

KONINKRIJK BELGIË

NATIONAAL COMITE VOOR GEOGRAFIE

COMMISSIE VAN DE ATLAS VAN BELGIE

ATLAS VAN BELGIË

PLATEN 18^A en 18^B

**NOORDZEE
KUST / SCHELDEMONDING
ZEESCHELDE**

DOOR

R. CODDE en L. DE KEYSER



1967

**Gedrukt op de persen
van het Militair Geografisch Instituut,
Ter Kameren — Brussel.**

NOORDZEE EN ZEESCHELDE

VOORWOORD.

De dubbele plaat — 18^A, Noordzee, Kust, Scheldemonding en 18^B, Zeeschelde — evenals het bijgaand commentaar behandelen de verschijnselen van maritieme aard, die België aangaan. Ze beschrijven de waterbewegingen die het gevolg zijn van het getij, lichten ons in over de hoedanigheid van het zeewater, vooral wat zoutgehalte, temperatuur en densiteit betreft.

Ze geven een beeld van het reliëf en van de aard van de zeebodem en in het bijzonder van de diepten; ze tonen verder aan onder welke voorwaarden de scheepvaart in de Noordzee, in het bijzonder bij het aanlopen der Belgische havens, geschiedt en trachten een inzicht te geven in de omstandigheden, die determinerend zijn in de Zeeschelde en op de toegangswegen naar de grote sluisen.

Daarenboven worden de ontworpen of in uitvoering zijnde havenuitbreidingen te Oostende, Zeebrugge en Antwerpen behandeld, evenals de vraagstukken die worden gesteld bij de verbetering van de nautische waarde van de toegangswegen naar deze havens.

Het commentaar eindigt met een beknopte uiteenzetting over de hydrologie van het maritieme Scheldebekken.

I. — OPMAKEN DER KAARTEN.

1. Geografisch kanvas.

De platen 18^A en 18^B zijn gebaseerd op reducties van hydrografische kaarten, in Mercatorprojectie. Hierbij gebeurt de projectie op een cylinder die de bol op een bepaalde breedtegraad snijdt. Deze parallel wil men zonder vervorming in de projectie bewaren (referentieparallel).

De breedtegraden die als referentie werden aangenomen zijn :

Voor de plaat 18^A deze van Zeebrugge (51°21'N);

Voor de plaat 18^B deze van Antwerpen (51°13'N).

De schaal is 1 : 125.000.

De bol die bij de projectie wordt aangenomen heeft als straal de grote normaal van de referentieparallel en raakt de geodetische ellipsoïde (*Hayford*) langs deze parallel.

2. Historisch overzicht.

Bij wijze van korte geschiedkundige speurtocht in het domein van de zeekaarten zullen we er ons toe beperken vast te stellen dat men tussen de oude documenten, betreffende de Belgische kust en de Schelde, zal moeten wachten tot het begin van de XIX^e eeuw, om de eerste hydrografische kaarten te zien verschijnen.

Ondanks de opeenvolgende verbeteringen in de opnametechniek (*Snellius*) en de voorstelling (*Mercator*) zal men tot dan moeten wachten om te kunnen voortgaan op de resultaten van volledige bathymetrische opnamen, steunend op rationele werkmethoden.

Snellius, Nederlands aardrijkskundige, die de berekende triangulatie in het begin der XVII^e eeuw uitwerkte.

Mercator, Belgisch aardrijkskundige, die de beroemde naar hem genoemde projectie, rond het midden der XVI^e eeuw uitdacht.

Deze nemen een aanvang met de kaart die in 1817, te Parijs, door het Marindepot werd gepubliceerd. Ze draagt als titel « Carte réduite des Pays-Bas, d'Ostende jusqu'à Hellevoetsluis », par *Beautemps-Beaupré*, Hydrographe de la Marine, membre de l'Institut de France.

Deze kaart, uitgevoerd in Mercatorprojectie, op schaal 1/86.400, was het resultaat van opnamen die vanaf 1799 tot 1811 werden uitgevoerd.

We vestigen er de aandacht op dat in het « Avertissement » dat als vignet op de kaart is afgedrukt, de auteur de Hollandse Generaal *Krayenhoff* vermeld, aan wie hij gegevens over de geografische ligging van bepaalde « landmerken » ontleende.

Wat de eerste Scheldekaart betreft, deze werd eveneens te Parijs en waarschijnlijk rond dezelfde tijd uitgegeven, onder de titel « Reconnaissance des cours du Hont ou Wester Schelde depuis Antwerpen (Anvers) jusqu'à l'embouchure ». Ze werd eveneens opgenomen door *Beautemps-Beaupré* in 1799 en 1800 en uitgevoerd op 1/41.500, onder de vorm van plan, zonder geografisch kanvas. De peilingen, uitgedrukt in Franse voet, worden herleid tot het laagste laagwater dat in de periode rond de nachteveningen wordt waargenomen. Bij het begin der XIX^e eeuw, worden de hydrografische opnamemethoden, die hun voordeel halen uit de stelselmatige evolutie van de basiswetenschappen, in belangrijke mate verbeterd en laten ze niet na een rijke documentatie te vormen, die echter omwille van de historische verwickelingen, aan Belgische zijde eerder fragmentarisch en noodzakelijkerwijze van plaatselijk belang blijft.

Zo komt het dat slechts na de uitvoering van de eerste Triangulatie van het Koninkrijk en van de eerste Algemene Waterpassing, gekend onder de naam van Waterpassing van Openbare Werken, waarvan de oorsprong de nul « Z » is, 't is te zeggen te beginnen vanaf 1866, de basis voor hydrografische, degelijk opgevatte opnamen, kan gelegd worden.

Zo wordt het mogelijk de onontbeerlijke kartografische coordinatie tussen de belangrijke Nederlandse opnamen en de onzen te verwezenlijken en uiteindelijk algemene kaarten op te stellen van de Schelde en van de kust. Deze kaarten staan dan volledig in verband met het Belgisch geografisch triangulatiernet.

Ze worden opgemaakt volgens de Mercatorprojectie, meestal op schaal 1/100.000 voor de kust, en op 1/50.000 voor de Schelde, van Vlissingen tot Antwerpen.

Hun geografische punten zijn aangepast aan het geodesisch Triangulatiernet van het Koninkrijk. Vanaf 1959 worden, voor de opnamen langs de kust en vanaf 1961 voor deze van de Schelde, de geografische punten in verband gebracht met het Europees Geodesisch systeem dat onder het stelsel van de Europese Coördinaten werd geunifieerd.

II. — HET GETIJ.

1. Historisch overzicht.

Zonder twijfel heeft de mens heel vroeg de getijverschijnselen opgemerkt en men moet een hele tijd teruggaan in de geschiedenis, als men er de eerste bewijzen van zoekt. Het zou *Pythéas* (IV^e eeuw V.C.) zijn geweest, die het bestaan van getijden in de Atlantische Oceaan, het Kanaal en de Noordzee kenbaar maakte.

Posidonius (I^e eeuw V.C.), stelde het halfdaags karakter van de nochtans zwakke tijgolf in het oostelijk bekken van de Middellandse Zee vast.

Plinius de Oude (I^e eeuw), heeft ons een prachtige beschrijving van het getij nagelaten. Deze is niet alleen merkwaardig vanwege de nauwkeurigheid van de waargenomen feiten, maar munt bijzonder uit door haar scherpzinnige ideeën over de oorzaak van het verschijnsel. *Plinius* schrijft het toe aan de inwerking van zon en maan.

Newton (*Sir Isaac*, 1642-1727), kon door het ontdekken van de wet op de zwaartekracht een rationele verklaring geven van de oorzaken van het getij. Hij stelde zijn « Statische theorie van het getij » op, die alhoewel als niet afdoende erkend, toch de baan opende voor het wetenschappelijk onderzoek in deze materie.

Laplace (*Marquis de*, 1749-1827) bouwt, steunend op de statische theorie een « Dynamische theorie der getijden » op. Deze wordt door *Poincaré* (*Henri*, 1854-1912) verbeterd.

Harris, hierbij geïnspireerd door de inzichten van *Laplace*, dacht een zeer vruchtbare theorie uit, gebaseerd op de resonantieverschijnselen. Hij verdeelde de grote ruimte van de oceanen in « resonantiesystemen » en publiceerde deze opvattingen in 1904. Tussen deze systemen was er ook een voor de Noordzee. *Harris* wees op het bestaan van twee amfidromische punten, de punten A en C van figuur 1, en bepaalde hun plaats op een merkwaardig nauwkeurige manier.

Sterneck, vervulde in 1920 het stelsel van de Noordzee, door er het amfidromisch punt B aan toe te voegen.

In 1924 werd het verbeterd en definitief vastgelegd door *Proudman* en *Doodson*.

Maar het is aan *Kelvin* (*Lord W.*, 1824-1907) en aan *Darwin* (*Sir G.*, 1845-1912) dat we de uitwerking van de moderne analysemethoden danken zowel voor onderzoek als toepassing, die onder meer geleid hebben, tot de praktische oplossing van een rationele getijvoorspelling.

2. Theorie.

Voor een beter begrip van wat hierna volgt, is het zeker nuttig een beknopt overzicht te geven van de fundamentele principes over het getij :

De periodische schommelingen van de zeespiegel moeten toegeschreven worden aan de samengestelde aantrekkingskracht van maan en zon, die varieert volgens de relatieve stand van deze hemellichamen ten opzichte van de aarde. Hun amplitude hangt essentieel af van de parallax en de declinatie maan-zon.

De aantrekkingskracht, recht evenredig met de massa van het hemellichaam, varieert omgekeerd met de derde macht van de afstand. Ze bereikt een maximum bij het perigeum waarvan de periode 27 d 13 h is voor de maan, 365 d 06 h voor de zon (Anomalistische omlooptijd).

De maansinvloed is gemiddeld 2,2 maal sterker dan deze van de zon.

De getijden van de Noordzee vertonen een halfdaags type. Hun gemiddelde periode bedraagt 12 h 25 m, duur van het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende hoogwaters. Zodoende vertonen ze gewoonlijk twee hoog- en twee laagwaters per dag.

De inwerking van maan en zon bereikt haar maximum bij de syzygien (volle maan en nieuwe maan). Deze brengen de springtijden teweeg. Bij nachtevening worden de springtijden bijzonder opgewekt, indien de maan tegelijkertijd in het perigeum en de ecliptica staat. Deze inwerking bereikt haar minimum bij de kwadraturen (eerste en laatste kwartier). Deze veroorzaken de doortijden (kranktijden).

Op onze kusten komen de springtijden en kranktijden voor, ongeveer 2,5 dagen na syzygien en kwadraturen (leeftijd).

De inwerking van maan en zon doet zich ook op de aardkorst gevoelen. Deze wordt hierdoor doorlopend vervormd, en er ontstaat een vast halfdaags getij met eerder zwakke amplitude (gemiddelde waarde ongeveer 0,30 m).

Het waargenomen getij wordt uiteindelijk teruggebracht tot het verschil tussen de verticale beweging van het zeegetij en deze van het aardkorstgetij.

Men weet daarenboven dat de maan en de zon in haar schijnbare beweging gedurende hun orbitale loop talrijke variaties vertonen die in de eerste plaats moeten worden toegeschreven aan de variaties in de declinatie, de parallax (afstand) enz. Elk van deze variaties kan zich doen gevoelen door de inwerking van een kracht die op haar beurt een elementaire golf kan voortbrengen (gedeeltelijk getij) waarvan de periode kan berekend worden.

Wat hier wordt gezegd stemt overeen met de theorie van *Laplace*, die zegt :

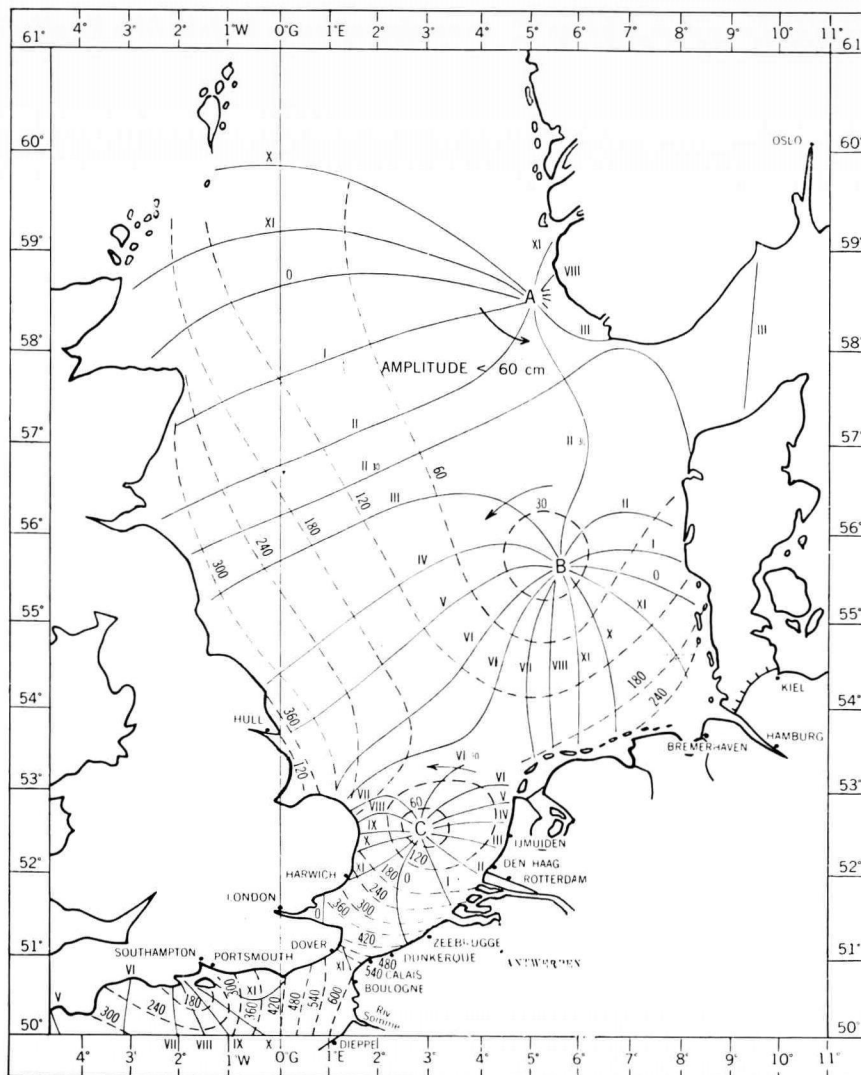
« Onder invloed van een periodische sinusoidale kracht, ondergaat het zeeniveau een beweging met een zelfde periode » en dat :

« De beweging die resulteert uit meerdere samengestelde krachten gelijk is aan de algebraïsche som van de bewegingen die elk dezer krachten zou voortbrengen. »

Gezien de sterrekunde leert al de elementen van deze invloeden na te gaan, kunnen wij, steunend op de principes van *Laplace*, een kurve van het waargenomen getij uitdenken, die overeen zal komen met het resultaat van de algebraïsche som van een bepaald aantal samenstellende kurven, voortkomende van even zoveel elementaire getijden die gelijktijdig inwerken.

DE GETIJEN IN DE NOORDZEE.

Trinodaal amfidromisch systeem (A, B, C) van de voornaamste maangolf : M₂.



----- Gelijktijdig hoogwater, in maantijd.
 ————— Gelijke amplitude, in centimeter.

Fig. 1.

In deze zienswijze verloopt alles alsof men in de plaats van de werkelijke hemellichamen maan en zon, fictieve hemellichamen had geplaatst, die door hun gelijktijdige inwerking een getij kunnen voortbrengen, dat identiek is aan het waargenomen getij.

Deze theoretische inzichten van *Laplace* liggen aan de basis van de opvattingen over « harmonische analyse van het getij ». In het hoofdstuk gewijd aan de getijvoorspelling vinden we hiervan een belangrijke toepassing.

3. De getijen in de Noordzee.

De Noordzee is te klein van afmetingen om aan de aantrekkende kracht van maan en zon, toe te laten er een eigen getij te veroorzaken.

Deze die er worden waargenomen zijn het gevolg van de inwerking van afgeleide golven die hun oorsprong in de Atlantische Oceaan vinden.

De moderne opvattingen over de voortplanting van het getij in de Noordzee, stellen dat deze grote uitgestrektheid dient beschouwd als een resonantiebekken met trinodaal kenmerk (*fig. 1*). In dit bekken worden de getijden voortgebracht en onderhouden door pulsaties, die in de eerste plaats worden overgebracht door de afgeleide getijgolf, die langs het Noorden van Schotland, uit de Oceaan, binnendringt.

De afgeleide getijgolf die uit het Kanaal binnendringt wordt algemeen als minder krachtig beschouwd. Ze vertoont echter de bijzondere eigenschappen, omzeggens in fase te staan met de tijgolf, die in het bekken C heerst (*fig. 1*) en er door interferentie met deze laatste een gevoelige vergroting van de amplituden voort te brengen. Dit verschijnsel doet zich, zoals doorgaans wordt aangenomen, niet alleen voor in de zone van het Nauw van Calais zelf, maar ook langs onze kusten, en tot in de Zeelandse delta.

De oorspronkelijke getijgolf die vanuit het Noorden komt, deelt haar halfdaags karakter mede aan de getijen die ze in de drie nodale zones voortbrengt. In elk van deze zones neemt men, als gevolg van de draaiende beweging van de aarde, een weinig uitgestrekt gebied waar, dat « amfidromisch punt » wordt genoemd. Het vormt in zekere zin een middenpunt, waarrond de getijgolf een draaiingsrichting, tegen de zon in, vertoont in een tijdspanne van gemiddeld 12 h 25 m.

Het gaat hier om de drie punten A, B, C, van figuur 1. In de amfidromische punten is het getijverschil praktisch nul, terwijl de getijstromen er evenwel zeer goed waarneembaar blijven.

Fig. 1, toont ons het gedeeltelijke getij, voortgebracht door de golf M_2 alleen dat een weinig afwijkt van het werkelijke of totale getij. In de amfidromische punten A.B.C. is het getijverschil van de voornaamste halfdaagse golf M_2 , nul en dit van de andere halfdaagse golven is er zeer zwak. Dit is echter niet het geval met de nevengetijen (M_4 , M_6 , M_8) die er een getijverschil kunnen onderhouden, dat weliswaar weinig afgetekend is, behalve in het punt C, waar de invloed van de kwartdaags getijgolf M_4 beter waarneembaar wordt (cf. II, 6).

4. Bijzondere eigenschappen van het getij, zoals op de Belgische en Nederlandse kust wordt waargenomen.

a) Amfidromisch stelsel.

Het getij dat zich langs de Belgische en Nederlandse kust voortplant, tot het eiland Texel toe (noordelijk van Den Helder) wordt beheerst door de zuidelijke resonantiezone van de Noordzee (*Flemish Bight*) waarvan het amfidromisch punt C, gelegen is op 52°32' Noorderbreedte en 2°55' Oosterlengte van Greenwich (ongeveer halweg tussen de Engelse en Nederlandse kust, ter hoogte van de parallel van IJmuiden).

De draaiende beweging van de tijgolf komt duidelijk tot uiting bij het nagaan van de schikking van de lijnen van gelijktijdig hoogwater, die vanuit het amfidromisch punt vertrekken.

b) **Lijnen van gelijktijdig hoogwater** (Cotidal lines).

Op de cotidale kaart van figuur 1, worden deze lijnen van I tot XII gegradeerd; dit volgens gemiddelde maantijd en geven ze een beeld van de beweging van de gedeeltelijke tijgolf M_2 , waarvan het effect ten andere overwegend is (de golf M_2 wordt voortgebracht door een fictieve maan met een periode van 12 h 25 m).

Zij kunnen dan ook volstaan om op gelijk welk ogenblik uit te maken wanneer op een bepaalde plaats het hoogwater plaats heeft.

De lijnen van gelijktijdig hoogwater zijn de meetkundige plaatsen van de punten waar het hoogwater zich op hetzelfde ogenblik voordoet. De romeinse cijfers geven de gemiddelde maantijd aan die is verlopen sedert de maansculminatie te Greenwich. Een maanuur komt overeen met 1 h 02 m 05 s gemiddelde tijd. De lijn van gelijktijdig hoogwater, evenals het amfidromisch punt, zijn begrippen die door *Whewell* (1784-1866) eerste theoreticus inzake voortplanting van de getijgolven werden ingevoerd. Het proefondervindelijk bewijs van het bestaan van het punt C, wordt reeds vanaf 1910 geleverd, bij directe en doorlopende waarnemingen die op deze plaats bij middel van een ondergedompelde maregraaf werden uitgevoerd. Dit verfijnde instrument, met dit doel uitgevonden door de Franse hydrograaf *Favé*, bevond zich op 30 m diepte.

c) **Voortplanting. — Havengetal.**

De voortplantingssnelheid van de kam van een getijgolf (hoogwater) of van haar dal (laagwater) langs de kust, wordt het duidelijkst weergegeven door de « gemiddelde havengetallen » van de voornaamste punten van de kust.

Haven	Gemiddeld havengetal	
	hoogwater	laagwater
	h m	h m
Duinkerken	12 10	6 50
Nieuwpoort	0 00	7 00
Oostende	0 10	7 00
Zeebrugge	0 30	7 00
Vlissingen (1)	1 00	7 30
Hoek van Holland (2)	1 50	9 50

(1) Scheldemonding.
(2) Monding Nieuwe Waterweg, toegang tot de haven van Rotterdam.

Het gemiddeld havengetal is het gemiddelde interval, in universele tijd uitgedrukt, tussen het ogenblik van de maansculminatie te Greenwich, en het ogenblik van hoog- of laagwater. Laten we er op letten dat : 0 h 00 m \leq gemiddeld havengetal \leq 12 h 25 m.

Wanneer men er rekening mee houdt dat Duinkerken zich op 161 km van Hoek van Holland bevindt, kan men de orde van grootte van de voortplantingssnelheid van de top van de getijgolf (hoogwater), op dit traject, op 77 km-h ramen. Het laagtepunt (laagwater) volgt er met 53 km-h.

Er dient hierbij nochtans aangestipt dat op het traject Duinkerken-Vlissingen, en dit niet-tegenstaande de aanwezigheid van de « Vlaamse banken », het laagwater zich merklijk sneller voortplant dan het hoogwater.

Deze vaststelling kan op het eerste zicht verrassend lijken als men weet dat de golfsnelheid varieert volgens de vierkantswortel van de diepte. Maar als men de ingewikkeldheid nagaat van de bankensystemen die op dit traject voorkomen, voelt men gemakkelijk aan dat de getijgolf hier opvallende vervormingen moet ondergaan vooral bij laagwater. Men schrijft deze verstoring van de normale gang toe aan de invloed van gedeeltelijke tijgolven, nevengetijden genoemd, die veelvuldig voorkomen bij kleine diepten.

