sewage, soit de l'épuration par précipitation chimique.

Ce dernier traitement, lui-même, est, sans doute, un procédé d'épuration, mais, dans l'état actuel de son développement, il convient encore de le classer parmi les traitements partiels.

(*) Voir pages 83 (début) et 267 (1^{re} suite) (année 1951) des *A. T. P. de Belgique*.