

# Etude des Ports Belges de la Mer du Nord.

---

## ESSAIS SUR MODELES REDUITS.

(Fin) \*

---

L. BONNET,

Administrateur-Inspecteur Général  
honoraire des Services Maritimes  
d'Anvers.

J. LAMOEN,

Ingénieur en chef-Directeur des Ponts  
et Chaussées. Directeur du Laboratoire  
Hydraulique des Ponts et Chaussées  
Professeur extraordinaire à l'U. L. Br.

---

(Pl. 29 à 32.)

---

## SECONDE PARTIE.

**Essais sur modèle  
concernant des modifications prises en considération  
pour le chenal d'entrée du port d'Ostende. (\*\*)**

### CHAPITRE VII.

#### OBJET DES ESSAIS. OBSERVATIONS RECUEILLIES SUR LES LIEUX.

##### § 34. — Objet des essais.

La disposition actuelle de l'entrée du port d'Ostende, et le plan général de ce port, sont représentés à la planche 29. Pour faciliter l'entrée des paquebots rapides de la ligne Ostende-Douvres, le Départe-

---

(\*) Pour ce qui précède voir fascicules 3 (juin), 4 (août) et 5 (octobre) 1948, des A. T. P.

(\*\*) Feu J. S. Verhaeren, ingénieur des Ponts et Chaussées, a apporté sa précieuse collaboration aux expériences exposées dans cette Seconde Partie du mémoire.

ment de la Marine demanda au Ministère des Travaux Publics de Belgique d'examiner la possibilité d'élargir le chenal d'accès au port d'Ostende et soumettait, à titre indicatif, un avant-projet étudié au point de vue nautique par le commandant Timmermans. Cet avant-projet est représenté en tirets à la figure de la page 755, où la disposition existante est figurée en trait plein.

Le projet soumis apporte à la situation actuelle les changements principaux suivants :

L'estacade Ouest, avec sa jetée basse (Ouest), est conservée, mais la tête de l'estacade est élargie de 10 mètres vers l'Est (voir figure de la page 755 et pl. 32. L'estacade Est, avec sa jetée basse (Est), est démolie et reconstruite plus à l'Est, suivant une ligne parallèle à l'estacade Ouest existante et conservée.

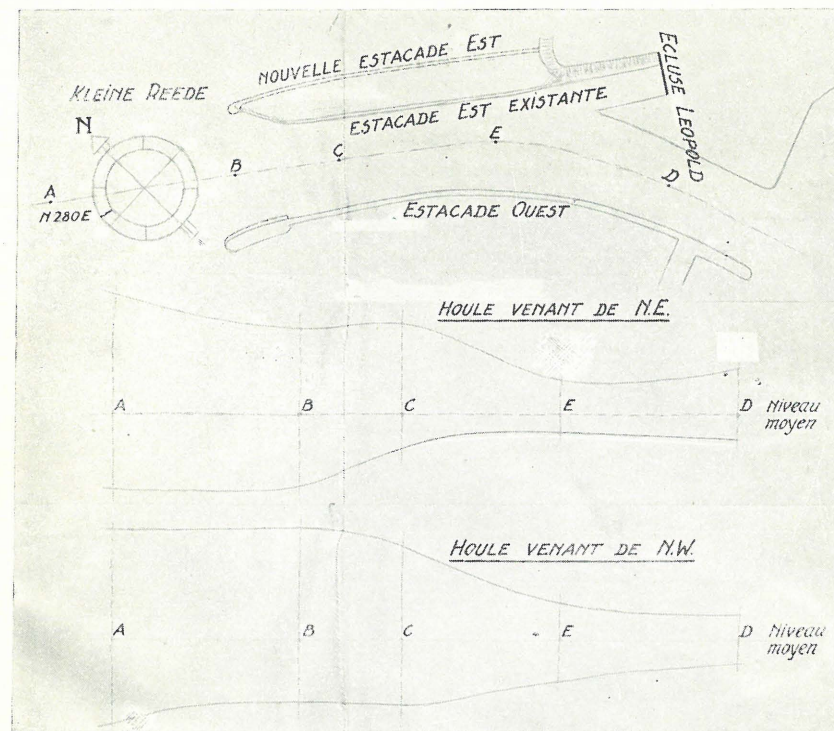
Les essais demandés au Laboratoire concernaient les modifications que le projet Timmermans pourrait faire subir à la houle et aux courants actuels dans le chenal d'entrée du port. Ils devaient aussi porter sur les changements que ledit projet pourrait amener dans la tenue du port, au point de vue des atterrissements, tant de vase que de sable. L'on devait encore examiner quelle serait l'influence de la construction d'une estacade de jonction (représentée en points — tirets à la figure de la page 756) entre la rive et l'estacade Est du chenal d'entrée au port.

§ 35. — Données relatives à la houle dans la nature.

Les renseignements du tableau XV ci-après furent fournis pour servir de base aux essais demandés. Ils concernent l'amplitude simultanée des vagues en mer et dans l'entrée du port, pour différentes directions du vent. L'emplacement des points d'observation est indiqué à la figure de la page 755.

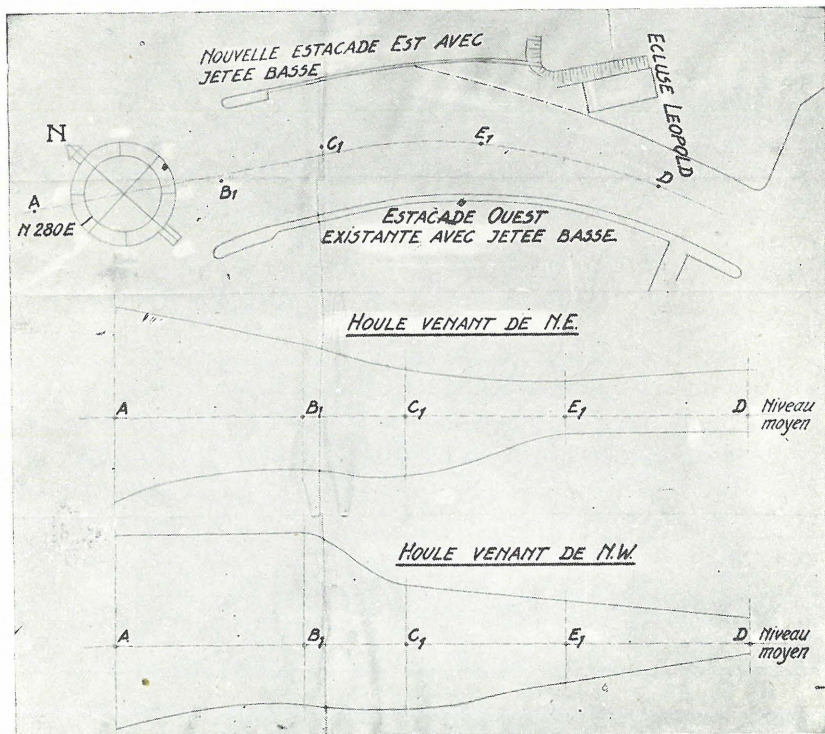
§ 36. — Données concernant la salinité dans la réalité.

Dans le présent § nous résumons les renseignements obtenus sur la salinité des eaux aux endroits qui intéressent notre étude. Ils sont relatifs à des échantillons d'eau prélevés, en juillet 1933 et décembre 1939, aux emplacements I, II, III et IV (voir planche n° 29). Les résultats de l'analyse chimique de ces échantillons sont consignés aux tableaux XVI et XVII ci-après.



Condition	Houle venant de	Points d'observation					Légende
		A	B	C	E	D	
Nature	N. E.	100	88	50		38	Amplitude minimum d'une série d'observations.
		100	80	60		50	Amplitude maximum d'une série d'observations.
Modèle	N. E.	100	82	64	27	36	Amortissement à l'écluse Léopold. Estacade Ouest, la section d'écoulement étant réduite par application d'un tamis métallique; jetée basse. Estacade Est, la section d'écoulement étant réduite par application d'un tamis métallique; jetée basse.
		100	57	100		20	Amplitude minimum d'une série d'observations.
Nature	N 280 E	100	70	100		29	Amplitude maximum d'une série d'observations.
		100		90		20	Amplitude minimum d'une série d'observations.
Nature	N.	100		70		23	Amplitude maximum d'une série d'observations.
		100		90		24	Amortissement à l'écluse Léopold. Estacade Ouest, la section d'écoulement étant réduite par application d'un tamis métallique; jetée basse. Estacade Est, la section d'écoulement étant réduite par application d'un tamis métallique; jetée basse.
Modèle	N. W.	100	90	82	41	24	

Note : La figure et le tableau de cette page se complètent.



Houle venant de	Points d'observation					Légende
	A	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	D	
N. E.	100	64	55	27	33	Amortissement à l'écluse Léopold. Estacade Ouest conservée, la section d'écoulement étant réduite par application d'un tamis métallique; jetée basse. Nouvelle estacade Est, la section d'écoulement étant réduite par application de deux tamis métalliques; jetée basse.
N. W.	100	88	65	42	18	

Au moment de la prise des échantillons, on n'effectuait vers le port aucune décharge d'eau provenant des polders environnants. Mais il y a toujours une certaine perte d'eau, principalement à marée basse, aux portes et vannes des ouvrages d'évacuation des émissaires poldériens et des égouts de la ville d'Ostende.

Par marée basse, on voit la salinité moyenne (moyenne selon la verticale) diminuer à mesure que l'on s'éloigne de la mer, sauf au point IV, où la teneur en sel est légèrement supérieure à celle du point III. Ceci est dû probablement aux pertes du bassin de chasse, qui est rempli d'eau de mer.

Note : la figure et le tableau de cette page se complètent.

