

QUELQUES NOTES  
SUR LA  
CONSTRUCTION D'UN BASSIN A FLOT  
AVEC CHENAL D'ACCÈS  
ET  
ÉCLUSE D'ENTRÉE A NIEUPOORT  
PAR  
M. CHARLES PIENS,  
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

---

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

*État actuel du port de Nieuport.*

Le port de commerce est situé au nord de la ville ; il comprend une partie de 350 mètres de longueur du chenal maritime utilisée comme bassin d'échouage (pl. V). A marée basse de vive-eau, le port a une largeur de 40 à 50 mètres et une profondeur de 1 à 2 mètres.

Il est longé sur la rive sud par un mur de quai en maçonnerie ; c'est là que les navires viennent stationner pour décharger leur cargaison ou prendre chargement. A part une double voie ferrée, le terre-plein du quai,

large de 40 à 50 mètres, n'est pourvu d'aucun engin de manutention.

Les opérations de chargement et de déchargement se font à bras d'hommes, ou au moyen des engins mécaniques qu'on trouve à bord des steamers.

A l'amont du port de commerce se trouve la partie du chenal maritime désignée sous le nom d'arrière-port, dans lequel viennent déboucher six écluses disposées en éventail : trois de ces écluses desservent la navigation intérieure ; les trois autres sont uniquement affectées à l'évacuation des eaux surabondantes du pays.

Les écluses de navigation sont :

1° L'écluse du « Comte » (1) qui donne accès au canal de Plasschendaele vers Bruges et Ostende, dont la cote réglementaire est  $4^m,05 + (Z)$  ; elle a 8 mètres de largeur et  $3^m,41$  de mouillage ;

2° L'écluse « d'Ypres » qui commande l'Yser, vers Dixmude et Ypres, dont la cote réglementaire est  $3^m,25 + (Z)$  ; elle a une largeur de  $8^m,50$  et un mouillage de 3 mètres ;

3° L'écluse de « Furnes » qui ouvre le canal de Furnes vers Dunkerque, dont la cote réglementaire est  $2^m,54 + (Z)$  ; elle a une largeur de  $8^m,50$  et un mouillage de  $2^m,37$ .

Aux écluses « d'Ypres » et de « Furnes » sont accolés des déversoirs ayant respectivement cinq et quatre passages de 2 mètres de largeur.

Les écluses d'évacuation comprennent :

1° L'écluse du « Vladsloo-Ambacht », qui a trois pertuis de  $2^m,50$  de largeur, avec radier à la cote  $0^m,366 + (Z)$  ; la cote de la retenue normale est  $2^m,39 + (Z)$  ;

(1) Ainsi nommée parce que S. A. R. le comte de Flandre en a posé la première pierre le 22 septembre 1844.

2° L'écluse dite « de Chasse » qui a deux pertuis de 5 mètres de largeur avec radier à la cote  $0^m,495 + (Z)$ ; la cote de la retenue est également  $2^m,39$ ;

3° L'écluse du « Furnes-Ambacht » qui a huit passages de 2 mètres de largeur avec radier à la cote  $0^m,33 + (Z)$ ; la cote de la retenue normale est  $2^m,54 + (Z)$ .

L'écluse du « Vladsloo-Ambacht » a longtemps déversé à la mer dans de bonnes conditions les eaux surabondantes de terres basses wateringuées d'une étendue de 11,650 hectares, ce qui correspond à un débouché linéaire de  $0^m,65$ ; soit une section d'écoulement, à la cote réglementaire, de  $1^{m^2},28$  par mille hectares.

L'écluse d'évacuation du « Furnes-Ambacht » assèche avec l'aide de l'ancienne écluse de Furnes qui débouche plus en aval sur la rive gauche du chenal et dont l'ouverture linéaire est de  $5^m,60$ , un territoire de terres basses également wateringuées d'une superficie de 26,250 hectares, ce qui correspond à un débouché linéaire de  $0^m,82$ ; soit une section d'écoulement, à la cote réglementaire, de  $1^{m^2},79$  par mille hectares.

Ce sont là des renseignements d'expérience dont les déductions peuvent être utiles dans la détermination du débouché des écluses servant à écouler à la mer les eaux surabondantes d'une contrée.

M. l'inspecteur général Wolters, professeur à l'école du génie civil de Gand, rappelle à ce sujet, dans son cours de construction, que pour une écluse de décharge à la mer, des ingénieurs néerlandais comptent  $1^{m^2},14$  par mille hectares, cette surface étant mesurée aux eaux d'hiver.

Les écluses d'évacuation et les déversoirs annexés aux écluses de navigation ont un débouché linéaire

total de 51<sup>m</sup>,50; mais comme les écluses de navigation sont aussi utilisées pour l'écoulement des eaux du pays aux époques de surabondance d'eau, l'ouverture linéaire totale dont on dispose en temps de crue est de 76<sup>m</sup>,50.

Au point de vue de la puissance d'évacuation des eaux, c'est un point du pays extrêmement remarquable.

Un chenal de 4,000 mètres de longueur établit la libre communication entre l'arrière-port et la mer.

On distingue le chenal intérieur et le chenal extérieur.

Le chenal intérieur, creusé dans les terres a 3.450 mètres de longueur, est bordé par des digues sur la majeure partie de son développement.

Le lit présente à marée basse de vive-eau une largeur de 30 à 35 mètres; la profondeur du thalweg varie progressivement de l'amont vers l'aval depuis la marée basse de vive-eau jusque 2<sup>m</sup>,50 en-dessous de cette cote à l'extrémité aval, avec des profondeurs intermédiaires qui atteignent 4 mètres.

Jusqu'à ce jour, les profondeurs du chenal intérieur ont été obtenues et entretenues naturellement par l'action des évacuations des eaux du pays.

Cette partie du chenal offre deux coudes très prononcés que les navires éprouvent parfois des difficultés à franchir, l'un à l'amont, au droit de l'ancienne écluse de Furnes; l'autre vers l'aval, en face de la Tour à feu (1).

Le chenal extérieur, creusé dans l'estran, est rectiligne, orienté vers le nord-ouest. Il a une longueur de 550 mètres et est bordé par deux jetées basses en

(1) Ce phare primitif a été construit par Guy de Dampierre vers la fin du XIII<sup>e</sup> siècle. On y brûlait des bottes de paille et de jonc pour signaler le port aux navigateurs aux heures de la haute mer. C'était le début de l'évolution si remarquable de l'éclairage des côtes.

maçonnerie et par deux jetées hautes en charpente, distantes l'une de l'autre de 70 à 80 mètres, mais s'évasant vers le large pour offrir une entrée de port de 130 mètres de largeur.

Le lit de cette partie du chenal avait à marée basse, avant l'exécution des travaux de dragage, des profondeurs décroissantes de l'amont vers l'aval, depuis 2<sup>m</sup>,50 à l'origine des estacades, jusqu'à 0<sup>m</sup>,50 ou 0<sup>m</sup>,75 à peine entre les musoirs.

Il arrivait parfois que la profondeur entre les musoirs ne descendait pas au-dessous du zéro et même qu'il s'y formait, à certaines époques, des hauts-fonds s'élevant de 0<sup>m</sup>,60 au-dessus de la marée basse.

La terrasse sous-marine située au droit de l'entrée du port accusait également très peu de profondeur.

Il n'était pas rare de rencontrer dans la zone comprise entre les musoirs et la courbe de niveau 1 mètre — (Z) des plateaux voisins du zéro et qui émergeaient même à marée basse.

On remarquera que les évacuations des eaux du pays, capables de maintenir des profondeurs relativement notables dans le chenal intérieur du port, sont sans action bien sensible sur la partie aval du chenal extérieur et la passe d'entrée; celle-ci, en effet, s'est maintenue à peu près sous le relief des plages voisines.

Cette différence d'action est due à cette circonstance que le chenal extérieur est soumis aux apports sableux, tandis qu'à l'intérieur règne le régime vaseux.

On conçoit toutes les entraves que la situation du chenal extérieur et de la passe d'entrée devait causer tant à la navigation qu'à l'écoulement des eaux d'évacuation.

Aussi fut-il résolu d'améliorer ce fâcheux état de choses par le dragage, certain qu'on était du succès

en présence des résultats avantageux obtenus au port d'Ostende par les travaux de l'espèce.

Les premiers dragages entamés pour améliorer l'entrée du port de Nieuport datent de 1888. Le tableau ci-dessous résume pour chaque entreprise à laquelle il a été procédé, les cubes de sable qui ont été extraits tant au large de l'entrée du port qu'entre les estacades.

NOMS DES ENTREPRENEURS.	PRIX par MÈTRE CUBE.	CUBE EXTRAIT		ÉPOQUES.
		au large des misoirs.	entre les estacades.	
1 <sup>re</sup> entreprise Everaert frères.	Fr. 0,788	Mét. cub. 77,881	Mét. cub. 40,951	Du 8 mars 1888 au 6 septembre 1888.
2 <sup>e</sup> " Everaert frères.	0,48	183,357	24,872	Du 1 <sup>er</sup> avril 1889 au 15 mars 1890.
3 <sup>e</sup> " Volker et Bos	0,52	137,578	54,729	Du 13 juin 1890 au 1 <sup>er</sup> juillet 1891.
4 <sup>e</sup> " Everaert frères.	0,58	99,534	43,565	Du 24 octobre 1891 au 24 août 1892.
5 <sup>e</sup> " Decloedt, Em. (Baïl de 5 ans).	0,40	78,879	61,458	Du 27 décembre 1892 au 1 <sup>er</sup> oct. 1893.
Ensemble.	"	577,229	195,275	

Ces travaux ont amené les résultats suivants : la passe extérieure offre partout une profondeur d'au moins 2<sup>m</sup>,50 sous le niveau des basses mers de vive-eau ; il en est de même du thalweg de la partie du chenal comprise entre les estacades.

En cinq ans et demi environ, on a donc obtenu un accroissement de profondeur sur la passe d'entrée du port de près de 3 mètres et ce moyennant l'enlèvement d'un cube de sable relativement restreint.

Il y a cependant lieu d'observer que la situation de la passe d'entrée, telle qu'elle est indiquée à la planche V, n'est pas encore arrivée au degré de stabilité voulu pour que la navigation puisse déjà compter en tout temps sur les profondeurs qui y sont inscrites.