In de Engelse terminologie worden deze aangeduid door « Shallow water tides » en in het Nederlands is de gebruikelijke term « Ondiepwatergetijden ».

d) **Intensiteit van het getij (amplitude). — Variatie in de amplitude (tijverschil).**

De intensiteit van de getijden wordt in de eerste plaats bepaald door hun amplitude, het hoogteverschil tussen het hoogwater en het laagwater dat er op volgt. Ze varieert in functie van

de inwerking van maan en zon, die tijdens het verloop van een maanmaand (synodische omwenteling) het sterkst is bij de syzygie (springtij) en het minst sterk bij de kwadratuur (doodtij) (cf. platen 18^A en 18^B).

Deze amplitude, omzeggens onbestaande bij de amfidromische punten, vergroot naarmate men zich van die punten verwijderd. Zodoende vermindert ze langs onze kust van West naar Oost, tot bij Den Helder, waar ze door een minimum gaat, om vervolgens weer toe te nemen, naarmate men in de zone B (fig. 2) doordringt.

Hieruit volgt dat de hoogwaterstanden in die richting verminderen, terwijl de laagwaterstanden stijgen.

Enkele getallenwaarden, die hieronder volgen, laten toe zich een denkbeeld te vormen van de orde van grootte van deze variaties in de amplituden.

AMPLITUDEN

<i>Havens</i>	<i>gemiddelden van</i>		<i>van gemiddeld getij</i>
	<i>springtij</i>	<i>doodtij</i>	
	m	m	m
Duinkerken	5,55	3,20	4,45
Nieuwpoort	4,84	3,03	4,04
Oostende	4,68	2,93	3,90
Zeebrugge	4,43	2,78	3,68
Vlissingen	4,43	2,97	3,79
Hoek van Holland	1,75	1,37	1,56
Den Helder	1,52	1,05	1,34

 e) **Afwijking in de periode van het getij.**

De tabellen die de plaatselijke tijcurven vergezellen (cf. platen 18^A en 18^B), tonen aan dat de perioden gemiddeld van 12 h 16 m bij springtij tot 12 h 40 m bij doodtij verschillen.

Deze afwijkingen staan in onderling verband met de perioden die het gevolg zijn van de inwerking van de maan, tijdens haar synodische omlooptijd (29 d 12 h 22 m).

Inderdaad verschilt het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende maanculminaties (bovenste en onderste) van 12 h 16 m bij syzygie tot 12 h 33 m bij kwadratuur. De halfdaagse inwerking van de zon speelt eveneens een rol, maar de uitwerking hiervan is minder belangrijk.

 f) **Dagelijkse ongelijkheid in de hoogte der getijen.**

De dagelijkse ongelijkheid, bestaande in het hoogteverschil dat tussen twee opeenvolgende hoogtijden of laagtijden wordt waargenomen, wordt veroorzaakt door de periodieke inwerking van de declinatie van zon en maan, die bij de halfdaagse variatie, nog een zwakke enkeldaagse variatie komen voegen.

Invloed van de elementaire enkel-daagse golven O_1 en K_1 (cf. II, 6).

Op onze kusten, zijn deze ongelijkheden zwakker voor het hoogwater dan voor het laagwater; 0,15 m bij hoogwater, 0,25 m bij laagwater, waarden die overeenkomen met de gemiddelde ongelijkheden bij de nachteveningen. Bij de zomerlaagwaters, waarbij de maximale positieve maandeclinaties voorkomen kunnen ze in beide voornoemde gevallen hoger liggen dan 0,50 m. Deze waarden gelden eveneens voor de Schelde vanaf de monding tot de Rupel.

Vanaf dit laatste punt verminderen de ongelijkheden samen met de amplitude.

GEMIDDELD KUSTTIJVERSCHIL VANAF HET KANAAL TOT HET EILAND TEXEL,
MET VERBINDING AAN DE ZEESCHELDE.

Gemiddeld verschil van springtij : ① en ①'
doodtij : ② en ②'

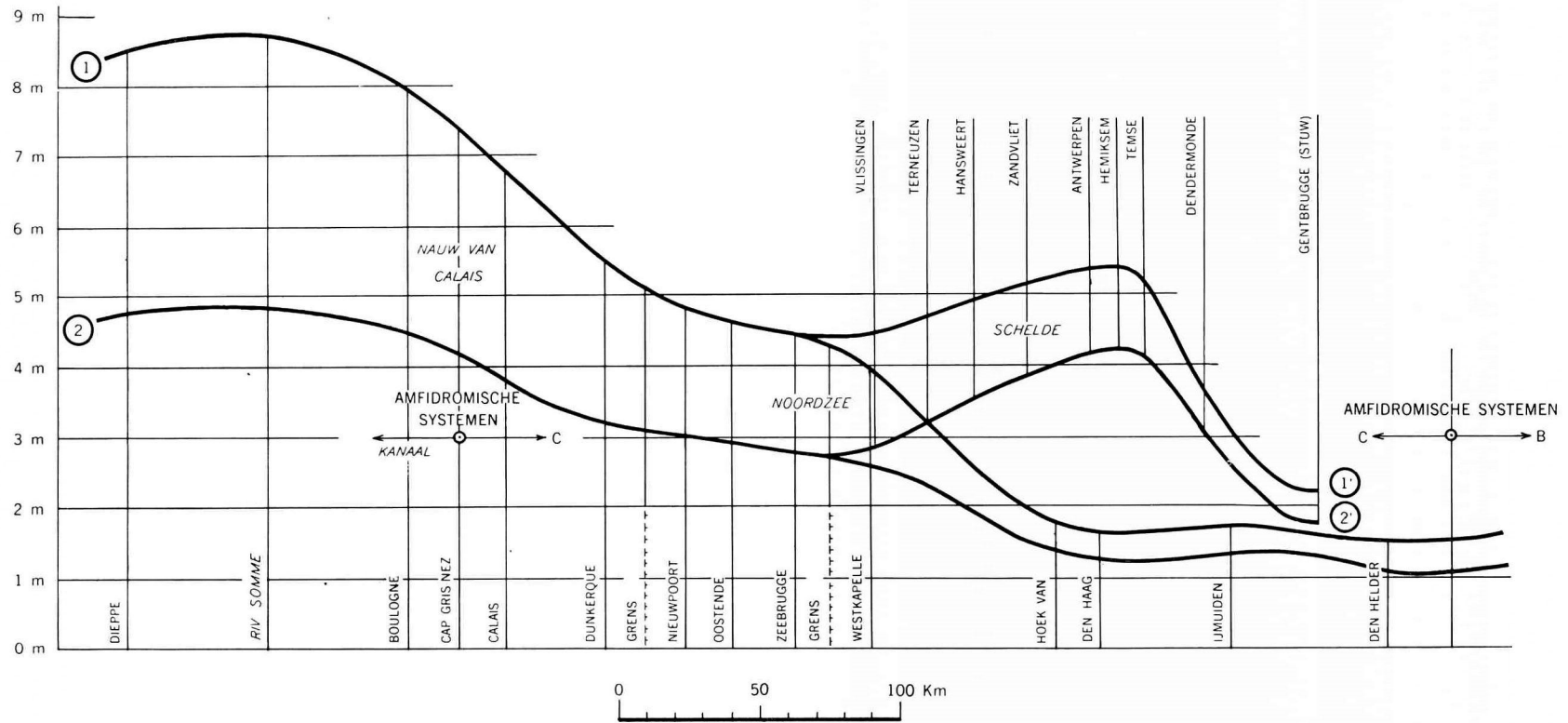


Fig. 2.

g) Ongelijkheid van de duur van « stijging » en « daling ».

In de Noordzee, een weinig diepe zee, vertoont de kurve van het lokale getij een dissymetrie ten overstaan van het ogenblik van hoogwater, in die zin dat de duur van stijging of wassend getij (vloed) korter is dan deze van het dalend getij (eb).

Langs onze kusten wordt dit verschijnsel geïllustreerd door de lokale tij-kurven van de platen 18^A en 18^B.

Langs de Belgische kust, is deze ongelijkheid blijkbaar toe te schrijven aan de invloed van de kwartaagse golf M_1 , veeleer dan aan een remeffect bij het laagwater, dat in feite, niet bestaat (cf. II, 4, c).

h) Leeftijd van het getij.

Door leeftijd van het getij wordt de vertraging aangeduid, die men vaststelt tussen het ogenblik van volle of nieuwe maan (syzygie) de kwartierstanden (kwadratuur) en het optreden van het zwaarste getij (springtij) of van het zwakste getij (doodtij). Deze leeftijd geeft een plaatselijke waarde aan. De leeftijd van het getij bereikt voor de haven van Oostende 52 h 30 m.

Deze vertraging, toe te schrijven aan de voornaamste ongelijkheid in het halfdagse getij, komt voort uit de faseverschuiving van de elementaire golf M_2 (gemiddelde maansinwerking met een periode van 12 h 25 m) en van S_2 (gemiddelde zonsinwerking met een periode van 12 h 00 m). Voor het halfdagse getij, berekent men de leeftijd van $(M_2 + S_2)$, samengestelde en overheersende golf, door toepassing van

de formule
$$t = \frac{\alpha_{S_2} - \alpha_{M_2}}{\omega_{S_2} - \omega_{M_2}} \quad (\text{cf. II, 6}).$$

Men stelt vast dat de werkelijke leeftijd gewoonlijk iets groter is, wat normaal te noemen is. Zo komt het dat men voor de kust (en voor de haven van Antwerpen) bepaalt dat het hoogwater van springtij het eerste is dat volgt op de vijfde maansdoorgang (hoogste en laagste) door de meridiaan van Greenwich, gerekend vanaf de syzygie en als laagwater van springtij, datgene dat er op volgt. Men past dezelfde regel toe voor het doottij, maar dan te rekenen vanaf de kwadratuur.

5. Het getij in de Schelde.

a) Bondige uiteenzetting over de bijzonderste kenmerken van haar fluvio-maritieme verscheidenheid.

De Schelde ontspringt op ongeveer 100 m hoogte in het Franse Aisne-departement, voert het water af van haar stroombekken om, na een afstand van bijna 430 km doorlopen te hebben, uit te monden in een vrij en goedgelegen estuarium, dat betrekkelijk diep is. Haar stroomgebied bestaat uit lage vlakten, in hoofdzaak bedekt met kwartaair zand en leem.

Vanaf Gent (Gentbrugge) komt zij geleidelijk onder de invloed van het getij, waarvan ze de schommelingen ondergaat om weinig verder onderworpen te worden aan de alternerende bewegingen van de getijstromingen. Door de mengeling van het opperwater met het vloeddebiet, wordt de rivier brak vanaf Sint-Amands, om reeds een gevoelig zoutgehalte te bereiken te Antwerpen. Vanaf Hansweert ligt het zoutgehalte reeds vrij dicht bij dat van de zee.

De totale oppervlakte van haar hellend bekken bedraagt rond de 19 500 km². Het fluviaal gedeelte, dat niet onderworpen is aan het getij, en stroomopwaarts van Gent is gelegen, wordt Boven-Schelde genoemd.

In Gentbrugge is immers een stuw opgetrokken waardoor de waterstand in het eerste opwaartse riviervak wordt geregeld. Dit kunstwerk houdt de voortplanting van het getij tegen. De werking van het getij voor de stuw is echter nog zeer intens (gemiddelde amplitude : 2,00 m).

De Boven-Schelde vangt slechts één belangrijke bijrivier op, de Leie. De samenvloeiing te Gent bevindt zich langs de Linkeroever.

De Boven-Schelde heeft een vrij beperkt bekken, ongeveer 8 425 km² groot, en is niet zeer waterrijk. Haar gemiddeld natuurlijk debiet bedraagt ongeveer 70 m³-sec. Ondanks dit vrij kleine debiet wordt nog heel wat water afgetapt om verschillende kanalen te voeden en dit geldt in het bijzonder voor het afleidingskanaal van de Leie en het kanaal Gent-Terneuzen.

Deze aderslatingen hebben een gevoelige daling van het debiet tot gevolg. Men schrijft hun dan ook voor een groot deel de aanslibbingen toe, die afwaarts, in het maritiem gedeelte, vooral tussen Gent en Dendermonde voorkomen.

Van Gent tot de monding over ongeveer 160 km, is de Schelde practisch volledig afhankelijk van het getij. De geweldige toevoer van water door het getij doet de bijdrage van het gehele bovendebiet (Dender + Rupel + zijdelings debiet) vervallen tot een doorgaans bescheiden bijdrage. De kuberingstabel van plaat 18^B toont dit duidelijk aan.

De vergelijking van de bijdragen waarover hier wordt gesproken, komt het duidelijkst naar voor in de vergelijking :

	Volume van het fluviaal debiet per getij	Volume van het vloedgetij	
waarvan we de wijziging in de verhouding voor 6 bijzondere punten langs de rivier aangeven :			
Vlissingen	0,005		} al deze plaatsen zijn juist afwaarts van de samenvloeiing gelegen.
Samenvloeiing met Rupel	0,085		
Samenvloeiing met Durme	0,096		
Samenvloeiing met Dender	0,360		
Halfweg tussen Wetteren en Melle	1,000		
Stuw te Gentbrugge	∞		

Mogen wij er op wijzen dat het hier gaat om het gemiddelde getij van 1950, een zeer nat jaar. De afvoercoëfficiënt was echter gering (cf. Hydrologie IX, 2, b).

Het is zeker waar dat de getijverschijnselen in de Schelde de karakteristieke eigenschappen vertonen van het getij waaruit ze ontstaan zijn. Maar in hun voortplanting worden ze door belangrijke variaties in de afmetingen en de vorm van de bedding : diepte, breedte, bochtigheid sterk gehinderd. Hun werking ondervindt grote weerstand waardoor de energie van de tijgolf door vervorming wordt verzwakt. Over deze typische verschijnselen zullen we hierna handelen.

b) Voortplanting der getijgolf.

Om de afgeleide getijgolf in de Schelde te kunnen volgen vanaf het ogenblik dat ze de monding binnendringt, werd een zeer dicht net van maregrafische posten opgericht. De hier opgetekende plaatselijke tijkurven — die bestendig worden geregistreerd — verstrekken ons de gegevens die ons van nabij de kern van de verschijnselen aantonen.

Thans zijn er tot Gent 20 posten opgesteld (cf. plaat 18^B). Het totaal aantal maregrafen in het maritieme Scheldebekken, bedraagt 35, hiervan zijn er 4 Nederlandse. In dit verband verwijzen we naar de jaarlijkse en tienjaarlijkse statistische overzichten over de getijwaarnemingen die in het Scheldebekken worden gedaan en die sedert 1891 regelmatig zijn verschenen in de Annalen van Openbare Werken van België. In het bijzonder verwijzen we hier naar de statistische gegevens van de tienjarige periode 1951-1960 verschenen in het nummer 4 van 1963.

We stellen vast dat buiten de duur van de perioden, die nagenoeg constant is : gemiddeld 12 h 25 m, springtij 12 h 18 m en doortij 12 h 40 m, de snelheid van de tijgolf varieert. Ze wordt vooral beïnvloed door de schommelingen in de gemiddelde diepte van de bedding (*fig. 12*).

De kam van de tijgolf (hoogwater) beweegt zich duidelijk sneller dan het dal (laagwater).

Van Vlissingen tot Baarland, varieert de gemiddelde waarde van 11 m-sec tot 8 m-sec, om vervolgens te stijgen en ter hoogte van Saafingen een maximum te bereiken. Ze bereikt er 15 m-sec, om vervolgens langzaam te verminderen om tussen Schoonaarde en Uitbergen een lichte sprong te maken, en vervolgens tot 5 m-sec te dalen tussen Melle en Gentbrugge.

De snelheid van het dal blijft practisch gelijk aan deze van de kam tot Baarland. Vanaf dit punt vermindert ze in een golvende variatie tot aan het einde van haar loop. Hier bedraagt de snelheid 5 m-sec.

Wij kunnen hieraan toevoegen dat de gemiddelde snelheid van de hoogwaterkam, tussen Vlissingen en Gentbrugge 7,20 m-sec bedraagt. Deze van de laagwaterkam bereikt 5,10 m-sec.

Deze gegevens laten ons toe de gemiddelde lengte te berekenen van de tijgolf zoals deze zich voortplant in de rivier.

Als ge de formule toepassen $\lambda = cT$ waarin

c de snelheid is

T de periode, waarvan de gemiddelde waarde 12 h 25 m of 44 700 sec is dan bekoemen wij :

$$\lambda = 7,2 \times 44\,700 = 321\,840 \text{ meter,}$$

wat aantoont dat het traject van de Zeeschelde dat slechts 160 km lang is, niet toelaat een volledige tijgolf tot ontwikkeling te zien komen. Hoogstens kan men er een volledige vloed waarnemen, 't is te zeggen de gelijktijdige aanwezigheid van een laagwater en van een hoogwater.

Men weet dat de snelheid van een tijgolf in een rivier kan berekend worden (abstractie gemaakt van de storende invloed van het nevengetij) aan de hand van volgende formule :

$$c = \left(1 + \frac{3h}{H}\right) \sqrt{gH} - U$$

waarin c = de snelheid in m sec;

H = de gemiddelde diepte onder het gemiddeld niveau van de rivier in de beschouwde sectie;

h = de ordinaat van de tijgolf ten opzichte van dit niveau (hoogte van het getij);

U = de snelheid van de rivierstroming.

Wij doen opmerken, dat in de op plaat 18^B voorkomende lokale tijkrommen, op het ogenblik van hoog- en laagwater (maximum of minimum van h) de vloed en ebstroom nog zeer wel voelbaar blijven, zodat de snelheid van de kam van de tijgolf hierdoor merkkelijk ten gunste wordt beïnvloed. Men ziet dat de tijgolf ophoudt te bestaan van zohaast $c = 0$.

Deze uiterste waarde komt voor als bij sterke bovenwas het bovendebiet voldoende sterk is. Dan blijft er enkel een ebstroming over, die duurt zolang de intensiteit van de hoge waterstand aanhoudt. Dit terugdringen van de tijgolf werd op de Schelde waargenomen tot Schoonaarde, op de Beneden Nete tot bij Duffel.

Bij de snelheid van de tijgolf in de vrije bijrivieren (niet door sluizen afgesloten) treedt vanzelfsprekend een zelfde wetmatigheid in de vermindering der snelheid op, steeds in functie van de ophoging van de rivierbedding.

Op de Rupel vanaf de onding tot Boom, zijn de respectieve snelheden van hoog- en laagwater 5,3 m-sec en 3,7 m-sec. Verder opwaarts van Boom tot Walem (samenvloeiing met de Dyle) dalen ze tot 4,9 m-sec en 3,2 m-sec.

Het lengteprofiel van de vaarweg in de Rupel (*fig. 12*) toont aan dat juist voorbij Wintam, de verhoging van de drempels zich reeds doet voelen en normalerwijze toeneemt, wat vanzelfsprekend tot uitdrukking komt in de snelheidsverschillen.

Bij de Durme wordt men dadelijk getroffen door de overdreven lijkende verschillen, maar ze worden verklaard door de spectaculaire verzanding waaraan deze rivier blootstaat.

De voortplantingssnelheden bedragen er tussen de monding en Waasmunster 8,30 m-sec en 4,60 m-sec voor het hoogwater en 2,60 m-sec tot 0,60 m-sec voor het laagwater (tienjarig overzicht 1951-1960).

De Dender, een vanaf de monding door een sluis afgesloten rivier valt buiten beschouwing.

De voortplantingskrommen op de plaat 18^B, tonen duidelijk de aspecten van het snelheidsverschijnsel aan.

Vermelden wij hier als uiterste waarden de voortplantingssnelheden van het hoogste hoogwater en het laagste laagwater, die te Antwerpen bekend zijn (einde 1963) :

- het uitzonderlijk stormgetij van 1 februari 1953. De kam van de tijgolf legde het traject Vlissingen-Antwerpen af in 1 h 24 m, met een snelheid van 15,35 m-sec. Het hoogwater viel 0 h 45 m vroeger dan voorzien en bereikte een hoogte van 7,85 m. Het water werd tot 2,79 m boven de voorspelde hoogte opgestuwd;
- het continentale stormgetij (oostenwind) van 31 januari 1956. Het laagwater legde dezelfde afstand af in 3 h 20 m, met een snelheid van 6,45 m-sec, viel 0 h 40 m later dan voorzien en deed het water zakken tot 1,17 m onder de nul, 't is te zeggen 0,93 m lager dan voorspeld was.

Wat de evolutie in de snelheid van de fluviale getijgolf betreft, kunnen wij vermelden dat deze, sedert het begin van de eeuw, steeds groter is geworden. Als we Antwerpen in beschouwing nemen komt dit duidelijk tot uiting. De vertraging, van het tijdstip van hoogwater, ten opzichte van Vlissingen is teruggevallen van 2 h 20 m tot 2 h 00 m. Deze snelheidsaangroei houdt niet enkel verband met het peil van de hoogwaters, maar zeker ook met de bestendige verbetering van de diepten (nautische hoedanigheden), te wijten aan de baggerwerken.

Beautemps-Beaupré, heeft rond 1800 voor het eerst een snelheidswaarde voor het getij genoteerd. Tijdens de opnamen die hij in de Beneden-Zeeschelde uitvoerde stelde hij vast dat de vertraging in het voortschrijden van de getijgolf op het traject Vlissingen-Antwerpen, 3 h 22 m bedroeg.

De vermelde vertraging werd waargenomen op de dag zelf van de samenstand van maan en zon bij de nachtevening en had tot doel « l'Établissement vulgaire du port » voor Vlissingen en Antwerpen te bepalen. (Deze benaming voor het havengetal is sedertdien in onbruik geraakt.) Het gaat hier dus niet om de vertraging van de getijgolf van de Syzygie zelf (of springtij), die $2\frac{1}{2}$ dagen later valt.

Wanneer we rekening houden met het waterpeil dat in die tijd merkkelijk lager lag en de zwakkere amplituden, dan zal deze waarde niet veel verschillen met de gemiddelde vertraging.

Hierna zal men ongeveer zeventig jaar moeten wachten om in een werk van *Rochet E.* een tweede waarde te vinden. Deze wordt op 2 h 40 m geschat en voorgesteld als een gemiddelde van al de vertragingen die in de tijdspanne 1870-1875 werden waargenomen.

Rochet E. Hoofdingenieur, Hoofd van de Hydrografische Dienst.

