

§ 2. — Geval van een willekeurige maar constante  $E_s$ .

Het traagheidsmoment overeenstemmend met een bepaalde verdelingswet van de reacties van de grond onder een balk met gegeven horizontale afmetingen, en belast met een gegeven krachtenstelsel, symmetrisch t.o.v. de middendoorsnede, is rechtstreeks evenredig met de elasticiteitsmodulus van de grond (zie formule 106).

§ 3. — Geval van een willekeurige alleenstaande kracht  $P$ .

Wanneer twee balken worden beschouwd, met dezelfde horizontale afmetingen, steunend op dezelfde grond met constante elasticiteitsmodulus, en belast met twee gelijkvormige krachtenstelsels staande in de verhouding  $\alpha$ , stemmen de gelijkvormige verdelingswetten van de reacties van de grond met verhouding  $\alpha$ , overeen met een en dezelfde waarde van het traagheidsmoment.

§ 4. — Geval van balken gekenmerkt door een constante verhouding

$$\delta = \frac{b}{l}.$$

De traagheidsmomenten overeenstemmend met een bepaalde verdelingswet der reacties van een grond met constante elasticiteitsmodulus onder balken, waarvan de horizontale afmetingen staan in dezelfde verhouding  $\delta$ , en welke aan de grond dezelfde gemiddelde druk overdragen, staan tot elkaar als de 4<sup>e</sup> machten van de lengten der balken (zie formule 125).

§ 5. — Geval van een balk met willekeurige afmetingen.

Men zal dit geval oplossen steunend op het voorbeeld gegeven in § 1.

In de tabel V en op de fig. 38 heeft men de parabolen van de 2<sup>e</sup> graad aangegeven, welke voor balken met allerlei afmetingen, overeenstemmen met een oneindige stijfheid dezer balken.

(Wordt voortgezet.)

# Etude des Ports Belges de la Mer du Nord.

## ESSAIS SUR MODELES REDUITS.

(Suite.) \*

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.

### CHAPITRE III.

#### ESSAIS D'ENVASEMENT SUR DES PROJETS A CLAIRE-VOIE FERMEE. OUVERTURE DE CETTE DERNIERE.

§ 12. — Considérations générales relatives aux essais  
d'envasement.

Des essais d'envasement furent effectués sur les situations suivantes de la rade de Zeebrugge : To, T 14, Lab 4, M 2, To à claire-voie ouverte et Lab 8.

Ces expériences furent précédées d'une étude avec eau vaseuse sur un modèle de formes simples et de dimensions restreintes.

(\*) Pour le début, voir fascicule 3 (juin) 1948 des A. T. P. de Belgique, p. 367.

Cette étude préliminaire montra que l'on pouvait arriver à des résultats pratiques si l'on travaillait dans le modèle avec une vitesse moyenne de courant d'environ 20 cm/sec.

En adoptant cette vitesse, l'envasement croît linéairement avec le temps dans les bassins qui ne sont pas parcourus par le courant général, comme c'est le cas dans les ports schématisés des figures 7a et 7b.

Les essais préalables montrèrent également qu'il est à conseiller de faire durer les essais d'envasement pendant au moins six heures car, si l'on prend une durée plus courte, les résultats deviennent irréguliers, ce qui est probablement dû au fait que la mise en marche du modèle, et son arrêt, acquièrent trop d'importance vis-à-vis de la durée des courants de régime.

Dans les essais d'envasement, il est de la plus haute importance de choisir une échelle des temps convenable.

Soient L et l, H et h; T et t; V et v des dimensions horizontales, des dimensions verticales, des temps et des vitesses, respectivement en nature et en modèle.

Nous avons les relations

$$L = VT \text{ et } l = vt$$

d'où 
$$\frac{t}{T} = \frac{l}{L} \cdot \frac{V}{v} \dots\dots\dots (1)$$

avec 
$$\frac{l}{L} = \frac{1}{n} = \frac{1}{650}$$

Si l'on s'en tient à la règle de similitude de Reech-Froude, on a  $\frac{V}{v} = \sqrt{m}$ , au cas où les accélérations verticales peuvent être négligées, et

$$\frac{t}{T} = \frac{\sqrt{m}}{n} = \frac{8}{650} = \frac{1}{81,25} \dots\dots\dots (2)$$

Logiquement il semblerait que l'on doive utiliser cette dernière échelle des temps. Mais il s'agit en l'occurrence de vitesses de décantation et le problème doit encore être posé d'une autre façon : il faut s'imposer la condition que les particules de vase décrivent des trajectoires semblables dans la nature et dans le modèle.

Soient S et s des vitesses de chute, respectivement dans la réalité et en maquette.

La similitude horizontale exige que l'on satisfasse à la relation (1)

La similitude du mouvement vertical exige d'autre part que

$$\frac{t}{T} = \frac{l}{m} \cdot \frac{S}{s} \dots\dots\dots (3)$$

Les échelles des temps selon (1) et (3) seront en général inconciliables.

Pour qu'elles concordent il faut que

$$\frac{l}{n} \cdot \frac{V}{v} = \frac{l}{m} \cdot \frac{S}{s} \text{ d'où } s = S \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{v}{V} \dots\dots\dots (4)$$

Dans le cas du modèle de Zeebrugge, cette dernière relation devient

$$s = S \cdot \frac{650}{64} \cdot \frac{1}{8} = 1,27 S \dots\dots\dots (5)$$

La vitesse de chute de la vase expérimentale doit donc être 1,27 fois celle de la vase réelle.

Si  $s = S$ , l'équation (3) conduit à : 
$$\frac{t}{T} = \frac{l}{m} = \frac{1}{64}$$

Supposons maintenant que nous nous trouvions dans un cas où la loi de Stokes est applicable. Un corps sphérique de rayon r se déplaçant avec une vitesse v dans une eau immobile, essuie de la part de ce milieu une résistance :

$$w = 6\pi r \varphi v \dots\dots\dots (6)$$

$\varphi$  étant le coefficient de viscosité du liquide

Si la sphère descend dans l'eau sous l'effet de la pesanteur, sa vitesse limite peut être calculée par l'équation

$$6\pi r \varphi s = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_b - \rho)g$$

où  $\rho_b$  et  $\rho$  sont les masses spécifiques respectivement de la sphère et de l'eau.