Les talus de raccordement des plages attenantes avec la terrasse sous-marine aux abords de la passe, n'ont pas encore atteint, en effet, leur inclinaison d'équilibre ; de même les parties de l'estran que limitent les jetées basses est et ouest du chenal extérieur, sont encore trop fortement nourries.

C'est ainsi qu'après une série de quelques jours de tempête du large, il n'est pas rare de constater un relèvement de 0<sup>m</sup>,75 dans certaines parties de la passe d'entrée et de 1 mètre dans le chenal compris entre les estacades, notamment entre les musoirs et le long de la jetée basse ouest.

En ce qui concerne les apports de sable qui sont amenés annuellement à l'entrée du port, nous les avons supputés en comparant la situation du port levée avant l'exécution de tout travail de dragage, à la situation levée au 1<sup>er</sup> octobre 1893. Nous avons ainsi trouvé que tandis qu'il avait été enlevé au large des musoirs 577,000 mètres cubes, l'approfondissement correspondant n'avait été que de 250,000 mètres

cubes, c'est-à-dire que, pendant cinq ans et demi, 327,000 mètres cubes de sable ont été entraînés vers l'entrée du port, soit une moyenne annuelle de 60,000 mètres cubes.

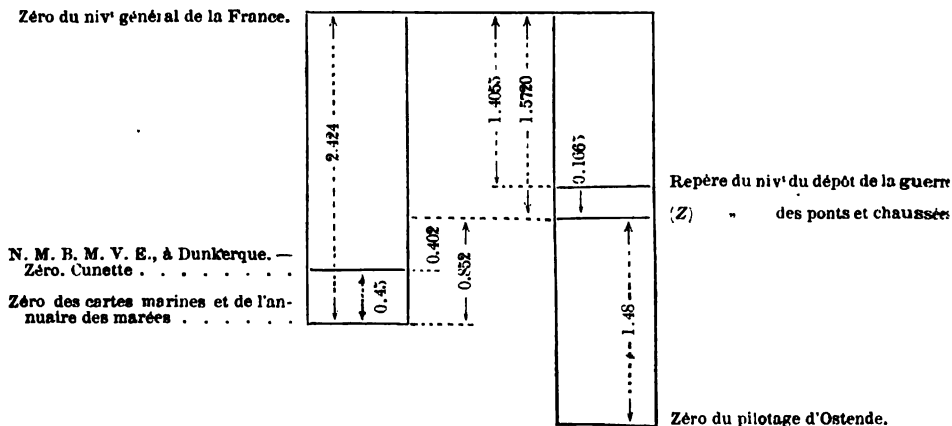
De la même manière nous avons estimé qu'entre les estacades, les apports atteignent en moyenne par an 20,000 mètres cubes environ. Un dragage annuel de 80,000 mètres cubes permettrait donc de maintenir la situation créée.

A Dunkerque, où les profondeurs réalisées sur la passe d'entrée correspondent actuellement à peu près à celles obtenues à Nieuport, la quantité de dragage nécessaire pour maintenir dans la passe extérieure du port une profondeur de 2 mètres sous le zéro des cartes marines (1) est de 500,000 mètres cubes par an (voir le Mémoire de M. l'ingénieur en chef Eyriaud des Vergnes, *Annales des Ponts et Chaussées de France*, 1889, 1<sup>er</sup> semestre, p. 229).

La rade de Nieuport, désignée sur les cartes marines

(1) Le zéro des cartes marines françaises est à 0<sup>m</sup>,852 au-dessous du zéro d'Ostende.

Comparaison des repères belges et français.



sous le nom de « Westdiep », est la meilleure du littoral. Cette rade spacieuse et profonde a une longueur de 16 kilomètres et une largeur moyenne de 2 kilomètres ; on y sonde de 12 à 18 mètres à marée basse ; le fond formé de sable coquillier est d'une bonne tenue pour les ancres. Mais les bancs qui ferment la rade du côté du large ne fournissent qu'un abri insuffisant aux navires qui viennent s'y réfugier.

Des passes larges et profondes font communiquer le « Westdiep » avec la rade de Dunkerque, la grande et la petite rade d'Ostende, et la haute mer.

Des renseignements fort intéressants et très complets sur le port de Nieuport ont été publiés par M. Demey, ingénieur principal des Ponts et Chaussées, dans son ouvrage : *Étude sur le régime de la côte de Belgique et sur les moyens d'améliorer les ports du littoral*, Bruxelles, 1885.

#### *Projet d'amélioration du port de Nieuport.*

L'entrée du port de Nieuport présente actuellement des conditions nautiques très satisfaisantes, grâce aux améliorations qui y ont été apportées par les travaux de dragage que nous venons de faire connaître.

Mais pour mettre le port intérieur dans une situation analogue, il y avait lieu de remédier aux inconvénients suivants :

1° Le long parcours que les navires ont à effectuer dans le chenal avant d'arriver à quai ;

2° La difficulté de la navigation dans les deux coudes du chenal ;

3° La sujétion pour les navires de mer et leurs allèges d'être réduits à s'échouer de mer basse devant le quai où ils ont à effectuer leurs opérations mercantiles.

Cette sujétion est cause que les négociants de Nieuport ne parviennent que difficilement à affréter des navires ; on exige pour cette destination des frets et des primes d'assurances très élevés.

Ces inconvénients ont été considérés avec raison comme les principaux obstacles à l'accroissement du trafic maritime.

Le gouvernement, soucieux du développement des ports du littoral, si intimement lié à la prospérité nationale, résolut de les faire disparaître.

Le programme des améliorations à réaliser devait nécessairement comprendre la rectification du chenal et la création d'un bassin à flot. On ne tarda pas à élaborer un avant-projet de bassin à flot (pl. V), s'étendant sur la rive ouest du chenal depuis la Tour à feu jusqu'à l'arrière-port.

Ce bassin, de 1300 mètres de longueur, englobe une grande partie du chenal intérieur ; il communique, d'une part, avec la partie aval du chenal par une tête d'écluse destinée à la navigation maritime, et, d'autre part, avec l'arrière-port par une écluse à sas pour les besoins de la navigation intérieure. Au moyen de cette dernière écluse les bateaux fréquentant l'Yser, le canal de Plasschendaele à Nieuport et le canal de Nieuport à Furnes pourraient facilement communiquer avec les navires de mer au mouillage dans le bassin à flot.

L'exécution de ce projet entraîne le creusement d'une coupure de 1000 mètres de longueur sur la rive est du port pour assurer l'évacuation des eaux du pays qui débouchent dans l'arrière-port.

On voit que la création d'un tel bassin à flot réalise toutes les améliorations que réclame la navigation maritime ; de plus, au point de vue commercial, il permet l'usage des quais déjà construits et des installations dont dispose actuellement le commerce, sans déplacement sensible du centre du mouvement.

La loi du 4 août 1879 a permis au gouvernement de donner un commencement d'exécution à ce projet par la mise en adjudication publique de l'entreprise des travaux comprenant :

1° Le creusement de la partie aval du bassin à flot projeté, située en dehors du chenal du port ;

2° La construction de l'écluse maritime et d'un chenal d'accès à cet ouvrage.

L'entreprise a été dévolue à MM. Casse et Liekens, entrepreneurs de travaux publics à Bruxelles.

Les projets ont été dressés par MM. les ingénieurs Bourgoignie et Conard, sous la direction de M. l'ingénieur en chef E. Piens.

Nous avons été chargé d'assurer la surveillance d'exécution des travaux.

## CHAPITRE II

### DESCRIPTION ET DIMENSIONS DES OUVRAGES

#### *Tête d'écluse* (pl. VI et VII).

L'écluse d'entrée du bassin à flot a une largeur de 15 mètres ; le busc est placé à la cote 2<sup>m</sup>,50 — (Z).

L'intumescence de la marée en morte-eau étant en moyenne de 3<sup>m</sup>,70 et de 4<sup>m</sup>,60 en vive-eau, les navires disposeront d'une profondeur d'eau sur le busc de 6<sup>m</sup>,20 en morte-eau et de 7<sup>m</sup>,10 en vive-eau.

Les observations effectuées prouvent que sur cent marées, il ne s'en trouve que trois ou quatre qui n'atteignent pas la cote 3<sup>m</sup>,50 + (Z).

Sauf des cas exceptionnels, on peut donc compter sur un mouillage d'au moins 6 mètres sur le seuil.

Eu égard à la nature sablonneuse du sous-sol, la tête d'écluse a été fondée directement sur le terrain.

Le radier, arasé à la cote 3 mètres — (Z), a 4 mètres d'épaisseur totale; il est formé d'un massif inférieur de béton de 2 mètres d'épaisseur et d'un massif supérieur de maçonnerie de briques recouvert d'un dallage en moellons.

Le radier est défendu à ses extrémités par deux profonds parafeuilles, formés d'un coffre de béton de 3 mètres d'épaisseur descendu jusqu'à la cote 10 mètres — (Z) et renfermé dans une enceinte de pieux-palplanches.

Les parties du radier situées sous les murs en retour des bajoyers sont également retenues par une enceinte de pieux-palplanches.

#### *Considérations sur les épaisseurs à donner aux radiers.*

Les éléments qui entrent dans la détermination de l'épaisseur d'un radier sont pleins d'incertitude.

En effet, ils entraînent tout d'abord la connaissance de la sous-pression à laquelle cette partie de l'écluse peut être soumise.

Or, la question de la transmission des pressions dans des terrains perméables est loin d'être élucidée, et d'un autre côté, la puissance de la sous-pression que provoque la hauteur des retenues, dépend non seulement de la nature du sol, mais aussi de la nature des ouvrages défensifs contre les affouillements et les infiltrations.

Pour faire disparaître cette indétermination, on considère, en général, dans les calculs, les efforts les plus grands qui peuvent se produire dans les circonstances les plus défavorables, en admettant que la sous-pression est égale à celle qui correspond à la hauteur maximum des eaux au-dessus de la base du radier.

Quant à la manière dont un radier résiste aux efforts auxquels il est soumis, les opinions ne sont pas moins divergentes, à raison des hypothèses peu fondées qu'on est obligé de faire.