Deze opeenvolging van steeds kleiner wordende waarden voor de duur van de voortplanting van de getijgolf, wijst er op hoe nuttig de werken zijn geweest die sedert het midden van de laatste eeuw, zowel in Nederland als in België systematisch werden uitgevoerd om de bedding te verdiepen en in te dijken.

c) Afwijking in de stijging en de daling.

Gezien de periode van het getij tijdens haar voortplanting constant blijft, heeft de onregelmatigheid in de snelheid van het hoogwater en het laagwater noodzakelijkerwijze een verschil in duur tot gevolg, tussen stijging en daling.

Zoals de krommen van de drie voornaamste typen van lokaal getij aantonen, die voorkomen op de platen 18^A en 18^B, varieert het verschil tussen stijging en daling in verhouding tot de intensiteit van de getijgolf (amplitude).

Gedurende de maansmaand vermindert inderdaad de duur van de stijging vanaf het doortij tot het springtij. Waar deze verschijnselen in zee vrij constant zijn, variëren deze verschillen van synodische aard op de rivier, ondermeer in functie van de hydraulische stabiliteitsvoorwaarden (ondermeer de diepte).

Voor het gemiddeld getij te Antwerpen stellen wij een regelmatige tienjaarlijkse vermindering van de stijging vast. Vanaf 1901-1910 tot 1950-1960 verliep ze van 5 h 23 m tot 5 h 16 m.

De feiten doen zich voor alsof de kam van de getijgolf trachtte het dal in te lopen en hij zou er inderdaad ook in slagen wanneer de hiertoe noodzakelijke voorwaarden in verband met de diepten zouden vervuld zijn, dit komt inderdaad voor op bepaalde tijrivieren. In deze extreme gevallen stelt men het bekende verschijnsel van de « mascaret » vast.

De voortschrijding van de ophoging van de rivierbedding, evenals de aanwezigheid van belangrijke ondiepten (drempels) belemmeren in belangrijke mate de voortplanting van de getijgolf.

Ze zijn de voornaamste oorzaak van wrijvingen die de energie van de getijgolf afbreken tot op een punt dat een grensvervorming wordt bereikt die « mascaret » wordt genoemd. Dit verschijnsel moet echter op de Schelde niet worden gevreesd.

Zoals men weet komt dit echter wel voor op de Seine en op de Engelse rivieren Trent en Severn (waar men het *bore* of *eagre* noemt), in Amerika, in Indië en in China.

J.L. Luymens stelt voor dit verschijnsel in het Nederlands « Brekende vloedgolf » te noemen.

d) **Afwijking in de amplitude.**

Stellen wij vervolgens vast dat de amplitude verschillen vertoont. Het begint met een regelmatige stijging vanaf Vlissingen (3,79 m) naar een maximumwaarde te Hemiksem (4,91 m) om vervolgens weer te verminderen tot aan de stuw van Gentbrugge waar ze terugvalt op 1,98 m. Deze afwijkingen in de amplitude worden op de plaat 18^B uiteengezet. Men vindt er ook de lokale constanten die toelaten van een gemiddeld getij over te gaan naar deze van de springtijden en doodtijden.

Men begrijpt dat deze verschijnselen innig verband houden met de bewegingsenergie van de getijgolf. Deze verzwakt namelijk geleidelijk bij een vermindering van de afmetingen van van de bedding (gemiddelde diepte en breedte) en tevens wanneer de bochtigheid verhoogt (reflexies), tengevolge van de wrijving en de draaistromen die hierdoor veroorzaakt worden.

Wanneer het verlies aan energie te verwaarlozen is of klein blijft, kan men zich een benaderend idee vormen van de wetmatigheid die deze afwijkingen beheerst, door gebruik te maken van de betrekking $h \cdot \sqrt{H} = C'$, waarin h de hoogte van het getij is en H de gemiddelde diepte onder het gemiddeld peil. Rekening houdend met de bovenvermelde beperkingen, toont deze vergelijking aan dat de amplitude in omgekeerde verhouding staat tot de vierkantswortel van de diepte.

De lengteprofielen van de Zeeschelde en van de Rupel (*fig. 12*) geven een duidelijk beeld van het mechanisme van de belangrijke weerstanden die de getijgolf ondervindt in zijn loop en men kan er namelijk uit afleiden dat ze toenemen vanaf de monding van de Rupel. Vanaf dit punt vermindert de amplitude inderdaad merklijk.

Daarenboven is de gemiddelde amplitude van de fluviale getijgolf niet constant in de tijd. Ze verandert inderdaad in samenhang met de evolutie van de hydraulische toestand van de rivier. De bijgaande tabel geeft voor de belangrijkste punten de gemiddelde tienjaarlijkse waarden vanaf 1891-1900 van het hoog- en laagwater. De verschillen hiertussen zijn de gemiddelde amplituden.

Men stelt vast dat behalve voor de Durme, deze waarden overal groter worden. Deze vaststelling toont aan dat de hydraulische energie van het getij van de Schelde thans in gunstige zin evolueert.

EVOLUTIE IN HET GEMIDDELD TIENJAARLIJKS GETIJ SEDERT 1891.

	<i>Plaats</i>	1891 1900	1901 1910	1911 1920	1921 1930	1931 1940	1941 1950	1951 1960		
ZEE- SCHELDE	Vlissingen	4,12 0,44	4,19 0,44	4,19 0,47	4,24 0,48	4,26 0,54	4,28 0,55	4,35 0,56	h.w. l.w.	
	Antwerpen	4,76 0,37	4,80 0,31	4,91 0,32	4,93 0,28	4,98 0,26	4,98 0,25	5,04 0,23		
	Dendermonde	4,45 1,68	4,57 1,76	4,72 1,77	4,74 1,70	4,77 1,63	4,82 1,61	4,95 1,65		
	Gentbrugge (Gent)	4,35 2,80	4,56 2,98	4,88 3,22	4,89 3,06	4,87 2,92	4,82 2,87	4,98 3,00		
	RUPEL	Boom		4,80 0,67	4,90 0,63	4,92 0,61	4,98 0,58	5,10 0,55	5,21 0,55	
	DURME	Tielrode		4,80 0,80	4,92 0,81	4,95 0,78	5,01 0,69	5,15 0,67	5,25 0,63	
Waasmunster		4,58 1,22	4,68 1,36	4,85 1,42	4,91 1,62	4,97 1,22	5,14 1,12	5,33 1,53		

De hoogten werden herleid tot de « nul N.K.D. » (cf. VII, 1).
 h.w. = hoogwater.
 l.w. = laagwater.

e) Meetkundige plaats van het waterpeil van spring- en doottij.

Om de paragraaf gewijd aan de evolutie van het waterpeil te besluiten willen wij wijzen op de grafiek op de plaat 18^B die betrekking heeft op de meetkundige plaats van het waterpeil van spring- en doottij, gedurende de tienjaarlijkse periode 1951-1960. Deze grafiek toont aan dat deze krommen, die de normale uiterste waterhoogten volgens de maansmaand weergeven, een normaal verloop hebben. Deze van het hoogwater verlopen practisch evenwijdig met een dubbele kromming van de maxima bij Sint-Amands (5,62 m en 4,76 m) en van de minima te Uitbergen (4,98 m en 4,36 m). Daarentegen convergeren de plaatsen van laagwater die zich te Vlissingen op 0,33 m en 0,89 m bevinden stroomopwaarts, en snijden zich inderdaad op een wel bepaald punt dat zich op ongeveer 100 km van de monding bevindt, eveneens nabij Sint-Amands.

Vanaf Sint-Amands ligt de meetkundige plaats van de laagwaters van springtij hoger en gaat ze de laagwaters van doottij voorbij om er verder boven te blijven. Deze verhoging en dit snijden van de meetkundige plaatsen van laagwater zijn het gevolg van de invloed die wordt uitgeoefend door de ophoging van de rivierbedding, het bovendebiet, evenals aan het ophouden van het volumeoverschot van de vloed op de ebbe. Op de Rupel is dit snijpunt practisch gelegen aan de samenloop van de Dyle en op de Durme bevindt het zich halfweg tussen Waasmunster en Zele.

Deze bijzondere punten hebben practisch belang voor de scheepvaart, speciaal voor de binnenvaart, omdat ze de zones afbakenen vanaf dewelke men zeker is bij laagwater van springtij meer water te vinden, dit in tegenstelling met hetgeen wordt vastgesteld in het afwaarts gedeelte waar men weet dat dit peil steeds het laagste ligt, feit dat bijzonder door de scheepvaart gevreesd wordt.

6. Getijvoorspelling.

Het hoeft wel geen betoog dat de zeelieden in alle tijden een bijzonder practisch belang hebben gehecht aan het boeiend probleem van de getijvoorspelling. We weten dat eertijds de getijvoorspelling steunde op lokale werkwijzen met een zuiver empirisch karakter. Vanaf het einde van de XVIII^e eeuw worden hieraan merkelijke verbeteringen gebracht door het invoeren van begrippen als : havengetal, getijcoëfficiënt, rechtstreekse waarneming gedurende de cyclus van de maansknopen van 18,61 jaar (dikwijls verward met de saros, waarvan de duur van 18,03 jaar verband houdt met de terugkeer der verduisteringen). Meer verantwoorde methoden worden uitgewerkt zoals de door de Engelse admiraliteit op punt gestelde methode der vergelijkingen (*Admiralty method*). Deze werkwijzen werden echter spoedig opgegeven vanwege de steeds groeiende eisen die door de belanghebbende technieken (scheepvaart, waterbouwkunde) werden gesteld, zohaast de voorspellingen behandeld volgens de methode van harmonische analyse hun intrede deden.

Het is ondertussen door de ervaring bevestigd dat de nieuwe methode een tot nog toe ongekende nauwkeurigheid mogelijk maakt en terecht kan beschouwd worden als de methode die op de meest rationele manier dit moeilijke probleem kan oplossen. Ze bestaat er in de curve van het waargenomen getij — curve die men juist door voorspelling zal trachten weer te geven — te beschouwen als de optelling van zoveel elementaire curven, waarvan het aantal verschilt volgens de plaats en waarvan elk van hen de invloed van een fictief hemellichaam, fictieve maan of fictieve zon, al naar gelang het geval, weergeeft. Elk van deze factoren beantwoordt aan een van de talrijke gekende astronomische oorzaken, waarvan de belangrijkste gelegen zijn in de periodieke afwijking van de parallax, de declinatie en de precessie. Deze fictieve manen en zonnen draaien rond de aarde in een cirkelvormige baan die gelegen is in het evenaarsvlak en deze fictieve hemellichamen vertonen een uniforme beweging.

De golven die door deze denkbeeldige hemellichamen worden voortgebracht, worden voorgesteld door een vergelijking met volgende vorm :

$$Y = h \cos (\omega t - \alpha) \quad (1)$$

zodanig dat de hoogte H van het getij, op het ogenblik t , wordt aangegeven door

$$H = h_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1) + h_2 \cos(\omega_2 t - \alpha_2) + \dots (2);$$

H , is de hoogte van het zeeniveau op het ogenblik t , herleid tot het gemiddeld aangenomen niveau.

$h_1, h_2, h_3 \dots$ de halve amplituden van de golven 1, 2, 3...

t , de tussentijd, in universele tijd, tussen de oorsprong van de aangenomen tijd en het ogenblik t .

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$ de hoeksnelheden van de fictieve hemellichamen 1, 2, 3, ... berekend vanaf de beschouwde periode T , uit $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ de fase verschuivingen met de overeenstemmende astronomische getijden in de meridiaan van de beschouwde plaats.

h en α zijn de twee harmonische constanten van de beschouwde golf.

$2n$ is het aantal constanten van een geheel n golven.

Deze parameters kunnen slechts worden bekomen door ontleding (scheiding) van de curven, die voortkomen uit de, zonder onderbreking en gedurende minstens één jaar, waargenomen getijden.

Deze ontleding bestaat erin uit deze maregrammen die getijden af te zonderen, waarvan de periode vooraf werd bepaald, in de orde van hun belang. Zo scheidt men eerst de halfdaagse getijden af, waarvan de symbolen het kenteken 2 dragen, zoals M_2, S_2, N_2 , golven waarvan de periode rond 12 h schommelt.

In de tweede plaats worden de enkeldaagse getijden met het kenteken 1 afgezonderd, zoals O_1, K_1, P_1 , waarvan de periodes rond 24 h liggen. Vervolgens komen de golven met lange periode M_f, M_m , van 13 d 16 h, 27 d 13 h,...

Merken wij op dat al deze golven een constante amplitude vertonen en zoals hierboven reeds werd aangehaald, de invloed weerspiegelen van een astronomische inwerking, die bekend is.

De constante h , wordt geleverd door de amplitude van de gescheiden golf en de angulaire constante α wordt verkregen door het berekenen van de verschuiving tussen het fictieve hemellichaam in de meridiaan van de plaats en het hoogwater door hem voortgebracht.

Teneinde rekening te kunnen houden met de vervormingen die de werkelijke getijden ondergaan, vooral deze die zich over ondiepten voortbewegen, dient men op hun beurt de voornaamste golven (fundamentele) M_2 (voornaamste maansgolf), S_2 (voornaamste zongolf) te ontbinden, en wel zodanig dat men ze afzondert van hun harmonieken M_4, M_6 en zo nodig van S_4, S_6 , met een veelvoud van perioden, dewelke gemeenlijk « nevengetij » genoemd worden.

De enkeldaagse O_1, P_1, K_1 ontsnappen evenmin aan deze ontbinding en men wordt zelfs verplicht « samengestelde golven », zoals MS_4, MS_f, MK_3 in te voeren.

Deze symbolen ontmoet men tussen de 60 getijden, die door het *Tidal Institute* van Liverpool werden afgezonderd voor de havens van Antwerpen en Oostende en waarvan de fundamentele groep, samengesteld uit 26 getijden, als basis heeft gediend voor de basisvoorspellingen.

Men weet dat de voorspelling gebeurt door de samenstelling van de uitgekozen gedeeltelijke getijden. Vroeger was deze berekening een uiterst moeilijk werk. Door het invoeren van de « Tide predictor » uitgevonden door *Lord Kelvin*, die in enkele uren de tijkcurve van het werkelijke getij van een gans jaar kan weergeven, en dit met een verrassende nauwkeurigheid, werden de berekeningen tot een betrekkelijk eenvoudige bewerking teruggebracht.

De nauwkeurigheid van de bekomen voorspelling door de betrekking (2) bereikt, hangt af van het aantal en van de kwaliteit der termen. Practisch overschrijdt men zelden het derdigal.

Voor Antwerpen en Oostende heeft men 26 getijgolven (wat 52 constanten uitmaakt) gebezigd voor de berekening van de fundamentele voorspellingen. Het gaat hier om constanten die stabiel zijn, in zoverre de fysische voorwaarden voor de plaats, waarop ze toepasselijk zijn, geen noemenswaardige veranderingen ondergaan. Vandaar dat ze voor de tijrivieren met beweeglijke bodem, regelmatig moeten herzien worden, in verband met de wijzigingen die in de rivierbedding kunnen voorkomen.

Daarom werden deze die betrekking hebben op Antwerpen, tot viermaal toe herzien en aangepast sedert 1930 (*shallow water corrections*).

1930 was het jaar van publicatie van de eerste voorspellingen die gemaakt waren bij middel van de ontleding der harmonieken (harmonische constanten).

De resultaten van de laatste correctie, steunend op de maregrafische waarnemingen in 1962 gedaan, zullen in 1966 verschijnen.

De onderstaande tabel geeft de constanten H en α van de voornaamste tijgolven, berekend door het « Tidal Institute » van de Universiteit van Liverpool, voor de havens van Antwerpen en Oostende.

Deze constanten zijn de belangrijkste van de groep die heeft gediend voor de fundamentele voorspellingen (*basic predictions*) voor deze havens.

		Sym- bool	Période	ω°	Oostende		Antwerpen	
					h	α°	h	α°
			h m		in meter		in meter	
Halfdaags	Gemiddeld maansgetij	M_2	12 25	28,98	1,76	5,0	1,96	86,9
	Gemiddeld zonsgetij	S_2	12 00	30,00	0,52	58,3	0,48	149,8
	Elliptisch maansgetij	N_2	12 39	28,44	0,29	338,8	0,30	60,5
	Declinatie maans- en zonsgetij .	K_2	11 58	30,08	0,16	53,3	0,16	153,0
Enkeldaags	Declinatie maans- en zonsgetij .	K_1	23 56	15,04	0,04	346,4	0,06	29,0
	Voor naamste declinatie maans- getij.	O_1	25 49	13,94	0,08	173,7	0,09	223,2
	Voor naamste declinatie zons- getij.	P_1	24 04	14,96	0,03	330,7	0,05	22,0
	Kwartdaags nevengetij . . .	M_4	6 12	57,96	0,09	337,4	0,13	121,1

Voor Oostende : De constanten steunen op volledige waarnemingen gedurende 1943-1944.

De hoogten worden teruggebracht tot de nul van een vergelijkingsvlak $A_0 = 2,328$ m boven het nulvlak Z gelegen (waarde die het peil van de gemiddelde zeespiegel benadert).

Voor Antwerpen : De constanten steunen op volledige waarnemingen gedurende 1926-1927.

De hoogten worden teruggebracht tot de nul A_0 , aangenomen door het « Tidal Institute » = 2,650 m boven het nulvlak van het Krijgsdepot (Kattendijk).

Om redenen van gelijkvormigheid berekent het « Tidal Institute » zijn angulaire constanten α door herleiding van hun elementen, in verschuiving en in tijd, tot de meridiaan van Greenwich.

In Nederland duidt de Rijkswaterstaat de angulaire constante aan door κ (kappagetal), waarbij de faseverschuiving betrekking heeft op de meridiaan van 5° O. Greenwich en de tijd op de meridiaan van 15° O. van Greenwich (middel Europese tijd).

Wij hebben gezien dat de harmonische constanten zeer gevoelig zijn voor de dimensionele verschillen van de plaatsen van voortplanting van de getijgolf en dus niet onveranderlijk zijn. Deze eventuele beïnvloedingen worden bestendig nagegaan door het verloop te controleren tussen het waargenomen en voorspelde getij. Deze statistische bewerkingen hebben aangetoond dat de nauwkeurigheid van de voorspelling als volgt kan samengevat worden :

— te Oostende : Ze is nauwkeurig op 5 min na voor de uren en op 10 cm na voor de hoogten;

— te *Antwerpen* : Bedragen deze verschillen respectievelijk 10 min en 20 cm.

Het gaat hier om het gemiddeld kwadratisch verschil, waarvan de waarschijnlijkheid 68 % belooft.

III. — GETIJSTROMINGEN.

In het voorafgaande werden de wezenlijke kenmerken van het vertikaal getij onderzocht, 't is te zeggen van het getij, enkel bekeken onder het oogpunt van zijn periodieke hoogteverschillen.

We weten echter dat dit vertikaal getij belangrijke horizontale verplaatsingen van watermassa's tot gevolg heeft. Deze verplaatsingen vormen de getijstromingen en worden gewoonlijk horizontaal getij genoemd.

Vertikaal en horizontaal getij zijn dus in onderling verband staande uitingen van hetzelfde natuurverschijnsel. Nauwkeuriger gezegd worden de getijstromingen in de eerste plaats veroorzaakt door de helling van het momentaan profiel van de golf tijdens haar voortplanting. We weten dat deze stromingen evenals de rivierstromingen de ganse watermassa meetrekken, in tegenstelling met de impulsiestromingen, toe te schrijven aan de wind, of met de dichtheidsstromingen.

1. Stromingen in de Noordzee.

a) Stromingsrozen.

De getijstromingen in de Noordzee worden in het algemeen beheerst door een draaiende beweging, die zich voor het gedeelte van de Belgische kust tot aan het eiland Walcheren tegen de zon in beweegt, overal elders met de zon mee, wanneer men althans de enkele zeldzame plaatsen uitsluit, waar de beweging eerder alternatief en rechtlijnig verloopt, zoals in de centrale zone en vóór de monding van de Theems.

De invloedssfeer en het belang van deze stromingen worden bepaald door de beweging en de kracht van de getijgolf om het amfidromisch punt. Daarenboven zijn ze bij analogie van halfdaagse aard en sinusoïdaal, zoals de schommelingen van de getijgolf.

Het beeld van de snelheidsvectoren, die uit de waarnemingsplaats vertrekken, doet zich meestal voor onder de vorm van een afgeplatte of vervormde ellips, gemeenlijk « stromingsroos » genoemd. De lange as van de ellips ligt in de richting van de golfvoortplanting, in dit geval ongeveer evenwijdig aan de kust (plaat 18^A en *fig. 3*).

Op onze kusten komt het veelvuldig voor dat deze as herleid wordt tot een gebroken lijn, samengesteld uit de vectoren van maximum vloed- en ebstroom.

b) Vloed- en ebstroming. — Kentering.

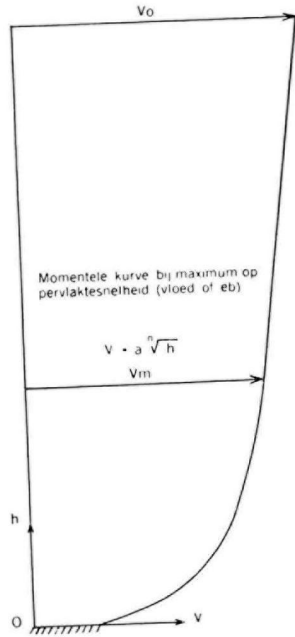
Door vloedstroming verstaat men deze die zich uitstrekt van half-wassend tot half-dalend getij (plaat 18^A en *fig. 3*).

Tijdens deze tussenperiode, blijven de vectoren in de richting van de voortplanting der getijgolf gegroepeerd, in andere woorden gericht naar het Oosten van de kleine as van de ellips, waarop zich ten andere het omkeren van de stroming voordoet bij kentering (minimum of nul).

De stromingen die in tegengestelde zin gericht zijn, 't is te zeggen naar het Westen van de klein as, behoren tot de ebstroming.

Het is echter zeldzaam dat het omkeren van de stroming, in ondiepe zeeën, voorkomt precies op het ogenblik van het gemiddeld peil, zoals dit het geval is te Oostende bij gemiddeld getij. Men weet immers dat de kenteringen hier verder vanaf liggen van zohaast de hoogte van het getij (halve amplitude) ten overstaan van het gemiddeld peil, in verhouding tot de diepte niet meer onbelangrijk is.

ONDERSTROMINGEN.
 Schema van de snelheidsparabool
 op de Belgische-Nederlandse kust
 van toepassing.