Donc

$$s = \frac{2}{9} \frac{(\rho_b - \rho)g}{\varphi} r^2 \dots\dots\dots (7)$$

et nous voyons que s est proportionnel à r<sup>2</sup>, ce qui s'écrit encore

$$s \propto r^2 \dots\dots\dots (8)$$

L'équation (5) devient alors, avec des notations évidentes,

$$r^2 = 1,27 R^2 \quad r = 1,13 R$$

Les dimensions linéaires des particules de vase du modèle doivent donc être 1,13 fois plus grandes que celles des particules de la vase naturelle.

Si maintenant la résistance est proportionnelle au carré de la vitesse, (6) devra être remplacé par

$$w = k \pi r^2 \cdot v^2 \dots\dots\dots (9)$$

où k est un coefficient qui, comme on sait, dépend du nombre de Reynolds.

Nous avons de nouveau

$$k\pi r^2 \cdot s^2 = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_b - \rho)g$$
$$s^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{(\rho_b - \rho)g}{k} \cdot r$$
$$s \propto \sqrt{\frac{r}{k}} \dots\dots\dots (10)$$

La condition (5) devient  $r = 1,61 \cdot \frac{k}{K} \cdot R$  ou  $r \approx 1,61 R$  pour  $k \approx K$ .

En résumé, on peut poser

$$\frac{s}{S} = f\left(\frac{r}{R}\right) \text{ et probablement } \frac{s}{S} = \left(\frac{r}{R}\right)^p$$

avec  $p = \frac{1}{2}$  et  $p = 2$  comme valeurs extrêmes.

Si la vitesse de décantation est plus grande dans la réalité que dans le modèle ( $S > s$ ), on a, selon (3),  $\frac{t}{T} > \frac{1}{m}$ . L'hypothèse  $S > s$  n'est pas invraisemblable, quand on songe que, par suite des vitesses plus grandes dans le prototype, les eaux naturelles contiendront une proportion plus élevée de particules à chute rapide que les eaux de la maquette. Lors d'essais de décantation sur des eaux boueuses, nous avons pu constater que beaucoup de particules tombent pour ainsi dire immédiatement (endéans les deux minutes), tandis que d'autres mettent un temps considérable (plusieurs heures même) avant de se déposer au fond. Le pourcentage de particules à grande vitesse de décantation sera probablement plus grand dans la nature que dans le modèle.

Les raisonnements précédents, fondés sur les lois  $w \propto s$  et  $w \propto s^2$ , ont trait à la décantation en eau immobile, alors que les phénomènes étudiés dans le présent mémoire se passent dans des courants d'eau en

régime turbulent. Les masses d'eau sont agitées dans toutes les directions, et à toutes les profondeurs, par une multitude de tourbillons, qui font tourner les particules de vase dans tous les sens. Par tourbillons nous entendons maintenant les irrégularités pulsatoires caractéristiques d'un courant turbulent; ces tourbillons sont d'étendue assez faible et ne peuvent être confondus avec les « tourbillons Ouest » et le « grand tourbillon Est », qui sont des mouvements rotatifs de grande envergure, à axe vertical. Il va de soi que la suspension sera d'autant meilleure et l'envasement d'autant plus faible que la turbulence sera plus prononcée. On peut également présumer que la turbulence (les dimensions et les vitesses de rotation des petits tourbillons) sera relativement plus grande en modèle qu'en nature. On se rappellera à cet effet que la pente de la surface libre dans une maquette, comme celle de Zeebrugge, dépasse toujours la pente de surface de la réalité. Or cette pente constitue en fait un moyen d'apprécier, en première approximation, la perte d'énergie des courants d'eau, cette perte d'énergie étant en majeure partie absorbée par la formation des tourbillons du régime dit hydraulique. Ces

considérations conduisent à la conclusion  $S > s$  et  $\frac{t}{T} > \frac{1}{64} S$  et  $s$  ne désignant plus maintenant des vitesses de décantation proprement dites, mais bien des vitesses globales de chute de particules disséminées dans la masse liquide.

Ajoutons encore qu'en nature la teneur en vase de l'eau est très variable et que, par exemple, elle s'accroît considérablement pendant les tempêtes. Dans un essai à petite échelle, il n'est pas possible de suivre ces variations et l'on est nécessairement tenu à des moyennes. Il en résulte qu'il était justifié d'adopter une méthode d'expérimentation où l'échelle des temps  $\frac{t}{T}$  n'était pas basée sur des considérations exclusivement théoriques, mais était choisie plutôt de manière que les résultats obtenus en modèle correspondent à ce qui se produit dans la réalité pour une situation équivalente à celle du modèle.

Nous avons réalisé en maquette la situation existante To (année 1933). Si nous reportons les résultats de ces essais avec eau boueuse au moyen de l'échelle des temps  $\frac{t}{T} = \frac{1}{8}$  (voir le § 15 ci-dessous), nous retrouvons l'envasement observé dans la nature.

Dans la réalité, cet envasement est constitué, en partie, par des particules qui ont été traînées le long du fond, l'autre partie du dépôt provenant de matières solides qui se trouvaient en suspension dans l'eau.

On ne peut dire dans quelle mesure le traînage intervient dans le modèle, mais ce dernier phénomène y est probablement moins prononcé.

L'échelle des temps adoptée,  $\frac{t}{T} = \frac{1}{8}$ , est bien différente de l'échelle  $\frac{t}{T} = \frac{1}{81,25}$  établie par un raisonnement en apparence logique, mais qui ne tient pas suffisamment compte des effets de la turbulence des courants liquides.

§ 13. — Conduite des essais d'envasement.

Après quelques expériences préliminaires, on s'est arrêté à la méthode suivante. Dans chaque essai en particulier, on établit en modèle successivement :

- 1 courant de jusant durant 47 minutes,
- 1 courant de flot durant 46 minutes,
- 1 courant de jusant durant 47 minutes,
- 1 courant de flot durant 46 minutes,
- 1 courant de jusant durant 47 minutes,
- 1 courant de flot durant 46 minutes,
- 1 courant de jusant durant 47 minutes,
- 1 courant de flot durant 46 minutes,

Ces durées du flot et du jusant expérimentaux sont entre elles dans le même rapport que les durées des mêmes courants de la réalité.

La durée totale d'un essai est de 6 h. 12 min., correspondant à 6 h. 12 min.  $\times 8 \approx 49$  h. 40 min. dans la nature.

Lors du jusant et du flot, les débits du modèle sont respectivement de 112 l./sec. et de 163,12 l./sec. et les niveaux d'eau (+ 1 m. 07) et (+ 3 m. 80). Les courants dans la rade, pour autant qu'ils dépendent de la variation  $\frac{dh}{dt}$  du plan d'eau, sont réalisés par les opérations de refoulement ou d'aspiration décrites ci-dessus.