TABLEAU XV.

Point d'observation	Amplitude en dm		Longueur d'onde en mètres	Période en secondes
	la plus petite	la plus grande		
Vent { Direction : N Vitesse : 8 m/sec.				
A) Petite rade.	10	17	15	3 à 5
B) Entre les têtes des estacades.				
C) Dans le chenal du port, en face du mât de marée	9	12	15 à 20	3 à 4
D) Dans le chenal du port, en face du début de l'estacade Ouest.	2	4	3	2
Vent { Direction : Nord 280 Est Vitesse : 14 m/sec.				
A) Petite rade.	7	10	5 à 8	3 à 5
B) Entre les têtes des estacades.	4	7	5 à 6	2
C) Dans le chenal du port, en face du mât de marée.	7	10	10 à 12	3 à 5
D) Dans le chenal du port, en face du début de l'estacade Ouest.	2	2	2 à 3	1
Vent { Direction : NE (Nord 45 Est) Vitesse : 11 m/sec .				
A) Petite rade.	8	10	11 à 13	3 à 4
B) Entre les têtes des estacades.	7	8	8	2 à 3
C) Dans le chenal du port, en face du mât de marée.	4	6	8 à 10	2 à 3
D) Dans le chenal du port, en face du début de l'estacade Ouest.	3	5	clapotis court	

TABLEAU XVI (juillet 1938).

Date de la prise des échantillons	Emplacement	Cote du fond	Plan d'eau	Cote à laquelle les échantillons furent prélevés	Teneur en sel en grammes par litre	Teneur moyenne en sel selon la verticale
18-7-1938	I	- 5,60	marée basse	- 4,60 - 3,10 + 0,60	32,1 31,6 26,9	30,2
18-7-1938	II	- 4,60	marée basse	- 3,60 - 2,60 + 0,60	31,6 30,4 21,0	27,7
18-7-1938	III	- 4,20	marée basse	- 3,20 - 1,70 + 0,70	31,6 30,4 15,2	25,7
20-7-1938	IV	- 2,10	marée basse	- 1,10 - 0,55 + 0,60	30,4 30,4 17,5	26,1
19-7-1938	I	- 5,60	marée haute	- 4,60 - 0,70 + 4,20	32,1 32,1 26,9	30,4
19-7-1938	II	- 4,60	marée haute	- 3,60 - 0,20 + 4,20	29,5 30,4 25,1	28,3
14-7-1938	III	- 4,20	marée haute	- 3,20 + 0,10 + 4,40	32,1 29,5 21,6	27,7
14-7-1938	IV	- 2,10	marée haute	- 1,10 + 1,10 + 4,30	28,6 21,4 12,8	20,9

Par marée haute, la salinité moyenne diminue également à mesure que l'on se dirige vers l'intérieur du port. En chacun des points d'observation, la salinité moyenne est alors un peu plus élevée que celle constatée à marée basse. Il existe cependant une exception au point IV, où l'on trouve 20,9 gr/litre, alors qu'à marée basse ce chiffre monte à 26,1 gr/litre.

Une deuxième série de mesures de la salinité fut effectuée en décembre 1939 ; les résultats font l'objet du Tableau XVII.

TABLEAU XVII (décembre 1939).

Date de la prise des échantillons	Emplacement	Cote du fond	Plan d'eau	Cote à laquelle les échantillons furent prélevés	Teneur en sel en grammes par litre	Teneur moyenne en sel selon la verticale
1-12-1939	I	- 5,60	marée basse	- 4,60 - 2,50 + 0,50	28,0 16,3 8,1	17,5
1-12-1939	II	- 4,80	marée basse	- 3,80 - 2,10 + 0,40	18,7 10,5 8,75	12,7
1-12-1939	III	- 4,70	marée basse	- 3,70 - 2,00 + 0,30	17,5 7,6 4,6	9,9
1-12-1939	IV	- 2,20	marée basse	- 1,20 - 0,70 + 0,20	24,8 23,9 2,5	24,6
1-12-1939	I	- 5,60	marée haute	- 4,60 - 0,40 + 4,20	28,0 20,4 2,3	16,9
1-12-1939	II	- 4,80	marée haute	- 3,60 + 0,30 + 4,20	27,4 26,3 4,0	19,2
1-12-1939	III	- 4,70	marée haute	- 3,60 + 0,30 + 4,20	27,4 25,7 4,6	19,2
1-12-1939	IV	- 2,20	marée haute	- 1,20 + 1,50 + 4,10	27,5 25,7 15,1	22,8

Il est à remarquer qu'à la date du prélèvement des échantillons (1-12-1939), il était déversé dans le port, par marée de 12 h. 25 min., un volume d'eau douce de 3.000.000 m<sup>3</sup> environ, qui est très supérieur au volume d'eau marine qui entre et quitte le port pendant la durée d'une marée. Ce dernier volume ne vaut, en effet, que 40 ha (\*) × 4 m 50 d'amplitude = 1.800.000 m<sup>3</sup>.

(\*) La superficie de la partie du port d'Ostende soumise à marée mesure 40 ha, quand on compte cette surface en amont du profil 10-10 du chenal d'entrée du port (voir la planche n° 29), à proximité de la digue de mer Ouest.

§ 37. — Alimentation en eau douce du port d'Ostende.  
Données de la réalité.

Les eaux de pluie arrivent au port d'Ostende (Sas Slijkens \*) par deux émissaires qui sont :

- a) le canal de Bruges à Ostende
- b) la Noord Eede.

a) *Eaux amenées par le canal de Bruges à Ostende.*

Ces eaux proviennent du bassin de l'Escaut et de la Lys, qui parviennent à Bruges par le canal de Gand à Bruges. Elles arrivent aussi en partie de la région de Bruges même.

Ces eaux sont déversées dans l'arrière-port d'Ostende par une écluse où l'évacuation se fait :

1) par quatre conduits, longs de 47 mètres et présentant une section mouillée totale de  $4 \times 3,79 = 15,16 \text{ m}^2$ .

2) par un pertuis de barrage à poutrelles qui n'est utilisé que pour les très grands débits.

Largeur de ce pertuis : 4 m. 05.  
Cote de son seuil : (— 0 m 66).

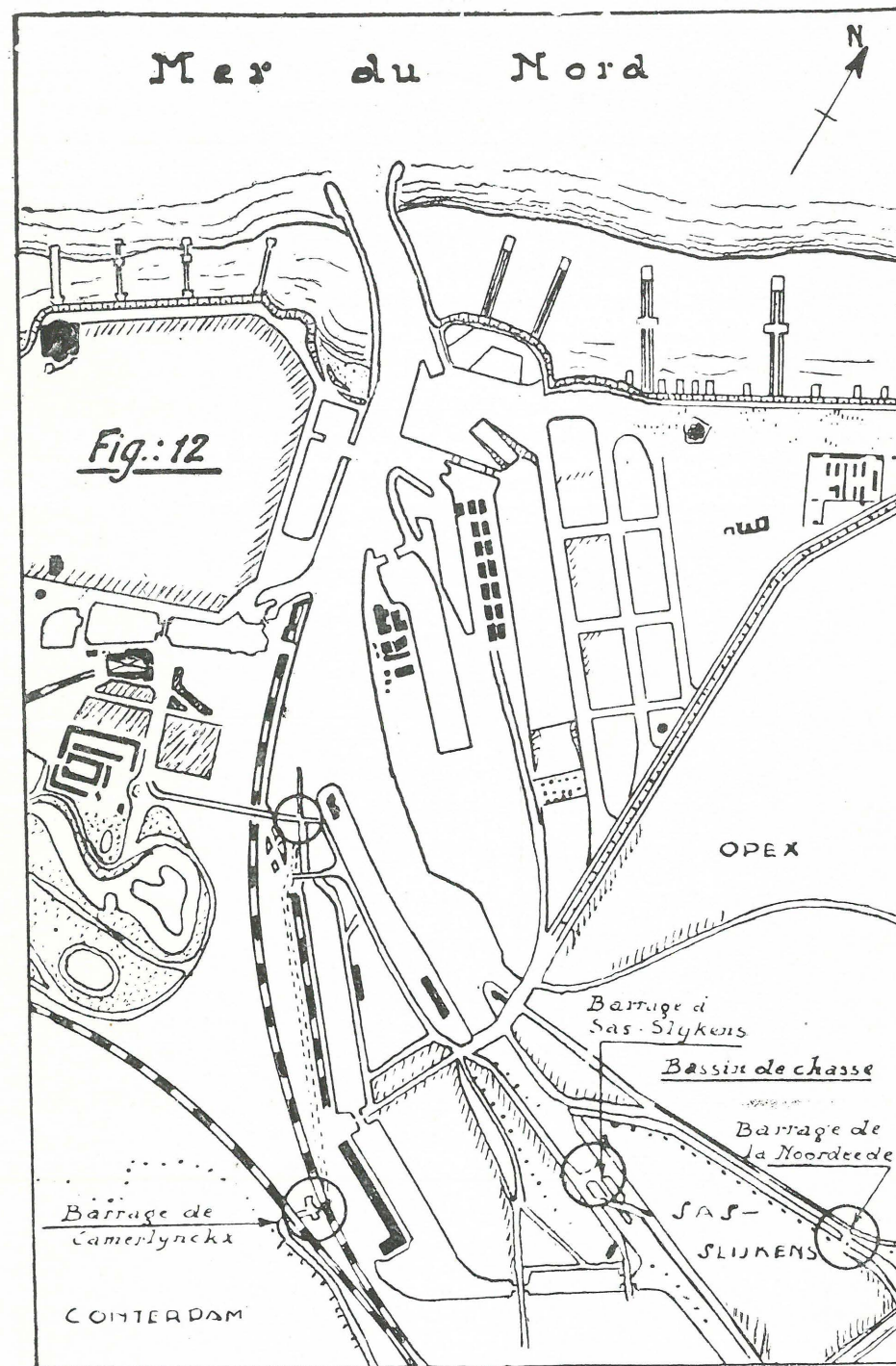
La flottaison normale du canal se trouve au niveau (+ 4 m 05), mais lors des évacuations exceptionnelles, le niveau à Sas Slijkens descend à la cote (+ 2 m 80).