- h = hoogte boven bodem.
- v_o = oppervlaktesnelheid.
- v_m = gemiddelde snelheid op de vertikaal
- $4 \leq n \leq 6$.
- a = momentele parameter

GETIJSTROMINGEN BIJ GEMIDDELD GETIJ IN DE WIELINGEN
 (KADZAND)

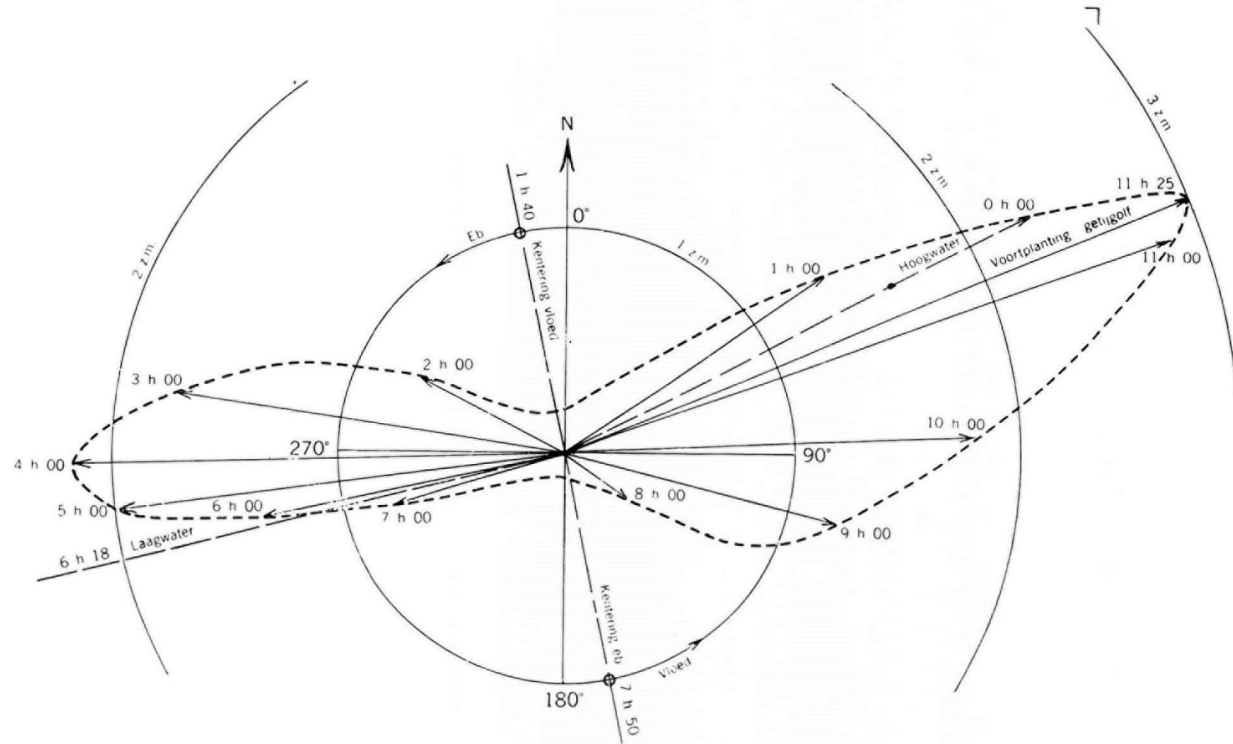


Fig. 3. Uursnelheid : 3 cm = 1 zeemijl (z.m.) ware richting.
 Tijd in maanden : 1 m.u. = 1 h. 02.05.

De gemiddelde waarden van onderstaande tabel laten toe zich een beeld te vormen van de belangrijkheid van deze intervallen.

KENTERING EN DUUR VAN VLOED- EN EBSTROMING VOOR EEN GEMIDDELD GETIJ.

Plaats	Kentering (omkeren)		Duur van	
	vloed	eb	vloed	eb
	h m	h m	h m	h m
Nieuwpoort	3 35 na h.w.	2 20 vóór h.w.	5 55	6 30
Oostende	3 35 »	2 20 »	5 55	6 30
Zeebrugge	3 15 »	2 45 »	6 00	6 25
Scheldemonding*	1 45 »	4 20 »	6 05	6 20
Vlissingen	1 00 »	5 00 »	6 00	6 25

h.w. = hoogwater.
* = Wielingenpas, oostelijk van Zeebrugge.

De maximumsnelheden komen voor :

- *tijdens de vloed* : rond het ogenblik van het hoogwater, met een afwijking die varieert volgens de plaatselijke omstandigheden. De waarden gaan gemiddeld van 1,0 tot 2,0 zeemijl voor de doortijden en van 1,5 tot 3,0 zeemijl voor de springtijden;
- *tijdens de eb* : rond het ogenblik van het laagwater, maar soms veel vroeger, vooral in de monding, met gemiddelde waarden variërend van 1,0 tot 1,5 zeemijl voor de doortijden en van 1,3 tot 2,2 zeemijl voor de springtijden.

Deze cijfers gelden niet in de zone Wielingen-Vlissingen (mondning). De stromingen zijn er sterker en variëren binnen ruimere grenzen. Ze kunnen er waarden bereiken die tot meer dan 50 % van het gemiddelde afwijken.

De plaat 18^A geeft het beeld van de verdeling der maximum snelheidsvectoren aan de oppervlakte (richting en intensiteit in tienden zeemijl) voor een gemiddeld getij.

Daar men over het algemeen aanneemt dat de maximum snelheden nagenoeg variëren zoals de getijamplituden, laten de fomules die voorkomen op de lijnen van gelijk gemiddeld verschil (amplitude) toe, op zicht om te schakelen van de maximum snelheden op de kaart aangegeven, naar de maximum snelheden van spring- of doortijden.

Weze vermeld dat de zeemijl gelijk is aan 1852 m en dat de snelheid die uitgedrukt wordt in zeemijlen een uursnelheid is. Ze komt ten andere overeen met dezelfde in knopen uitgedrukte snelheid.

c) Onderstromingen.

Laten we hier een eerder schematisch overzicht geven van wat men onderstromingen noemt. Ze worden bestudeerd bij middel van speciale metingen die op de verticale van de waarnemingsplaatsen, met zeer geperfectioneerde registreerapparaten worden uitgevoerd. Deze opmetingen geven op een doorlopende wijze de snelheid en de richting van de stromen weer, op de diepten waarop het ondergedompelde toestel zich bevindt. De resultaten hebben aange-toond dat het verloop van de onderstromingen doorgaans regelmatig is, voor wat de snelheden betreft, maar dikwijls zeer ingewikkeld wat de richting aangaat, vooral bij onregelmatige bodem of langs de kust.

Men weet dat onder normale omstandigheden de snelheid in de diepte, over het algemeen met een parabolische wetmatigheid varieert en dat de maximumwaarde zich soms bij de oppervlakte, soms lager, tussen de oppervlakte en de halve diepte bevindt. Deze maximum-waarde wijkt over het algemeen echter weinig af van deze die aan de oppervlakte wordt waargenomen.

Op ongeveer $6/10^{\circ}$ van de diepte bereikt ze over het algemeen haar gemiddelde waarde, waarvan ze slechts zeer traag afwijkt, om bij de bodem, plots af te buigen naar wat men de bodemsnelheid noemt. Over dit laatste verschijnsel beschikt men echter nog over weinig nauwkeurige gegevens.

Nochtans kunnen deze bodemsnelheden op het ogenblik van maximale snelheid en alhoewel ze gewoonlijk zeer zwak zijn, voldoende kracht ontwikkelen om losspoeling te veroorzaken en het alluviaal transport op gang te brengen (ongeveer 0,30 m per seconde).

Stippen wij nog aan dat het omkeren van de stroming op het ogenblik van de kentering, zich niet op alle diepten gelijktijdig voordoet. Deze verschijnselen worden in het algemeen toegeschreven aan de verschillen in densiteit die er op dat ogenblik kunnen bestaan tussen de boven- en dieptelagen.

J. Van Veen, komt aan de hand van ongeveer 1 500 metingen die in het zuidelijk bekken van de Noordzee werden uitgevoerd, in bijzonder tussen het Nauw van Calais en de zeeuwse gaten tot het besluit dat de normale curve van de verticale verdeling van de snelheden (v), het best en het eenvoudigst kan weergegeven worden door een parabool met verticale as (h), van de vijfde graad met volgende vorm : $v = a \sqrt[5]{h}$ (cf. fig. 3).

Deze berekeningswijze werd door de hydrografische dienst der kust van België overgenomen, waarbij uitgegaan wordt van geregistreerde stromingswaarden in wel bepaalde punten die over het algemeen op 2 en 4 m boven de bodem zijn gelegen.

Merken wij op dat de momentele parameter (a), die niets anders is dan de snelheid op het bewuste ogenblik 1 m boven de bodem, zal verschillen naar gelang het gaat om vloed of eb.

Verder kan men wel aanvoelen dat gezien de snelheden slechts worden gemeten tussen de oppervlakte en een diepte die zich op 0,25 m boven de bodem bevindt, de formule slechts geldig is voor de tussen deze grenzen gelegen waterhoogten.

Ten slotte dient vermeld dat, gezien de op de kaart aangeduide snelheden maxima bij eb en vloed van gemiddeld getij weergegeven, deze formule eveneens toelaat de snelheidsparabolen op deze ogenblikken te berekenen.

2. De stromingen in de Zeeschelde.

a) Eb- en vloedstroming. — Kentering.

De stromingen in de Schelde vertonen vanzelfsprekend een periodisch karakter, zoals het getij, maar ze vertonen geen draaiende beweging zoals in zee.

Ze zijn inderdaad uitsluitend alternatief. De omkeringen (kenteringen) hebben bij vloed plaats rond het ogenblik van hoogwater (behalve in het half maritieme gedeelte, zoals verder wordt uiteengezet) bij eb steeds na laagwater. Deze vertraging in de kentering doet zich als volgt voor :

- *Bij vloed*, bereikt ze 1 h 00 m te Vlissingen, wordt kleiner en bereikt 0 h 50 m te Antwerpen om verder te blijven dalen tot ze bij Melle teniet gedaan wordt, negatief wordt en te Heusden, — 0 h 17 m bereikt, waar de kentering plaats heeft voor hoogwater en van waaraf de vloed neiging vertoont om te verdwijnen;
- *Bij eb* gaat de vertraging die te Vlissingen 0 h 55 m bedraagt, naar 0 h 30 m te Antwerpen, neemt verder af en bereikt een minimum van 0 h 25 m bij de Rupel, wordt vervolgens weer groter en bereikt 0 h 50 m te Temse, 1 h 10 m te Heusden en overschrijdt ten slotte elke grens gezien de vloed heeft opgehouden te bestaan.

Op de Rupel variëren deze vertragingen van 0 h 30 m tot 0 h 20 m voor de vloedkentering en van 0 h 20 m tot 0 h 25 m voor de eb.

Wat de Durme betreft, waar de aanzanding steeds toeneemt, geven de in 1964 waargenomen waarden, voor de vloed tussen Tielrode en Zele, 0 h 20 m tot 0 h 05 m en voor de eb, van 0 h 10 m tot 0 h 05 m.

Er weze verder vermeld dat voor een gegeven dwarssectie het zelden voorkomt dat de kentering gelijktijdig op alle plaatsen van oever tot oever of van de oppervlakte tot de bodem plaats vindt.

In tegenstelling met wat in zee gebeurt, waar de duur van eb en vloed bij een bepaald type van getij omzeggens constant blijven, is de duur op de rivier eng verbonden met de duur van de stijging en de daling. Hieruit volgt dat de duur van de vloedstroming opwaarts steeds kleiner wordt ten voordele van een verlengde ebstroming.

b) **Stromingssnelheden.**

Wat de variaties in de lokale stromingen betreft, deze komen tot uiting in kurven die analoog zijn aan deze van de getijden waardoor ze voortgebracht worden. Men zal dit gemakkelijk zien op de plaat 18^B waar de snelheidskurven worden weergegeven voor de zes voornaamste lokale getijden van de Schelde.

Het is duidelijk dat de maximum waarden van eb- en vloedstroming, die op deze plaat voorkomen en die zoals we weten betrekking hebben op het gemiddeld getij, kleiner worden als het om een doottij gaat, groter worden bij springtij en veranderingen ondergaan onder invloed van aanhoudende sterke winden.

Deze invloeden werden zo dikwijls als de omstandigheden het toelieten waargenomen en gemeten.

Spijtig genoeg is het aantal van de verzamelde gegevens tot heden toe niet voldoende om besluiten te trekken of vaste regels te bepalen. In afwachting nemen we aan dat de stromingsmaxima rechtlijnig variëren zoals de amplitudes, maar we voegen er onmiddellijk aan toe dat deze benaderende methode over het algemeen te zwakke uitslagen geeft voor de vloed.

Hieruit volgt dat de lokale constanten die op de kaart zijn aangegeven en die toelaten van gemiddelde amplituden over te gaan naar deze van spring- en doottij, eveneens van toepassing zijn op de stromingen.

Wat het windeffect betreft, dit versnelt of vertraagt de stroming volgens zijn verplaatsingsrichting. Het windeffect doet over het algemeen de stroming afwijken van zijn normale loop, maar beïnvloedt alleen de oppervlaktelagen.

Deze verschijnselen zijn ver van eenvoudig en weinig gekend. De oorzaak hiervan dient gezocht in de moeilijkheden die meetoperaties bij slecht weer meebrengen.

De maximum snelheid van de vloed, in de thalweg opgenomen, bedraagt 120 m per minuut. Ze wordt tussen Hoboken en de samenvloeiing van de Rupel gevonden en ze vindt plaats op het ogenblik dat de helling van de getijgolf er eveneens haar maximum waarde bereikt, ongeveer 7 cm per km.

De toestand van de getijgolf op dat ogenblik stemt overeen met deze die voorkomt te Vlissingen, op ongeveer 1 h 35 m na hoogwater of op 0 h 25 m vóór hoogwater te Antwerpen.

De maximum vloodsnelheden hebben vanaf de monding tot de samenvloeiing van de Rupel, practisch op 1 h 00 vóór hoogwater plaats. Deze afwijking wordt echter groter opwaarts toe en bereikt te Temse 1 h 30 m, waarde die behouden blijft tot Heusden om vervolgens uit te lopen op nul, waar de vloedstroom bij het naderen van het semi-maritiem gedeelte verdwijnt.

De maximum ebsnelheid die ongeveer 105 m per minuut bedraagt, wordt dwars van hoek van Baarland waargenomen, maar snelheden van 100 m per minuut zijn afwaarts van Antwerpen niet zeldzaam. De helling die met dergelijke snelheden overeenkomt bedraagt ongeveer 6 cm per km, waarde die eveneens overeenstemt met de maximale helling van de getijgolf bij eb.

Tenslotte worden ze practisch waargenomen rond het dalend halfgetij, ten minste tussen de monding en Antwerpen, waar ze inderdaad voorkomen tussen 4 h 00 m en 3 h 00 m na

hoogwater. Meer opwaarts vermindert dit verschil geleidelijk om, te Wetteren, door een minimum van 1 h 30 te gaan, vervolgens snel toe te nemen om 7 h 15 m te bereiken bij Melle, 8 h 15 m te Heusden en verder in het half maritieme gedeelte het laagwater te vervoegen.

c) Onderstromingen.

Talrijke waarnemingen werden gedaan om het verschijnsel van de onderstromingen beter te leren kennen. Zodoende kunnen wij er de meest essentiële eigenschappen van aangeven voor de zone waarin onze metingen werden uitgevoerd en die begrepen is tussen Hoboken en Bath :

- De wetmatigheid in de verticale verdeling der snelheden kan voorgesteld worden door een parabool met horizontale as;
- De snelheid neemt toe vanaf de oppervlakte en bereikt een maximum waarde tussen de oppervlakte en de 4/10 van de diepte (zeer zelden aan de oppervlakte);
- De gemiddelde snelheid wordt op ongeveer 6/10 van de diepte gevonden;
- De eigenlijke bodemsnelheid, alhoewel weinig gekend, is slechts bij kentering onbestaande. Men neemt aan dat de maximum snelheden op de bodem zelden beneden de 20 cm-sec dalen (in de Thalweg);
- De diversiteit in de vorm van de snelheidsparabolen is van die aard dat het onmogelijk is er een type-vermogen aan te geven;
- De richtingsverdeling in de diepte wordt gekarakteriseerd door het behoud van het parallelisme van de vloeibare stroompjes, maar dan alleen in de rechtlijnige geulen.

In de bochten en kromingen wordt dit parallelisme over het algemeen bij de sterkste vloed uiteengetrokken en men ziet dan de oppervlaktelagen afwijken naar de rand of de convexe oever, terwijl er een dwarsstroom wordt gevormd (gevreest door loodsen en schippers);

- Zoals we reeds in de gelegenheid waren te vermelden vindt de omkering van de stroom in een bepaalde dwarssectie van de rivier niet overal te gelijktijdig plaats. Van oever tot oever komen gemakkelijk tijdsverschillen van vijftien minuten voor, en we hebben gevallen vastgesteld waarbij de vloedkentering (begin van de eb) in de oppervlaktelagen, dertig minuten of meer vroeger viel dan het dempen van de vloed in de diepte. Op dezelfde wijze heeft de kentering van eb, in de onderste lagen, vroeger plaats dan de omkering van de stroom aan de oppervlakte;
- Wat de zone afwaarts Bath betreft, weze vermeld dat volgens *J. Van Veen*, een parabool met verticale as van de vijfde graad, eveneens zou passen voor gans de zone van het estuarium (cf. III, 1, C).

IV. — INVLOED VAN METEOROLOGISCHE FACTOREN. STORMTIJEN.

Het schema dat hieraan voorafgaat en dat getijden, stromingen en getijvoorspellingen behandelt is alleen van toepassing in normale omstandigheden.

Het kan in belangrijke mate worden verstoord bij stormen. Als in dit geval door interferentie, grote baren zich gaan mengen met de tijgolf, kunnen er stromingen ontstaan die de gemiddelde waarden ver kunnen overschrijden.

1. Geval van de Noordzee.

Deze storingen kunnen een gevoelige wijziging brengen aan het evolutieve uitzicht van de stroming, door de vloed te verlengen of de kentering later te doen vallen, vooral bij sterke

winden uit zuidelijke tot noord-westelijke richting of in het omgekeerde geval door de eb te verlengen bij sterke zuid-oostelijke tot noord-oostelijke winden.

Tussen meteorologische factoren, die de hoogte van het getij kunnen beïnvloeden, is de wind, terecht, de enige waarvan men de uitwerking vreest. De gevolgen ervan kunnen ten andere rampzalige verhoudingen aannemen.

De wind kan, vooral wanneer hij van cyclonale oorsprong is bij een gebied van uitgesproken lage druk, rond 975 mb, waarvan het centrum zich over de Noordzee verplaatst, in bepaalde omstandigheden die betrekking hebben met de evolutie van het isobarisch veld, opgewaaide golven veroorzaken, waarvan de grootste die tot nu toe aan onze kust werden waargenomen, een amplitude van meer dan 6 m zouden hebben bereikt.

a) Invloed van de luchtdruk.

Het is van de andere kant bekend dat het zeeniveau, maar dan in omgekeerde zin varieert met de luchtdrukverschillen. Men neemt aan dat de correlatieverhouding van dit verschijnsel vrij rechthoekig verloopt en dat een variatie van een mm kwik een verschil van 13,3 mm in het zeepeil veroorzaakt. De hieronderstaande tabel bevat een opsomming van de correcties die toepasselijk zijn op de hoogten van hoog- en laagwater. Ze werden opgesteld volgens de gegevens van de « Annuaire des marées de France ». De gevolgen zijn niet ogenblikkelijk, ze kunnen vertragingen vertonen die zeer belangrijk zijn :

BAROMETRISCHE CORRECTIE.

Druk		Correctie in meters	
in mm kwik	in millibar	+	-
720	960	0,5	
730	973	0,4	
740	986	0,2	
750	1000	0,1	
760	1013		
770	1027		0,1
780	1040		0,2

De talrijke theoretische werken over de invloed van de wind op het peil van de zee, tonen aan dat het probleem ver van eenvoudig is.

De meeste formules die voorgesteld worden om de uitwerking te berekenen lopen sterk uiteen, maar hierover behoeft men zich geenszins te verwonderen.

b) Verhoging van het zeepeil.

Voor de oostelijke kust van de Noordzee neemt men aan dat de verhoging en de verlaging als het vierkant van de windsnelheid variëren.

Door verhoging verstaat men de opwaaiing die zich bij het peil van het normaal of voorspelde hoogwater komt voegen.

De verlaging is de vermindering die van het normaal hoogwater moet worden afgetrokken.

W.F. Schalkwijk, die aan het verschijnsel van de verhoging in het zuidelijk deel van de Noordzee een zeer belangwekkende studie heeft gewijd, heeft duidelijk het dramatisch karakter belicht van de uitwerking van stormwinden, vooral deze uit de WN-sector, vanaf snelheden van 9 Beaufort.

Beaufort (Sir Francis 1774-1857) Hoofd van de Hydrografische Dienst van de Admiraliteit. Hij voerde een van 0 tot 12 genummerde schaal in, om de kracht van de wind op zee te schatten.

Het gaat hier om een schatting op zicht, waarvan de nauwkeurigheid als ze door een geoefende waarnemer gedaan wordt, te vergelijken is met deze van een anemometer (*Rouch J.*).

Ze is werkelijk zeer nuttig op zee en wordt courant gebruikt voor internationale meteorologische mededelingen vooral ten behoeve van de luchtvaart.

BEAUFORTSCHAAL

Nummers	Wind	SNELHEDEN	
		meters-sec	kilometer uur
0	Stil	0 tot 1	0 tot 4
1	Flauw en stil	1 tot 2	4 tot 7
2	Flauwe koelte	2 tot 4	7 tot 14
3	Lichte koelte	4 tot 6	14 tot 22
4	Matige koelte	6 tot 8	22 tot 29
5	Frisse koelte	8 tot 10	29 tot 36
6	Stijve bries	10 tot 12	36 tot 43
7	Harde wind	12 tot 14	43 tot 50
8	Stormachtig	14 tot 16	50 tot 58
9	Storm	16 tot 20	58 tot 72
10	Zware storm	20 tot 25	72 tot 90
11	Zeer zware storm	25 tot 30	90 tot 108
12	Orkaan	meer dan 30	meer dan 108

Bij de grootste verhogingen, die tot hiertoe aan onze kust werden vastgesteld, dient in het bijzonder deze van 2,30 m vermeld, die bij de rampzalige stormvloed van 1 februari 1953, te Oostende werd waargenomen. Het ging hier om een cyclonale wind uit het NW, met een snelheid van meer dan 90 km-h (11 Beaufort) met een minimum van 975 mb, ter hoogte van Denemarken. Deze verhoging is de grootste die tot hiertoe werd waargenomen.