Pendant la durée entière de chaque essai, on prend tous les  $\frac{1}{4}$  d'heure un échantillon de l'eau en mer. Cet échantillon est prélevé au moyen d'un petit tube en verre ouvert à ses deux extrémités. La prise se fait de la façon suivante : le tube est placé perpendiculairement sur le fond du modèle. Puis on ferme son extrémité supérieure au moyen d'un doigt et on le retire ensuite en le maintenant bien verticalement. En opérant de cette manière, l'échantillon d'eau recueilli correspond bien à une

moyenne sur toute la profondeur et il est inutile de se préoccuper de la répartition de la vase suivant la verticale.

A la fin d'un essai de 6 h. 12 min., le niveau d'eau général du modèle est amené à la cote (+ 1 m. 07) et la rade est fermée au moyen d'un panneau partant de l'extrémité en mer du môle et aboutissant à la côte au point K, déjà défini au § 5.

Après la fermeture de la rade, l'eau de celle-ci est vigoureusement agitée, afin de remélanger au liquide la vase décantée dans le port. Lorsqu'on estime ce mélange suffisamment homogène, on prélève un échantillon d'eau.

Les échantillons d'eau provenant des essais sont ensuite filtrés sur des filtres de Schleicher et Schüll, qui présentent un poids constant de cendres après incinération, soit 0,0014 grammes de cendres par filtre. Les filtres et les produits qu'ils ont retenus sont séchés, puis brûlés et calcinés. Les cendres ainsi obtenues sont pesées avec une balance précise. Pour convertir le poids de la vase calcinée en poids de vase sèche, il faut connaître la perte par calcination de la vase. Cette perte fut établie expérimentalement, après s'être assuré au préalable que la vase sèche ne possédait pas de propriétés hygroscopiques.

Voici trois essais qui furent effectués pour déterminer le coefficient de conversion de vase calcinée en vase sèche.

*Premier échantillon de vase.*

Poids après séchage à 120°	= 4,550 grammes.
Poids après calcination	= 3,855 grammes.
Coefficient de conversion de la vase calcinée en vase sèche :	$\frac{4,550}{3,855} = 1,18.$

*Second échantillon de vase.*

Poids après séchage à 140°	= 4,000 grammes.
Poids après calcination	= 3,255 grammes.
Coefficient de conversion	$= \frac{4,000}{3,255} = 1,22.$

*Troisième échantillon de vase.*

Poids après séchage à 180°	= 4,000 grammes.
Poids après calcination	= 3,331 grammes.
Coefficient de conversion	$= \frac{4,000}{3,331} = 1,20.$

Le coefficient de conversion peut donc être fixé à 1,20.

Les propriétés de décantation de la vase changent lorsqu'on s'en est servi pendant quelque temps. Ceci est dû probablement au fait qu'une partie de la vase se divise en particules plus petites, sous l'action du brassage répété et énergique qui se fait au passage de la pompe centrifuge. Il se peut aussi que les essais successifs aient pour conséquence d'enlever, de la masse totale de vase introduite dans le modèle, les particules les plus grosses.

Quoi qu'il en soit, c'est un phénomène qui ne peut être perdu de vue et dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats expérimentaux. C'est pour cette raison que les essais avaient lieu dans l'ordre suivant :

- 1) Essai sur la situation de comparaison To (avec chenaux approfondis; cette situation est définie plus loin).
- 2) Essai sur le projet examiné.
- 3) Encore un essai sur le projet examiné.
- 4) Essai sur la situation de comparaison To (avec chenaux approfondis).

La comparaison se faisait en considérant la moyenne des essais 2 et 3, d'une part, et la moyenne des essais 1 et 4, d'autre part. Comme situation de comparaison, nous avons choisi To avec chenaux approfondis, tel qu'il est représenté à la fig. 8, et non la situation existante de la rade (en 1933), parce que, par des travaux d'amélioration ou de dragage, on désire arriver à la situation approfondie, afin de pouvoir utiliser le port au maximum.

#### § 14. — Justification de la méthode utilisée.

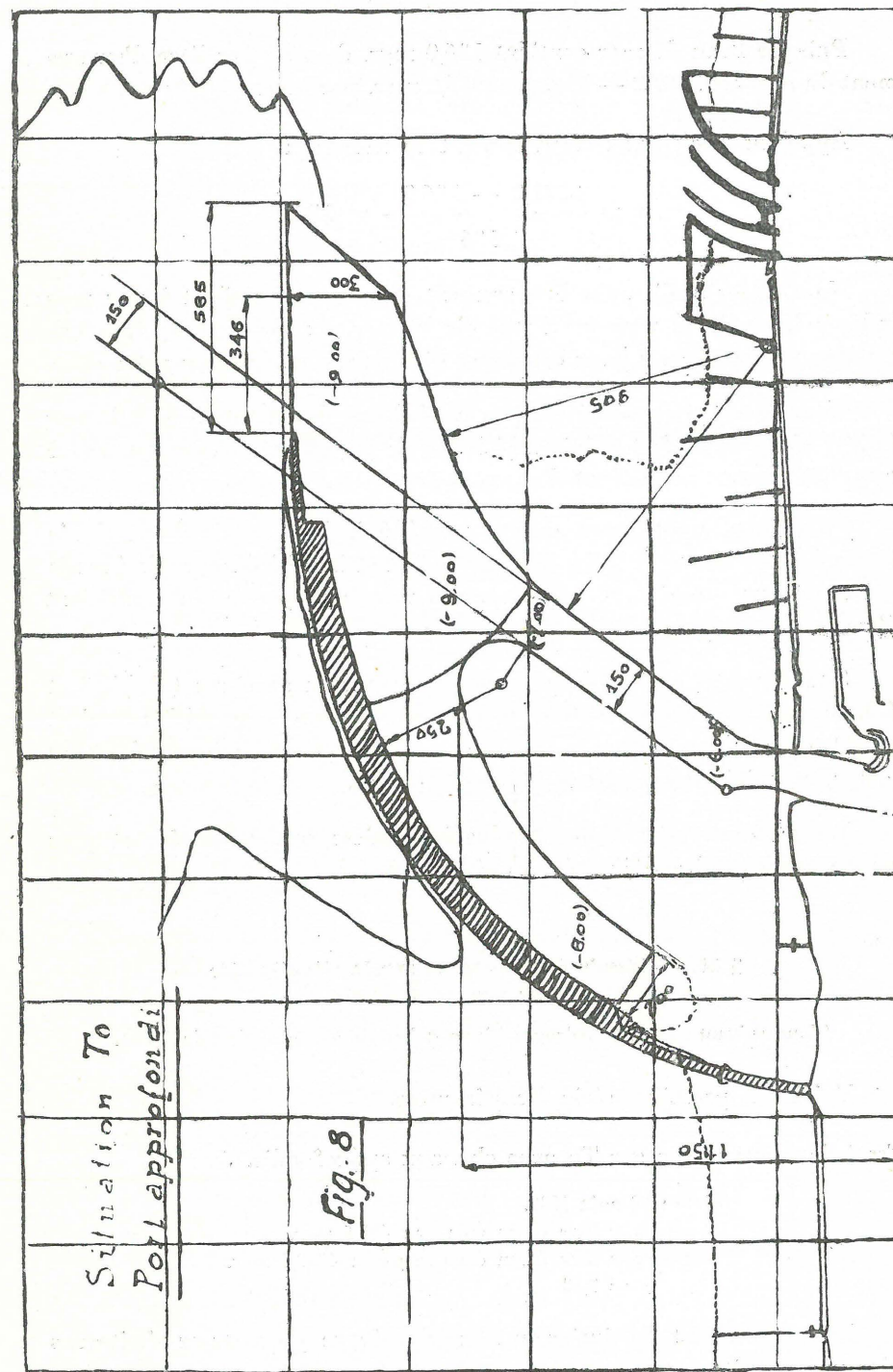
La méthode expérimentale esquissée ci-dessus est basée sur le principe que l'envasement croît linéairement avec le temps, si la profondeur ne se modifie pas trop. Ceci mérite une vérification.