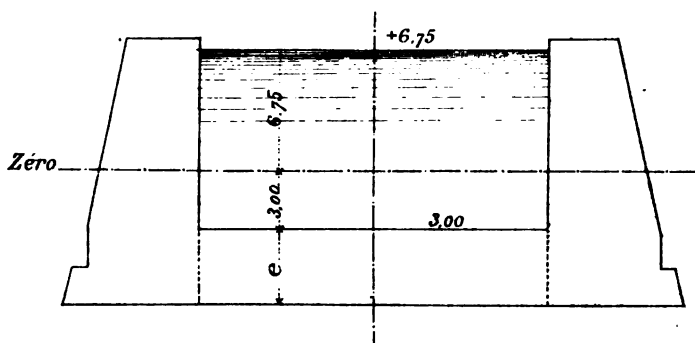
Pour le calcul des radiers plans, on les considère fréquemment comme des pièces monolithes homogènes droites, encastées à leurs extrémités au droit des bajoyers et chargées uniformément de bas en haut.

Dans cette manière d'envisager le problème, comme la pièce est supposée résister par flexion, il faut introduire dans les calculs la résistance à la traction qu'on peut admettre pour les maçonneries.

Quant à ce coefficient, on a conseillé de limiter, dans les calculs de l'espèce, la tension à 1 kilogramme par centimètre carré.

On peut dire, d'une manière générale, que les hypothèses admises ci-dessus, ainsi que l'application de la formule des pièces droites, conduisent à des épaisseurs plus fortes que celles que la pratique a montré être suffisantes.

Considérons comme exemple l'écluse de Nieuport.



La plus haute marée connue a atteint la cote  $6^m,75 + (Z)$ . Le maximum de la sous-pression correspondant à cette hauteur d'eau sur le plan de fondation est  $9^m,75 + e$ . La largeur de l'écluse est de 15 mètres entre les bajoyers et de  $18^m,10$  entre les parements des enclaves des portes. Considérons une tranche du radier large de 1 mètre. La charge par mètre courant est égale à la sous-pression, diminuée du poids de la pièce.

$$p = \pi (9,75 + e) - \pi'e$$

$\pi$  étant approximativement égal à 1 tonne et  $\pi'$  à 2 tonnes, il vient :

$$p = (9,75 - e) \times 1^t.$$

La formule des pièces encastrées donne pour la section de plus grande fatigue qui est aux points d'encastrement :

$$\frac{T}{S} \cdot \frac{l}{V} = \frac{1}{12} \times p^2.$$

Le coefficient de traction étant supposé de 1 kilogramme par centimètre carré, on obtient pour  $l = 15$  mètres :

$$10^t \times \frac{e^2}{6} = \frac{1}{12} (9,75 - e) \times 1^t \times \overline{15^m,00^2}.$$

d'où :

$$e = 6^m,26$$

pour  $l = 18^m,10$ , on trouve de même :

$$e = 6^m,87.$$

Dimensions excessives qui dépassent notablement celles admises en pratique.

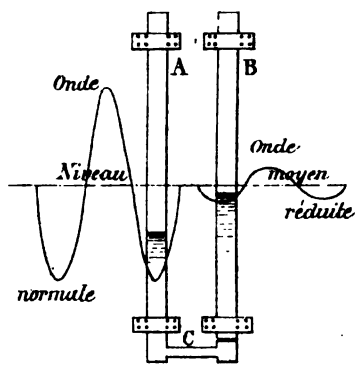
Ces résultats inadmissibles tiennent aux exagérations mêmes des hypothèses qu'on serait tenté d'adopter.

Ainsi, pour ce qui concerne les écluses maritimes, par exemple, nous croyons que l'on pourrait déjà faire disparaître une des causes d'erreur, en prenant, pour déterminer la valeur de la sous-pression, non pas la hauteur des plus fortes marées connues, mais seulement le niveau moyen de la mer.

Cette manière de voir part du principe sur lequel on construit actuellement le médimarémètre qui donne le niveau moyen de la mer en un point donné.

L'instrument imaginé par M. l'ingénieur Lallemand est basé sur ce fait qu'une onde liquide se transmettant par un canal capillaire ou mieux à travers une paroi poreuse diminue d'amplitude et se trouve retardée dans ses phases, sans que le niveau moyen du liquide éprouve de changement.

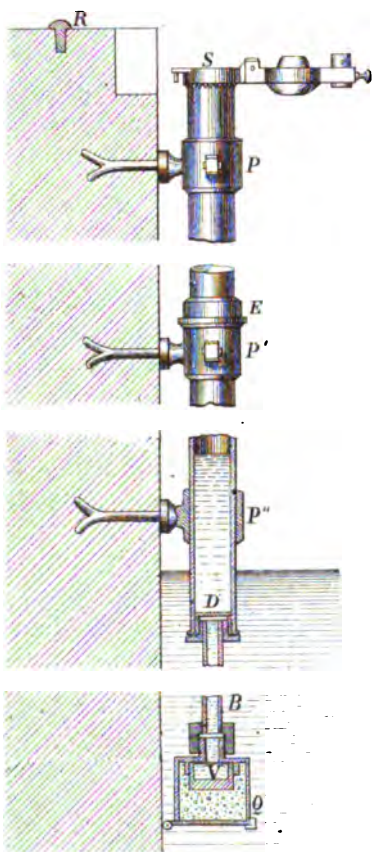
On pouvait voir fonctionner à l'Exposition universelle de Paris en 1889, au pavillon des Travaux publics, un appareil qui démontre expérimentalement ce phénomène.



« Cet appareil se compose de deux tubes A et B, communiquant ensemble par un tuyau capillaire C. Par un mécanisme spécial, le niveau du liquide dans le tube de gauche est animé d'une oscillation régulière de 30 centimètres d'amplitude; dans l'autre tube, on voit l'eau se déplacer de 10 à 15 mil-

limètres seulement de part et d'autre du niveau moyen avec un retard de près d'un quart de période dans les phases. »

Quant au médimarémètre, « il se compose d'un tube étanche *S* que l'on fixe verticalement au moyen de



de colliers à griffes *P P' P''* dans un puits communiquant avec la mer, ou contre un mur de quai. Ce tube est en relation, par un tuyau *B*, avec un plongeur *Q*, immergé au-dessous du niveau des plus basses mers. Ce plongeur est divisé en deux parties par une cloison poreuse *V* en porcelaine dégourdie. Le compartiment inférieur est rempli de sable, et son enveloppe percée latéralement de trous pour l'accès de l'eau.

La surface poreuse est réglée de manière que la marée journalière soit réduite dans le tube à une oscillation insignifiante.

Une observation par jour suffit, dès lors, pour déterminer la variation

lente du niveau intérieur avec le temps. »

(Extrait des notices sur les modèles, dessins, etc., relatifs aux travaux des ponts et chaussées. Mines. Documents divers. Exposition universelle de Paris 1889.)

Cet appareil nous paraît démontrer également ce

qui doit se passer approximativement dans les variations de la sous-pression sur le radier d'une écluse à la mer.

Le tube *A* (fig. p. 181) représente le chenal d'accès à l'écluse, soumis aux ondulations de la marée; le tube *B* représente le plan de la fondation de l'écluse, et le tube capillaire ou la paroi poreuse figure le sous-sol.

L'onde transmise étant d'autant plus réduite que les résistances offertes sont plus grandes, on voit que les variations de pression que doit subir le radier d'une écluse à la mer seront d'autant moins prononcées que le sol est moins perméable et que les ouvrages défensifs contre les affouillements et les infiltrations sont plus importants, pour tendre vers une pression dont les oscillations, en définitive, eu égard aux nombreuses précautions que l'on prend dans la construction d'une écluse maritime, ne doivent pas beaucoup s'écarter du niveau moyen de la mer à l'endroit considéré.

D'autre part, dans l'application de la formule des pièces droites encastrées aux deux extrémités, le coefficient de résistance permanente de la maçonnerie à la traction pris égal à 1 kilogramme par centimètre carré nous paraît trop petit.

Dans son étude sur la stabilité des écluses de grande ouverture (*Annales des Ponts et Chaussées de France*, 1888, 1<sup>er</sup> semestre), M. l'ingénieur en chef de Préau-deau admet, pour des maçonneries de ciment anciennes, une résistance de 4<sup>k</sup>,5 par centimètre carré.

D'autre part, M. l'ingénieur Maurice Widmer, dans sa note sur la construction de deux formes de radoub au Havre (*Annales des Ponts et Chaussées de France*, 1893, 1<sup>er</sup> semestre), rappelle que M. l'ingénieur Bellot a fait faire des expériences sur des blocs de béton confectionnés depuis un temps variant de douze à dix-huit mois, pour déterminer leur résistance à la

rupture par flexion. Cette résistance a été trouvée de 36 kilogrammes par centimètre carré.

Partant de ces expériences, M. Widmer admet pour le béton une charge limite de 9 kilogrammes par centimètre carré.

Pour le radier de la cale n° 5 du Havre, dont la distance entre les appuis est de 18 mètres pour une charge d'eau maximum de 13<sup>m</sup>,72, cet ingénieur donne une épaisseur de radier de 3<sup>m</sup>,15, faisant ainsi travailler le béton dans la section du milieu à 6<sup>k</sup>,3 par centimètre carré et à 8<sup>k</sup>,7 aux points d'encastrement, en faisant application de la formule des pièces droites encastées aux deux bouts.

Le coefficient 9 kilogrammes ne représentant que le quart de la charge de rupture, nous semble trop élevé.

Nous estimons qu'il serait plus prudent pour la détermination du coefficient  $R$  d'adopter les quatre dixièmes de la tension de rupture, soit 14<sup>k</sup>,4 et de prendre un coefficient de sécurité égal à 4, soit pour la résistance à admettre dans les calculs  $\frac{R}{S} = 3^k,6$ , correspondant au dixième de la charge de rupture.

Appliquons à l'écluse de Nieuport l'hypothèse du niveau moyen de la mer pour la charge d'eau de la sous-pression, et faisons usage du coefficient  $\frac{R}{S} = 3^k,6$  pour la résistance de la maçonnerie à la traction.

Pour la partie du radier comprise dans l'ouverture des chambres des portes d'une portée de 18<sup>m</sup>,10 entre les appuis, la formule :

$$\frac{T}{S} \cdot \frac{I}{V} = \frac{1}{12} p l^2.$$

devient

$$36^t \times \frac{e^2}{6} = \frac{1}{12} (5,18 - e) \times 1^t \times \frac{18,10^2}{},$$

le niveau moyen de la mer étant de 2<sup>m</sup>,18 au-dessus du zéro, ainsi que l'a déterminé M. l'ingénieur en chef Bovie dans son étude sur le régime de la marée au port d'Ostende. (*Annales des Travaux publics de Belgique*, 2<sup>e</sup> c., t. 44.)