De literatuuropgave vermeldt de belangwekkende studies door *L. Poncelet* en *R. Sneyers*, aan deze gedenkwaardige en uitzonderlijke stormvloed gewijd. Het werk van *Poncelet* bevat opbouwende gegevens die een basis kunnen vormen voor het oprichten van een centrum voor het voorspellen van stormvloeden. Men vindt er ook rekentafels voor Antwerpen en Oostende, die toelaten de orde van grootte van de voorziene ophogingen te berekenen.

c) **Verlaging van het zeepil.**

Als het peil van de zee langs onze kust verhoogt onder invloed van winden uit de sectoren ZZW tot N, treedt er anderzijds verlaging op bij NO- tot Z-wind. De grootste verlagingen komen voor bij oostenwind. We vermelden hier dat bij oostenwind met een kracht van 10 Beaufort, verlagingen van 1,10 m werden opgetekend.

De stabiliteit van dit schema is des te zekerder, daar de winden deel uitmaken van veel ruimere meteorologische verschijnselen, die in volle ontwikkeling zijn (cyclonen of anticyclonen).

Er dient dan ook een degelijk onderscheid gemaakt tussen de wind die waait op het ogenblik van waarneming van de opstuwing en deze die er de oorzaak van is.

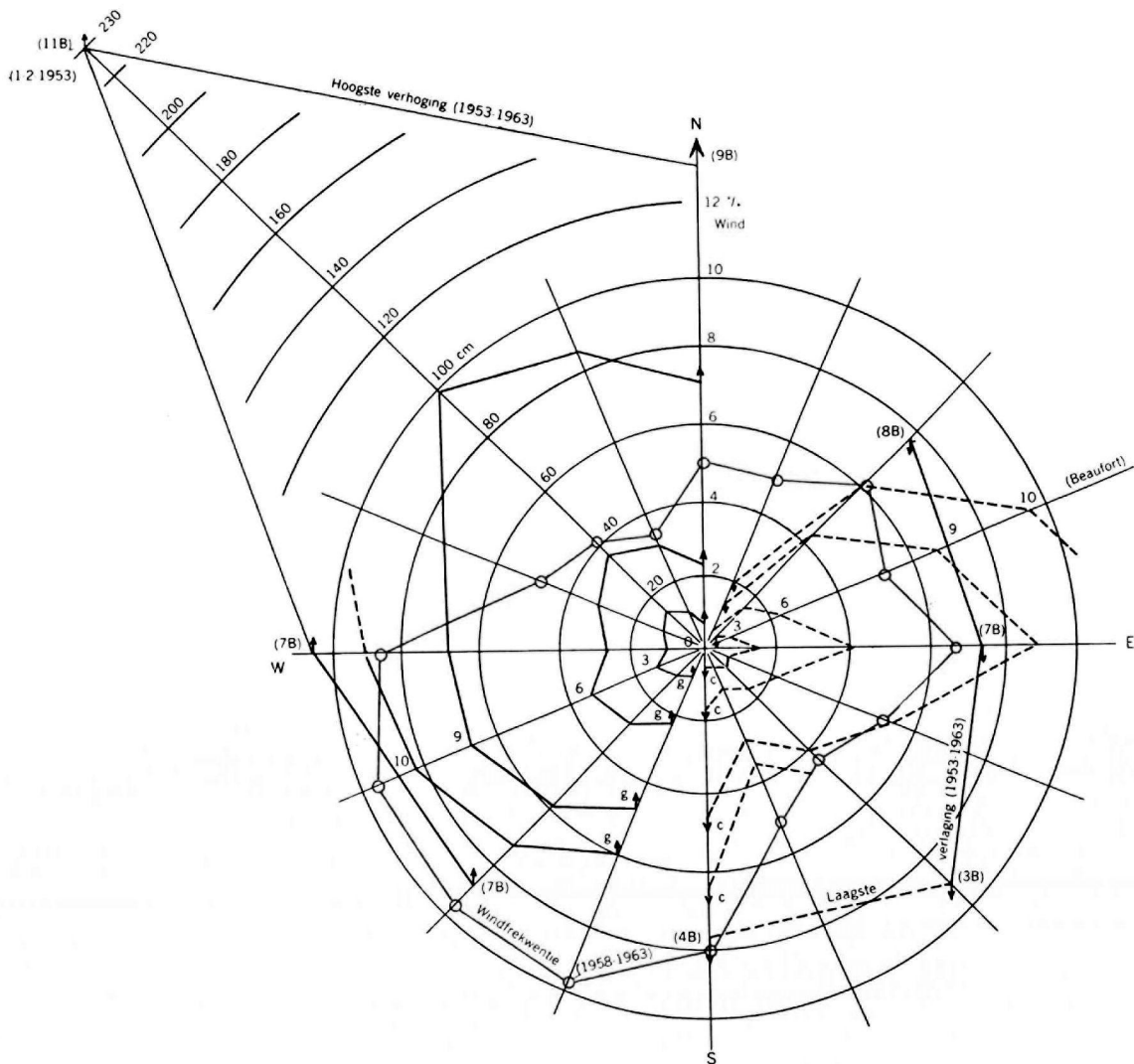
Figuur 4, illustreert de samenhang van de gezamenlijke invloed van wind en luchtdruk op het zeeniveau. Zij toont de werkelijk waargenomen maximum verhogingen en verlagingen aan, over de jaren 1953-1963, evenals een geheel van kurven die de gemiddelde waarden van de uitwerking van de wind, voor snelheden van 3, 6, 9 en 10 Beaufort, over de waarnemingsperiode 1929-1939 weergeven.

Tenslotte geeft een derde beeld, dat boven de twee vorigen is gesteld, de windfrequentie te Oostende voor de periode 1958-1963.

Er dient hier opgemerkt dat tengevolge van de inertie die zich tegen de inwerking van de wind verzet, het regiem dat eigen is aan het golfsysteem (of dat van de deining) dat samengaat met de evolutie van een bepaalde atmosferische storing, slechts geleidelijk wordt gevormd.

Hetzelfde geldt voor het terug tot rust komen van de zee.

WINDEFFEKT OP DE ZEESTAND TE OOSTENDE
(barometrisch effect inbegrepen).



De kurven g en c hebben betrekking op gemiddelde waarden, waargenomen tijdens 1929-1939, met winden van 3, 6, 9 en 10 Beaufort.

Fig. 4.

d) Bepaling van de stormtij.

De nomenclatuur der stormtij die vroeger niet uniform was, is thans vastgelegd en beantwoordt aan de hierna vermelde preciese criteria :

Stormtij.

- Te Oostende — men noemt ze hier « Hoge tij » zohaast het zeeniveau het alarmpeil bereikt : nul Z + 5,50 m (of nul H + 5,78 m).
Huidige frequentie : 11 gevallen in 10 jaar.
- Te Vlissingen — zohaast het alarmpeil bereikt : nul N.A.P. + 3,10 m (of nul K.D.K. + 5,50 m) (*).
Huidige frequentie : 12 gevallen in 10 jaar.
- Te Antwerpen : zohaast het peil volgende cota bereikt : nul K.D.K. + 6,50 m.
Huidige frequentie : 7 gevallen in 10 jaar.

Uitzonderlijk stormtij.

- Te Oostende — « Gevaarlijk stormtij » genoemd zohaast volgende hoogte wordt bereikt : nul Z + 5,75 m (nul H + 6,03 m) :
Huidige frequentie : 2 maal in 10 jaar.
- Te Vlissingen, vanaf cota : nul N.A.P. + 3,50 m (nul K.D.K. + 5,90 m).
Huidige frequentie : 1 geval in 10 jaar.
- Te Antwerpen, « buitengewone stormvloed » genoemd, vanaf cota : nul K.D.K. + 7,00 m.
Huidige frequentie : 2 maal in 10 jaar.

e) Vervorming van de golven (baren) op de ondiepten bij de Kust. — Breken.

Wanneer de golven ondiepe oevers naderen, wordt hun structuur grondig gewijzigd, alhoewel hun periodiciteit omzeggens gelijk blijft.

Hun snelheid en hun lengte verminderen, maar hun amplitude neemt geleidelijk toe en wanneer het tekort aan diepte het golfdal te zeer afremt, breekt de golf en veroorzaakt vooral bij aanhoudende krachtige inwerking van de wind, een translatiegolf, die zich met geweld op de verdedigingswerken langs de oever (dijken) werpt.

Het komt voor en dan gewoonlijk onmiddellijk na de schok, dat door de wisselwerking tussen de teruggekaatste golven en deze die er op volgen een woeling ontstaat, die onder invloed van de windstoten die eigen zijn aan stormwinden, belangrijke watermassa's over de dijken werpt. De kadans hiervan is soms zeer verontrustend (alle 5 à 10 sec).

Men voelt aan dat het geweld van deze verschijnselen het langs de kust zeer moeilijk maakt, de hoogte van de eigenlijke windgolven te bepalen.

Daarenboven kunnen de maregrafen, die het verschijnsel moeten registreren, doch die noodzakelijk op een welbeschutte plaats in de voorhaven worden opgesteld, niet altijd een trouw beeld hiervan geven.

f) Frekwentie van stormvloed.

Wat de frekwentie in het voorkomen van dergelijke buitengewone stormen betreft, deze is eerder zwak, gezien in de periode van 1901-1963 slechts acht van deze stormen werden waargenomen. Zij vielen allen tijdens de wintermaanden, tussen november en april.

De zware NO tot ZO stormen (anticyclonen) doen zich rond hetzelfde tijdstip voor, maar hun frekwentie ligt nog lager. Ze worden minder gevreesd, omdat onze kust in dat geval onder de wind ligt en het zeepeil tengevolge van deze winden daalt.

(*) K.D.K. = Krijgsdepot Kattendijk (cf. VII, 1.)

Niettemin kunnen deze winden door het verminderen der diepten ernstige moeilijkheden voor de scheepvaart veroorzaken, vooral bij laagwater en op die plaatsen in de vaarwaters, die normaal al weinig diep zijn (drempels).

We merken verder op dat de zee onder invloed van en sterke deining merkelijk kan verhogen, zelfs bij betrekkelijk kalm weer.

Dit geval kan zich voordoen bij zware storm in het Noorden, over het algemeen tussen Schotland en Noorwegen, waarbij de orkaandeining zich naar het Zuiden uitstrekt en op onze kusten komt breken.

g) **Storing in de voorspelde uurrooster.**

Het is klaar dat de inwerking van deze cyclonale en anticyclonale winden, de gegevens der voorspellingen volledig kan storen. Het is dan ook niet zeldzaam een vervroeging (W- tot N-wind) of een vertraging (O-wind) van ongeveer een uur in het tijdstip van het hoogwater (laagwater) vast te stellen.

h) **Organisatie van de stormwaarschuwingsdienst.**

Buiten onze diensten die toezicht houden en die de belanghebbende instanties moeten verwittigen, bij dreigend stormtij, bestaat er in Nederland sedert 1959 een bijzondere stormwaarschuwingsdienst, de S.V.S.D. (*Storm Waarschuwingsdienst*). Deze hangt af van de Rijkswaterstaat en werkt samen met de Dienst der Waterstandsverwachting die gespecialiseerd is in de voorspelling der kritieke waterstanden. Deze dienst hangt af van het K.N.M.I. (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*) in De Bilt.

De S.V.S.D. alarmeert onmiddellijk telegrafisch de betrokken Belgische diensten (Hydrografische dienst der Kust en Antwerpse Zeediensten), zohaast de waarschijnlijkheid van de eerste stormcota zich duidelijk aftekent.

2. Stormtijden in de Schelde.

a) **Bijzondere kenmerken.**

De getijgolf die de Schelde binnendringt vertoont in de zone van het estuarium een normaal of abnormaal beeld, al naargelang de zee waarin ze haar oorsprong vindt, kalm of woelig is.

Op de rivier, evenals in de zee, worden de gevolgen hiervan gekenmerkt door opwaaiingen of verlagingen. Deze zijn het gevolg van cyclonale invloeden, al naar het geval, « stormtij » of « buitengewoon stormtij » genoemd. Wij gaven hiervan reeds een bepaling (cf. IV, 1, d).

De WNW-richting, waarin het Schelde-estuarium gelegen is, bevordert zowel het instandhouden van hoge waterstanden bij W- en NW-wind, maar ook van lage peilen bij O-wind.

Daarentegen wordt het geweld van de deining gelukkig vrij spoedig gebroken na het binnendringen in de rivier.

De stormtijden die samenvallen met de syzygie zijn altijd het gevaarlijkst (overstromingen, dijkbreuken, vernietiging van beschermende kunstwerken en van de bebakening, losrukken en afdrijven van boeien onder invloed van de sterke stroming). De statistieken leren ons dat het in het verleden ook over het algemeen zo is geweest, 't te zeggen dat op enkele zeldzame uitzonderingen na de zware stormtijden plaats vonden rond de periode van volle of nieuwe maan.

b) **Frekwentie.**

De hiernavolgende tabel toont daarenboven aan dat de zwaarste stormtijden, gedurende de periode 1825-1965 uitsluitend voorkwamen in het semester : november-april.

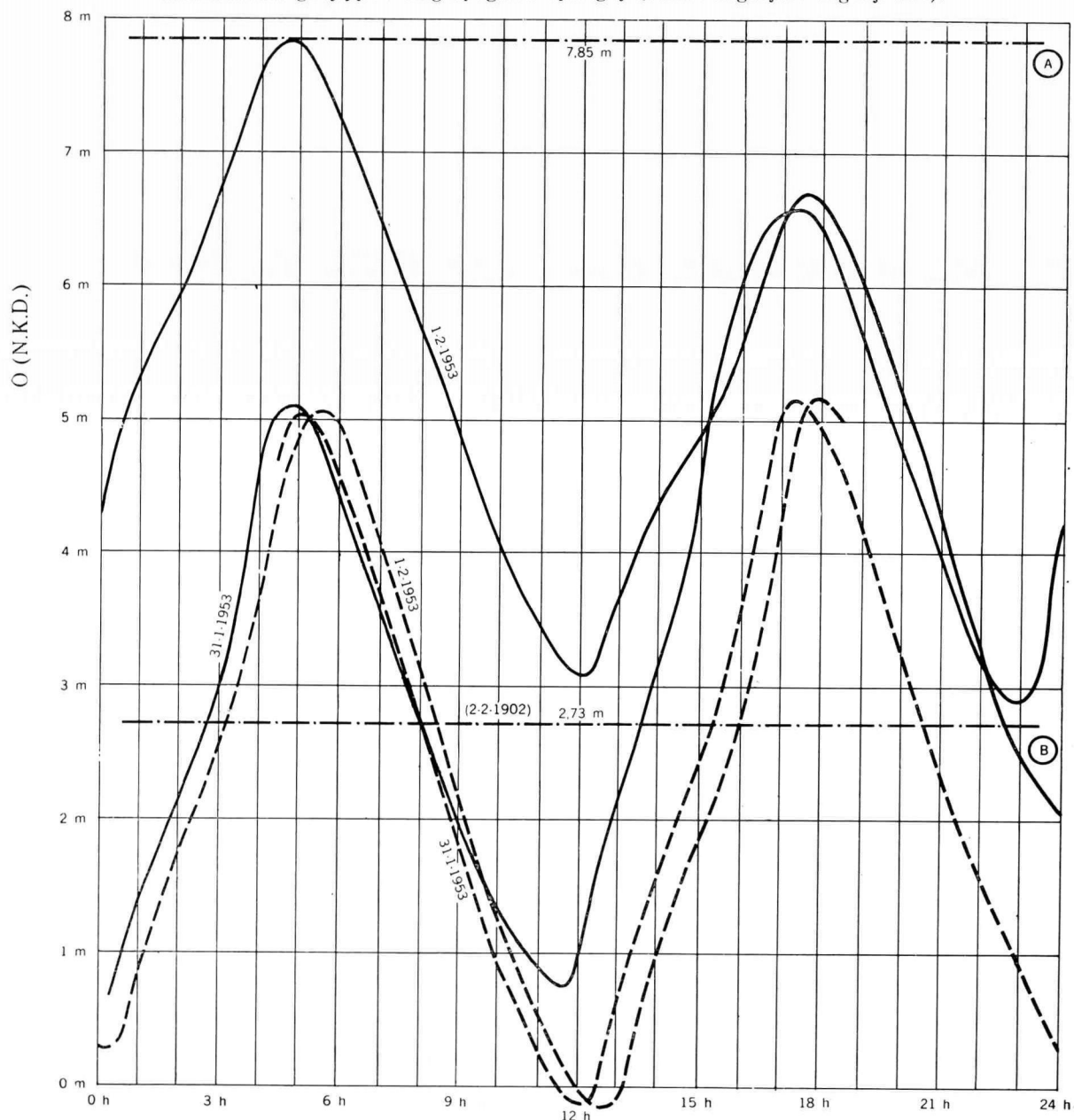
BUITENGEWONE STORMVLOED - 1 FEBRUARI 1953 - TE ANTWERPEN.

Volle maan 30 januari
 Apogeum van de maan 1 februari
 Maandeclinatie 8° 00'
 Zondeclinatie — 17° 15'
 Cycloon. Wind : WNW. Stoten ca 100 km-h.

Uiterste waterhoogten van de stormvloedperiode.

	<i>voorspeld</i>	<i>waargenomen</i>	Δ
Laagwater . . .	0,27 m	2,90 m	2,63 m
Hoogwater . . .	5,06	7,85	2,79
Laagwater . . .	— 0,15	3,08	3,23

Astronomisch getijtype : laag apogeum springtij (kleine dagelijkse ongelijkheid).



Verloop van het stormvloedhoogwater.

— Waargenomen.	Zandvliet	7,86 m
- - - Voorspeld.	Boudewijnsluis	8,02
(A) - - - Hoogst bekend hoog water.	Hemiksem	7,48
(B) - - - Laagst bekend hoogwater.	Temse	7,30
	Dendermonde	6,83
	Gentbrugge	6,42

Fig. 5.

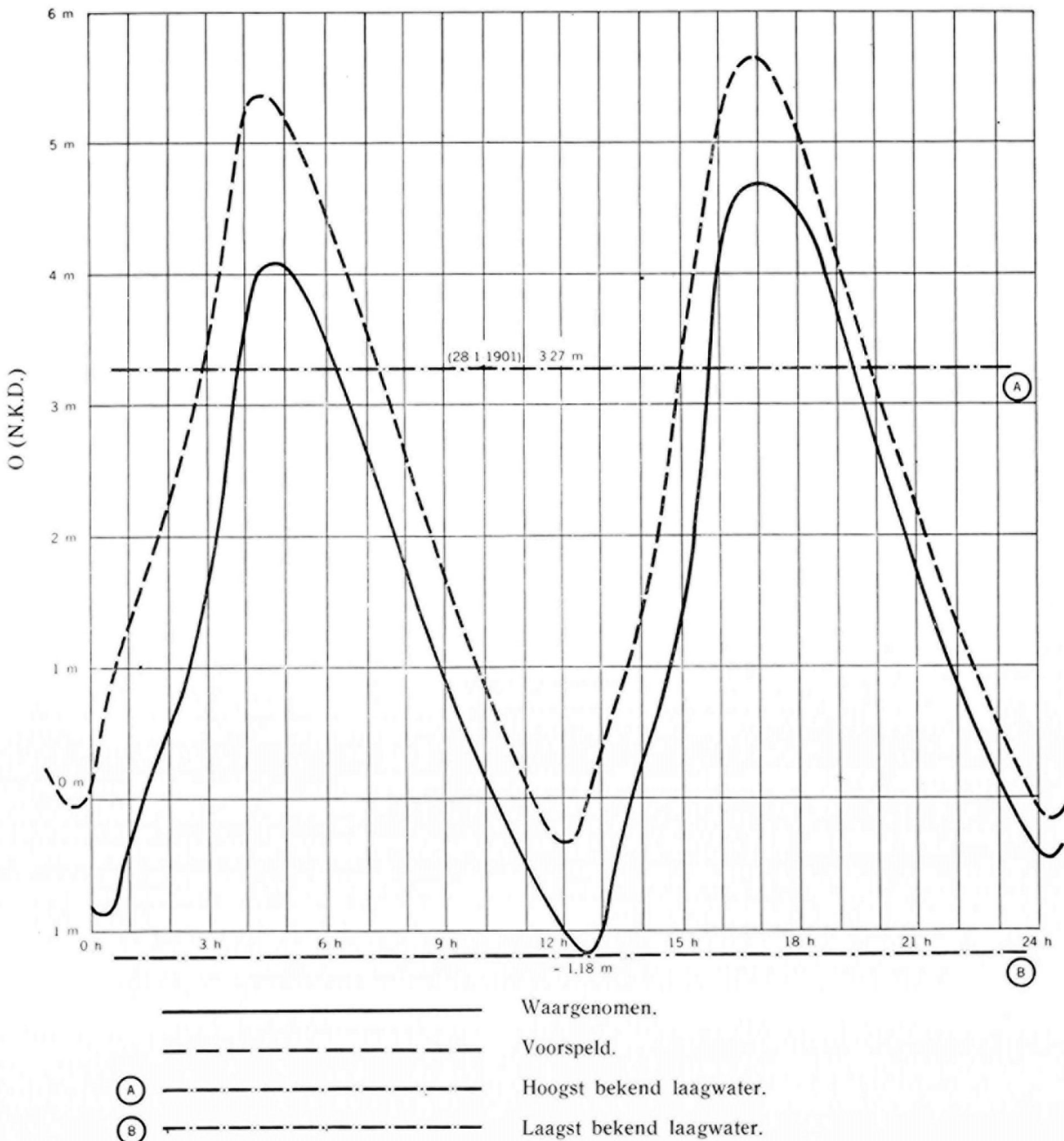
BUITENGEWOON LAAGTIJ - 15 MAART 1964.

Nieuwe maan 14 maart
 Maanperigeum 17 maart
 Maandclinatie $-2^{\circ} 05'$
 Zondeclinatie $-2^{\circ} 12'$
 Anticycloon. Wind : ONO. Stoten 50 km-h.

Uiterste tijhoogten.