A cette fin nous fîmes des expériences sur To sans chenaux approfondis, le fond de la rade étant donc profilé selon la carte hydrographique « Breedene-Kadzand » de 1933.

Un essai de 6 heures fut répété trois fois ( $2 \times 1 \frac{1}{2}$  heure de flot et  $2 \times 1 \frac{1}{2}$  heure de jusant).

Les résultats furent :

Teneur moyenne en vase calcinée par litre d'eau de mer = 136,0 mgr.  
Teneur moyenne en vase calcinée par litre d'eau de la rade = 2221,2 mgr.



Puisque l'eau de mer contient 136,0 mgr. de vase par litre, l'envasement du port est  $2221,2 - 136,0 = 2085,2$  mgr. par litre.

Appelons coefficient d'envasement le nombre :

$$\alpha = \frac{2221,2 - 136,0}{136} = 15,33$$

Nous avons ainsi, pour l'envasement, une mesure qui est à peu près indépendante de la teneur en vase de la mer.  $\alpha$  peut donc, dans une certaine mesure, servir pour comparer différentes expériences entre elles.

Nous avons effectué ensuite un essai d'une durée totale de 3 heures ( $1 \times 1 \frac{1}{2}$  heure de flot et  $1 \times 1 \frac{1}{2}$  heure de jusant) et nous avons trouvé  $\alpha = 7,37$  comme coefficient d'envasement.

Finalement nous avons encore procédé à deux essais d'une durée totale de  $1 \frac{1}{2}$  heure ( $1 \times \frac{3}{4}$  d'heure de flot et  $1 \times \frac{3}{4}$  d'heure de jusant) qui nous ont donné  $\alpha = 4,24$  comme valeur moyenne du coefficient d'envasement.

Si l'on porte, sur un diagramme, les temps en abscisses ( $1 \frac{1}{2}$ , 3 et 6 heures) et les coefficients d'envasement en ordonnées (4,24; 7,37 et 15,33), on voit que l'envasement est à peu près une fonction linéaire du temps, ce qui justifie notre méthode de travail.

Les résultats sont d'autant plus irréguliers que la durée est plus courte, ainsi qu'il a déjà été signalé au § 12.

§ 15. — Essais d'envasement sur la situation To à chenaux non approfondis.

(donc suivant la carte hydrographique « Breedene-Kadzand » de 1933).

Voici une première série d'expériences.

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 30 août 1939.  
Teneur par litre d'eau en mer : 433,6 mgr.  
Teneur par litre d'eau dans le port : 4588,6 mgr.  
 $\alpha = 9,58$

Les teneurs sont exprimées en vase calcinée, ce que nous ne répéterons plus par la suite.

*Essai sur To (sans chenaux approfondis).*

Date : 1<sup>er</sup> septembre 1939.  
Teneur par litre d'eau en mer : 472,6 mgr.  
Teneur par litre d'eau dans le port : 6898,6 mgr.  
 $\alpha = 13,59$

*Essai sur To (sans chenaux approfondis).*

Date : 5 septembre 1939.  
Teneur par litre d'eau en mer : 471,6 mgr.  
Teneur par litre d'eau dans le port : 7598,6 mgr.  
 $\alpha = 15,11$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 6 septembre 1939.  
Teneur par litre d'eau en mer : 482,6 mgr.  
Teneur par litre d'eau dans le port : 4918,6 mgr.  
 $\alpha = 9,19$

Voici comment les résultats obtenus les 1<sup>er</sup> et 5 septembre 1939, sur To sans chenaux approfondis, peuvent être ramenés à la réalité.

Par la suite nous ne répéterons plus ces calculs, mais nous donnerons directement les résultats.

Envasement total de la rade en miniature durant 6 h. 12 min. :

$$0,5 (6,8986 + 7,5986) 135,88 = 984,94 \text{ gr.}$$

135,88 étant le volume en litres du port sous la cote (+ 1 m. 07). Ce volume a été déterminé par étalonnage direct.

Envasement du port en nature durant 49 h. 40 min. (= temps correspondant à 6 h. 12 min. en modèle; voir le § 13) :

$$\frac{1}{1.000.000} \times 984,94 \times 650 \times 650 \times 64 = 26633 \text{ tonnes}$$

ou, compte tenu de la perte par calcination,

$$26633 \times 1,20 = 31959 \text{ tonnes de vase sèche.}$$

$$\text{Ceci devient en volume } \frac{31959}{0,8} = 39949 \text{ m}^3$$

si l'on admet que  $1 \text{ m}^3$  d'envasement contient 800 kg. de vase sèche.

L'envasement naturel, par mois de 30 jours, est dès lors égal à

$$39949 \times \frac{720}{49,667} = 579.257 \text{ m}^3.$$

Pendant ces essais, la teneur en vase de l'eau circulant dans le modèle était de  $0,5 (0,4726 + 0,4716) \times 1,20 = 566,52 \text{ gr./m}^3$ .