On en déduit pour l'épaisseur du radier :

$$e = 3^m,10.$$

Cette dimension nous paraît admissible.

Elle est au surplus en rapport avec la règle empirique donnée par M. l'inspecteur général Laroche dans son ouvrage des « Ports maritimes » :

« Si l'on s'en rapporte à l'examen des écluses existantes et dont la solidité est éprouvée, il semble, écrit cet ingénieur, qu'on peut admettre, au moins à titre de première indication, les chiffres suivants :

« Pour les écluses de 18 à 25 mètres de largeur, supportant une retenue de 8 à 10 mètres au-dessus du seuil, l'épaisseur du radier varie de un sixième à un septième de la largeur dans la partie courante du sas. »

Si nous appliquons la règle ci-dessus à la partie de l'écluse située au droit des chambres des portes, dont l'ouverture est de 18<sup>m</sup>,10, on obtient pour l'épaisseur

$$\text{du radier } \frac{18^m,10}{6} = 3^m,02.$$

Enfin, on voit encore que l'épaisseur trouvée plus haut correspond exactement à l'épaisseur donnée à la forme n° 5 au Havre, dont le radier se trouve presque identiquement dans les mêmes conditions que le radier de l'écluse de Nieuport.

Au Havre, en effet, la distance entre les appuis est de 18 mètres pour une charge d'eau maximum de 13<sup>m</sup>,72; à Nieuport, l'ouverture est de 18<sup>m</sup>,10 au droit des chambres des portes, pour une charge d'eau maximum de 12<sup>m</sup>,85, en supposant une épaisseur de 3<sup>m</sup>,10 pour le radier.

Seulement, M. Widmer admet pour sous-pression une charge d'eau correspondante à la plus forte marée (+ 8<sup>m</sup>,72), compensée par l'adoption d'un coefficient de traction fort élevée pour la maçonnerie égal à 8<sup>k</sup>,7, tandis que nous partons d'une sous-pression réduite au niveau moyen de la mer, et d'un coefficient de résistance égal à 3<sup>k</sup>,6.

Cependant, s'il s'agissait de déterminer l'épaisseur à donner au radier d'une écluse à sas de grande dimension ou d'une cale sèche, on ne pourrait perdre de vue, nous semble-t-il, l'action qu'exerce le niveau statique des eaux de la nappe souterraine.

Ces eaux, par leur situation, doivent exercer, dans la partie centrale d'une grande écluse, une action plus complète et plus réelle que les eaux des retenues artificielles, que l'on prend parfois pour point de départ.

Il importe d'autant plus de se prémunir contre l'action des eaux ambiantes que tous les ouvrages de défense qu'on oppose aux infiltrations sont dirigés contre les retenues extérieures à l'ouvrage, alors que les eaux souterraines peuvent exercer leur action librement sur la majeure partie des fondations.

#### *Accident survenu au radier.*

Les maçonneries du radier et des bajoyers de l'écluse venaient d'être terminées, et les remblais de la fouille à l'arrière des bajoyers avaient commencé, lorsqu'on remarqua une fissure dans l'axe longitudinal du radier. Cette fissure, à peine perceptible au début, ne tarda pas à s'élargir lentement et progressivement jusqu'à devenir une crevasse de 3 à 4 centimètres de largeur. Transversalement la crevasse affectait la forme d'un angle très aigu dont le sommet prenait vraisemblablement naissance au plan de fondation.

On constata en même temps de légers mouvements dans les bajoyers ; ceux-ci s'étaient affaissés et déversés quelque peu extérieurement au pertuis de l'écluse.

M. l'inspecteur général Laroche, dans son ouvrage déjà rappelé sur les « Ports maritimes », décrit comme suit les accidents de l'espèce :

« Des radiers, dont l'épaisseur paraissait devoir être suffisante, ont cependant quelquefois subi des avaries. Ils se sont fendus dans le sens de la longueur de l'écluse, tantôt suivant l'axe, tantôt le long des bajoyers.

« Ces accidents se sont présentés surtout pour des écluses fondées directement sur un sol meuble, qu'on devait croire incompressible, par exemple sur un fond de sable pur de profondeur indéfinie.

« La cause de ces fissures reste encore assez obscure ; on est généralement porté à admettre qu'elle tient à des dérangements du sol, qui ont pu se produire, après coup, sous le radier.

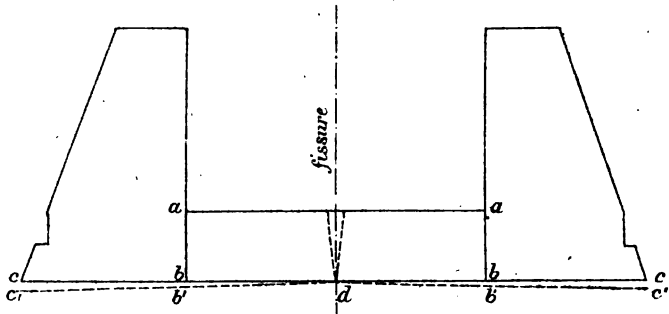
« Ces dérangements consisteraient en tassements inégaux sous les bajoyers et le radier, ou en entraînement du sol meuble par les infiltrations sous la fondation.

« En ce qui concerne les tassements, on présente les observations suivantes :

« Il n'y a pas, en réalité, de sol absolument incompressible, et en tout cas la compressibilité, si faible qu'elle soit, ne peut pas être absolument la même en tous les points d'une surface aussi étendue que celle que couvre le radier d'une grande écluse marine.

« Or, le bajoyer représente un poids considérable, en porte à faux pour ainsi dire, aux deux extrémités de la largeur du radier. Le sol pourra donc avoir une tendance à tasser sous le bajoyer plus que sous le radier, d'où un effort tranchant ou de cisaillement

qui déterminera une fissure dans le radier, au pied du bajoyer.



« Si le bajoyer fait bien corps avec le radier suivant  $ab$ , il paraît raisonnable d'admettre que son poids se répartira non seulement sur sa base  $bc$ , mais encore sur une partie  $db$  du radier ; toutefois, on n'a, jusqu'ici, aucune donnée, ni théorique ni pratique, permettant d'apprécier la charge ainsi transmise au sol sous le radier. Si la charge augmente de  $d$  (où l'on admettra qu'elle est nulle) à  $c$  (où elle sera supposée atteindre son maximum), l'inégale compression du sol pourra déterminer un léger dérangement du bajoyer  $bc$ , qui entraînera une fissure vers l'axe de l'écluse.

« On voit qu'il est à peu près impossible de prévoir de pareils effets, et à plus forte raison, de les apprécier avec un degré suffisant de probabilité pour les introduire dans les calculs.

« Aussi, des ingénieurs pensent qu'il convient, en pareil cas, d'assurer au bajoyer une stabilité absolue en le faisant, par exemple, reposer sur un pilotis solide qui évitera toute chance de tassement ou de déversement. »

On voit que l'accident décrit par M. Laroche a une

analogie frappante avec celui qui s'est produit à l'écluse de Nieuport.

Cet ouvrage est, en effet, fondé directement sur un fond de sable de profondeur indéfinie que l'on devait supposer incompressible.

Comme le bajoyer faisait bien corps avec le radier, eu égard à la forte épaisseur de ce dernier, le poids de la construction s'est réparti sur toute la largeur de l'assiette de fondation, en provoquant une compression croissante du sol, de l'axe de l'écluse jusqu'à l'arête extérieure de la fondation.

Cette avarie, heureusement, n'a eu aucune conséquence fâcheuse. La crevasse fut tenue en observation et lorsqu'on eut acquis la certitude que tout mouvement avait cessé, on y versa avec grand soin un coulis de ciment Portland jusqu'à complète saturation.

Depuis lors, le bassin ayant été mis à sec, les portes de flot ont subi des pressions de plus de 7<sup>m</sup>,50 d'eau et aucune filtration n'a été observée à travers le radier.

#### *Avant-radiers.*

Des avant-radiers protègent les fondations de l'écluse contre les affouillements que tendent à produire les courants à travers le pertuis.

Ceux-ci se manifestent pendant le temps que les portes restent ouvertes un peu avant l'étale jusques un peu après. Il faut aussi compter avec l'éventualité d'un accident aux portes au cours d'une manœuvre; la vidange et le remplissage du bassin à la marée donneraient lieu à des courants intenses.

De là également la nécessité des profonds parafoilles déjà décrits.

Du côté du chenal d'accès, l'avant-radier, qui doit en

outre résister aux effets du ressac, a une longueur de 30 mètres ; il est constitué par une couche de béton recouverte d'un dallage, le tout retenu à l'extrémité par une file de pieux et palplanches. Au milieu de sa longueur, l'avant-radier est encore coupé par un rideau en pieux et palplanches.

Cet ouvrage est de plus précédé d'un faux-radier en fascinaux lestés de gros moellons.

L'avant-radier attenant au bassin a 20 mètres de longueur ; il est constitué d'une manière analogue.

Ces ouvrages défensifs relativement importants sont nécessités par la nature meuble du sol éminemment affouillable.

#### *Bajoyers.*

Dans chaque bajoyer, il est ménagé un larron longitudinal de 1<sup>m</sup>,40 de largeur et de 2<sup>m</sup>,20 de hauteur sous clef, dont le seuil est à la cote 0<sup>m</sup>,125 + (Z).

Au droit du busc, un larron transversal de 1 mètre sur 1<sup>m</sup>,125 s'embranché sur le larron longitudinal pour déboucher horizontalement au niveau du busc.

Les aqueducs longitudinaux servent à effectuer des chasses dans le chenal d'accès, à alimenter le bassin à marée haute sans devoir recourir à l'ouverture des portes de flot, ou enfin à abaisser le niveau de la retenue au-dessous de la marée haute pour permettre d'ouvrir les portes d'ebbe avant le moment du plein et de prolonger ainsi la durée des manœuvres d'entrée au bassin.

Les larrons transversaux sont spécialement destinés à faire des chasses pour dévaser et nettoyer le radier et les chambres des portes.