Les eaux du bassin de l'Escaut et de la Lys sont évacuées vers la mer par différentes voies, qui sont :

- le barrage éclusé de Gentbrugge, qui déverse dans l'Escaut maritime (Gentbrugge-Anvers-Flessingue),
- le canal de dérivation de la Lys qui va vers Heyst (fig. 1),
- le canal de Gand à Terneuzen,
- le canal Gand-Bruges-Ostende.

Ce n'est que l'eau amenée par ce dernier canal qui intéresse le port d'Ostende. L'alimentation par cette voie d'eau dépend des saisons et des pluies et aussi du partage qui est fait, à Gand, par le Service intéressé, entre les différentes voies d'évacuation. En été, le débit à Sas Slijkens est nul ; en hiver, il peut être important, encore qu'il varie beaucoup d'un hiver à l'autre.

(\*) Pour le Sas Slijkens, la Noord Eede, etc., on consultera la fig. 12, qui donne un aperçu de la situation des canaux aux environs d'Ostende.



Le débit maximum que peut amener le canal de Bruges à Ostende est de 2.550.000 m<sup>3</sup> par marée. On a constaté ce débit le 1-12-1939, mais il ne se produit que très exceptionnellement. Lors de cette situation extraordinaire, tous les exutoires de l'écluse d'évacuation sont ouverts dès que la marée descendante atteint la cote (+ 4 m 05) (flottaison du canal), donc dès qu'un même niveau s'est établi des deux côtés de l'ouvrage de retenue. A mesure que la marée descend, le débit croît, pendant que le niveau du canal baisse. A marée basse, le niveau du canal se trouve aux environs de (+ 2 m 80) et le débit atteint alors quelque 100 m<sup>3</sup>/sec., ce qui est le débit maximum à Sas Slijkens; 65 à 70 m<sup>3</sup>/sec. s'écoulent par les quatre conduits et un peu plus de 30 m<sup>3</sup>/sec. par le pertuis du barrage.

Ensuite la marée remonte, le niveau du canal se relève et le débit diminue. Lorsqu'il y a égalité des niveaux des deux côtés de l'écluse, les eaux atteignent une cote de (+ 3 m 20) à (+ 3 m 50) et le débit s'annule. Alors on ferme toutes les ouvertures d'évacuation, la marée dépasse la flottaison du canal, atteint la cote de marée haute, se met à descendre et un nouveau cycle de manœuvres commence.

Dans le cas exceptionnel où tous les exutoires sont utilisés, ceux-ci restent ouverts pendant 8 h. 1/2 et même pendant 9 heures parfois par marée. La décharge par l'écluse peut être approximativement représentée, en fonction du temps, par un demi-cercle. Le volume total débité par marée s'élève donc tout au plus à

$$3,14/4 \times 3600 \text{ sec} \times 9 \text{ heures} \times 100 \text{ m}^3/\text{sec} = 2.550.000 \text{ m}^3.$$

Le barrage à poutrelles est très rarement employé et certaines années il ne sert même pas du tout.

Lorsque les quatre conduits seulement sont entièrement ouverts, le débit varie à peu près paraboliquement en fonction du temps, de sorte que le volume déchargé par marée peut être estimé à  $2/3 \times 70 \text{ m}^3/\text{sec} \times 3600 \text{ sec} \times 8,5 \text{ heures} = 1.425.000 \text{ m}^3$ .

Voici à titre indicatif, pour quelques années consécutives, le nombre d'évacuations importantes à Sas Slijkens.

1935	82
1936	90
1937	76
1938	34
1939	

Lors de ces décharges, la flottaison du canal à Slijkens variait de 0 m 60 ou plus. Des variations de cette importance sont déjà provoquées par l'ouverture complète de deux des conduits, soit pour une décharge de 712.000 m<sup>3</sup> par marée. Si donc, pour chacune des évacuations mentionnées ci-dessus, on admet un volume débité de 800.000 m<sup>3</sup> par marée, on aura estimé très largement la quantité d'eau écoulée. Quand on y ajoute le volume maximum de 200.000 m<sup>3</sup> par marée pour la Noord Eede (ce chiffre sera justifié ci-après) on arrive à un total de 1.000.000 m<sup>3</sup> qui, par marée, est envoyé dans le port.

#### b) Eaux amenées par la Noord Eede.

Ces eaux douces proviennent du secteur Ouest des wateringues de Blankenberge. La superficie de ce bassin peut être estimée à 12.000 ha. Le barrage de la Noord Eede présente 7 pertuis, de 2 m 00 de largeur chacun, dont les seuils se trouvent à la cote (0 m 00). L'eau de la Noord Eede est généralement maintenue au niveau (+ 2 m 00). Lors des crues les plus importantes, les vannes du barrage sont levées de 0 m 70 et le plan d'eau de la Noord Eede oscille alors entre (+ 2 m 10) et (+ 0 m 70) approximativement. Dans ces circonstances, la chute à la traversée de l'ouvrage d'art est de 0 m 10 à 0 m 15. Les vannes restent alors ouvertes pendant le temps où le niveau du port reste au-dessous du plan d'eau de la Noord Eede, c'est-à-dire pendant environ 4 1/2 heures, et tout au plus 5 heures, aux environs de marée basse.

Pendant la décharge maximum, le débit moyen est de 12 m<sup>3</sup>/sec. Le volume maximum qui peut s'écouler par marée est donc de

$$12 \times 3600 \times 5 \text{ heures} = 216.000 \text{ m}^3.$$

La décharge maximum maximum d'eau douce dans le port d'Ostende atteint tout au plus la valeur suivante :

en provenance de la Noord Eede	= 216.000 m <sup>3</sup>
en provenance du canal Bruges-Ostende	= 2.550.000 m <sup>3</sup>

Total : 2.766.000 m<sup>3</sup>

soit en chiffres ronds 3.000.000 m<sup>3</sup> par marée.

Ce maximum exceptionnel, dépendant des pluies et de la répartition des débits à Gand, ne se produit que très rarement, parfois seulement à quelques années d'intervalle.

Comme maximum moins exceptionnel on peut admettre, par marée,

canal Bruges-Ostende	=	1.425.000 m <sup>3</sup>
Noord Eede	=	216.000 m <sup>3</sup>
		1.641.000 m <sup>3</sup>
Total :		1.641.000 m <sup>3</sup>

Un débit plus normal encore, qui se présente plusieurs fois par an, est de 1.000.000 m<sup>3</sup> par marée.

Si nous prenons comme décharge maximum d'eau douce à Ostende, par jour,

$$1.641.000 \times \frac{24}{12 \text{ h } 25 \text{ min}} = 3.150.000 \text{ m}^3.$$

l'écoulement annuel total d'eau douce peut être estimé à

$$3.150.000 \times \frac{365}{10,4 \text{ à } 13,8} = 83.000.000 \text{ à } 110.000.000 \text{ m}^3,$$

soit en chiffres ronds 100.000.000 m<sup>3</sup>. Dans ce calcul il est admis que le débit maximum est 10,4 à 13,8 fois plus grand que la moyenne journalière.

§ 38. — Mécanisme de l'envasement du port d'Ostende.  
Bilan d'envasement.

Dans le § précédent, nous avons vu que le port à marée d'Ostende reçoit de l'eau de mer arrivant par l'aval et de l'eau douce amenée par les canaux de navigation et d'évacuation aboutissant à l'arrière-port.

Chacune de ces eaux contient une certaine quantité de vase en suspension, qui tend à se déposer sur le fond dès que la vitesse du courant, qui la transporte, diminue ou s'éteint. Examinons quelle part de l'envasement du port revient à l'eau douce et à l'eau de mer.

a) Vase apportée par l'eau douce.

D'après les renseignements qui nous furent communiqués, on peut admettre que la teneur en vase de l'eau douce est de 1/1000 environ en volume. Cette eau amène donc annuellement au port  $\frac{100.000.000}{1.000} = 100.000 \text{ m}^3$  de boue de très faible densité. Cette boue ferait un dépôt de même volume, si elle se décantait complètement et si l'on faisait

abstraction du tassement de la vase avec le temps. Mais selon le Service spécial de la Côte, il serait exagéré de croire que les particules solides, en provenance de l'amont, se déposent intégralement dans le port ; ce service est d'avis qu'une partie de cette boue est transportée en mer.

b) Vase apportée par l'eau de mer.

Le volume d'eau de mer qui pénètre annuellement dans le port, par le phénomène des marées, s'élève à

$$400.000 \times 4 \times 720 = 1.152.000.000 \text{ m}^3,$$

400.000 m<sup>2</sup> étant la superficie du port à marée, 4 m 00 l'amplitude moyenne et 720 le nombre de marées par an.

La teneur en vase de l'eau de mer est extrêmement variable et dépend de la vitesse du courant, de la profondeur d'eau, de la force du vent, de la houle, etc. La teneur en vase est, par exemple, plus grande à marée haute qu'à marée basse. Elle oscille entre 10 gr. et 1000 gr. de boue sèche par m<sup>3</sup> d'eau et, dans le voisinage immédiat du fond de la mer, la teneur est probablement beaucoup plus grande encore.