Cette eau provoque dans la rade un dépôt mensuel de  $579.257 \text{ m}^3$ . Si ce volume d'atterrissements était uniformément réparti sur la superficie complète du port (179,5 ha), l'exhaussement moyen mensuel serait de

$$\frac{579.257 \times 100}{1.795.000} = 32,27 \text{ cm.}$$

Comme, dans la nature, l'eau de mer ne contient que  $250 \text{ gr/m}^3$  environ de matières solides en suspension, le résultat établi ci-dessus doit être converti à la situation réelle. Nous le faisons de la manière suivante :

$$\text{Volume d'envasement} = 579.257 \times \frac{250}{566,52} = 255.621 \text{ m}^3 \text{ par mois.}$$

$$\text{Hauteur d'envasement} = 32,27 \times \frac{250}{566,52} = 14,23 \text{ cm. par mois.}$$

Calculons maintenant de la même manière les envasements constatés le 30 août et le 6 septembre 1939, sur le To avec chenaux approfondis. Nous trouvons :

$$\begin{aligned} \text{Volume d'envasement} &= 320.437 \text{ m}^3 \text{ par mois} \\ \text{Hauteur d'envasement} &= 17,85 \text{ cm. par mois.} \end{aligned}$$

En résumé les essais relatés ci-dessus conduisent aux résultats suivants :

*Situation To (sans chenaux approfondis).*

$$\text{I } \left\{ \begin{array}{l} \text{Envasement} = 255.621 \text{ m}^3 \\ \text{Hauteur d'envasement} = 14,23 \text{ cm.} \\ \alpha = 14,35 \end{array} \right.$$

*Situation To avec chenaux approfondis.*

$$\text{II } \left\{ \begin{array}{l} \text{Envasement} = 320.437 \text{ m}^3 \\ \text{Hauteur d'envasement} = 17,85 \text{ cm.} \\ \alpha = 9,39 \end{array} \right.$$

Afin de bien s'assurer que les essais, tels qu'ils étaient conduits, donnaient toujours des résultats identiques, il fut procédé à une deuxième série d'expériences, dont voici le résumé :

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

$$\begin{aligned} \text{Date} &= 14 \text{ septembre 1939} \\ \text{Teneur par litre d'eau en mer} &= 381,6 \text{ mgr.} \\ \text{Teneur par litre d'eau dans le port} &= 3758,6 \text{ mgr.} \\ \alpha &= 8,85 \end{aligned}$$

*Essai sur To (sans chenaux approfondis).*

$$\begin{aligned} \text{Date} &: 18 \text{ septembre 1939} \\ \text{Teneur par litre d'eau en mer} &: 383,6 \text{ mgr.} \\ \text{Teneur par litre d'eau dans le port} &: 5540,6 \text{ mgr.} \\ \alpha &= 13,14. \end{aligned}$$

*Essai sur To (sans chenaux approfondis).*

$$\begin{aligned} \text{Date} &: 19 \text{ septembre 1939} \\ \text{Teneur par litre d'eau en mer} &: 393,6 \text{ mgr.} \\ \text{Teneur par litre d'eau dans le port} &: 5556,1 \text{ mgr.} \\ \alpha &= 13,11 \end{aligned}$$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

$$\begin{aligned} \text{Date} &: 25 \text{ septembre 1939} \\ \text{Teneur par litre d'eau en mer} &: 359,6 \text{ mgr.} \\ \text{Teneur par litre d'eau dans le port} &: 3508,6 \text{ mgr.} \\ \alpha &= 8,76 \end{aligned}$$

*Situation To (sans chenaux approfondis).*

$$\text{III } \left\{ \begin{array}{l} \text{Envasement} : 237.707 \text{ m}^3 \\ \text{Hauteur d'envasement} : 13,25 \text{ cm.} \\ \alpha = 13,13 \end{array} \right.$$

*To avec chenaux approfondis.*

$$\text{IV } \left\{ \begin{array}{l} \text{Envasement} : 302.778 \text{ m}^3 \\ \text{Hauteur d'envasement} : 16,86 \text{ cm.} \\ \alpha = 8,81 \end{array} \right.$$

Dans la suite, pour la discussion des essais, nous admettrons les moyennes de I - III et II - IV; ces moyennes font l'objet du tableau A ci-dessous :

Tableau A	}	<i>Situation To (sans chenaux approfondis)</i>
		Envasement : 246.664 m <sup>3</sup>
		Hauteur d'envasement : 13,74 cm.
		$\alpha = 13,74$
}	<i>To avec chenaux approfondis</i>	
	Envasement : 311.608 m <sup>3</sup>	
	Hauteur d'envasement : 17,36 cm.	
	$\alpha = 9,10$	

Il résulte de l'exposé ci-dessus que l'échelle des temps  $\frac{t}{T} = \frac{1}{8}$  conduit, pour To sans chenaux approfondis, à un envasement mensuel de  $\pm 247.000 \text{ m}^3$ . Une étude (\*) de feu l'Ingénieur en chef-Directeur des Ponts et Chaussées E. Verschoore donne le chiffre de  $\pm 225.000 \text{ m}^3$ . Par rapport à ce volume une augmentation de  $\pm 22.000 \text{ m}^3$  est acceptable,

(\*) Présentée au XVI<sup>e</sup> Congrès International de Navigation.

puisqu'Verschoore ne tient pas compte, dans son calcul, de l'envasement qui se produit au-dessus du plan de comparaison (0 m. 00).

Le rapport des hauteurs d'envasement est  $\frac{13,74}{17,76} = 0,791$

pour To à chenaux non approfondis (numérateur) et approfondis (dénominateur).

Pour ces mêmes situations, les volumes d'eau de la rade sous la cote de marée haute moyenne ( $\sim + 4$  m. 00) sont respectivement 8.933.545 m<sup>3</sup> et 12.074.504 m<sup>3</sup>. Ces volumes sont dans le rapport

$$\frac{8.933.545}{12.074.504} = 0,740 \approx 0,791.$$

et l'on peut conclure que, dans un port extérieur sans courant, comme Zeebrugge, et pour un laps de temps déterminé, la hauteur d'envasement varie à peu près linéairement avec le volume d'eau contenu dans le port, sous la cote de marée haute moyenne ou, ce qui revient au même, avec la profondeur moyenne de la rade sous cette même cote. C'est d'ailleurs un fait généralement connu et admis que, dans un tel port, l'intensité de l'envasement croît lorsqu'on augmente la profondeur.