Des vannes planes en bois de chêne, commandées directement par des crics, permettent de fermer tous ces pertuis.

Les enclaves des portes ont 1<sup>m</sup>,55 de profondeur ; elles sont destinées à recevoir non seulement les portes busquées mais également des portes-valets dont l'établissement a été prévu pour le cas où la houle se propagerait avec trop d'intensité dans le chenal d'accès.

*Portes busquées (pl. VIII).*

Le pertuis de l'écluse est muni d'une double paire de portes, l'une de flot dirigée vers la mer, l'autre vers le bassin pour en assurer la retenue.

Les portes ont une largeur de 8<sup>m</sup>,53 et une hauteur de 9<sup>m</sup>,55 ; elles sont constituées, comme on le fait généralement pour les grandes ouvertures, par une série d'entretoises cintrées du côté de la retenue et reliées par des montants verticaux.

Une double écharpe en fer empêche la déformation du vantail.

En prévision de l'éventualité du placement des portes-valets, un bordage vertical a été appliqué sur chaque face.

Des tirants d'entretoisement en fer traversent la porte dans sa largeur et assurent la rigidité du système.

Les entretoises sont plus rapprochées dans le bas que dans le haut du vantail. Dans ce genre de portes, on adopte quelquefois des espacements égaux pour toutes les entretoises, en se basant sur ce que les montants verticaux et le bordage qui règnent sur toute la hauteur du vantail tendent à répartir la charge totale sur toutes les entretoises et que cette répartition peut varier dans la plus large limite pour des entretoises égales et également espacées, ainsi que M. Chevallier l'a démontré expérimentalement (*Annales des Ponts et Chaussées de France*, 1850, 1<sup>er</sup> semestre) et M. La-

voisine analytiquement (*Annales*, 1867, 1<sup>er</sup> semestre). M. l'ingénieur principal Vander Linden a également publié quelques considérations en faveur de l'espace-ment égal des entretoises dans les *Annales des travaux publics de Belgique*, tome 45, 3<sup>e</sup> cahier.

La manœuvre des portes se fait à l'aide de barres traînantes actionnées par des cabestans mus à bras d'hommes. Les barres traînantes sont formées d'une poutrelle en fer laminé de 0<sup>m</sup>,25 de hauteur, sur laquelle se trouve rivée une crémaillère en acier de 0<sup>m</sup>,07 de hauteur.

Les portes sont en bois de greenheart.

L'emploi de cette essence dans les travaux publics a donné lieu à des critiques ; il est vrai que ce bois offre certains inconvénients : ainsi la mise en œuvre du greenheart exige des précautions spéciales, notamment dans le sciage des pièces et le battage des pieux à cause de la facilité à se cliver.

Sa grande dureté présente aussi quelques difficultés pour le travail du charpentier. Enfin, il peut arriver qu'une pièce, saine en apparence, doive être rebutée au moment de la mise en œuvre ; si la pièce n'est pas d'un équarrissage courant, la poutre de rechange devra être expédiée du lieu d'origine (Guyanes) et pourra ainsi peut-être occasionner un certain retard dans l'achèvement du travail.

Mais le greenheart est recommandable pour les forts équarrissages qu'il fournit ; ainsi les poteaux tourillons et busqués ont près de 10 mètres de longueur et des équarrissages de 0<sup>m</sup>,55 × 0<sup>m</sup>,45 et de 0<sup>m</sup>,50 × 0<sup>m</sup>,45 ; les entretoises tout d'une pièce ont 0<sup>m</sup>,55 × 0<sup>m</sup>,40.

Les poutres qui ont fourni ces pièces avaient des équarrissages dépassant 0<sup>m</sup>,65 × 0<sup>m</sup>,65.

A Ostende, sur les chantiers des travaux de la nou-

velle estacade ouest, nous avons eu l'occasion de mesurer une poutre de greenheart de 20 mètres de longueur offrant sur toute cette longueur un équarrissage de  $0^m,55 \times 0^m,60$ .

Le commerce livre actuellement les poutres de greenheart telles qu'elles sont importées en Europe, c'est-à-dire équarrées à la hache, moyennant un prix de 150 francs au mètre cube pour pièces ordinaires, et de 200 francs pour pièces de gros équarrissage, pour portes d'écluse par exemple. De ces grosses poutres, il tombe souvent un déchet de 25 à 30 p. %.

Le greenheart joint à une grande raideur, une résistance permanente très élevée.

M. l'ingénieur Haerens, attaché à l'Ecole du génie civil à Gand, a publié dans les *Annales de l'Association des ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand* (t. XVI, 2<sup>e</sup> livraison), une note relativement aux essais faits au banc d'épreuve de Malines de deux poutres en greenheart.

Il résulte de ces expériences que le coefficient de résistance permanente  $R$  pour le chêne étant de  $2^k,4$  par millimètre carré, celui du greenheart peut être pris égal à  $4^k,4$ , soit  $1^k,1$  pour le taux de travail à admettre dans les calculs, le coefficient de sécurité étant égal à 4.

De même le coefficient de raideur  $E$ , qui, pour le chêne peut être évalué à 1000, s'élève à 2600 pour le greenheart.

Il s'ensuit que l'expression de la mesure de la résistance vive  $\frac{R^2}{E}$  s'élève respectivement pour ces deux essences à 0,0057 et 0,0074.

« Les constructions à la mer, conclut M. Haerens, sont exposées aux chocs des vagues, et, accidentellement, des navires; il en est ainsi pour les pieux

d'estacades et pour les portes d'écluse, qui peuvent être en outre sujettes au battement. Sous ce rapport, les chiffres qui précèdent font ressortir la supériorité du greenheart qui, tout en étant plus raide, offre plus de résistance aux chocs que les autres bois, à raison de sa grande résistance permanente. »

Depuis plusieurs années, le greenheart a été beaucoup employé en Angleterre et en Hollande, pour la construction de portes d'écluses maritimes, de vannes et de ducs d'Albe.

Dans ces dernières années, il a été employé sur une grande échelle au port d'Ostende pour la construction d'estacades, portes d'écluse, postes d'accostage et débarcadères.

A Nieuport, il a été utilisé non seulement pour les portes d'écluse, mais aussi pour tous les pieux des estacades et des appontements du bassin à flot.

Jusqu'à présent son usage n'est pas encore venu infirmer les espérances que l'on avait fondées sur ses qualités.

D'ailleurs, tous les renseignements dont on s'était entouré avant la mise en pratique du greenheart en Belgique avaient été des plus satisfaisants.

D'après M. Lyster, ingénieur en chef du port de Liverpool, on fait exclusivement usage de cette essence depuis plus de 35 ans pour les ouvrages en charpente destinés à séjourner sous eau, notamment pour les portes d'écluse de ce port.

Des ouvrages visités après un séjour de 25 à 30 ans dans l'eau, ont montré le greenheart en bon état de conservation, alors que le chêne était criblé par le taret et le fer fortement attaqué par la rouille.

Les ingénieurs néerlandais ont fait savoir que l'usage du greenheart était déjà très répandu chez eux pour diverses espèces d'ouvrages tels qu'écluses de

polders, ducs d'Albe, grils de radoub, etc. ; leurs rapports sont très favorables à cette essence au point de vue de sa résistance au taret et à tous les agents destructeurs.

Nous croyons que le greenheart pourra être employé avantageusement pour toutes les grosses pièces de charpente qui ne demandent que peu de travail de main-d'œuvre, notamment pour les pieux d'estacade, d'appontement, triangles de garde, etc.

Dans tous ces cas d'application, en dehors des considérations qui militeraient en faveur de cette essence comme à l'abri de l'atteinte du taret, son usage se justifie diversement.

Employées comme pieux, les poutres de greenheart peuvent, en effet, être mises en œuvre telles qu'elles sont importées du pays d'origine, c'est-à-dire équarrées à la hache ; il convient cependant d'user d'une certaine tolérance dans les dimensions, eu égard à la difficulté de trouver un équarrissage déterminé pour un grand nombre de pièces, si l'on veut éviter, bien entendu, des frais de main-d'œuvre et de déchet relativement élevés.

D'autre part, comme les pieux constituent pour ainsi dire la fondation de la charpente, il est rationnel et avantageux d'employer pour cette partie d'un ouvrage, la matière la plus résistante, quoiqu'un peu plus coûteuse, à raison notamment de la difficulté à remplacer un pieu hors d'usage, opération entraînant le démontage d'une partie importante de la superstructure.

#### *Chenal d'accès.*

Le chenal d'accès à l'écluse débouche dans la partie rectiligne du chenal intérieur du port, un peu en aval de la crique de Lombartzyde (pl. V).

Ce chenal a une longueur de 300 mètres afin que les navires aient l'espace voulu pour amortir leur aire et qu'ils puissent se mettre à l'abri du courant de jusant du port après l'heure du plein.

La distance depuis l'extrémité des estacades jusqu'à l'écluse est ainsi d'environ 2,300 mètres.

Le plafond du chenal a été creusé à la cote 3 mètres — (Z).

Les talus des deux rives ont des inclinaisons variables depuis  $4/4$  près de la tête d'écluse jusque  $8/4$  et  $12/4$ ; ils sont consolidés en contre-haut de la marée basse par des revêtements maçonnés (pl. VIII); en contre-bas du repère, les talus sont défendus par des plates-formes en fascinages lestés.

Une estacade, terminée par une partie courbe formant musoir, longe le chenal sur toute la rive est; elle est spécialement destinée au service du halage et à guider les navires à leur entrée ou sortie de l'écluse, les vents dominants soufflant de la région de l'ouest.

Des estacades de garde situées de part et d'autre de la tête d'écluse aident encore à la manœuvre au passage des navires.

#### *Bassin à flot.*

Le bassin à flot a 400 mètres de longueur environ. Sa plus grande largeur est de 150 mètres.

Il est creusé, comme le chenal d'accès, à 3 mètres sous le zéro; les navires y trouveront ainsi un mouillage d'au moins 6<sup>m</sup>,50.

Les talus dressés à  $6/4$  sont défendus par des revêtements maçonnés.

La rive ouest, la seule exploitable, est pourvue de quatre appontements en charpente de 10<sup>m</sup>,50 de largeur, dont deux sont jumelés afin de permettre le

déchargement des steamers par plusieurs écoutilles simultanément.