Le tassement de la vase déposée se fait avec une extrême lenteur, ce qui explique le faible poids spécifique de la boue du port d'Ostende, soit 1,20 kg. à 1,25 kg. par litre.

Le poids spécifique des dépôts entre les estacades, à l'entrée du port, est plus grand, parce qu'ils sont constitués par du sable; on y trouve un chiffre de 1,6 à 1,8 kg par litre.

Admettons donc 1,20 kg/litre comme poids spécifique des dépôts du port et 1,60 kg/litre pour les atterrissements dans le chenal d'entrée. Soit maintenant :

- G = le poids spécifique d'un litre d'envasement.
- X = le volume de boue sèche (sans vides) contenu dans un litre d'envasement.
- 1,025 = le poids d'un litre d'eau de mer.
- 2,6 = le poids d'un litre de boue sèche (sans vides).
- g' = le poids de boue sèche par litre d'envasement.

Nous avons  $G = (1 - X) 1,025 + 2,6 X$

et  $g' = 2,6 X = \frac{2,6 (G - 1,025)}{(2,6 - 1,025)}$

soit, pour G = 1,20 kg/litre  $g' = 0,288 \text{ kg par litre}$   
 et pour G = 1,60 kg/litre  $g' = 0,950 \text{ kg par litre.}$

Ces résultats furent confirmés par des essais de laboratoire.

Comme l'ensablement entre les estacades provient partiellement de courants agissant sur l'estran, et passant par dessus les jetées basses, nous ne nous en occuperons pas. Cet ensablement dépend d'ailleurs aussi du vent. De plus, la zone en question n'est pas comprise dans la superficie de 40 ha attribuée au port à marée.

Supposons maintenant que l'eau de mer, qui pénètre dans le port, contient 250 gr de vase sèche par m<sup>3</sup> et admettons en outre que toutes les matières en suspension se déposent.

L'envasement correspondant sera alors

$$\frac{1.152.000.000 \times 0,250}{1.000 \times 0,288} = 1.000.000 \text{ m}^3$$

c) La somme des envasements apportés par l'eau douce et par l'eau de mer s'élèverait donc à

eau douce : tout au plus	100.000 m <sup>3</sup>
eau de mer :	1.000.000 m <sup>3</sup>
Total	1.100.000 m <sup>3</sup>

L'apport de vase par l'eau douce est donc très petit en comparaison du dépôt provoqué par l'eau de mer.

Mais il faut encore tenir compte du courant d'eau salée qui se produit contre le fond, lorsqu'un courant d'eau douce s'établit à la surface des eaux du port.

Par des expériences préliminaires, le laboratoire d'Anvers a trouvé que, dans beaucoup de cas, un débit d'eau douce dans le port donne naissance à un débit de fond, en provenance de la mer, et que ce dernier débit atteint une valeur double ou triple du débit d'eau douce. Pour ne pas exagérer l'influence de ce phénomène, nous adopterons le multiplicateur 2. On aura donc une quantité supplémentaire de boue égale à

$$1.000.000 \times \frac{2 \times 100.000.000}{1.152.000.000} = 170.000 \text{ m}^3$$

et le volume total de vase devient  $1.100.000 + 170.000 = 1.270.000 \text{ m}^3$ . Dans ce dernier chiffre,  $270.000 \text{ m}^3$  sont à attribuer directement ou indirectement à l'eau douce, mais il est possible que l'influence de l'eau douce soit ainsi quelque peu surévaluée. Les envasements dans le port proprement dit (non compris le chenal d'entrée, où les produits de dragage sont constitués par de la vase et non par du sable) se montent annuellement à quelque  $800.000$  à  $900.000 \text{ m}^3$ . Il y a donc lieu de croire que

toute la vase apportée ne se dépose pas dans le port, mais qu'une partie est entraînée en mer. Quoi qu'il en soit, l'envasement dû à l'eau douce demeure faible en comparaison des dépôts provoqués par l'eau marine.

\*\*

L'exposé ci-dessus, et l'étude faite pour le port de Zeebrugge, permettent d'énoncer les conclusions suivantes :

1°) Dans la rade de Zeebrugge 1 litre de vase déposée contient 0,8 kg de boue sèche (selon le rapport présenté par feu Verschoore au XVI<sup>e</sup> Congrès International de Navigation, Bruxelles 1935) tandis que dans le port d'Ostende ce chiffre n'est que de 0,288 kg par litre. Une même épaisseur de vase a donc une signification très différente selon qu'il s'agit de l'un ou l'autre de ces deux ports.

2°) Le mécanisme de l'envasement est très différent dans les deux ports considérés. A Ostende, l'envasement est produit, pour la majeure partie, par le volume d'eau marine qui pénètre dans le port. Ce volume est de  $700 \text{ a. } \Omega \text{ m}^3$  par an, 700 étant approximativement le nombre annuel de marées, « a » l'amplitude moyenne (distance verticale entre les cotes de marée haute et de marée basse) et  $\Omega$  la superficie du port (= 40 ha). A Zeebrugge, c'est surtout la présence, lors du flot, du grand tourbillon Est qui est néfaste. Ce tourbillon provoque, entre la rade et la mer, un

débit d'échange très important comparativement au débit  $\Omega \frac{dh}{dt}$ , strictement nécessaire pour que le plan d'eau dans le port suive la courbe marégraphique,  $\frac{dh}{dt}$  étant la tangente à cette dernière courbe.

3°) En l'absence d'un courant de fond, provoqué par la décharge d'eau douce dans l'arrière-port, on peut dire, en première approximation, que l'envasement à Ostende est indépendant de la profondeur du port. Le tirant d'eau peut y être augmenté sans que l'on doive craindre une augmentation excessive du cube à draguer. Cette conclusion appelle cependant deux réserves, exposées aux littéras 3a et 3b ci-après.

3a) Elle n'est pas valable pour la zone du port située aux environs immédiats du débouché en mer. En cet endroit, il faut en effet compter avec un tourbillon, provoqué par le frottement que les courants marins exercent sur les eaux du chenal d'entrée. Mais comme l'envasement annuel de cette entrée ne s'élève qu'à  $90.000 \text{ m}^3$  (chiffre du Service

spécial de la Côte), un accroissement de cette quantité ne peut amener une augmentation considérable du cube qu'il faut enlever au port d'Ostende et qui se monte annuellement à quelque 1.000.000 m<sup>3</sup>, chenal d'entrée compris.

3b) Suivant le Service spécial de la Côte, la vase apportée au port ne s'y dépose pas complètement. Si l'on augmente la profondeur, il se pourrait qu'il y ait diminution de la quantité de vase qui est entraînée en mer. Il n'en reste pas moins vrai que l'envasement maximum possible sera égal à la quantité totale de vase entrant dans le port, laquelle quantité a été estimée ci-dessus à 1.270.000 m<sup>3</sup> par an.

Ces déductions sont confirmées par le tableau XVIII, qui contient des données concernant le volume du port et les travaux de dragage et qui montre l'effet d'une augmentation dudit volume, calculé au-dessous du plan de référence (0 m 00).

TABLEAU XVIII.

Année	Volume du port en m <sup>3</sup> , au-dessous du plan de référence (0m00)	Cube dragué en m <sup>3</sup>	Envasement total en m <sup>3</sup>
1935	1.613.000	1.093.000	1.020.000
1936	1.686.000	988.000	1.022.000
1937	1.652.000	1.528.000	1.383.000
1938	1.819.000	929.000	930.000
1939	1.813.000		

Malgré que le port ait été approfondi, on n'observe pas d'accroissement de l'envasement.

4) Le cube à draguer annuellement dans le port d'Ostende est à peu près indépendant de la forme que l'on donne au chenal d'entrée du port, pourvu que ce chenal reste long et étroit, comme dans la situation actuelle ou dans le projet Timmermans. Dans les essais sur modèles, l'attention s'est toujours portée sur les courants à l'entrée, tant pour y assurer la sécurité de la navigation, que pour y maintenir l'ensablement et l'envasement dans des limites raisonnables.

On s'est proposé de prévenir la formation de tourbillons à l'entrée du port, car ces mouvements giratoires y provoquent des atterrissements. Quand on apporte des modifications aux estacades et jetées basses, celles-ci

peuvent amener des changements dans le régime des dépôts, mais ces changements se limitent au chenal d'entrée et ses abords immédiats et ne peuvent se propager dans le port à marée tout entier.

5) Une conclusion générale qui se dégage de la discussion précédente est que les ports de la côte belge peuvent, selon leur forme en plan, être classés en deux catégories :

a) les ports où une augmentation de la profondeur est accompagnée d'un accroissement des atterrissements.

Exemple : Zeebrugge (situation actuelle).

b) les ports où une telle augmentation ne conduit pas à un accroissement notable des dépôts

Exemples : Ostende, Nieupoort.

## CHAPITRE VIII.

### ESSAIS DE COURANTS EN MODELE.

#### § 39. — Description du modèle.

Le modèle qui fut construit dans le Laboratoire de Recherches Hydrauliques reproduisait la côte belge sur 4300 mètres environ à l'Ouest et sur 4100 mètres environ à l'Est du chenal d'entrée du port d'Ostende, ainsi que les dispositions essentielles de ce port (voir planche n° 29). Il s'étendait jusqu'à 2500 mètres environ en mer.

Les échelles du modèle étaient les suivantes :

$$\text{échelle horizontale} = \frac{1}{n} = \frac{1}{400}$$

$$\text{échelle verticale} = \frac{1}{m} = \frac{1}{60}$$

$$\text{L'exagération verticale était donc } \frac{400}{60} = 6,67.$$

De même que pour le modèle de la rade de Zeebrugge, les essais ont été effectués avec des écoulements permanents. Lors du flot, le niveau et le débit restaient constants et il en était de même lors du jusant.