§ 16. — Essais d'envasement sur le projet T 14 avec chenaux approfondis.

Donnons d'abord les résultats expérimentaux. Les chenaux approfondis que l'on a réalisés pour le projet T 14 sont ceux indiqués à la fig. 8.

*Premier essai de comparaison, sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 16 juin 1939.  
Teneur en vase par litre d'eau en mer : 376,4 mgr.  
Teneur en vase par litre d'eau dans le port : 3608,6 mgr.  
Coefficient d'envasement :  $\alpha = 8,59$ .

*Essai sur T 14 avec chenaux approfondis.*

Date : 20 juin 1939.  
Teneur en vase par litre d'eau en mer : 397,6 mgr.  
Teneur en vase par litre d'eau dans le port : 2850,1 mgr.  
 $\alpha = 6,17$ .

*Essai sur T 14 avec chenaux approfondis.*

Date : 22 juin 1939.  
Quantité de vase par litre d'eau en mer : 473,6 mgr.  
Quantité de vase par litre d'eau dans le port : 2984,1 mgr.  
 $\alpha = 5,30$

*Second essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 22 juin 1939.  
Quantité de vase par litre d'eau en mer : 447,6 mgr.  
Quantité de vase par litre d'eau dans le port : 4000,4 mgr.  
 $\alpha = 7,93$

*T 14 avec chenaux approfondis.*

I { Envasement : 186.843 m<sup>3</sup>  
Hauteur d'envasement : 15,10 cm.  
 $\alpha = 5,735$

• *To avec chenaux approfondis.*

II { Envasement : 284.875 m<sup>3</sup>  
Hauteur d'envasement : 15,88 cm.  
 $\alpha = 8,260$

Ces épreuves furent répétées. Voici les résultats expérimentaux :

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 1 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 366,1 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 3066,1 mgr.  
 $\alpha = 7,35$

*Essai sur T 14 avec chenaux approfondis.*

Date : 4 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 377,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2674,6 mgr.  
 $\alpha = 6,08$

*Essai sur T 14 avec chenaux approfondis.*

Date : 6 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 358,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2539,6 mgr.  
 $\alpha = 6,08$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 8 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 347,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2891,0 mgr.  
 $\alpha = 7,32$

Cet essai donne en résumé :

*T 14 avec chenaux approfondis.*

III { Envasement : 196.907 m<sup>3</sup>  
Hauteur d'envasement : 15,92 cm.  
 $\alpha = 6,080$

*To avec chenaux approfondis.*

IV { Envasement : 257.763 m<sup>3</sup>  
Hauteur d'envasement : 14,36 cm.  
 $\alpha = 7,335$

Nous prendrons la moyenne entre les deux résultats globaux :

Tableau B	}	<i>T 14 avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 191.875 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 15,51 cm. $\alpha = 5,908$
	}	<i>To avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 271.319 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 15,12 cm. $\alpha = 7,798$

§ 17. — Essai d'envasement sur le projet Lab 4, avec chenaux approfondis.

Ci-dessous sont donnés les résultats expérimentaux.

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 13 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 361,1 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 3107,2 mgr.  
 $\alpha = 8,27$

*Essai sur Lab 4 avec chenaux approfondis.*

Date : 15 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 357,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2245,1 mgr.  
 $\alpha = 5,27$

*Essai sur Lab 4 avec chenaux approfondis.*

Date : 18 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 382,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2246,1 mgr.  
 $\alpha = 4,87$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 18 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 346,1 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2810,1 mgr.  
 $\alpha = 7,06$

Tableau C	}	<i>Lab 4 avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 168.691 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 13,61 cm. $\alpha = 5,070$
	}	<i>To avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 258.390 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 14,39 cm. $\alpha = 7,665$

§ 18. — Essai d'envasement sur le projet M 2 avec chenaux approfondis.

Voici les résultats expérimentaux.

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 18 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 346,1 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2810,1 mgr.  
 $\alpha = 7,06$

*Essais sur M 2 avec chenaux approfondis.*

Date : 20 juillet 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 353,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2319,6 mgr.  
 $\alpha = 5,56$

*Essais sur M 2 avec chenaux approfondis.*

Date : 3 août 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 372,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2816,1 mgr.  
 $\alpha = 6,55$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 3 août 1939.  
Vase par litre d'eau en mer : 363,6 mgr.  
Vase par litre d'eau dans le port : 2851,1 mgr.  
 $\alpha = 7,12$

Tableau D	}	<i>M 2 avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 218.385 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 12,16 cm. $\alpha = 6,055$
	}	<i>To avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 246.333 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 13,73 cm. $\alpha = 7,090$

§ 19. — Essais d'envasement sur la situation To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.

La claire-voie était exécutée suivant la fig. 9.

Voici les résultats expérimentaux d'une première série d'essais.

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 3 août 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 363,6 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 2851,1 mgr.  
 $\alpha = 7,12$

*Essai sur To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.*

Date : 5 août 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 350,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 1838,6 mgr.  
 $\alpha = 4,23$

*Essai sur To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.*

Date : 8 août 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 363,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 1753,6 mgr.  
 $\alpha = 3,83$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 8 août 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 366,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 2654,6 mgr.  
 $\alpha = 6,25$

*To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.*

I { Envasement : 155. 541 m<sup>3</sup>  
 Hauteur d'envasement : 8,66 cm.  
 $\alpha = 4,030$