Le terre-plein ouest sera pourvu des voies ferrées nécessaires à son exploitation.

### CHAPITRE III

#### MODE D'EXÉCUTION DE LA FONDATION DE L'ÉCLUSE

##### *Nature du sol.*

Les trous de forage destinés à reconnaître la nature du sous-sol à l'emplacement de la tête d'écluse ont été suffisamment multipliés et descendus jusque 9<sup>m</sup>,23 au-dessous du zéro d'Ostende.

Partout le terrain se compose de sable gris d'un grain très fin mélangé de menus coquillages et fortement imprégné d'eau.

Une fondation sur radier général en béton était possible.

##### *Moyens d'exécution primitivement projetés.*

On eut tout d'abord l'idée d'établir l'ouvrage à l'air libre et à sec ; mais la fondation devant descendre jusque 7 mètres sous le zéro, et la marée haute de vive-eau atteignant souvent la cote 5 mètres + (Z), soit une différence de niveau de 12 mètres, on en vint bientôt à redouter une fouille trop spacieuse et des épui-sements exagérés qui eussent entraîné à une dépense considérable.

Aussi le premier avant-projet qui fut dressé prévoyait-il une fondation générale en béton coulé sous charge d'eau dans une enceinte en palplanches, suivant le dispositif appliqué à l'écluse dite du « Château »,

à Gand, et que M. l'ingénieur principal Van der Linden a décrit dans la susdite publication (t. 45, 3<sup>e</sup> cah.).

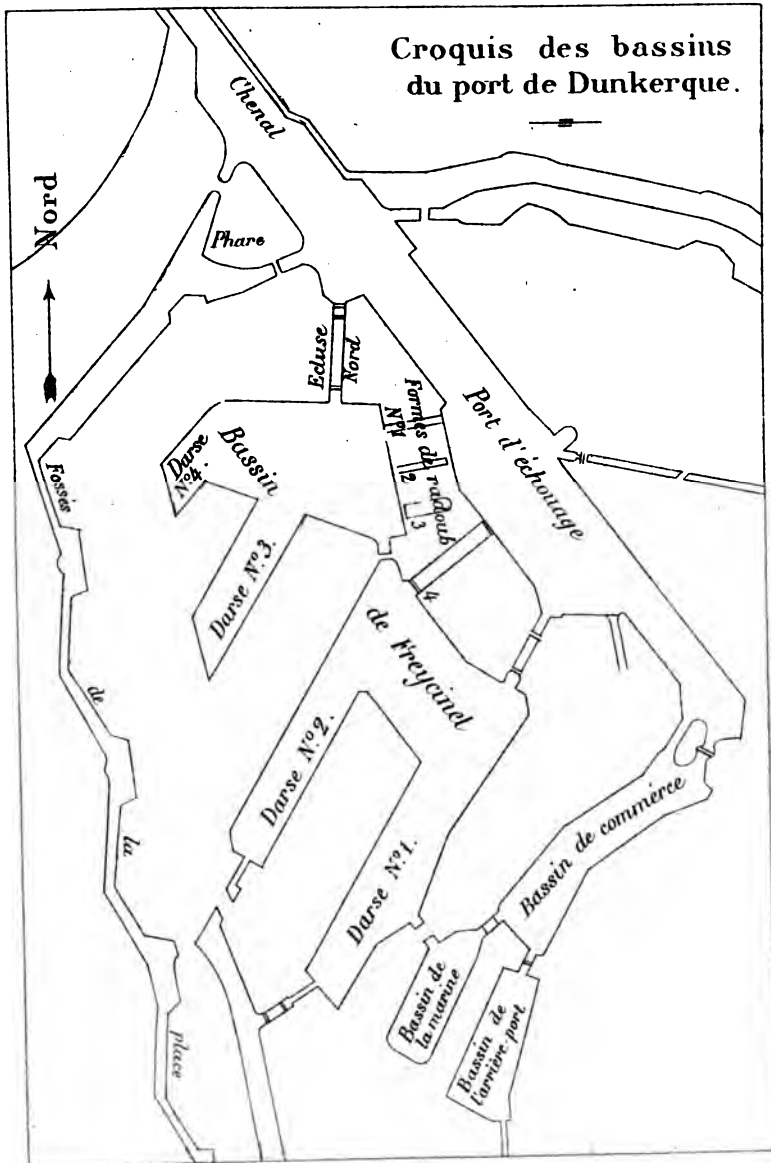
Cependant les mécomptes auxquels le béton immergé a donné lieu dans des entreprises de l'espèce et l'exemple de grands travaux maritimes exécutés avec succès à l'étranger suivant d'autres procédés, firent renoncer à ce mode de construction.

#### *Travaux du port de Dunkerque.*

Les moyens employés en ces derniers temps au port de Dunkerque dans la construction des principaux ouvrages maritimes furent concluants pour faire adopter un mode d'exécution à sec et à l'air libre.

M. l'ingénieur principal Bourgoignie s'étant spécialement occupé des travaux de Dunkerque, a recueilli à leur sujet les renseignements suivants :

Les travaux maritimes en exécution à ce port en 1888, figuré sommairement au croquis ci-dessous, occupaient un vaste chantier d'une superficie de vingt-cinq hectares environ.



Ils comprenaient :

1° La darse n° 2 qui présente avec son bassin d'évolution une surface d'environ 10 hectares et dont le plafond se trouve à 3 mètres en contre-bas du niveau moyen des marées basses de vive-eau ordinaires ;

2° Les darses n°s 3 et 4 qui, avec leur bassin d'évolution, ont une étendue d'environ 12 hectares ; elles ont le plafond à 5 mètres en contre-bas de la marée basse ;

3° Les quatre formes de radoub et l'écluse nord occupant avec leurs accès une superficie d'environ 3 hectares (1).

Ces travaux s'exécutaient à sec.

Les épaissements du chantier furent organisés par l'Administration des ponts et chaussées.

Les pompes étaient du type centrifuge de 0<sup>m</sup>,20 à 0<sup>m</sup>,25 de diamètre à l'aspiration ; des locomobiles de 10 à 15 chevaux fournissaient la force motrice.

Toutes les eaux du chantier étaient recueillies dans un puisard établi au pied du batardeau qui séparait la darse n° 2 de la darse n° 1 alors en exploitation.

Ce puisard était desservi par une batterie de 4 pompes centrifuges actionnées par 4 locomobiles, dont 3 en service permanent et 1 en réserve.

Les eaux tenues dans le puisard moyennement à la cote 4 mètres — M. B. étaient déversées dans la darse n° 1 à la cote 7<sup>m</sup>,50 + M. B. Soit une hauteur d'élévation de 11<sup>m</sup>,50.

Le débit était estimé à 14 mètres cubes par minute en temps ordinaire.

(1) Les dimensions principales de ces ouvrages sont :

Forme n° 1.	Long. :	100 mètres ;	larg. :	14 mètres ;	seuils :	1 <sup>m</sup> ,00 — M. B.
“ n° 2.	“	100 “	“	14 “	“	2 <sup>m</sup> ,50 “
“ n° 3.	“	80 “	“	14 “	“	1 <sup>m</sup> ,00 “
“ n° 4.	“	180 “	“	21 “	“	2 <sup>m</sup> ,50 “

Ecluse nord. Longueur utile, 180 mètres ; largeur, 25 mètres ; busc, 5<sup>m</sup>,50.

Les eaux des diverses fouilles partielles du chantier étaient amenées à ce puisard général par un réseau de rigoles alimentées soit par l'afflux naturel des sources, soit par des postes d'épuisement secondaires ou de relai. Le plus important de ces derniers était celui qui desservait la fouille de l'écluse nord : celle-ci, isolée de la fouille générale par un batardeau, occupait une superficie de plus d'un hectare (250 mètres de longueur sur 55 mètres de largeur à mi-hauteur des talus); elle était descendue à une profondeur de 10 mètres sous marée basse et devait atteindre, en certains points, à l'emplacement des parafoilles d'amont et d'aval, la cote 11<sup>m</sup>,50 — M. B.

Les épuisements s'y faisaient au moyen de deux pompes centrifuges conjuguées, dont l'une fonctionnait comme aspiratrice et l'autre comme refoulante, commandées chacune par une locomobile.

La hauteur totale du refolement était de 20 mètres; et le débit, estimé à 4 mètres cubes par minute en temps normal, n'avait plus subi de variation sensible depuis que la fouille avait atteint la cote 4<sup>m</sup>,50 — M. B.

Ce relai, à cause de son importance, avait été doublé pour parer aux interruptions des appareils d'épuisement, à résulter des visites, nettoyages, réparations, etc.

Ce chantier était établi dans un terrain de sable, provenant d'anciennes alluvions de mer.

Le terrain naturel se trouvait généralement à une hauteur de 7 à 8 mètres au-dessus de la basse mer; partout la nappe des eaux souterraines se trouvait très près du sol et elle venait même affleurer en certains endroits.

Le chantier se trouvait limité par la ceinture des fossés des fortifications ouest de la place où les eaux se tiennent habituellement à la cote de mi-marée; par

les divers bassins à flot du port, dont la retenue oscille entre le niveau de la marée haute de vive-eau et celui de la marée haute de morte-eau ; enfin par le port d'échouage et l'avant-port où le niveau des eaux subit toutes les fluctuations de la marée.

Les massifs qui séparaient ce chantier des eaux environnantes étaient généralement formés de sable ; leur crête, en certains points, n'avait qu'une trentaine de mètres de largeur.

Cet exemple démontre que le terrain de sable présentait une grande résistance au passage des eaux : Ces dépressions, dont les épaissements provoquaient la formation dans la nappe souterraine, ne s'étendaient, en effet, qu'à une zone assez restreinte ; au cours des travaux de déblai, on pouvait constater des affleurements d'eau en des endroits de plusieurs mètres plus élevés que la cote à laquelle étaient tenues les eaux des fouilles, et à une faible distance du fond de ces fouilles.

Les dépressions dans la nappe souterraine affectaient la forme d'entonnoirs dont l'ouverture tournée vers le haut était d'un diamètre plus petit qu'on ne s'y attendait à priori.