	<i>voorspeld</i>	<i>waargenomen</i>	$ \Delta $
Laagwater . . .	- 0,06 m	- 0,90 m	0,84 m
Hoogwater . . .	5,39	4,11	1,28
Laagwater . . .	- 0,34	- 1,18	0,84 *
Hoogwater . . .	5,66	4,70	0,96
Laagwater . . .	- 0,19	- 0,48	0,29

A N T W E R P E N



* De 31-1-1956, laagwater = - 1.17 m en $|\Delta| = 0,93$ m.

Fig. 6.

Einde november en einde januari zijn het meest te duchten. Deze twee perioden vertonen de hoogste frekwentie aan stormtijden.

Onze oudste aantekeningen over de getijden zijn minder dan honderd jaar oud. Kunnen wij moeilijk preciese gegevens aanhalen over vroeger voorgekomen gevallen, dan hebben wij toch twee waterstanden, die nauwkeurig gekend zijn, omdat ze ingebeiteld werden in de natuurstenen sluismuur aan de Noordzijde van de Bonapartesluis te Antwerpen. Deze twee stormtijden hadden plaats op 4 februari 1825 en 31 januari 1877. De opgetekende waterstanden zijn herleid tot het nulvlak van het Krijgsdepot Kattendijk.

Anderzijds vermeldt het basisdocument, het verslag van de Nederlandse Rijkswaterstaat over de stormvloed van 1 februari 1953, dat in 1961 werd gepubliceerd, drie data betreffende zware stormtijden die te Vlissingen werden opgetekend : 20.12.1862 - 22-23.12.1894 - 29.11.1897. Bij correlatie moeten deze getijden ook te Antwerpen zeer hoge waterstanden hebben veroorzaakt.

Deze waarden werden ingelast in onderstaande tabel van de zwaarste stormtijden die te Antwerpen werden waargenomen tussen 1825 en 1965.

<i>Datum</i>	<i>Hoogte (N.K.D.)</i>	<i>Atmosferische omstandigheden</i>
4 februari 1825	6,92 m	<p>Allen werden ze, zonder uitzondering, gekenmerkt door een zeer krachtige depressie variërend van 960 tot 985 mb afkomstig van het Noorden van de Atlantische Oceaan, en die over Schotland in de richting van de Baltische Zee trok, na over Denemarken te zijn gegaan. Alleen de zwaarste ging recht op Nederland toe.</p> <p>De synoptische weerkaarten over de luchtdruk, duiden omzeggens allen op het bestaan van de gevaarlijke cycloon, soms zelfs 48 u. voor deze het vasteland bereikte. In de Scheldemonding, op het hoogtepunt van deze zware stormen, blies de W- tot NW-wind met stoten waarin de snelheid rond 100 km-h lag.</p>
20 december 1862	6,86 m ± 0,20	
31 januari 1877	7,12 m	
22/23 december 1894	6,99 m ± 0,20	
29 november 1897	7,07 m ± 0,20	
12 maart 1906	7,15 m	
13 januari 1916	7,02 m	
26 november 1928	7,15 m	
23 november 1930	7,30 m	
2 april 1943	7,03 m	
1 maart 1949	7,08 m	
1 februari 1953	7,85 m	
23 december 1954	7,11 m	
21 maart 1961	6,97 m	
10 december 1965	6,99 m	

In figuren 5 en 6 vinden we de maregrammen van de uiterste getijden die te Antwerpen werden opgetekend op 1.2.1953 en 15.3.1964 en die enerzijds het hoogste hoogwater, anderzijds het laagste laagwater dat tot 1965 bekend is, hebben veroorzaakt. Deze maregrammen worden hier samen met de voorspelde getijkrommen weergegeven, 't is te zeggen in hun normaal verloop, om aan te tonen hoe de verschillen in de waterstanden zich hebben vertoond.

V. — ZOUTGEHALTE, TEMPERATUUR EN DENSITEIT VAN DE WATEREN IN DE NOORDZEE EN DE ZEESCHELDE.

1. Zoutgehalte in de Noordzee.

In de Noordzee is het zoutgehalte afhankelijk van de plaats, het ogenblik en de kracht van het getij. Ook spelen de seizoenen hierbij een rol. Deze factoren hebben in het betrekkelijk

stabiele middengedeelte weinig te betekenen, maar naarmate men de oever nadert, werken zij meer door.

Verder onthult de dagelijkse saliniteitskurve de halfdaagse aard van het zoutgetij, waarvan het maximum en het minimum meestal vallen rond de kentering van eb en vloed, met amplituden die gevoelig toenemen naarmate men de rivierzones of deze die er de invloed van ondergaan, nadert.

Het gaat hier om het totale zoutgehalte, som van alle zouten, zoals *Knudsen* dit heeft bepaald.

Langs de kust ondergaat ze de invloed van de aanvoer van zoet- of brakwater van fluviale oorsprong. Het belang van deze aanvoer varieert naargelang het seizoen en kan aanzienlijk zijn.

De vloed- en ebstroom bevorderen de diffusie- en mengverschijnselen en verplaatsen onophoudelijk massa's water. Op die wijze wordt bij vloed in het Zuid-Westen een sterke indringing van water uit het kanaal waargenomen, waar het zoutgehalte over het algemeen hoger ligt, met maxima die tot 36 ‰ en meer belopen.

Ter illustratie mogen wij hierbij de waarnemingen vermelden, die op het lichtschip « West Hinder » werden uitgevoerd. Dit lichtschip bevindt zich ter hoogte van Oostende op een twintigtal mijl in zee.

Voor de perioden 1902-1914, belooft het gemiddeld zoutgehalte 34,33 ‰, het absoluut maximum 35,20 ‰ en het absoluut minimum 32,86 ‰ (*fig. 7*). Voor het tijdperk 1950-1955, belooft dit gemiddeld 34,25 ‰, het absoluut maximum 35,35 ‰ en het absoluut minimum 31,82 ‰.

De amplitude van het zoutgetij is er zeer zwak, ongeveer 0,5 ‰.

Ook het verschil tussen het zoutgehalte aan de oppervlakte en op de bodem is over het algemeen zeer zwak, namelijk lager dan 0,5 ‰.

De volgende tabel geeft zekere, van de doorlopende waarnemingen van het zoutgehalte, die in 1961 werden uitgevoerd door de Belgische Zeemacht, in onze kustwateren in een vastere vorm weer. Het gaat hier om waarnemingen die over een volledige getijperiode lopen.

ZOUTGEHALTE ‰ (gr-l).

Waarnemingsplaatsen	Datum	Tij	Maximum zoutgehalte in gram per liter	Fase	Minimum zoutgehalte in gram per liter	Fase	Amplitude zoutgehalte in gram per liter
Bij lichtschip « Wandelaar »	1961 24.25/7	Gem. tij	‰ 31,90	vloed	‰ 30,10	eb	‰ 0,80
Wielingen	15.16/3	Springtij	30,70	»	28,80	»	1,90
West-Diep	11.12/7	Gem. tij	33,90	»	32,70	»	1,20
Oostende	16.17/3	Springtij	33,00	»	29,30	»	3,70
Nieuwpoort	24.25/8	Springtij	34,70	»	34,40	»	0,30

Bij gelijke tij beschouwd, zijn deze enkele, alhoewel op zich zelf staande vloedwaarden belangwekkend, omdat ze toelaten het belang van de aanvoer uit het kanaal te bevroeden, waar, zoals werd aangetoond het zoutgehalte hoger ligt dan in de Noordzee. Langsheen de kust, ten oosten van Nieuwpoort, ondergaan de afwijkingen van de amplitude, zoals men er zich mocht van verwachten, de zeer afgetekende invloed van het aangebracht zoetwater dat deze zone kenmerkt.

ZOUTGEHALTE VAN HET ZEEWATER 1902-1914.

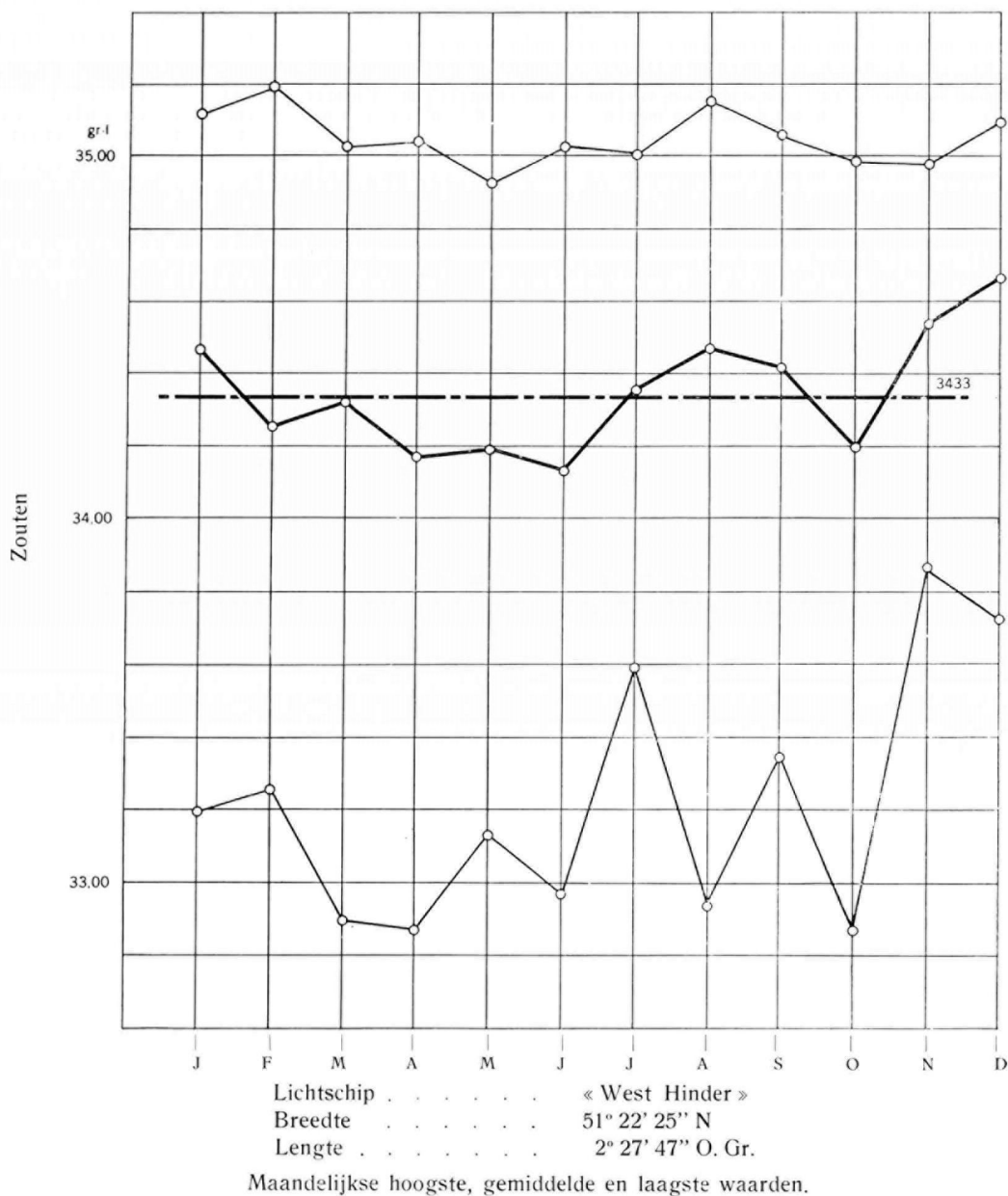


Fig. 7.

2. Zoutgehalte van het Scheldewater.

a) Kenmerken. — Chloorgehalte.

Het water van een tijrivier is in haar maritiem gedeelte, zout in het afwaartse vak, brak in het opwaarts gedeelte, door de menging van het zoute vloedwater met het zoete bovenwater.

Het zoutgehalte vermindert regelmatig opwaarts toe, om geheel te verdwijnen zoals in de Schelde (cf. grafiek over het Chloorgehalte op plaat 18^B).

Op dit ogenblik gebruiken de Antwerpse Zeediensten drie zoutmeters, die de geleidbaarheid van het Scheldewater meten, namelijk te Antwerpen, Liefkenshoek en Zandvliet. De gegevens van deze metingen, gecontroleerd volgens de methode van Mohr geven volledige voldoening (mits zekere onontbeerlijke voorzorgen die noodzakelijk zijn tengevolge van de grote troebelheid van het water).

Wij weten, sedert de studies van de oceanograaf *Knudsen*, dat de zouten die het zeewater bevat een vrij constante verhouding vertonen. Deze eigenschap is ook van toepassing voor het maritieme gedeelte van de Schelde. Hieruit volgt dat men om het volledig zoutgehalte te kennen slechts één element moet gedoseerd worden. Dit element is gewoonlijk chloor, waarvan men het gehalte door titrering, volgens de methode van Mohr bepaalt.

Het chloorgehalte wordt uitgedrukt in mgr per liter of beter nog in millivalenties, waarbij 1 millivalentie = 35,5 mg chloor per liter.

Het gemiddeld zoutgehalte van de Noordzee langs onze kust bedraagt 34,33 ‰, 't is te zeggen 34,33 gram per liter. Aan de hand van de formule van het totale zoutgehalte van *Knudsen* $S‰ = 1,805 \text{ Cl}^- + 0,03$ vinden wij een chloorgehalte van 19 gram per liter of 535 millivalenties.

Wanneer we het chloor in millivalenties (mv) uitdrukken, wordt de formule als volgt : $\text{Cl (mv)} = 28,168 \text{ Cl (gr-l)}$.

Het is niet doenlijk hier een historiek te geven van de verschillende stadia van het onderzoek van het zoutgehalte in het Scheldebekken.

De opzoekingen vóór 1940 lagen verspreid, werden sporadisch uitgevoerd en de documentatie ging ongelukkig genoeg voor het grootste deel verloren tijdens de vijandelijkheden.

In 1944 werd een programma uitgewerkt, dat de voornaamste bewerkingen vastlegde die nodig waren voor de beoogde studies. Slechts in 1948 kon met stelselmatige werkzaamheden, monsternamen, metingen en ontleding begonnen worden. Dit leidde rond einde 1957 tot een betrekkelijk uitgebreide kennis van de wezenlijke kenmerken der belangrijkste factoren, zoals chloorgehalte, temperatuur, densiteit, evenals tot vruchtbare opzoekingen in verband met de functionele correlatie tussen chloorgehalte en bovendebiet.

b) Afwijkingen in het plaatselijk chloorgehalte.

Zoals te verwachten was, stelde men reeds van bij de aanvang vast, dat het chloorgehalte in een bepaald punt in de eerste plaats samenhang met het plaatselijk getij en dat zijn sinusoïdale curve een maximum aangaf bij kentering van vloed en een minimum bij ebkentering.

Het chloorgehalte hangt af van de graad van menging van het water, afhankelijk van het bovendebiet en wisselt volgens de hydrologische en klimatologische omstandigheden van het jaargetijde (afstroming - regenheerslag).

Alhoewel men hierbij eenzelfde geometrisch verloop vaststelt, kunnen er toch zeer complexe wijzigingen worden vastgesteld. Hier willen we aanknopen met de amplitudeverschillen, die erin gelukken de curve volledig af te platten bij sterke bovenwas (gewoonlijk januari, februari en maart). Deze wordt dan herleid tot een horizontale, waarvan het peil te Antwerpen nooit beneden 4 millivalenties gedaald is. De tijgrafiek op plaat 18^B geeft een beeld van de evolutie in het plaatselijk zoutgehalte tijdens een periode van gemiddeld getij.

c) Seizoenschommeling in het chloorgehalte.

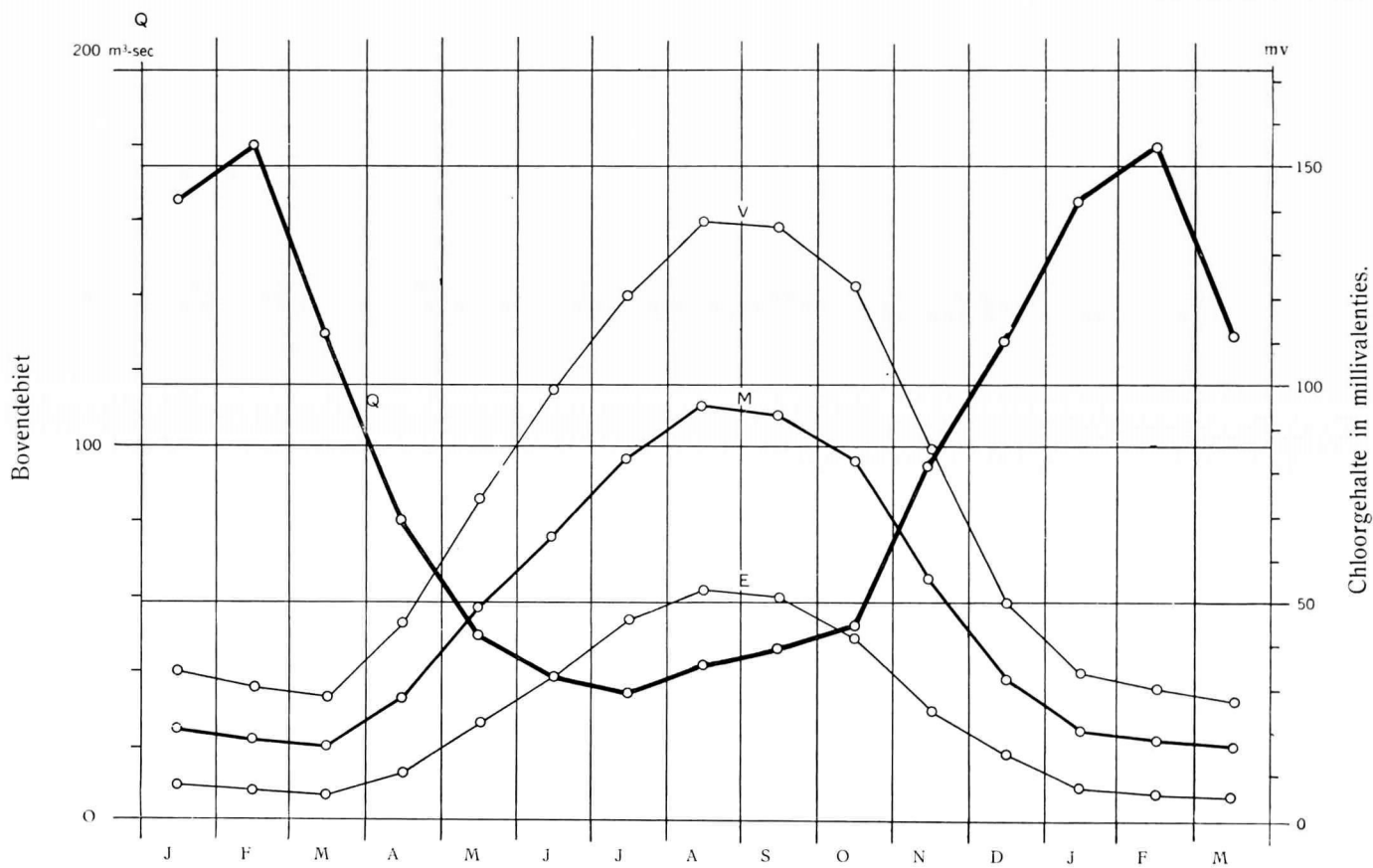
Het staat vast dat de aanvoer van zoetwater uit het stroomgebied een overheersende rol speelt bij de schommeling in het chloorgehalte en om zich hiervan te overtuigen volstaat het figuur 8 na te slaan. Hierin ziet men inderdaad hoe sterk het chloorgehalte wordt beïnvloed door het bovendebiet.

Het gaat hier om een samenhang, waarvan de functionele eigenschappen het best worden geïllustreerd door figuur 9. Alhoewel het hier slechts om een ruwe schets gaat wordt de werkelijkheid van de verhouding : bovendebiet = functie van het chloorgehalte hier diudelijk aangetoond.

d) Voortplanting van de golf van het zoutgehalte.

Deze voortplanting komt scherp naar voor in de grafiek over dit onderwerp (plaat 18^B). Ze is de weergave van wekelijkse waarnemingen gedurende het ganse jaar 1950 uitgevoerd.

ANTWERPEN.
GEMIDDEL CHLOORGEHALTE EN BOVENDEBIET 1949-1957.



Gemiddeld chloorgehalte { V : bij vloedkentering.
E : bij ebkentering.
Q : bovendebiet.
$$M = \frac{V + E}{2}$$

Fig. 8.

VERBAND TUSSEN CHLOORGEHALTE EN BOVENDEBIET

Antwerpen
Jaargemiddelden (1949-1957).

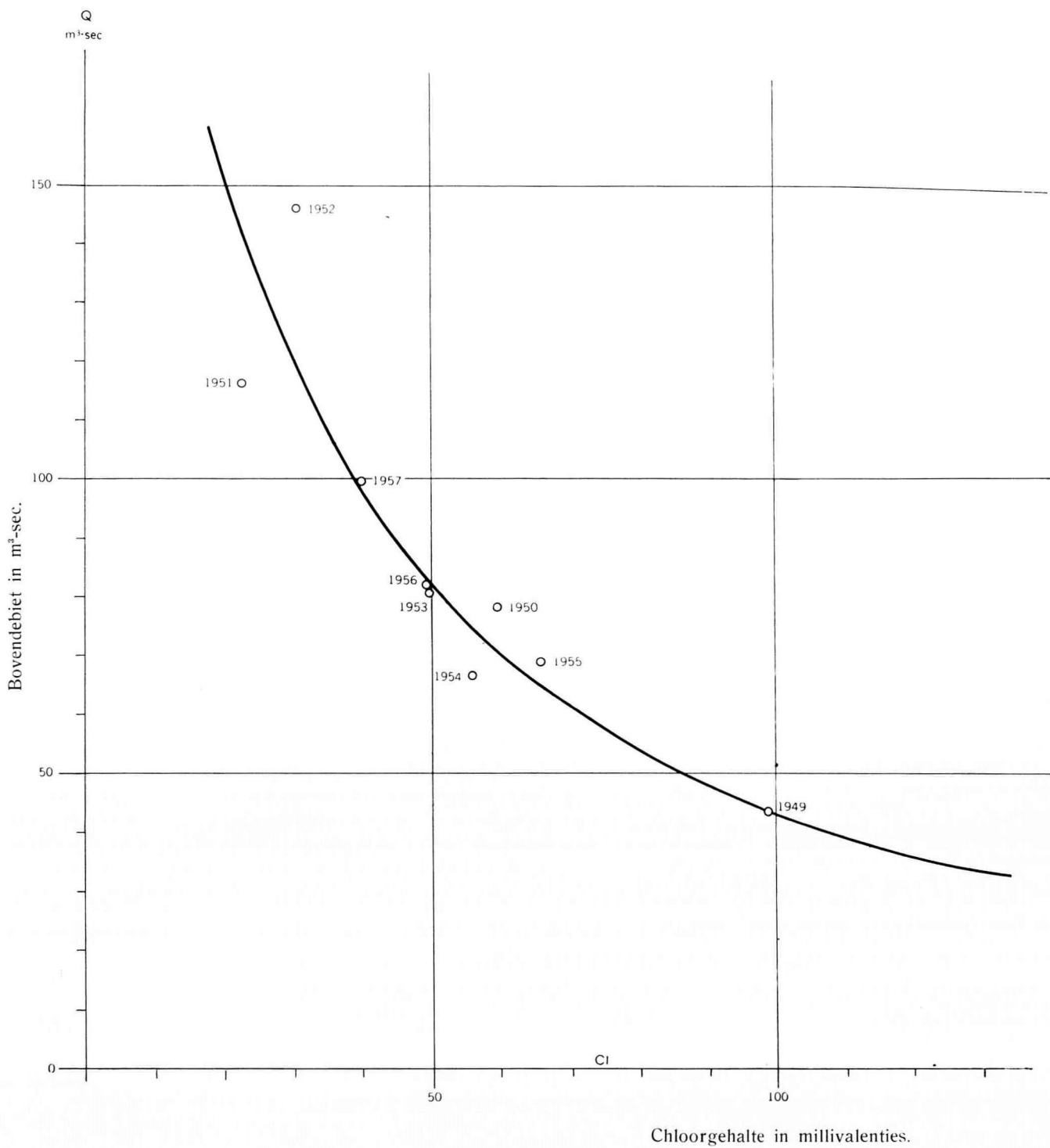


Fig. 9.