Nous avons opéré en vives-eaux, aux instants qui correspondent à marée haute, pour le flot, et à 5 heures après marée haute, pour le jusant. C'est à ces moments que les vitesses sont les plus grandes et l'expérience du Laboratoire a montré qu'en modèle ces phases de la marée conduisent à des résultats d'ensemble conformes à la réalité.

Quand on consulte la courbe marégraphique de vives-eaux d'Ostende, on constate qu'aux instants choisis la marée atteint les cotes suivantes :

marée haute ..... (+ 4 m 69),  
5 heures après marée haute ..... (+ 0 m 97).

Comme à marée haute  $\frac{dh}{dt} = 0$        $\left( \frac{dh}{dt} = \text{dérivée du niveau d'eau} \right)$

par rapport au temps), aucune disposition n'était nécessaire pour aspirer de l'eau de l'arrière-port, afin de simuler le débit dû à la variation du plan d'eau.

Pour le courant de jusant, par contre, il fallait amener de l'eau à l'arrière du port, pour réaliser la situation qui se présente 5 heures après marée haute. A cet instant, le niveau d'eau descend de 0,87 m. par heure, ce qui correspond à un débit d'évacuation vers la mer de  $400.000 \times 0,87 = 348.000 \text{ m}^3/\text{heure}$  ou  $97 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Si ce débit était uniformément réparti dans toute la section mouillée du chenal d'entrée, il y provoquerait une vitesse d'environ  $\frac{97}{550} \times 100 = 18 \text{ cm/sec}$ ., dirigée vers la mer, la section

transversale de ce chenal mesurant à peu près  $550 \text{ m}^2$ . Le chiffre de  $18 \text{ cm/sec}$  ne correspond pas aux observations de courant dans la réalité, effectuées 5 heures après marée haute. A ce moment on n'a relevé que des vitesses supérieures, atteignant  $35 \text{ cm/sec}$  environ. Cette divergence est due probablement au fait qu'il y a une concentration d'eau douce près de la surface, ce qui amène une majoration de la vitesse superficielle (voir aussi le § 38, litt. c), laquelle dépasse par conséquent la vitesse moyenne évaluée ci-dessus à  $18 \text{ cm/sec}$ .

Quoi qu'il en soit, nous avons, pour les essais de courants de surface, et lors du jusant, tenu à réaliser les  $35 \text{ cm/sec}$  dans le chenal d'entrée. A cet effet nous avons alimenté l'arrière-port d'un débit de  $3 \text{ l/sec}$ . Les courants en mer étaient obtenus en envoyant un débit de  $55 \text{ l/sec}$  dans le modèle, où l'on maintenait par ailleurs un niveau d'eau de (+ 0 m 97).

Pour le flot (cote du plan d'eau =  $4 \text{ m } 69$ ), nous avons travaillé d'abord avec un débit de  $248,7 \text{ l/sec}$ . La planche 30, donnant l'allure générale des courants, a été établie en utilisant ce débit.

Mais plus tard, lorsqu'il s'est agi d'étudier plus en détail la formation possible d'un tourbillon à l'entrée du port, il a fallu ramener le débit du flot à  $232 \text{ l/sec}$ , et cela pour le motif suivant.

Pour étudier les courants en mer, nous nous étions contentés de reproduire en modèle les pieux verticaux des estacades, parce qu'il n'était pratiquement pas possible de réaliser à une échelle réduite toutes les traverses. Ainsi les estacades du modèle opposaient une résistance trop faible aux courants, de sorte qu'un débit d'eau exagéré traversait ces pilotis. Pour remédier à ce défaut, chacune des deux estacades fut garnie d'une (soit 1) couche de treillis métallique, comme indiqué aux planches n<sup>os</sup> 30 et 31. De cette façon on obtint une bonne concordance entre les courants du modèle et ceux de la réalité.

Cependant cette mesure diminuait la section d'écoulement du modèle, ce qui nous obligea à ramener le débit de flot de  $248,7 \text{ l/sec}$  à  $232 \text{ l/sec}$ . Une réduction semblable ne s'imposait pas pour le jusant, parce que, à 5 heures après marée haute, le niveau de l'eau est assez bas et il n'y a que peu d'eau qui passe à travers les estacades.

L'échelle des vitesses était de  $\frac{1}{2,25}$ , c'est-à-dire que les vitesses trou-

vées en modèle doivent être multipliées par 2,25 pour trouver les vitesses réelles. Cette échelle fut déterminée empiriquement, de même que pour les essais relatifs à la rade de Zeebrugge.

§ 40. — Généralités concernant les essais de courants.

Comme pour les expériences de Zeebrugge, les courants de surface furent relevés principalement au moyen de flotteurs munis de petites bougies allumées, dont les trajectoires étaient photographiées en obturant l'appareil à des intervalles de temps réguliers. On obtenait ainsi les trajectoires aussi bien que les vitesses.

Les courants de fond furent principalement observés au moyen de petites boules de papier buvard imprégnées d'eau. Les vitesses ne pouvaient être déterminées, étant donné l'influence du frottement du fond sur le cheminement des boules, mais la direction des courants de fond pouvait être très bien étudiée.

Comme il a déjà été dit dans le paragraphe précédent, les courants de surface, lors du jusant, étaient relevés pendant que l'on déversait un débit de  $3 \text{ l/sec}$  dans l'arrière-port. On réalisait ainsi les vitesses de

35 cm/sec dans le chenal d'entrée. Ce débit de 3 l/sec est défavorable à la formation de tourbillons (à axe vertical) à l'entrée du port et, si les vitesses de 35 cm/sec sont dues, comme nous le pensons, au fait que l'eau douce s'écoule en une couche de puissance plutôt faible à la surface du plan d'eau, cette alimentation du port ne pouvait être appliquée dans son entièreté lors de l'étude des courants de fond. Elle pourrait, en effet, réprimer en modèle des tourbillons (à axe vertical) qui se produiraient cependant en nature au-dessous de la couche d'eau douce. Finalement on s'est décidé, pour les courants de fond, à supprimer complètement le débit d'alimentation du port. Ainsi l'on se plaçait dans les circonstances les plus défavorables en ce qui concerne la possibilité d'apparition de tourbillons au débouché du port en mer.

Nous avons également examiné les courants de surface en l'absence d'un débit d'alimentation du port, en relevant uniquement les trajectoires et non les vitesses.

Les planches qui représentent les courants sont, comme toujours, déduites directement et sans correction des photos. Ce sont donc des projections coniques qui modifient légèrement les représentations en planimétrie. Elles sont cependant suffisamment exactes pour l'étude des courants.

§ 41. — Essais de courants sur un modèle reproduisant la situation existante.

Les courants généraux de surface, au flot, sont représentés à la planche n° 30. Ils correspondent aux données suivantes :

Débit du modèle = 248,7 l/sec. Pas de débit aspiré dans le port.

Cote du plan d'eau = (+ 4 m 69).

La correspondance entre le modèle et la réalité est très satisfaisante.

La planche n° 31 donne une représentation des courants généraux de surface au jusant. Elle a été obtenue avec un débit de 55 l/sec en modèle, un débit de 3 l/sec déversé dans le port et un niveau d'eau de (+ 0 m 97). La planche en question est en bonne concordance avec la situation réelle pour la marée de vives-eaux, 5 heures après marée haute.

Le détail des courants de surface au flot, à proximité immédiate du chenal d'entrée du port, est donné à la planche n° 30 (débit = 232 l/sec; pas de débit aspiré dans le port; niveau d'eau + 4 m 69).

Le détail des courants de surface au jusant, au même endroit, est représenté à la planche n° 31 (débit = 55 l/sec; débit déversé dans le port = 3 l/sec; niveau d'eau + 0 m 97).

Les résultats des essais se résument comme suit :

*Flot.*

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Présence d'un tourbillon de fond, qui apporte du sable  
et de la vase à l'entrée du port.

*Jusant avec débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de surface).

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond,

*Jusant sans débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de fond).

Pas de tourbillon au plan d'eau  
Léger tourbillon de fond.

§ 42. — Essais de courants sur le projet Timmermans.

Ce projet fut réalisé en modèle suivant les indications de la fig. 15. La nouvelle estacade Est, à l'entrée du port, ne comporte pas de pieux verticaux. Elle se compose de deux treillis métalliques, qui offrent aux courants la même résistance que l'ensemble des pieux verticaux garni d'un seul treillis.

La planche n° 32 donne pour ce projet les courants de surface, au flot, avec les données suivantes : débit = 232 l/sec; pas de débit aspiré dans le port; niveau d'eau = (+ 4 m 69).

La même planche apporte, pour le même projet, une représentation des courants de surface, au jusant, les données étant : débit = 55 l/sec; débit déversé dans le port = 3 l/sec; niveau d'eau = (+ 0 m 97).

*Résumé des observations en modèle.*

*Flot.*

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Fort tourbillon de fond.

*Jusant avec débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de surface).

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

*Jusant sans débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de fond).

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Léger tourbillon de fond.

Une comparaison entre les résultats des §§ 41 et 42 montre que les courants, qui s'observent dans le projet Timmermans, ne diffèrent pas sensiblement de ceux relevés dans la situation actuelle. A l'entrée du port, les dépôts de sable et de vase, par m<sup>2</sup> de surface, demeureront donc du même ordre de grandeur qu'à l'heure actuelle.

Un élargissement de 10 mètres, en direction Est, de la tête de l'estacade Ouest est aussi sans influence sur les courants. Cet élargissement peut donc être exécuté si l'exploitation du port le demande.

§ 43. — Estacade Ouest prolongée de 82 mètres.