#### *Prévisions des épaissements pour les travaux de Nieuport.*

Il résulte d'observations faites à Nieuport pendant cinq années consécutives que la nappe des eaux souterraines se tient aux abords de l'emplacement de l'écluse, moyennement à la cote  $2^{\text{m}},67 + (Z)$  ; qu'elle s'élève en moyenne à la cote  $2^{\text{m}},77$  pendant la période du 1<sup>er</sup> octobre au 1<sup>er</sup> juin, et qu'elle descend à la cote  $2^{\text{m}},54$  pendant la période du 1<sup>er</sup> juin au 1<sup>er</sup> octobre.

Le maximum absolu constaté a été de  $3^{\text{m}},32$  en janvier 1886 et le minimum absolu de  $2^{\text{m}},35$  en août 1887 et septembre 1888.

La face inférieure de la fondation étant prévue à la cote 7 mètres — (Z), l'abaissement total à obtenir était donc d'une dizaine de mètres.

L'expérience acquise aux travaux de Dunkerque paraissait concluante quant à la possibilité de créer une dépression locale et temporaire de l'espèce dans un terrain formé d'un dépôt de sable de mer.

La solution du problème se trouvait dans l'installation d'appareils d'épuisement suffisamment puissants, marchant sans discontinuité de jour, comme de nuit, pendant un temps assez long.

La quantité d'eau qu'il y avait lieu d'épuiser n'était susceptible d'aucune détermination précise.

On pouvait tout au plus appuyer des conjectures sur l'importance des épuisements que l'exécution de travaux similaires descendus sous le niveau des basses mers avait nécessités.

A l'écluse de chasse Léopold à Ostende, construite en 1859, où la fouille ne semble pas avoir été descendue en-dessous de la cote 1 mètre — (Z), le débit des épuisements a été évalué à 150 mètres cubes par heure.

A l'écluse nord à Dunkerque, la fouille a été poussée jusqu'à près de 11 mètres sous marée basse et le débit des épuisements a été estimé, comme il a été dit, à 240 mètres cubes à l'heure.

Enfin, à Ostende, la fouille pour la construction de l'écluse d'entrée du bassin de la marine (1873) a été descendue jusqu'à la cote 3 mètres — (Z), et l'enceinte en palplanches entourant le radier général a pu être asséchée, dans d'assez bonnes conditions, jusqu'à la cote 6 mètres — (Z).

On n'a constaté sur la marche du travail aucune influence du voisinage du chenal.

C'est en se basant sur ces données, qu'on a admis que l'assèchement de la fouille de la tête d'écluse,

c'est-à-dire l'abaissement d'une manière lente et régulière du niveau des eaux de la nappe souterraine jusqu'à la cote 7 mètres — (Z), aurait pu aisément se faire à l'aide d'une pompe centrifuge débitant moyennement 250 mètres cubes par heure, et travaillant régulièrement, sans interruption, jour et nuit, pendant deux ans, y compris le temps nécessaire à la construction de l'écluse.

Afin d'assurer la continuité des épuisements, les pompes et les machines motrices devaient être doublées, pour pouvoir disposer d'appareils de rechange pendant les périodes de chômage des appareils principaux, ou de réserve pour parer aux afflux d'eau extraordinaires ou pour faire face enfin à des circonstances exceptionnelles ou imprévues.

L'Administration entendait toutefois imposer à l'entrepreneur le forfait absolu pour l'assèchement et l'entretien de la fouille.

La dépense à résulter de ce chef a été estimée à 60,000 francs, comprenant 15,000 francs pour l'installation des appareils, 30,000 francs pour les frais de fonctionnement pendant deux ans, et 15,000 francs pour l'entretien des talus de la fouille.

#### *Importance des épuisements réellement effectués.*

Les épuisements étaient généralement assurés par une pompe centrifuge de 0<sup>m</sup>,225 de diamètre à l'aspiration, actionnée par une locomobile d'une force de 35 chevaux. La pompe de réserve avait 0<sup>m</sup>,15 de diamètre à l'aspiration, et était actionnée par une locomobile de 28 chevaux. Le débit de la pompe de 0<sup>m</sup>,225 était de 2<sup>m</sup><sup>3</sup>,800 par minute (1).

(1) Ce volume a été déterminé lorsque toutes les eaux de la fouille furent amenées dans le puisard central, que la pompe vidait par intermittence : le niveau de l'eau dans le puisard s'élevait en moyenne de 0<sup>m</sup>,275 par minute,

Le tableau ci-dessous indique pour des profondeurs successives de la fouille la durée moyenne des épuisements par 24 heures et le débit correspondant.

COTE DE LA FOUILLE.	DURÉE MOYENNE DES ÉPUISEMENTS par 24 heures.	DÉBIT CORRESPONDANT.
0 <sup>m</sup> ,50 à 0 <sup>m</sup> ,85 — (Z) . .	6 h. 45'	1134 mètr. cub.
0 <sup>m</sup> ,85 à 2 <sup>m</sup> ,25 " . .	8 h. 15'	1386 "
2 <sup>m</sup> ,25 à 3 <sup>m</sup> ,50 " . .	11 h. 15'	1890 "
3 <sup>m</sup> ,50 à 4 <sup>m</sup> ,50 " . .	11 h. 45'	1974 "
4 <sup>m</sup> ,50 à 5 <sup>m</sup> ,00 " . .	12 heures	2016 "
5 <sup>m</sup> ,00 à 7 <sup>m</sup> ,00 " . .	13 "	2184 "

Il faut observer que l'accroissement du débit ne résultait pas uniquement de l'approfondissement de la fouille de la tête d'écluse, mais encore du déblai du bassin à flot qui a été creusé jusqu'au zéro durant cette période, et dont toutes les eaux de drainage étaient amenées dans le puisard central.

Cet appoint ayant été estimé à 330 mètres cubes par jour, la quantité d'eau maximum qu'il a fallu épuiser quotidiennement pour assurer l'assèchement de la fouille a donc été de 1,850 mètres cubes environ.

On voit que ce cube a été notablement moindre que celui de l'estimation, laquelle prévoyait 250 mètres cubes par heure ou 6000 mètres cubes par jour.

la pompe étant au repos. Le puisard ayant 2<sup>m</sup>50 de diamètre, le débit par minute des eaux de la fouille au moment de l'expérience était ainsi de

$$\pi \times 1.25^2 \times 0.275 = 1^m^3,359.$$

Lorsque la pompe était en activité, le niveau dans le puisard descendait de 0<sup>m</sup>,293 par minute, correspondant à un volume de 1<sup>m</sup><sup>3</sup>,438.

Les eaux affluant d'une manière permanente, le débit de la pompe était donc :

$$1^m^3,359 + 1^m^3,438 = 2^m^3,797.$$

Un autre chiffre qui fixera encore mieux l'appréciation de la quantité d'eau normale de drainage est celui qui a été observé lorsqu'après l'exécution des travaux, on a laissé remonter les eaux naturellement dans le bassin à flot, sans autre appoint que celui des sources : à la cote 3 mètres — (Z), le niveau s'élevait de 70 millimètres par 24 heures ; à la cote 2 mètres — (Z), de 51 millimètres et à la cote 1 mètre — (Z), de 32 millimètres.

Enfin les dénivellations des eaux dans le chenal par le jeu des marées n'ont apporté aucune variation appréciable dans le débit des sources.

Le rapprochement des cotes d'eau relevées dans divers puits d'expérience creusés aux abords de la fouille, a permis de reconnaître que l'inclinaison moyenne sur l'horizontale qu'affecte la dépression locale des eaux, diminue à mesure que les points sont plus éloignés de la fouille, conséquemment que les génératrices de l'entonnoir asséché affectent une courbe dont la concavité est tournée vers le bas.

#### *Emplacement du puisard.*

Toutes les eaux de drainage de la fouille de l'écluse, du bassin et du chenal d'accès étaient recueillies par un réseau de rigoles dans un cuvelage en fer de 2<sup>m</sup>,50 de diamètre, formé de tronçons boulonnés.

Ce cuvelage était descendu à mesure de l'abaissement des fouilles, de manière à se trouver constamment d'un mètre au moins au-dessous du point le plus bas des fouilles.

Le puisard a été placé définitivement dans l'assiette de la fondation de l'écluse, suivant l'axe longitudinal de celle-ci, un peu en amont du busc (pl. IX).

A l'issue du travail de déblai, le couteau du puisard

a été descendu jusqu'à la cote  $9^m,20 - (Z)$  et bouché inférieurement par une couche de béton.

Le puisard constituait ainsi une cuve destinée uniquement à recueillir les eaux par rigolage superficiel.

Les pompes étaient installées sur le parafouille amont et les machines motrices à l'emplacement de l'avant-radier. Les eaux de refoulement étaient déversées sur le terre-plein ouest de l'écluse à la cote  $3^m,75 + (Z)$  et conduites par un contre-fossé jusque dans l'ancienne branche occidentale du canal de Furnes, dont la retenue est de  $2^m,54 + (Z)$ ; la hauteur du refoulement se trouvait ainsi soustraite aux dénivellations des marées.

#### *Exécution des parafoilles.*

La fondation de l'écluse a été entamée par la construction des deux coffres formant les parafoilles d'amont et d'aval.

Les pieux jointifs de l'enceinte ont été battus au moyen d'un mouton à vapeur avec injection d'eau sous pression. On a enfoncé en moyenne par jour dix pieux représentant une longueur moyenne de fiche de 105 mètres courants.

Le plus grand nombre de pieux battus en une journée a été de 20, correspondant à une longueur de fiche de  $204^m,70$ .

Le déblai des coffres qui devait être poussé jusqu'à la cote 10 mètres — (Z) a pu s'exécuter entièrement à sec et à la pelle.

Les épaissements du coffre d'amont se sont faits à l'aide de la pompe de  $0^m,225$  dont le tuyau d'aspiration avait été déplacé. Pendant la période de déblai de ce coffre, toutes les eaux du chantier y ont été ame-

nées, et la pompe de 0<sup>m</sup>,225 a pu effectuer les épaissements jusqu'à la cote 10 mètres — (Z), moyennant un travail qui n'a pas dépassé 14 heures par jour.

Les épaissements du coffre d'aval ont dû se faire à l'aide d'un relai, constitué par une pompe centrifuge et une locomobile spéciales.

Le bétonnage de chacun des parafouilles a demandé 50 heures de travail effectif. Le béton était trituré mécaniquement par une bétonnière analogue à celle utilisée aux fondations de la tour Eiffel; le rendement de cette machine a été en moyenne de 13 mètres cubes à l'heure.