De omhullende kurven van deze grafiek, die respectievelijk de plaatsen der maxima (vloedkentering) en minima aangeven (ebkentering), vertonen een uitbreiding (Δ maximum \approx 100 millivalenties) die in de streek van Doel is gelegen, maar die zich onder invloed van het bovendebiet kan verplaatsen : opwaarts bij lage waterstanden, afwaarts bij bovenwas.

3. **Temperatuur van de Noordzee.**

Bij het nagaan van de kurven van de figuur 10, wordt men verrast door de seizoensmatige thermische stabiliteit die het zeewater vertoont.

Wanneer men de kust- en rivierzones uitschakelt, waar de temperaturen bestendig worden beïnvloed door deze van het binnenwater of de ondiepe oevers (stranden) stelt men vast dat in de diepe zee een vrij regelmatig thermisch verloop kent.

Het onderzoek van bovenvernoemde kurven toont aan dat de gemiddelde temperatuur jaarlijks tussen haar uiterste waarden een verhoging van 11,6° C vertoont. De uiterste waarden, zoals ten andere ook de maxima verschillen met de gemiddelde waarde, komen allen voor in de maanden februari en augustus. De maand juni blijft het meest evenwichtig met een spreiding van minder dan 1° C.

Door haar hoge warmtecapaciteit of soortelijke warmte (0,95), varieert de dagelijkse temperatuur van het zeewater zeer weinig, zodanig dat de amplitude bijna niet merkbaar is en zelden 0,5° C overschrijdt.

De verschillen in de waargenomen temperatuur op de bodem en deze aan de oppervlakte, zijn steeds zeer zwak, over het algemeen lager dan 0,5° C (minder op de bodem).

4. **Temperatuur van het Scheldewater te Antwerpen.**

De temperatuur wordt regelmatig te Antwerpen gemeten. Vanaf 1949 rechtstreeks door indompeling van de thermometer, sedert 1953 door optekening bij middel van een registrerende thermometer met verzadigde gasdruk en een apparaat met thermo-electrische koppel.

De metingen zijn van toepassing voor diepten die gaan van de oppervlakte (0,50 m onder de oppervlakte bij rechtstreekse meting), tot 0,50 m onder het peil van de laagste gekende laagwaters (op — 1,70 m vanwege het verplichte onderdompelingspeil, waarop de cellen van het meettoestel, vanwege het getij dienen aangebracht).

Talrijke op hetzelfde ogenblik uitgevoerde metingen, over de ganse verticale in meerdere punten, hebben aangetoond dat de schommelingen in de diepte niet voelbaar zijn. Zodoende mogen de hierboven vermelde metingen als een homogeen geheel uitmakend, worden beschouwd.

a) **Halfdaagse temperatuurvariatie.**

De registratie van de temperatuur brengt een halfdaagse variatie aan het licht. De amplitude ervan staat in functie tot het verschil in temperatuur tussen het zeewater en het water van het stroomgebied. Dit verschil is afhankelijk van het seizoen; bovendien stelt men vast dat de temperatuur van het vloedwater, tijdens de maanden van oktober tot april, over het algemeen hoger ligt dan deze van het ebwater. Tijdens de zomer is dit net andersom en overtreft de temperatuur van het ebwater deze van de vloed.

De uiterste waarden worden bij kentering gemeten (zoals voor het zoutgehalte) en de grootste halfdaagse amplituden die te Antwerpen werden opgetekend liggen rond 2,5° C (dikwijls in april).

b) **Seizoenvariatie.**

Bij nazicht van de gemiddelde en uiterste waarden te Antwerpen tijdens de tienjarige periode 1954-1963 (*fig. 11*) gemeten, valt het dadelijk op dat er een analogie bestaat tussen deze variaties en deze van de Noordzee (*fig. 10*).

TEMPERATUUR VAN HET ZEEWATER, WAARGENOMEN AAN BOORD
VAN HET LICHTSCHIP « WEST HINDER », GEDURENDE DE PERIODE 1902-1914.

Breedte 51° 22' 25" N.
Lengte 2° 27' 47" O. Gr.

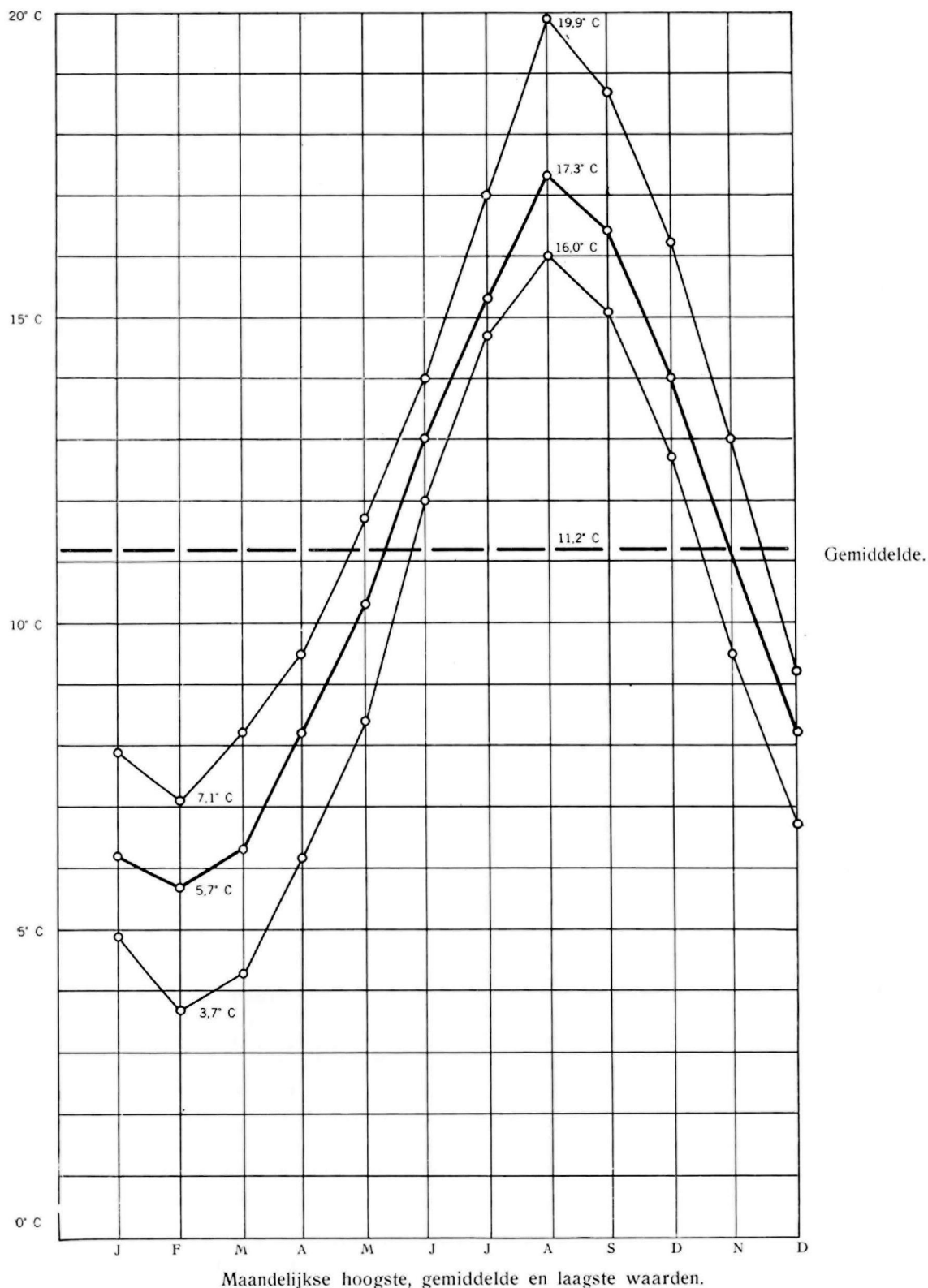


Fig. 10.

SCHELDEWATER EN LUCHTTEMPERATUUR.
 Maandelijkse waarden : uitersten en gemiddelden.
 Antwerpen
 1954-1963

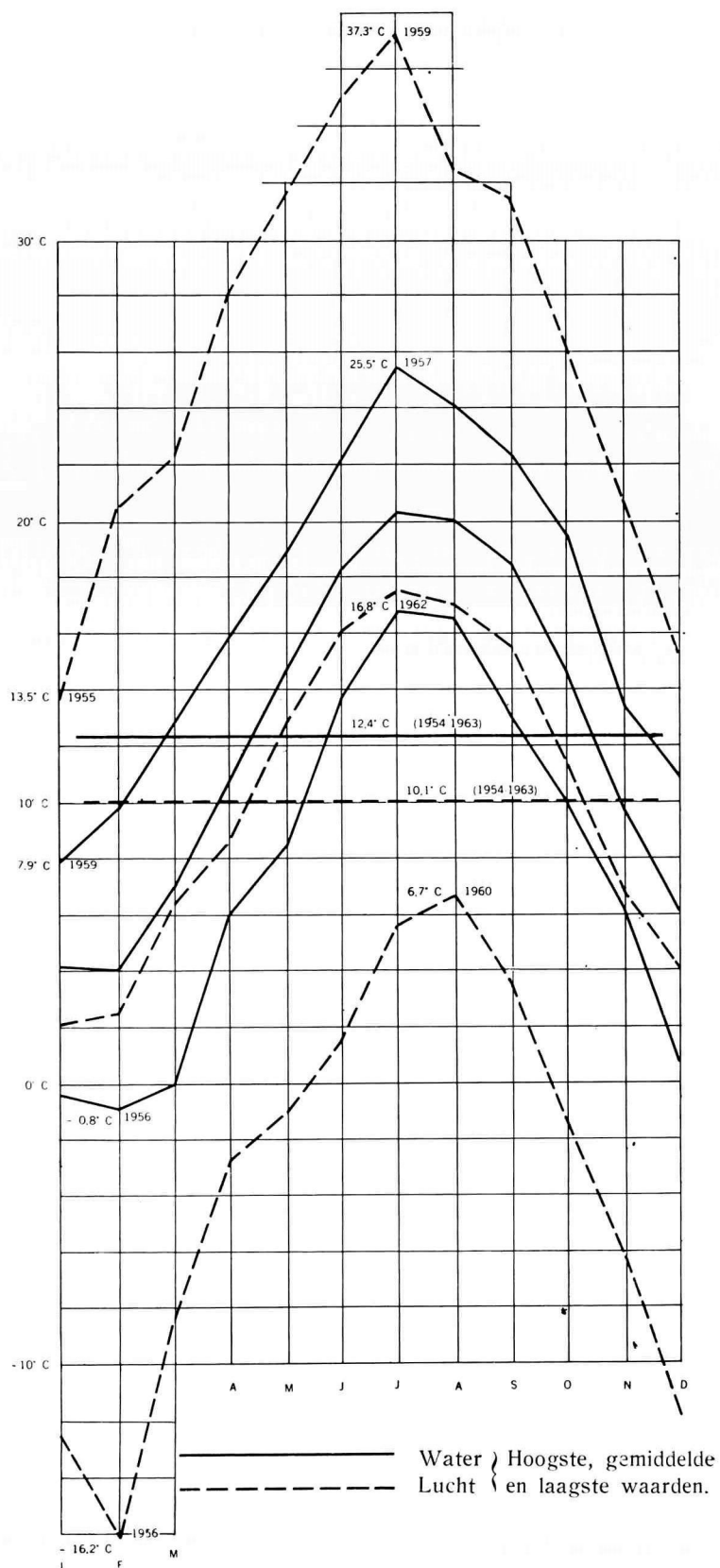


Fig. 11.

De uiterste waarden voor de rivier vertonen echter een sterkere thermische amplitude. Dit is zeker niet verwonderlijk, gezien het bovendebiet wordt gevormd door afvloeiing over gronden die zeer gevoelig zijn aan de temperatuurverschillen van de lucht. De amplitude is hier natuurlijk nog veel groter.

Deze kurven tonen duidelijk de correlatie aan tussen de drie elementen : lucht - zeewater (vloed) - bovendebieten (die afvloeien bij eb).

Ondanks enkele zeer kleine verschillen in de tijd voor de maximumwaarden, zijn de kurven merkwaardigerwijze gelijk van vorm.

Daarenboven beïnvloeden de grote verschillen in de luchttemperatuur (waarvan de gemiddelde tienjaarlijkse amplitude $0,9^{\circ}\text{C}$ lager ligt dan deze van het water) die een amplitude van $53,5^{\circ}\text{C}$ bereikt, slechts zeer matig en langzaam de temperatuur van de watermassa van de rivier. De amplitude die te Antwerpen slechts $26,3^{\circ}\text{C}$ bedraagt (en in zee zeker nog minder) geeft dit wel duidelijk weer.

Het mechanisme van deze verschijnselen is te verklaren door de grote verschillen in specifieke warmte tussen lucht (0,24), zeewater (0,95), rivierwater dat brak is (0,97) en de bodem (0,40). Hieruit vloeit, in algemene zin gezien, voort dat het rivierwater gemiddeld warmer is dan de lucht, alhoewel het in de winter kouder en in de zomer warmer is dan het zeewater.

De vergelijking tussen de tienjaarlijkse gemiddelde waarden voor het Noordzee- en rivierwater is belangwekkend, niettegenstaande het feit dat onze gegevens voor beide niet volledig samenvallen in tijd.

Ze laten toe bij te voegen dat de gemiddelde temperatuur van het water langs de kust ($11,2^{\circ}\text{C}$) lichtjes lager ligt maar ongeveer overeenkomt met de temperatuur van het water te Antwerpen ($12,4^{\circ}\text{C}$).

5. Densiteit « in situ ».

In de oceanografie wordt het gewicht van het zeewater gewoonlijk uitgedrukt door zijn densiteit « in situ ». Hiermee wordt het gewicht bedoeld van de eenheid van volume (inhoud), beschouwd binnen de vloeibare massa, op het ogenblik zelf van de opname.

Men weet dat de dichtheid vooral in functie van twee factoren varieert :

- het gewicht der zouten en andere stoffen, opgelost of in emulsie (colloïden) maar niet de vlottende bestanddelen (plankton), een seizoenvariabele met tamelijk zwakke amplitude;
- omgekeerd met de temperatuur van het monster, eveneens afhankelijk van het seizoen, maar met een sterke (grote) amplitude (cf. *fig. 10*).

Men weet daarenboven dat voor een saliniteit van 35‰ , het zeewater zijn maximumdensiteit bereikt bij $-3,5^{\circ}\text{C}$; gezien het echter bevriest vanaf $-2,0^{\circ}\text{C}$, kan deze maximumwaarde niet bereikt worden.

Uit monsters die van 1902 tot 1914 op het lichtschip « West Hinder » werden genomen, werden volgende « in situ » densiteiten afgeleid :

maximum, in februari :	1,0268;
minimum, in oktober :	1,0241;
gemiddelde, in mei en oktober :	1,0259.

6. Densiteit « in situ » van het Scheldewater te Antwerpen.

De densiteit van het Scheldewater is vooral bij de organisatie van het zeetransport van belang, doordat het toelaat de verschillen in diepgang te berekenen voor en bepaald schip, wetend dat deze omgekeerd evenredig is met de densiteit.

Wij hebben gezien dat het gaat om het gewicht van een cm^3 water, op de plaats en het ogenblik van monstername. Dit gewicht varieert met de samenstelling en in omgekeerde zin met de temperatuur.

In tegenstelling met het zeewater waarvan de densiteit steeds groter is dan 1, ondanks een kleine seizoensamplitude, worden voor het rivierwater te Antwerpen ruimere verschillen gemeten. Tijdens de periode 1949-1958 lag de gemiddelde waarde op 1,0025 en de uitersten op 1,01750 in september 1949 en 0,99880 in februari 1957.

De diepgang van een schip vermeerderd of vermindert al naar gelang het schip de rivier op of afvaart als gevolg van de verandering in de densiteit. Deze variatie overtreft echter nooit het uitzonderlijke maximum van 2,7 % van de aanvankelijke waarde (zee of rivier).

Stippen we aan dat de grotere verandering in diepgang, voor de streek van Zandvliet, lager blijft dan 1,6 % van de oorspronkelijke diepgang.

VI. — BEVRIEZING VAN DE SCHELDE. — IJSGANG.

Bij zeer strenge winters en in zeer koude periodes, met minima lager dan -10°C , bevriest het Scheldewater.

De bevroering begint langs de opwaartse oevers, waar de berm, gedurende lange ebperiodes, blootgesteld staat aan zeer lage luchttemperaturen. Het vloedwater gaat op de duur op deze voldoende onderkoelde grond bevroeren. Het komt daar het gemakkelijkst voor waar de waterlaag in de schorre minder diep en omzeggens zoet is.

Hetzelfde verschijnsel doet zich voor bij de bevroering van het kustwater, 't is te zeggen het water op onze stranden. Hier alleen kan bevroering optreden.

De bevroeringstemperatuur van het noordzeewater ligt rond -2°C , een temperatuurwaarde die meer dan 4°C lager ligt dan de minima die in volle zee worden waargenomen.

Vervolgens spreidt het ijs zich over de ganse breedte uit. Opwaarts Dendermonde gaat dit vrij snel. Losgerukt door het spel van het getij, worden de schotsen bij ebstroom afwaarts gevoerd. Hier gaat het ijs aan het kruien en onder de vorm van uit ijsblokken (*pancake ice*) gevormde plekken, die op elkaar botsen en draaien, tot ze, als de vorst aanhoudt, aaneensluiten en tot ijsvelden bevroeren, waarmee de ganse breedte van de rivier kan bedekt worden. De ijsgang, het afdrijven van dit ijs, wordt bijzonder gevreesd, omdat het grote schade kan veroorzaken aan de kunstwerken in de rivier, evenals aan de betonning. Door het wegrukken van de boeien en het verplaatsen ervan, wordt de ordening van het bebakeningsstelsel verstoord.

Het is niet zo zeldzaam dat de rivier over haar ganse lengte tot aan de uitmonding in zee in de greep van het ijs geraakt. Sedert 1512 is dit toch reeds een twintigmaal voorgekomen, gemiddeld vier keer in een eeuw.

De ijsgang van 1880, die gedurende éenenzeventig dagen alle verkeer over gans de lengte van de rivier lamlegde, zou de zwaarste zijn geweest die tot op onze dagen bekend is.

Dichter bij ons dienen de winters van 1901, 1908, 1929, 1942, 1946, 1956 en 1963 vermeld. Opwaarts Antwerpen werd de scheepvaart tijdens die winters meerdere weken lamgelegd en afwaarts Antwerpen ondervond ze er veel hinder van (zelfs volledig stilgelegd in 1929).

Op enkele zeldzame uitzonderingen na, hadden deze gedenkwaardige ijsgangen plaats in december, januari, februari en begin maart.

VII. — DE ZEEBODEM.

1. Vergelijkingsvlakken voor de dieptemeting (bathymetrie).

Voor de behoeften van de kust is het gebruik van het nulvlak Z, oorsprong van de waterpassing van Openbare Werken (1840-1848) nodig. Dit vlak stemt overeen met het gemiddeld peil van de laagwaters van de syzygie, waargenomen te Oostende van 1820 tot 1834. Het ligt

2,426 m lager dan het N.A.P. en 2,297 m lager dan de gemiddelde zeespiegel te Oostende (1930). Het bevindt zich tenslotte 0,280 m hoger dan het « nulvlak H », waarvan de Hydrografische Dienst der kust gebruik maakt voor de herleiding der peilingen te Oostende. Dit nulvlak Z wordt ook gebruikt als vergelijkingsvlak voor de reductie van de getijden langs de kust.

Om de diepte van de Schelde te meten maakt men gebruik sinds 1888 van de « nul van het Krijgsdepot - Kattendijk » waarvan het uitgangsmarkteken aan de Kattendijksluis te Antwerpen is gelegen. De Antwerpse Zeediensten duiden deze nul aan met het teken « N.K.D. » (Nieuw Krijgsdepot). Dit nulvlak ligt 0,026 m hoger dan de « nul Z ».

In Nederland wordt voor alle peilwerk het nulvlak « N.A.P. » aangewend (Normaal Amsterdams Peil).

Voor de hydrografie van het estuarium en van de Westerschelde is het N.A.P. van uitzonderlijk belang. De nul N.A.P. bevindt zich op 0,129 m boven het gemiddeld zeepeil te Oostende, 2,426 m boven de « nul Z » en 2,400 m. boven de « nul N.K.D. ».

Stippen wij aan dat de Internationale Commissie voor een geunifieerd Europees Waterpassingsnet, gekend onder de naam REUN, in 1959, ten conventionelel titel, de oorspronkelijke hoogte van het N.A.P. heeft aangenomen als fundamenteel vergelijkingsvlak voor zijn werkzaamheden, die er onder andere naar streven, de aard te bepalen van de meetkundige plaats der gemiddelde zeestanden.