Afin de supprimer le tourbillon de fond qui se manifeste au flot, et qui est un danger pour la navigation, en même temps qu'il constitue une cause d'aggravation de l'ensablement et de l'envasement, l'estacade Ouest fut prolongée de 82 mètres vers le large dans un modèle représentant la situation existante. Cette modification conduit aux observations suivantes :

*Flot.*

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

*Jusant avec débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de surface).

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

*Jusant sans débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de fond).

Présence d'un tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

On peut donc conclure que ce projet serait plus favorable que la situation existante. Cependant il exige l'exécution, à l'estacade Ouest, d'un travail complémentaire important. Il était tout indiqué de réduire celui-ci au strict minimum. Dans ce but, on soumit aux essais un projet ne prévoyant qu'une prolongation de 64 mètres de l'estacade Ouest et il apparut que cette extension d'estacade donne des résultats à peine moins favorables que la prolongation de 82 mètres.

§ 44. — Projet Timmermans avec estacade Ouest prolongée de 80 mètres.

La constatation in fine du § précédent nous amena tout d'abord à examiner si, dans le projet Timmermans, une prolongation vers le large de 40 mètres seulement de l'estacade Ouest, ne suffisait pas pour supprimer le tourbillon de fond lors du flot. Mais les essais montrèrent que cet allongement est insuffisant, ce qui prouve qu'il faut maintenir un certain rapport entre la prolongation de l'estacade Ouest et la largeur entre les jetées basses du chenal d'entrée.

En suite de ce résultat on porta le prolongement de l'estacade Ouest à 80 mètres. Cette situation donna lieu aux observations suivantes :

*Flot.*

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

*Jusant avec débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de surface).

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

*Jusant sans débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de fond).

Très léger tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

Cette situation est donc très favorable.

Quand, dans le projet Timmermans, on maintient l'estacade Ouest et sa jetée basse telles qu'elles existent actuellement, et si l'on raccourcit l'estacade Est de 80 mètres, tout en conservant la jetée basse Est représentée à la fig. 15, on arrive aux résultats que voici :

*Flot.*

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Fort tourbillon de fond.

*Jusant avec débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de surface).

Pas de tourbillon au plan d'eau.  
Pas de tourbillon de fond.

*Jusant sans débit déversé dans le port* (surtout important pour les courants de fond).

Présence d'un tourbillon au plan d'eau.  
Présence d'un tourbillon de fond.

Ce projet est donc à rejeter. Le fort tourbillon de fond, lors du flot, provient de la juxtaposition directe, à l'extrémité en mer de l'estacade Est, du chenal d'entrée profond avec l'estran très peu profond.

§ 45. — Autres états de courants.

Les essais ci-dessus décrits pour l'entrée du port d'Ostende ne se rapportent qu'à deux instants particuliers de la marée. A première vue, et malgré l'expérience que nous avons pu acquérir en cette matière, il n'y avait pas de certitude absolue qu'aux autres moments de la marée les choses se passeraient de la même façon qu'aux deux instants considérés.

Afin qu'il ne subsiste aucun doute sur cette question, et en vue également d'acquérir la certitude que les conclusions de notre étude sont générales, les expériences ont été reprises en variant les conditions d'essai. Les variations les plus importantes furent les suivantes :

- 1° Un flot avec un débit de 225 l/sec et un plan d'eau à (+ 3 m 80) ;
- 2° Un jusant avec un débit de 54 l/sec, un plan d'eau à (+ 0 m 50), avec et sans débit déversé dans le port, ce débit mesurant 2,9 l/sec.

Les phénomènes observés dans ces situations particulières se dérouleront de la même manière que dans les essais normaux exposés plus haut. On peut donc dire que les conclusions de la présente étude ont un caractère de généralité.

## CHAPITRE IX.

### ESSAIS DE HOULE.

§ 46. — Particularités expérimentales.

En principe, c'est la même installation productrice de houle qui servit, tant pour les expériences de Zeebrugge que pour celles d'Ostende. Dans ce dernier cas, les vagues avaient une amplitude de 4 à 6 cm. et une longueur d'onde de 60 cm. au point A de la Kleine Reede (voir figure page 755).

Comme il est indiqué à la planche 29, les murs de quai, soumis à marée, furent réalisés en treillis. Derrière ce treillis il y avait une paroi pleine. L'espace compris entre cette dernière et le treillis était

rempli de copeaux de bois, dont on réglait le degré de tassement, de manière que les vagues, en pénétrant dans le modèle de port, s'y propageaient et s'amortissaient comme elles le font réellement dans la nature. Cet artifice était nécessaire par suite de l'exagération verticale, qui facilite la réflexion de la houle, ainsi que nous l'avons déjà exposé à propos des essais pour la rade de Zeebrugge.

Un amortissement spécial a dû être prévu contre l'écluse Léopold, car il s'y produisait, pour les vagues venant de Nord-Ouest, une réflexion gênante qui donnait lieu à des ondes stationnaires, lesquelles, ou bien, n'existent pas dans la réalité, ou bien, n'y présentent pas l'ampleur qu'elles acquièrent en modèle. Lorsqu'il est question d'amortissement sur les figures des pages 755 et 756, il s'agit de l'amortissement contre l'écluse Léopold.

Le flotteur de l'appareil de houle avait, en section droite, la forme d'une sinusöide. A la suite d'essais préliminaires, on put constater que l'on se rapprochait le plus de la réalité en faisant exécuter au flotteur 93 oscillations (verticales) par minute, d'où production de 93 ondes progressives dans le même laps de temps. Si la fréquence du flotteur dépasse de beaucoup le chiffre de 93 oscillations par minute, il est une fréquence déterminée pour laquelle le phénomène de la production de la houle, par un flotteur oscillant, éprouve un changement subit (\*).

Pour les faibles amplitudes et les basses fréquences, il se développe des ondes progressives, dont la fréquence est la même que celle du flotteur et dont les crêtes sont parallèles à l'axe longitudinal de ce flotteur. Ce sont ces ondes que nous utilisons dans les modèles, lors des essais de houle.

Si l'on accroît l'amplitude, ou la fréquence, ou les deux simultanément, il arrive un moment où le phénomène change brusquement d'aspect. Il se produit alors des ondes stationnaires, dont la fréquence est double de celle du flotteur. Les crêtes de ces ondes sont normales à celles des ondes progressives et donc aussi à l'axe longitudinal du flotteur.

Nous avons pris une amplitude de 6 cm 65 pour le mouvement d'oscillation vertical du flotteur. L'on obtient ainsi une houle bien mesurable dans toute la zone utile.

Comme plan d'eau, nous avons admis la cote de (+ 3 m 40), se rapprochant assez de marée haute, car c'est vers cet état de la marée que

(\*) M. Schuler : « Der Umschlag von Oberflächenwellen ». Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik. Année 1933, pp. 443-446.

les vagues constituent la plus grande gêne dans le chenal d'entrée du port. Dans sa position moyenne l'enfoncement du flotteur était d'environ 9 cm.

La détermination de l'amplitude se faisait de la manière suivante. En un point, où nous désirions connaître la hauteur des vagues, nous placions, aussi près que possible l'une de l'autre, deux aiguilles, munies chacune d'une échelle avec vernier et communiquant toutes deux avec un dispositif de comptage, décrit dans la suite du présent §.

Une de ces aiguilles, que nous appellerons l'aiguille de crête, donne le nombre de fois par minute qu'elle vient au contact avec l'eau. Si l'extrémité inférieure de cette aiguille se trouve au-dessus du niveau d'équilibre (c'est-à-dire la surface de l'eau en l'absence de vagues) et au-dessous de la crête la plus basse, 93 contacts seront enregistrés par minute si, pendant le même laps de temps, autant d'ondes progressives sont produites.

L'autre aiguille est l'aiguille de vallée. Elle compte le nombre de fois par minute qu'elle perd contact avec l'eau. Si son extrémité inférieure se trouve sous le niveau d'équilibre, mais au-dessus de la vallée la moins profonde, elle enregistrera 93 dégagements par minute, en rapport avec les 93 vagues créées pendant le même temps.

Au début d'un essai, les pointes inférieures des deux aiguilles (crête et vallée) étaient amenées au niveau d'équilibre et l'appareil de houle était ensuite mis en marche. Les aiguilles enregistraient 93 contacts ou dégagements. Puis l'aiguille de crête était relevée de 1 mm. et l'aiguille de vallée abaissée de la même quantité et l'on notait à nouveau le nombre de contacts et de dégagements. Ensuite on passait à un abaissement et un relèvement de 2 mm, et ainsi de suite.

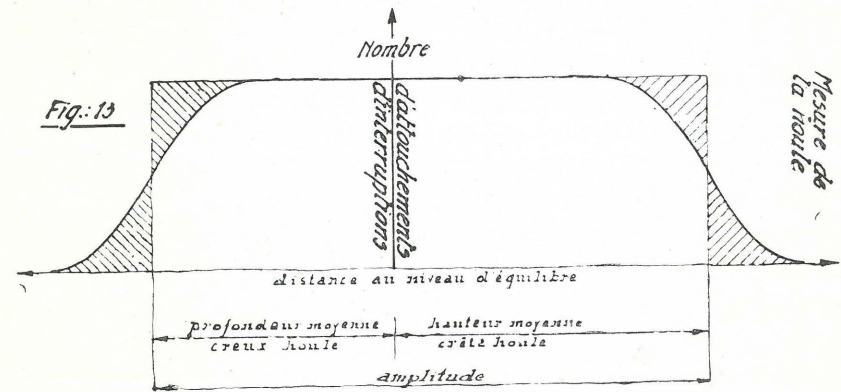
Pour un poste d'observation donné, nous portons en ordonnées le nombre de contacts ou de dégagements par minute. Suivant les abscisses positives nous portons la distance entre l'aiguille de crête et le niveau d'équilibre et, suivant les abscisses négatives, la distance entre ce même niveau et l'aiguille de vallée. Nous obtenons ainsi un diagramme tel que celui représenté à la fig. 13

Nous admettons comme hauteur moyenne de la crête des vagues, au-dessus du niveau d'équilibre, la hauteur moyenne du diagramme à droite de l'axe des ordonnées et comme profondeur moyenne du creux des vagues au-dessous du même niveau, la hauteur moyenne à gauche de l'axe des ordonnées. Comme amplitude moyenne des vagues, on prend la somme de la hauteur moyenne des crêtes et de la profondeur moyenne des creux.