Les entrepreneurs étaient du reste fort bien outillés; les travaux ont été conduits, avec beaucoup d'intelligence et de méthode.

#### *Exécution du radier.*

D'après les prescriptions du cahier des charges, le béton du massif inférieur du radier de l'écluse devait être coulé en deux couches d'un mètre d'épaisseur chacune; la seconde couche ne pouvant être entamée qu'après l'achèvement complet de la première.

Ces précautions, qui ont surtout pour objet d'assurer un pilonnage complet des massifs, peuvent cependant conduire à des mécomptes par suite du défaut d'adhérence des couches ainsi constituées.

M. l'ingénieur Maurice Widmer, dans sa notice sur la construction de deux formes de radoub au port du Havre (*Annales des Ponts et Chaussées de France*, 1893, 1<sup>er</sup> semestre), rappelle à ce propos un accident qui s'est produit à la forme n° 6, le jour où l'on a voulu la mettre en service: une fente s'est ouverte dans l'axe longitudinal du radier, sur la moitié de sa longueur et le radier s'est légèrement soulevé aux deux bords de la fente par

où il venait de l'eau en assez grande quantité. La couche supérieure du radier, sur 0<sup>m</sup>,75 de hauteur, comprenant le pavage en briques et une épaisseur de béton de 0<sup>m</sup>,50, s'était décollée du reste du radier, soulevée et fendue sous l'effort de la sous-pression.

M. Widmer attribue l'accident à cette circonstance qu'on n'avait pas suivi assez rigoureusement la prescription du devis, d'après laquelle le béton devait être fait en une seule couche ; par suite des moyens d'exécution employés par l'entrepreneur, la partie supérieure de la fondation, sur 0<sup>m</sup>,50, n'a pu être faite, en effet, qu'après coup.

M. Widmer en tire cette conclusion qu'il est indispensable, dans de semblables fondations, de construire le béton sur toute son épaisseur d'un seul coup, mais en prenant les précautions les plus minutieuses pour bien serrer le béton par un vigoureux pilonnage des talus. Il est aussi indispensable, ajoute cet ingénieur, d'éviter tout arrêt dans le travail, et d'employer du ciment qui ne prenne pas trop vite, de manière à ne pas déposer du béton frais sur du béton déjà pris.

Cette dernière condition se réalisera plus aisément avec des bétons formés de mortiers de trass, tels qu'on les emploie presque toujours dans notre pays, mortiers qui font moins vite prise et durcissent plus lentement que les mortiers de ciments presque exclusivement en usage en France.

Quant au pilonnage de la masse, nous croyons qu'on obtiendrait un béton plus dense en faisant avancer le massif sur toute sa hauteur continuellement par une suite de petits gradins successivement damés, ainsi que leur talus.

A Nieuport le bétonnage du radier a été exécuté comme suit (pl. IX) :

Les parafoilles d'amont et d'aval une fois cons-

truits, ont été exhaussés par une maçonnerie de briques jusqu'à la cote  $4^m,50$  — (Z) (fig. 2), de manière à capter les eaux venant, d'une part, du bassin et, de l'autre, du chenal d'accès; leur écoulement dans le puisard était assuré par les conduites *a b, c d*. Ces conduites n'amenaiement plus aucun obstacle au coulage successif des deux couches de béton.

Latéralement, les eaux de drainage des talus de la fouille et les sables entraînés étaient retenus aux extrémités par l'enceinte de pieux-palplanches qui contourment les murs en retour des bajoyers (pl. VI), et dans la partie médiane par un bordage provisoire formé de pieux et de madriers jointifs (pl. IX, fig. 1).

Une solution de continuité était ménagée dans le bordage pour permettre aux eaux de s'écouler dans le puisard par une rigole creusée dans le sol au niveau de la fondation.

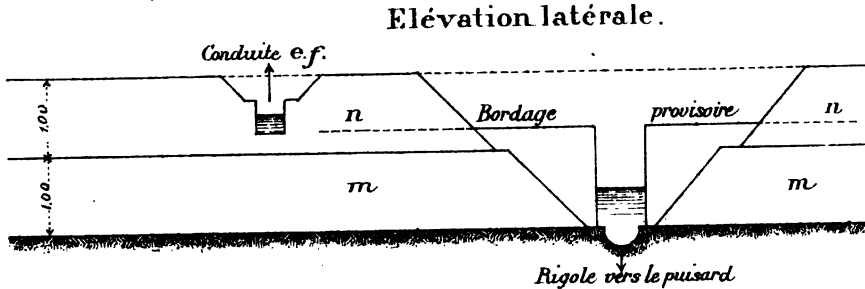
La fouille étant ainsi préparée, le bétonnage (1) a été entamé par l'établissement d'une diguette latérale *m* de 1 mètre de hauteur et 5 mètres de largeur, sur toute la longueur de l'écluse; une ouverture (voir fig. ci-contre) *y* avait seulement été ménagée pour l'écoulement des eaux arrivant par la solution de continuité établie dans le bordage provisoire.

(1) Note au sujet de la composition du béton.

Le béton était formé de deux parties de mortier de trass bâtarde et de trois parties de briquaille. Le briquaille provenait en partie de briques neuves et en partie d'anciennes démolitions. Le cube total du béton de fondation de l'écluse était de 2,840 mètres cubes. Il a été employé pour cette maçonnerie 5,299 wagonnets cubant  $0,^m700$ , contenant  $0,^m420$  de briquaille et  $0,^m280$  de mortier, représentant  $2,225,^m580$  de briquaille et  $1,483,^m720$  de mortier, soit ensemble  $3,709,^m300$  de matière pour former 2,840 mètres cubes de béton.

La diminution de volume par le mélange a donc été de 23.44 p. o/o, c'est-à-dire que pour former 1 mètre cube de béton, il a fallu employer  $0,^m520$  de mortier et  $0,^m780$  de briquaille.

Il résulte aussi de là que 1 mètre cube de briquaille contient  $0,^m620$  de matière et  $0,^m380$  de vide, et que 1 mètre cube de briques produit  $1,^m600$  de briquaille.



On a élevé ensuite, sur cette diguette, un second massif en béton *n* de 1 mètre de hauteur, constituant en même temps l'amorce de la seconde couche de béton.

Ces deux diguettes devaient former batardeau pour la retenue des venues d'eau latérales. A cet effet on avait ménagé dans la diguette *n* une conduite *ef* (fig. 1, pl. IX) venant déboucher dans le puisard.

En fermant ensuite brusquement l'ouverture ménagée dans les deux diguettes au droit de la solution de continuité du bordage, à l'aide d'une quantité suffisante de béton préparée à l'avance, on captait complètement les eaux et on les forçait à s'écouler par la conduite *ef* encastree dans la diguette *n*. En même temps on enlevait le bordage provisoire.

La même opération s'est reproduite à l'emplacement de l'autre bajoyer.

La fouille était ainsi mise complètement à l'abri des venues d'eau extérieures, il ne restait plus que l'apport des eaux venant à sourdre dans l'enceinte.

Ces eaux étaient recueillies dans le puisard au moyen de regards ménagés dans celui-ci. Les sources étaient d'ailleurs peu nombreuses et peu abondantes; elles ont pu être aveuglées à mesure que s'exécutait

le bétonnage. Il faut en excepter toutefois les eaux qui jaillissaient assez abondamment d'entre les pieux jointifs des coffres. En agissant sur ces dernières d'une manière analogue à celle décrite pour les venues d'eau latérales, on est parvenu à les capter et à les conduire transversalement, le long de la file des pieux jointifs qui leur donnaient naissance, jusque dans les remblais à l'arrière des bajoyers.

Le coulage des deux couches de béton du radier a pu s'effectuer de cette manière dans des conditions très satisfaisantes; la pompe n'accusait aucun entraînement de sable, et la production de laitance a été minime.

C'est au peu d'abondance des sources de fond dans l'assiette des fondations de l'écluse qu'est due en grande partie la réussite du bétonnage.

Si l'afflux d'eau avait été plus important, il eût été impossible d'éviter le délavement du béton, tout au moins sur une certaine hauteur, par les eaux de source se rendant au puisard.

La seconde couche terminée, à l'exception des vides ménagés pour les deux conduites latérales, on a entamé la fondation en maçonnerie de briques par la construction d'un massif élevé jusqu'à la cote 3 mètres — (Z) sur tout le pourtour de l'assiette (fig. 3).

Cette maçonnerie a permis de supprimer les conduites latérales *ef gh*, ainsi que la conduite longitudinale *cd*, et de force les eaux ont dû contourner l'amorce des bajoyers pour se rendre dans le puisard par l'unique conduite *ab*.

Le radier étant entièrement construit, à l'exception de la partie réservée pour la conduite *ab*, on installa un nouveau puisard en dehors de l'écluse dans le bassin en amont de l'avant-radier. Après avoir été mis à sec, l'ancien puisard fut soigneusement bourré de béton.

## CONCLUSIONS

L'application du procédé d'assèchement que nous venons de décrire aux fouilles à ouvrir pour fonder des ouvrages d'art peut donner d'excellents résultats, lorsqu'il s'agit de terrains perméables comme ceux qu'on a rencontrés à Nieuport et à Dunkerque.

Le succès de l'entreprise dépend beaucoup de l'emplacement du puisard servant à recueillir les eaux.

L'aménagement d'un puisard unique dans l'assiette même des fondations de l'ouvrage n'est pas recommandable en général. Si dans ces conditions le travail a réussi à Nieuport, c'est que les sources de fond étaient peu abondantes et les dimensions de l'écluse relativement restreintes.

S'il était à prévoir que les sources de fond fussent abondantes ou si l'on avait à fonder un ouvrage de grandes dimensions, telles qu'une écluse à sas ou une cale sèche, mieux vaudrait, dans ces cas, placer le puisard en dehors de la base des fondations et à une certaine distance de celles-ci, soit en amont, soit en aval, ou mieux encore de part et d'autre si l'ampleur du projet le justifiait.

En procédant de la sorte on pourra abaisser, par des épuisements suffisamment énergiques et prolongés, la nappe aquifère notablement en-dessous du plan des fondations, de manière à pouvoir construire dans de bonnes conditions sur un plateau bien asséché.

Nieuport, février 1894.

---