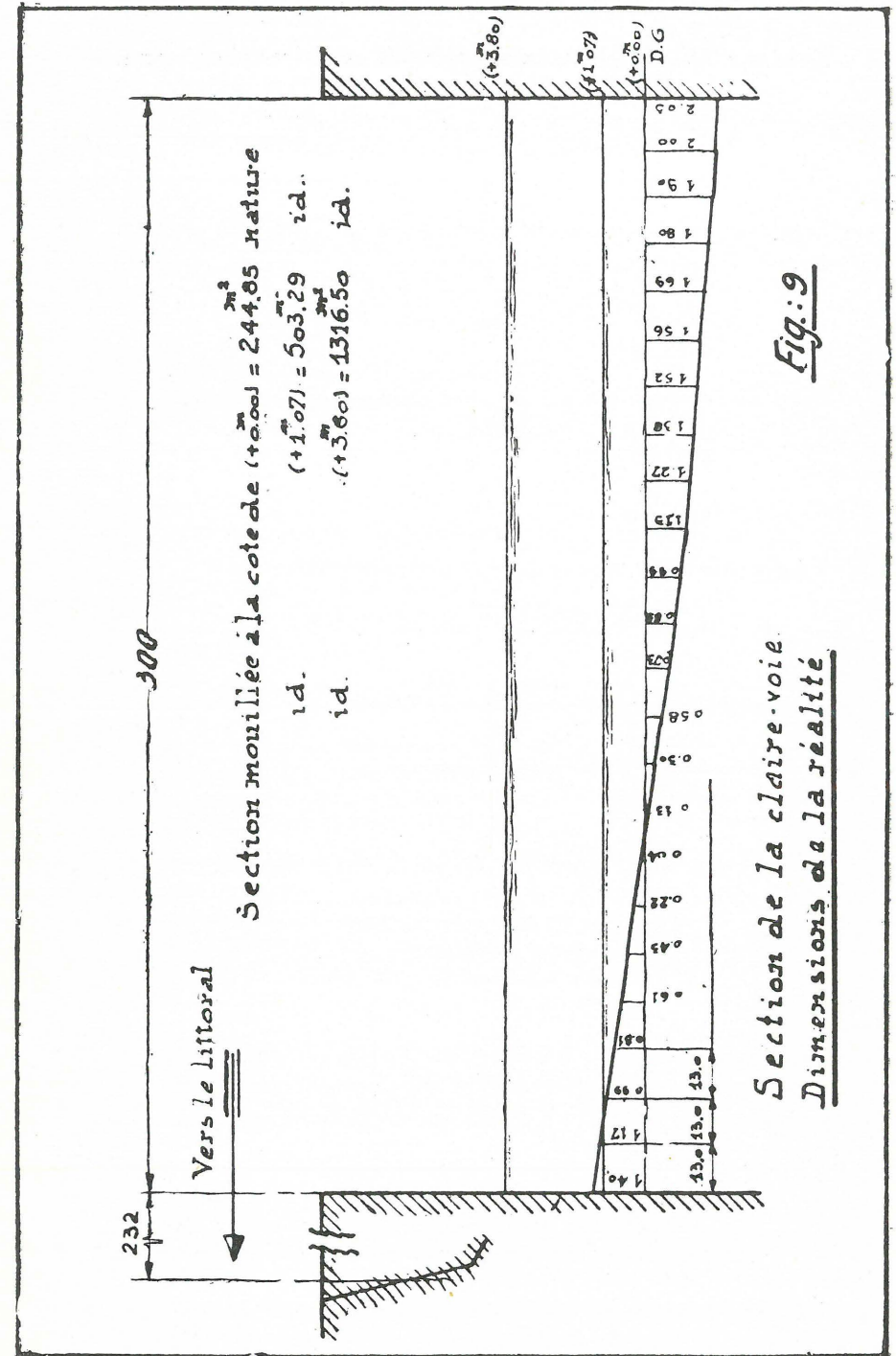
*To avec chenaux approfondis.*

II { Envasement : 232.996 m<sup>3</sup>  
 Hauteur d'envasement : 12,98 cm.  
 $\alpha = 6,685$

Une deuxième série de mesures donna comme résultats :

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 25 septembre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 359,6 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 3508,6 mgr.  
 $\alpha = 8,76$



*Essai sur To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.*

Date : 26 septembre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 376,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 2163,6 mgr.  
 $\alpha = 4,75$

*Essai sur To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.*

Date : 27 septembre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 379,6 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 2154,6 mgr.  
 $\alpha = 4,68$ .

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 28 septembre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 357,6 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 3433,6 mgr.  
 $\alpha = 8,60$

*To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.*

III { Envasement : 176.465 m<sup>3</sup>  
 Hauteur d'envasement : 9,83 cm.  
 $\alpha = 4,715$

*To avec chenaux approfondis.*

IV { Envasement : 298. 913 m<sup>3</sup>  
 Hauteur d'envasement : 16,65 cm.  
 $\alpha = 8,680$

Nous prendrons la moyenne des deux séries d'essais.

Tableau E	}	<i>To avec chenaux approfondis et claire-voie ouverte.</i>
		Envasement : 166.003 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 9,25 cm. $\alpha = 4,373$
E	}	<i>To avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 265.955 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 14,82 cm. $\alpha = 7,683$

§ 20. — Essais d'envasement dans la situation To sans chenaux approfondis et avec claire-voie ouverte.

La disposition exacte de la claire-voie est donnée à la fig 9.

Voici les résultats des essais.

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 28 septembre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 357,6 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 3433,6 mgr.  
 $\alpha = 8,60$

*Essai sur To (sans chenaux approfondis).*

Date : 30 septembre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 379,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 3021,1 mgr.  
 $\alpha = 6,97$

*Essai sur To (sans chenaux approfondis).*

Date : 2 octobre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 350,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 3050,6 mgr.  
 $\alpha = 7,71$

*Essai de comparaison sur To avec chenaux approfondis.*

Date : 3 octobre 1939.  
 Vase par litre d'eau en mer : 346,1 mgr.  
 Vase par litre d'eau dans le port : 3400,6 mgr.  
 $\alpha = 8,82$

Tableau F	}	<i>To avec claire-voie ouverte.</i>
		Envasement : 138.623 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 7,72 cm. $\alpha = 7,34$
		<i>To avec chenaux approfondis.</i>
		Envasement : 299.915 m <sup>3</sup> Hauteur d'envasement : 16,71 cm. $\alpha = 8,71$

§ 21. — Conclusions du chapitre III.

Si, par une règle de trois, nous ramenons tous les résultats à la situation pour laquelle l'envasement mensuel serait de 247.000 m<sup>3</sup> pour To sans chenaux approfondis, nous obtenons le tableau comparatif I ci-après :

Ces résultats donnent lieu aux remarques suivantes :

1°) Nous avons vu ci-dessus, dans le chapitre II réservé à l'étude des seuls courants, que l'« échange » est réduit au minimum dans le projet Lab 4. Les essais d'envasement montrent que le même projet donne le résultat le plus favorable. Ces deux résultats expérimentaux, obtenus par des méthodes différentes, sont donc en parfaite concordance.

TABLEAU I.

Situation du modèle	Envasement mensuel de la rade en m <sup>3</sup>	Envasement mensuel de la rade en cm.
To sans chenaux approfondis	247.000	13,7
To avec chenaux approfondis	312.000	17,4
T 14 avec chenaux approfondis	220.000	17,8
Lab 4 avec chenaux approfondis	203.000	16,4
M 2 avec chenaux approfondis	276.000	15,4
To sans chenaux approfondis, avec claire-voie ouverte	144.000	8,0
To avec chenaux approfondis, avec claire-voie ouverte	194.000	10,8

2°) Si, dans l'état actuel de la technique de laboratoire, on ne peut pas encore attribuer aux chiffres d'envasement du tableau I une valeur trop absolue, ils permettent cependant de classer les divers projets suivant leur degré d'efficacité.