On constate presque toujours que les crêtes s'élèvent plus au-dessus du niveau d'équilibre que les creux ne descendent sous ce même niveau.

Les amplitudes de la houle ont été mesurées aux points A, B, C, D, E, qui sont indiqués sur les figures des pages 755 et 756.

Le point A, qui se trouve le plus loin en mer, a été pris comme point de référence et nous y avons posée égale à 100 la valeur de l'amplitude, et calculé les valeurs relatives aux autres points. De même, nous avons



toujours déterminé les valeurs relatives des hauteurs de crête et des profondeurs du creux, mesurées par rapport au niveau d'équilibre. Pour le point A, par exemple, on a obtenu, entre autres,

hauteur de crête = 58,  
profondeur du creux = 42,

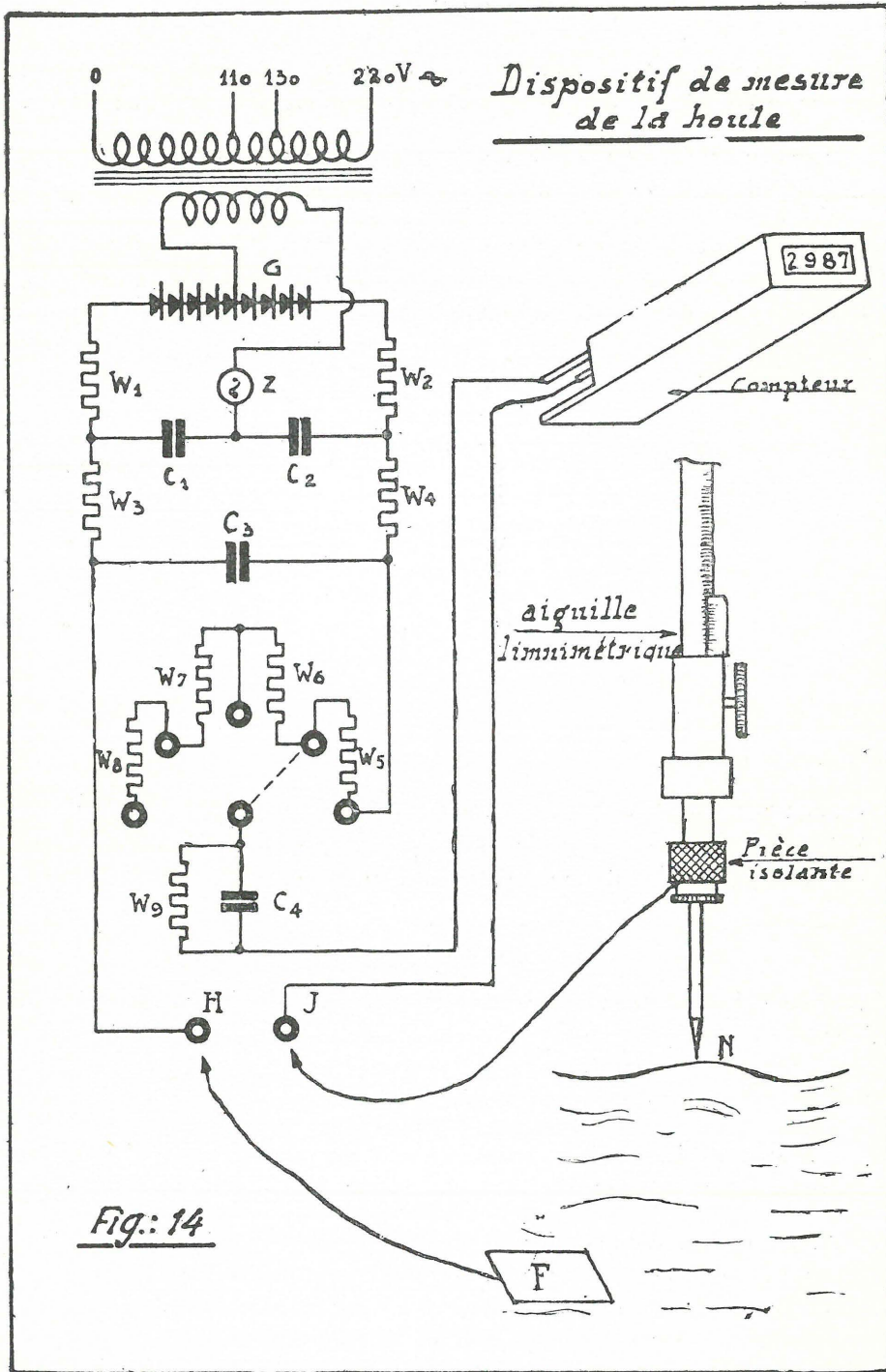
la somme de ces deux longueurs donnant 100, chiffre qui représente l'amplitude.

\*\*

Le schéma du montage électrique (\*) des aiguilles de crête ou de vallée est donné à la fig. 14.

Le comptage automatique des contacts (ou dégagements) entre les vagues et l'extrémité inférieure des aiguilles s'opère au moyen d'un compteur électrique, du même type que ceux utilisés dans les centrales téléphoniques pour compter le nombre de conversations.

(\*) Montage réalisé par notre technicien d'essais M. C. Eeckels.



Les symboles de la fig. 14 ont la signification suivante :

Tr . . . . .	transformateur
G . . . . .	redresseur
Z . . . . .	lampe
W . . . . .	résistance
C . . . . .	condensateur
F . . . . .	électrode

H, J ou simplement le rond auquel ces lettres sont parfois adjointes ..... un contact.

Trait en tirets (— — — —) ..... manette permettant la mise en série des résistances  $W_5$ ,  $W_6$ ,  $W_7$ ,  $W_8$ .

§ 47. — Essais de houle dans un modèle reproduisant la situation existante.

Les mesures de houle effectuées sur ce modèle sont résumées sous forme de tableau à la page 755.

Ce tableau reprend aussi les observations faites dans la nature et communiquées au § 35. Pour ces données de la réalité, on a représenté également par 100 l'amplitude de la vague au point A (Kleine Reede).

L'examen du tableau de la page 755 montre qu'il y a une bonne concordance entre l'agitation de surface du modèle et celle de la nature.

§ 48. — Essais de houle dans un modèle reproduisant le projet Timmermans.

La figure page 756 donne les résultats des observations faites sur le projet Timmermans, le modèle étant établi comme pour les essais de courants de la planche 32.

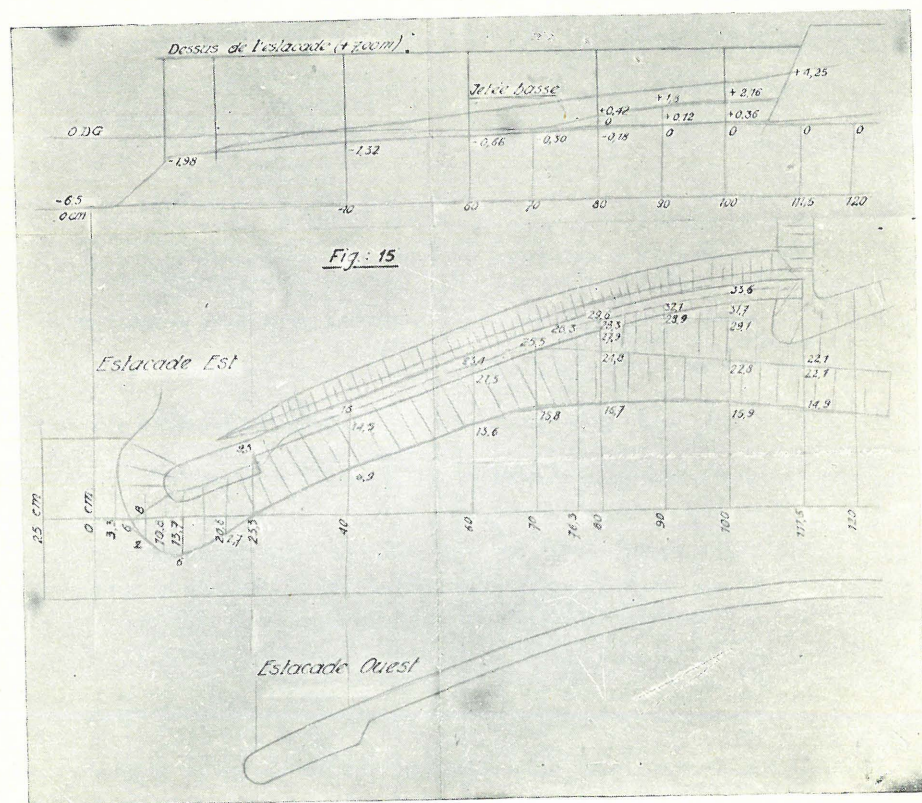
Une comparaison entre les tableaux des figures pages 755 et 756 montre que, pratiquement parlant, la houle dans le projet Timmermans ne sera ni plus, ni moins importante que dans la situation existante.