3°) Les hauteurs d'envasement indiquées sont des valeurs moyennes, rapportées à la surface entière du port. Les hauteurs d'envasement dans les parties profondes pourront dépasser considérablement ces valeurs moyennes.

4°) Les essais d'envasement, compte tenu des différences dans la superficie du port, conduisent, pour les différents projets avec claire-voie fermée, aux mêmes conclusions que celles résultant de l'étude des seuls courants (chapitre II), étude qui a été faite avec de l'eau non chargée de matières solides.

5°) Les expériences montrent qu'avec la claire-voie fermée il n'est pas possible d'obtenir une amélioration marquée du port. La simple ouverture de la claire-voie, au contraire, amène une diminution sérieuse de l'envasement. Ce moyen d'améliorer la rade est traité plus complètement au chapitre IV.

6°) Remarquons encore que le rapport  

$$\frac{\text{envasement To, claire-voie ouverte, chenaux non approfondis}}{\text{envasement To avec chenaux non approfondis}}$$
 est  
 sensiblement égal au rapport  

$$\frac{\text{envasement To, claire-voie ouverte, chenaux approfondis.}}{\text{envasement To avec chenaux approfondis.}}$$

En effet, le premier est égal à  $\frac{8,0}{13,7} = 0,58$  et le second à  $\frac{10,8}{17,4} = 0,62$ .

On peut conclure de cette équivalence que le degré d'amélioration, réalisé par l'ouverture de la claire-voie, est à peu près indépendant de la profondeur de la rade.

(A suivre)

SAMENVATTING :

## Studie over de Belgische havens der Noordzee.

### MODELPROEVEN.

(Vervolg.) \*

#### HOOFDSTUK III.

Slibproeven op ontwerpen met gesloten claire-voie.  
 Openen dezer laatste.

§ 12) Algemene beschouwingen omtrent de slibproeven.

§ 13) Verloop der slibproeven.

Na enige voorafgaandelijke experimenten zijn we, voor elke proefneming, tot het volgende verloop gekomen :

1 ebstroming	gedurende 47 minuten.
1 vloedstroming	gedurende 46 minuten.
1 ebstroming	gedurende 47 minuten.
1 vloedstroming	gedurende 46 minuten.
1 ebstroming	gedurende 47 minuten.
1 vloedstroming	gedurende 46 minuten.
1 ebstroming	gedurende 47 minuten.
1 vloedstroming	gedurende 46 minuten.

(\*) Voor de aanvang, zie afl. 3 (Juni) 1948 van het T. O. W. van België, blz. 390.

*Duur van eb en vloed staan in het model in dezelfde verhouding als in de werkelijkheid.*

*De experimenten gebeurden steeds in de volgende orde :*

- 1°) *proef op de vergelijkingstoestand To (met uitgediepte geulen).*
- 2°) *proef op het onderzochte ontwerp.*
- 3°) *nog een proef op het onderzochte ontwerp.*
- 4°) *nog een proef op de vergelijkingstoestand To (met uitgediepte geulen).*

*De vergelijking geschiedde tussen het gemiddelde der proeven 2 en 3 aan de ene, en het gemiddelde der proeven 1 en 4 aan de andere kant.*

§ 14) *Rechtvaardiging der gebruikte methode.*

*We hebben onderzocht of, met de gevolgde werkwijze, de aanslibbing lineair aangroeit met de tijd.*

- § 15) *Slibproef op de toestand To zonder uitgediepte geulen.*
- § 16) *Slibproef op het ontwerp T 14 met uitgediepte geulen.*
- § 17) *Slibproef op het ontwerp Lab 4 met uitgediepte geulen.*
- § 18) *Slibproef op het ontwerp M 2 met uitgediepte geulen.*
- § 19) *Slibproef op toestand To met uitgediepte geulen, met open « claire-voie ».*
- § 20) *Slibproef op toestand To zonder uitgediepte geulen en met open claire-voie.*
- § 21) *Conclusies uit Hoofdstuk III.*

*Reduceren we al de bekomen uitkomsten tot een toestand waarbij de maandelijksse aanslibbing 247.000 m<sup>3</sup> zou bedragen, bij To zonder uitgediepte geulen, dat komen we tot de vergelijkende tabel I.*

*Met gesloten claire-voie blijkt het niet mogelijk een ingrijpende verbetering tot stand te brengen. Het openen der claire-voie veroorzaakt een belangrijke vermindering der aanslibbing. In een volgende reeks proefnemingen (Hoofdstuk IV) wordt dit middel ter verbetering der rede nader onderzocht.*

(Wordt voortgezet.)

## COMPTES RENDUS — VERSLAGEN

BELGIQUE. — BELGIË.

### Quelques problèmes acoustiques posés par les installations de distribution d'eau, de chauffage central et de conditionnement de l'air. (1)

A. de GRAVE  
Ingénieur principal, Chef de Service,  
des Ponts et Chaussées,

#### I. — Introduction.

L'équipement des immeubles modernes devient sans cesse plus complexe et plus important.

Aussi l'érection d'un bâtiment, même modeste, fait-elle appel de plus en plus à l'intervention de nombreux spécialistes qui, guidés par l'architecte, concourent à des titres divers au but commun.

D'un autre côté les exigences justifiées des usagers croissent sur un rythme d'autant plus rapide qu'ils sont mieux au courant des perfectionnements techniques et qu'ils ont acquis dans d'autres domaines (automobile par exemple) la notion réelle du confort et la possibilité de l'obtenir.

Enfin, chaque technique ne peut plus être considérée isolément.

Un perfectionnement réalisé dans l'une réagit sur les autres.

Tout spécialiste doit donc être au courant d'un certain nombre de disciplines qui tout en formant isolément l'apanage de spécialistes distincts, interfèrent sur sa spécialité propre.

Le technicien en chauffage central et en installations sanitaires avait déjà à s'occuper de problèmes hydrauliques, électriques et chimiques, de questions de soudure, d'usinage, de résistance des matériaux, de moteurs, de transmission à distance, etc..., en plus bien entendu des problèmes du ressort de la thermostatique ou de la thermodynamique.

(1) Causerie donnée à la tribune de la Société Royale Belge des Ingénieurs et Industriels lors de la « Journée de l'Acoustique » organisée par cette Société.