CHAPITRE X.

CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE.

§ 49. — Conclusions générales des essais sur modèle pour le chenal d'entrée du port d'Ostende.

1° En ce qui concerne les courants et la houle, la situation actuelle et le projet Timmermans sont équivalents. L'atterrissement par  $m^2$  dans le chenal d'entrée du port ne différera pas non plus sensiblement si l'on passe de l'état présent au projet Timmermans.



2° Du point de vue de l'hydraulique, une amélioration peut être apportée, tant à la situation actuelle qu'au projet Timmermans, en prolongeant l'estacade Ouest de 80 mètres vers le large. Dans cette éventualité il ne faut pas prolonger les jetées basses existantes (situation actuelle) ou prévues (projet Timmermans).

3° L'élargissement de 10 mètres, que le projet Timmermans prévoit à la tête de l'estacade Ouest, peut être exécuté sans danger. Il sera sans influence sur les caractéristiques hydrauliques de l'entrée du port.

4° La construction de l'estacade de liaison (représentée en points-tirets —.—.—.—.— à la figure page 756) qui rejoint l'estacade Est, ne peut pas avoir d'influence pratique sur la valeur hydraulique du chenal d'entrée du port. La question de savoir s'il faut, ou non, la réaliser dépend entièrement des nécessités de l'exploitation du port.

On peut de même, en aval de l'écluse Léopold, construire le pont figuré par un trait en pointillé (.....) à la figure page 756.

Cet ouvrage ne peut être nuisible au point de vue de la sécurité de fréquentation du port d'Ostende.

5° Si l'on apporte des modifications au chenal d'entrée, tout en conservant à ce dernier son caractère de goulet long et étroit, ce qui est le cas, par exemple, pour la situation actuelle et pour le projet Timmermans, les atterrissements dans le port à marée proprement dit ne seront pas affectés par les changements réalisés au chenal d'entrée.

6° La présente étude a montré que les eaux pluviales, amenées par les émissaires poldériens dans le port, n'exercent dans ce dernier aucune action érosive. Au contraire, elles y produisent des dépôts supplémentaires. Cette constatation combat une conception ancienne, qui tend à faire déboucher dans les ports de la côte belge les cours d'eau poldériens, dans le but de réaliser une chasse. Celle-ci est illusoire; il vaut mieux éviter le passage des eaux douces par le port et les conduire en mer à côté de celui-ci. En agissant de la sorte, dans le cas d'un chenal d'entrée long et étroit, on limite les apports d'alluvions à ceux dus au mouvement de la marée.

#### EPILOGUE.

##### § 50. — Conclusion générale concernant Zeebrugge et Ostende.

Les considérations et essais exposés au cours du présent mémoire montrent nettement le caractère logique de la classification adoptée, dès le début du préambule, pour les ports de la côte belge, classification basée uniquement sur la forme que ces ports présentent en planimétrie. Les deux catégories envisagées se différencient de la manière suivante au point de vue du régime des atterrissements et des travaux d'entretien :

a) Dans les ports du type Zeebrugge (situation actuelle) un approfondissement provoque une augmentation des atterrissements;

b) Dans les ports du type Ostende un approfondissement n'accroît pas les dépôts de façon appréciable. L'envasement total y est seulement fonction de la superficie du port, de l'amplitude de la marée, du débit des émissaires poldériens se déversant dans l'arrière-port et de la teneur en matières en suspension dans l'eau de mer et dans l'eau douce.

SAMENVATTING :

## Studie over de Belgische havens der Noordzee.

### MODELPROEVEN.

(Slot.) \*

#### TWEEDE DEEL.

#### Modelproeven in zake wijzigingen in overweging genomen voor de ingang der haven van Oostende.

##### HOOFDSTUK VII.

Opdracht en gegevens uit de werkelijkheid.

##### § 34. Voorwerp der experimenten.

De huidige schikkingen aan de ingang der haven van Oostende, alsmede een algemene plattegrond dezer haven, zijn afgebeeld op plaat n<sup>o</sup> 29.

De voorgestelde veranderingen (project Timmermans) zijn de volgende :

Het Westerstaketsel, met de Westelijke lage havendam, blijven behouden, maar de kop van dit staketsel wordt naar het Oosten met 10 meter verbreed. Het Oosterstaketsel en de Oostelijke lage havendam worden opgeruimd en meer Oostwaarts herbouwd, volgens een lijn-richting evenwijdig met het bestaande, en behouden blijvende, Westerstaketsel.

Het Waterbouwkundig Laboratorium moest onderzoeken welke invloed het project Timmermans zou hebben op deining, stromingen en aanslibbing.

##### § 35. Gegevens betreffende de deining in de werkelijkheid.

(\*) Voor de voorgaande teksten, zie afl. 3 (Juni), 4 (Augustus), en 5 (October) 1948 van het T. O. W.

##### § 36. Metingen van het zoutgehalte in de werkelijkheid.

##### § 37. Zoetwatertoevoer in de haven van Oostende. Gegevens uit de natuur.

##### § 38. Mechanisme van de aanslibbing der haven van Oostende. Aanslibbingsbalans.

a) Slib aangevoerd door het zoetwater.

b) Slib aangevoerd door het zeewater.

Het gezamenlijk kubiek dat jaarlijks uit de haven van Oostende te baggeren valt is nagenoeg onafhankelijk van de vorm die aan de ingang dezer haven gegeven wordt, indien men weliswaar daarbij binnen zekere grenzen blijft (bv. de huidige toestand en het project Timmermans), t. t. z. indien men de ingang het karakter ener lange en smalle geul laat behouden.

Bij de modelproeven werd aandacht geschonken aan de stromingen in deze ingang, niet alleen met het oog op de scheepvaart, maar tevens met het oog op aanzanding en aanslibbing. Er werd bij voorbeeld getracht het ontstaan van wervels aan de haveningang te beletten, daar deze wervels neerzettingen voor gevolg hebben.

Veranderingen in het zand- en slibbezwaar, voor zover ze veroorzaakt worden door wijzigingen aan de staketsels en lage havendammen, kunnen echter maar alleen optreden in de onmiddellijke nabijheid van de haveningang.

##### HOOFDSTUK VIII.

Stromingsproeven in het model.

##### § 39. Beschrijving van het model.

##### § 40. Algemeenheden omtrent de stromingsproeven.

##### § 41. Stromingsproeven op een model dat de thans bestaande toestand weergeeft.

##### § 42. Stromingsproeven op het ontwerp Timmermans.

Een vergelijking tussen de resultaten der §§ 41 en 42 leert dat de stromingen bij het project Timmermans niet belangrijk verschillen van deze die in de huidige toestand waargenomen worden en dat dus ook de zand- en slibneerslag, per m<sup>2</sup> oppervlakte van de haveningang, van dezelfde orde van grootte zal blijven als thans het geval is. De Oostwaartse verbreding met 10 m. van de kop van het Westerstaketsel is zonder belang wat de stromingen betreft. Deze verbreding werd dus steeds terzijde gelaten, omdat het uit een waterbouwkundig standpunt onverschillig is of ze al dan niet aangebracht wordt.

§ 43. Westerstaketsel met 82 meter verlengd.

Onder oogpunt der neerzettingen zou deze toestand voordeliger zijn dan de huidige.

§ 44. Ontwerp Timmermans waarbij het Westerstaketsel met 80 meter verlengd wordt.

§ 45. Andere stromingstoestanden.

#### HOOFDSTUK IX.

##### Golfproeven.

§ 46. Meettechnische bijzonderheden.

Golfomslag van Schuler.

§ 47. Golfproeven op de tegenwoordige toestand.

Op bladzijde 755 zijn in tabel de golfwaarnemingen samengebracht die in model werden uitgevoerd voor de tegenwoordige toestand.

De waarnemingen uit de natuur werden insgelijks in de tabel opgenomen, waarbij de amplitude in het punt A (Kleine Rede) gelijk aan 100 werd gesteld.

Een vergelijking der resultaten gegeven op bladzijde 755 toont dat de golfbeweging in het model overeenkomt met de golfbeweging der natuur.

§ 48. Golfproeven op het ontwerp Timmermans.

Bladzijde 756 geeft de waarnemingen op het project Timmermans, het model ingericht zijnde zoals bij de stromingsproeven van plaat 32.

Een vergelijking tussen de modelwaarnemingen van bladzijden 755 en 756 toont dat de golfbeweging bij het project Timmermans practisch niet zal verschillen van deze die in de huidige toestand optreedt.

#### HOOFDSTUK XII.

##### Conclusies van het Tweede Deel.

§ 49. Algemene conclusies uit de modelproeven voor de haveningang te Oostende.

Wat de stromingen en de golfbeweging aangaat zijn de tegenwoordige toestand en het project Timmermans gelijkwaardig. De neerzetting per m<sup>2</sup> haveningang zal in beide gevallen ook niet veel verschillen.

Onder waterbouwkundig oogpunt kan een verbetering worden verkregen ten opzichte van de tegenwoordige toestand, of het project Timmermans, door een verlenging met 80 m. van het Westerstaketsel. De bestaande (huidige toestand) of ontworpen (project Timmermans) lage havendammen blijven alsdan behouden.

De verbreding met 10 m. van de kop van het Westerstaketsel, bij het project Timmermans, heeft onder waterbouwkundig opzicht geen invloed.

Indien men binnen zekere grenzen blijft, d.w.z. indien men aan de haveningang het karakter ener lange en smalle toegangseul laat behouden, zal de aanslibbing in de eigenlijke haven van Oostende geen veranderingen ondergaan bij wijzigingen aan de haveningang.

##### SLOT.

Herhaling der conclusie die reeds in de inleiding werd aangegeven.

---