2. Nul van de kaarten.

Wat de dieptemeting betreft moet worden vermeld dat deze nog altijd gebonden blijft aan conventionele herleidingsvlakken, meetkundige plaats van « de nul van de kaarten ». Deze peilen, die opzettelijk laag worden gehouden, variëren in hoge mate volgens de lokale eigenschappen van het getij.

Deze bijzonderheid strekt ertoe een betrouwbaarheidsvoorstelling te verwezenlijken, zodanig dat de zeeman, belangrijkste gebruiker van deze kaarten, ervan verzekerd kan zijn diepten te vinden, die zelden kleiner zijn dan deze die hij op de kaart afleest.

De diepten die langs de Belgische kust worden gemeten worden herleid tot een onregelmatig vergelijkingsvlak dat naar het Westen afhelt en dat men het vergelijkingsvlak « H » zou kunnen noemen.

Het ligt overal lager dan het « Z »-peil en zijn profiel langs de oever wordt door de hiernavermelde hoogten bepaald.

VERGELIJKINGSVLAK « H »

<i>Plaats</i>	<i>Hoogte t.o.v. « Z »</i>
Franse grens	— 0,34 m
Nieuwpoort	— 0,31
Oostende	— 0,28
Zeebrugge	— 0,14
Nederlandse grens	— 0,12

Vanaf 1962 werd om meer eenvormigheid te bereiken, de nul van het Krijgsdepot Kattendijk (N.K.D.) vervangen door een plaatselijk vergelijkingsvlak. Dit lokale nulvlak wordt bepaald door het gemiddeld laaglaagwaterspring (G.L.L.W.S.).

Het doet zich als volgt voor :

PLAATSELIJK NULVLAK VOOR DE SCHELDE

Plaats	Hoogte in vergelijking met de nul Krijgsdepot Kattendijk (N.K.D.)
Vlissingen	— 0,10 m
Terneuzen	— 0,19
Hansweert	— 0,30
Zandvliet	— 0,12
Antwerpen	— 0,23
Hemiksem	— 0,18

Stroompwaarts van Hemiksem, werd overal de nul (N.K.D.) aangehouden.

Tot hiertoe werd er nog niets beslist over de keuze van een universeel nulvlak voor de herleiding der peilingen voor de zeekaarten.

Frankrijk neemt het theoretisch laagste nulvlak aan, dat bepaald wordt door het niveau van de laagste springlaagwaters, deze die namelijk overeenkomen met een getijcoëfficiënt 120 (begrip dat verbonden is aan de dynamische theorie van *Laplace*, cf. « *Annuaire des marées de France* ».)

Op het verbindingspunt van onze kustgrenzen, ligt het lokale nulpunt van de Franse kaarten 0,55 m lager dan het lokale Belgische nulpunt « H ».

Het gemiddeld springlaagwater (*Mean Low Water-Springs*) berekend over een maansperiode van 18,61 jaar (periode van omloop van de maansknopen), bepaalt de nul van de Engelse kaarten. Deze ligt ongeveer 0,35 m hoger dan de nul van de Belgische kaarten.

Er dient opgemerkt dat onze lokale nul « H » sedert 1946 toegepast, omzeggens met het Nederlandse lokale nulpunt overeenkomt. Dit wordt aangeduid met de kenletters G.L.L.W.S. (Gemiddeld Laag Laagwater Spring) en werd in 1921 aangenomen. Deze beide nulvergelijkingsvlakken (H en G.L.L.W.S.) voldoen volkomen aan de wens, die tijdens het symposium gevoerd over de keuze van een « Internationaal Laagwater » werd uitgebracht. De besprekingen werden in 1926 door het Internationaal Hydrografisch Bureau georganiseerd. De frekwentie van het voorkomen van laagwaters, die lager liggen dan deze nulvlakken, ligt inderdaad lager dan 12 ‰.

3. Reliëf van de zeebodem.

Wat het reliëf van de zeebodem betreft, dit is tegenwoordig, dank zij de nieuwe methoden van hydrografische opnamen, zeer goed bekend. Deze nieuwe werkwijzen zijn uiterst snel en nauwkeurig (positie door Decca en diepten door echoregistrering).

De structuur van de bodem in het zuidelijk bekken van de Noordzee vertoont, in zijn geheel genomen, het uitzicht van een dissymetrische ondiepe vallei, waarvan de thalweg (bathyale voor) gemiddeld 40 m diep is, weinig golvingen vertoont met uitersten van 35 tot 65 m. Ze is voornamelijk NNO gericht.

Deze voor ligt beduidend dichter bij de Engelse kust. Wanneer we haar doorlopen van Zuid naar Noord is ze gelegen op :

- 8 zeemijl ter hoogte van Dover;
- 39 zeemijl van Oostende op de breedtegraad van deze haven, over een totale breedte van 57 zeemijl;
- 66 zeemijl van Hoek van Holland, eveneens op de parallel, op een totale breedte van 93 zeemijl.

Het is duidelijk dat de oostelijke helling gevormd door het continentale plat, veel minder afhelt. Dientengevolge zijn de oevers, en in het bijzonder deze die onze kusten tot het Zee-lands estuarium aanbelangen, versperd door ondiepten, een soort ondergedompelde banken « Vlaamse banken » genoemd.

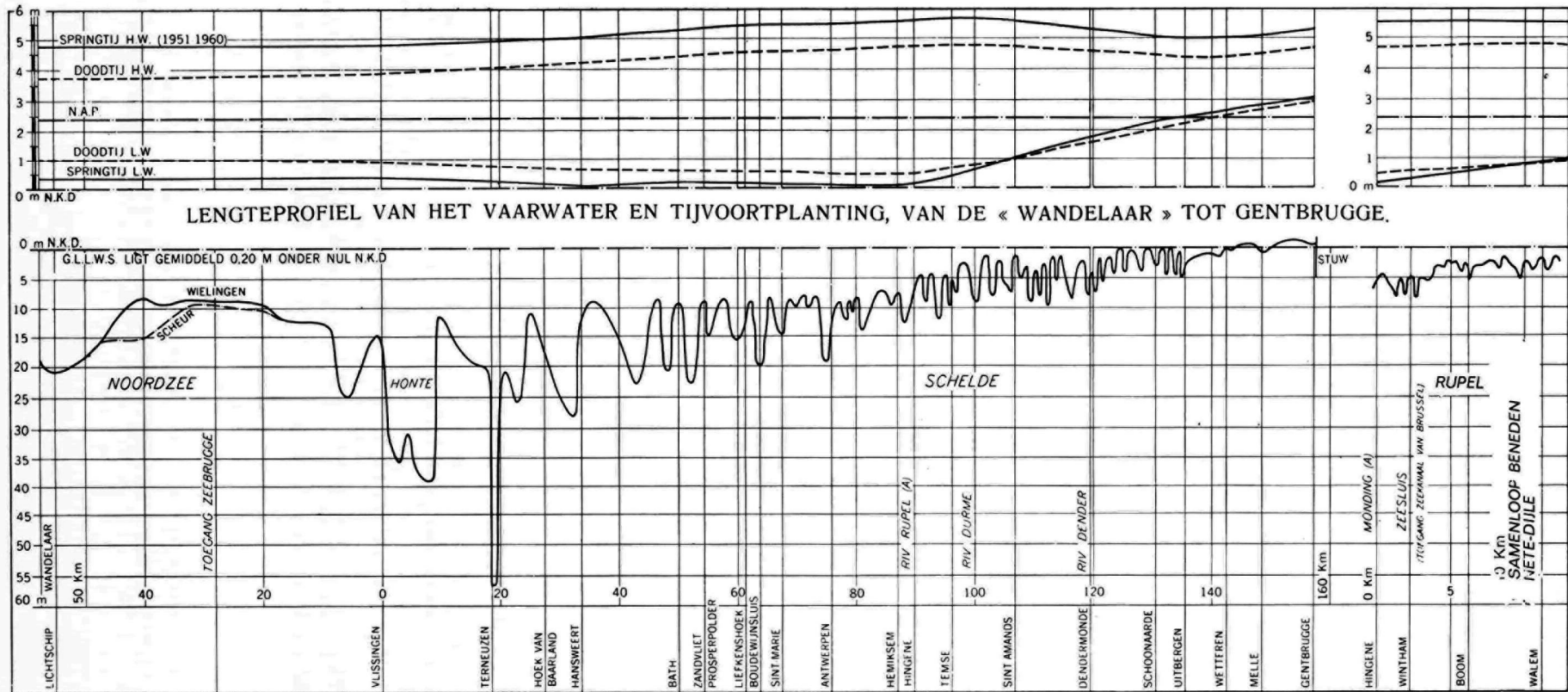


Fig. 12.

Deze soort kustsnoeren, voor het merendeel langgerekt en de richting volgend van de sterke getijstromingen stellen, in hun geheel genomen, een bodemreliëf voor, dat als het ware door deze stromingen gevormd is.

Deze ondiepe zone, 15 zeemijl breed ter hoogte van Nieuwpoort en 7 zeemijl ter hoogte van Oostende, vertoont ruggen van minder dan 4,0 m diepte.

Vermelden wij dat de zeebodem werd opgenomen in een geheel van peilingen (door de Nederlandse en Belgische Hydrografische diensten uitgevoerd van 1935 tot 1962). Deze peilingen zijn uitgedrukt in decimeter en herleid tot de « lokale nul van de kaart » (nul H of G.L.L.W.S.).

De omtrekken van het reliëf werden beperkt tot de aanduiding van de dieptelijnen 0, 5, 8 en 12 meter. Het zijn deze kurven die het best de aandacht vestigen op de dieptetoestand en over het algemeen het meest belangwekkend zijn, hetzij om de nautische hoedanigheden van de vaarpassen te doen uitkomen, hetzij om sedimentologische studies uit te voeren.

Het reliëf van de zeebodem langs de Belgische kust is over het algemeen en op de « Vlaamse banken » in het bijzonder, vrij stabiel.

Men merkt dit dadelijk op wanneer men de eerste nauwkeurige hydrografische kaarten, om met deze van *Beautemps-Beaupré* tussen 1799 en 1800 opgemaakt te beginnen, vergelijkt met de hedendaagse.

In hun geheel gezien, heeft de bodem, zowel in ligging als diepte, slechts weinig verandering ondergaan.

Als er al een neiging tot evolutie op dit domein zou bestaan, dan komt dit slechts zeer traag tot uiting.

4. Nautische hoedanigheden van de toegangswegen naar de Schelde.

Wanneer men de 8 m lijn, op 8 km vóór Oostende volgt, ontmoet men de vaarpas naar de Schelde. Hij is gemiddeld 300 m breed en zijn minimumdiepte minstens 8,50 m.

Deze pas « Wielingenpas » genoemd, vormt in werkelijkheid de drempel in de monding. Hij scheidt de Scheldemondsgeul van de zeegeul over ongeveer 30 km (deze waarvan de diepten groter zijn dan 12 m).

Ter hoogte van Zeebrugge, bemerkt men de aanwezigheid van een ondiepte, de zogenaamde « Bol van Heist » (top = 3,6 m) en, meer ten Westen, van enkele langwerpige hompels van de « Wandelaar » (minimum top 4,8 m). Deze ondiepten werden bebakend en hinderen de scheepvaart niet. Men kan ze omvaren door het vaarwater « Scheur ». Het is duidelijk dat de vloedstroming, die buitengewoon sterk doorkomt rond de springtijden en dikwijls snelheden van meer dan 5 knopen bereikt, een belangrijke rol speelt bij het behoud van stabiele diepten.

Eens deze drempel van de « Wielingen » voorbij in de richting van de Schelde, passeert men de 12 m lijn ter hoogte van « het Zoute », om vervolgens naar geleidelijk dieper water te gaan, dat uitmondt in een geul van 25 m diepte, om vervolgens op de rede van Vlissingen uit te lopen op de eerste drempel in de Schelde, met een diepte van 15 m.

Door het openstellen van het vaarwater « Scheur » voor de diepliggende schepen, werden de nautische hoedanigheden van de toegangsweg naar de Schelde, in belangrijke mate verbeterd.

Deze pas biedt ten overstaan van de « Wielingen » het groot voordeel van terzelfdertijd veel breder en dieper te zijn. Daarenboven is zijn drempel betrekkelijk kort; ongeveer 15 km scheiden thans de geulen van meer dan 12 m (*fig. 12*).

Het aanpassingsplan voor dit vaarwater — ten andere reeds in uitvoering en zeer ver doorgedreven — voorziet dat in een eerste fase en binnen korte tijd, een vaarwater met minimum 10 m diepte en 300 m breedte zal worden verwezenlijkt.

5. Bodemreliëf en diepten in de Zeeschelde.

De configuratie van de diepten op plaat 18^B, wordt enkel weergegeven door de lijnen van gelijke diepte van 0 m, 8 m en 20 m. Men krijgt hierdoor een beeld van de huidige toestand van de rivier. Gezien hierbij wordt uitgegaan van het nulvlak N.K.D., ziet men onmiddellijk de ligging van de vaarwegen, evenals, wat niet minder belangrijk is, van de diepste plaatsen.

Omwille van de duidelijkheid verwijzen we echter naar het lengteprofiel van figuur 12, waarop de grootste diepten voorkomen, respectievelijk gelegen in de kuil van Terneuzen (Put van Terneuzen) en in de Honte, met diepten van 58 m en 39,5 m, evenals de drempels. Afwaarts Antwerpen bestaan er 13 drempels, waarvan er heden ten dage 11 door baggerwerk op minstens 8,50 m diepte worden gehouden. De twee anderen, Hoek van Baarland en Borsele, hebben een natuurlijke diepte die over het algemeen groter is dan 10,00 m.

De drempel waarvan de top ondiepte wordt genoemd is een in de vaarweg gelegen bank (gewoonlijk in de thalweg) die de overgang uitmaakt tussen twee opeenvolgende diepe geulen. Ze vertonen een inflectie- of een surflectiepunt, al naargelang de bochtigheid van de geulen tegengesteld is of niet. In het eerste geval noemt men de drempel over het algemeen « moeilijke doorgang », omdat hij dwars ligt (*Fargue*).

6. Aard van de bodem in de Noordzee.

In het Zuidelijk bekken van de Noordzee is de bodem vooral samengesteld uit kwartsachtig zand, gaande van fijn zand met 170 μ tot grof 500 μ waartussen over het algemeen, maar in sterk uiteenlopende verhoudingen, fijn verdeelde schelpen, slib of klei. Men ontmoet er ook, maar dan in mindere mate, fijn grint en langs de Engelse kust, marno-calcaire bodems bezaaid met granietpuin.

Langs de kust, op de oeverhelling evenals in de plaatselijke geulen, tussen de « Vlaamse Banken » haalt men monsters op, die over het algemeen samengesteld zijn uit boven elkaar liggende elementen, waarin de slib- of kleibodem zich gewoonlijk onder een dunne laag fijn zand bevindt (gemiddelde korrelgrootte : 170 à 130 μ).

In de Scheldemondsgeul, westelijk van Vlissingen en in het vaarwater « Wielingen » heeft men een zandbodem waargenomen, gevat in grijze klei, maar op de hellingen die deze vaarpas begrenzen vertoont de bodem een zandachtig mengsel, waarin een kleiachtige slib overheerst.

Naar het Noorden worden de zandkorrels groter terwijl voor onze kusten en naar het Westen toe de volgende mengsels veelvuldig voorkomen : middelfijn zand (korrelgrootte 280 μ) schelpengruis, met enkele zeldzame zones waarin fijn grint in het mengsel voorkomt (omgeving van het lichtschip « Wandelaar »).

Wat het sedimentologisch aspect betreft, hebben recente troebelheidsmetingen aangetoond dat het transport van vaste stoffen (zwevend en rollend) een niet te verwaarlozen werkelijkheid uitmaakt. Langs de kust en vooral in de zone van de monding waar dit verschijnsel zeer belangrijk is, werd uitgemaakt dat het bij vloed, vooral rond de springtijden veel meer doorzet, dan bij eb.

Het vervoer van alluviale stoffen en de afzetting hiervan, zijn verschijnselen die een nauwe samenhang vertonen en die van uitzonderlijk belang zijn bij alles wat betrekking heeft op de normalisatie en het onderhoud van de toegangswegen tot de havens. De studie van deze verschijnselen werd in het verleden slechts onderzocht gedurende vaak uiteenliggende onderzoeksperiodes. De resultaten van deze opzoekingen hebben geleid tot conclusies die vrij hypothetisch bleven. Dit kon niet anders omdat de ter beschikking staande middelen op dat ogenblik niet voldeden.

Dank zij de nieuwe methode van radioactieve tracers, die thans in volle opkomst is, kon dit moeilijk probleem met succes worden aangepakt. De methode bestaat er in op een systematische manier de natuurlijke radioactiviteit van de zeebodem te meten. Ze werd vanaf 1963 toegepast bij metingen op de Vlaamse Banken, in het gebied van de Scheldemonding, bij Doel en op de rede van Antwerpen. Deze werken die nog regelmatig worden voortgezet, vormen een eerste fase van een uitgebreid programma in verband met de sedimentologische studie.

7. Aard van de bodem van de Zeeschelde, de Rupel en de Durme.

We kunnen hierna enkel de bovenste bodemlagen beschrijven, omdat het de enige zijn die met de *Van Veen*-dreg kunnen onderzocht worden. Dit dregapparaat dringt slechts 10 centimeter in de bodem.

De bovenste lagen ondergaan vele wijzigingen, omdat ze beïnvloed worden door het vast debiet van de rivier, die zelf afhankelijk is van het alternerend spel der getijden.

Het is duidelijk dat de lithologie van het stroomgebied de mineralogische samenstelling van de materialen die in de rivierbedding voorkomen, beïnvloedt. Deze zijn echter over het algemeen vermengd met produkten die vreemd zijn aan de natuurlijke sedimentatie.

Vergeten we niet dat de rivier buiten de produkten die aangevoerd worden door de grote afvoer van vuil water (rioleringen - Rupel in het bijzonder) grote hoeveelheden specie die jaarlijks in de Antwerpse dokken worden gebaggerd en in de rivier gestort en belangrijke hoeveelheden specie voortkomend van baggerwerken op de drempels afwaarts Antwerpen, opneemt.

De produkten uit riolen en collectoren en de specie uit de dokken bevatten veel organische stoffen en dragen in belangrijke mate bij tot de moddervorming. Deze van de drempels bestaan over het algemeen uit zand.

Het is dus niet gemakkelijk een schema op te stellen over de plaatselijke aard van de Scheldebodem, waaruit een verantwoord inzicht in zijn werkelijke lithologische samenstelling zou mogelijk zijn.

De hiernavolgende gegevens laten echter toe een idee te vormen over wat zich op dit belangwekkend terrein voordoet, en waarover weinig bekend is.

Ze zijn het resultaat van ontleding van talrijke monsters, genomen met de bovenvermelde dreg tussen 1930 en 1962, zowel door de Nederlandse Rijkswaterstaat en Antwerpse Zee-diensten.

	<i>Vak</i>	<i>Korrelgrootte (middelste waarde in microns) (*)</i>	<i>Bondige beschrijving</i>
Schelde	Gent - Dendermonde	50 tot 270	Mengsel zand, modder, humus.
	Dendermonde - samenvl. Durme	270 tot 230	Mengsel zand, modder, humus.
	Samenvl. Durme - samenvl. Rupel	230 tot 240	Mengsel zand, modder, humus + fijn veen, zeer fijne schelpenresten.
	Samenvl. Rupel - Antwerpen	240 tot 200	Mengsel zand, modder, humus + kleibodem in de streek van Hemiksem en Antwerpen (Boomse kleilaag, R ₂ C).
	Antwerpen - Doel	200 tot 125	Mengsel zand, modder, stukjes schelpen, veenresten. In de diepe gedeelten modderbodems niet zeldzaam.
	Doel - Hansweert	125 tot 200	Mengsel zand, modder, humus + kleine zandsteen conglomeraten langs Saaftinge.
	Hansweert - Vlissingen	200 tot 300	In de geulen, mengsel zand, schelpen en kleiklumpen.
		150 tot 200	Op de banken. De oevers zijn modderachtig.
Durme	Monding - Lokeren	230 tot 120	Mengsel zand, modder, plantenresten (humus).
Rupel	Monding - Walem	240-320-250	Mengsel zand, modder, kleiklumpen, schelpen en veenresten.

(*) Term eigen aan de zeeftechniek, die aanduidt dat 50 % van het totaal volume groter is, 50 % kleiner is dan de middelste waarde.

Men stelt vast dat buiten de zones die beïnvloed worden door de modderopsputtingen, de korrelgrootte in de geulen groter is dan in de ondiepe delen (banken en drempels).

VIII. — TOEGANGSWEGEN NAAR BELGIE VAN DE ZEESCHEEPVAART.

Vanaf de Franse grens, gelegen op 14 km N-oostelijk van de haven van Duinkerken tot Gentbrugge, waar het getij ophoudt, hebben zee- en Scheldeoevers een lengte van 240 km, 70 km hiervan zijn in Nederland gelegen.

Langs deze oevers bevinden zich de toegangswegen naar zee van ons land. Hun nautische waarde is zeer ongelijk.

Langs de Belgische kust : Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge, Zeebrugge.

In Zeeuws-Vlaanderen - Terneuzen, langswaar men Gent bereikt via een zeekanaal met grote doormeter.

Antwerpen : met zijn vijf zeesluizen vanaf Zandvliet tot de Kattendijksluis, toegangen tot de Antwerpse haven. Wintamsluis op de Rupel, langswaar de zeehaven van de hoofdstad, via een zeekanaal wordt bereikt.

1. Toegang tot de haven van Nieuwpoort.

De enige natuurlijke en oudste kusthaven is Nieuwpoort, gelegen aan de monding van de IJzer, op 28 km ten NO van Duinkerken. Een kanaal met kleine doormeter verbindt ten andere Nieuwpoort met Duinkerken.

Door volgende bebakende passen, kan Nieuwpoort aangedaan worden door grote treilers en vaartuigen van de lokale kustvaart :

- het *Westdiep* ten ZW, komend van de pas van Duinkerken;
- De *Negenvaan* ten N, vanaf het lichtschip « Wandelaar »;
- De *Kleine Rede* ten NO, vanaf Oostende.

De natuurlijke hoedanigheden van Nieuwpoort zijn zo groot dat ze zeer zeker kunnen bijdragen tot een belangrijke uitbreiding van het belang dezer haven. Nieuwpoort bezit immers een brede en diepe rede, het *Westdiep*, waarvan de diepten door de natuur worden onderhouden. Deze rede ligt goed beschermd tegen de zware deining van de hoge zee en de getijden zijn er het sterkst van heel de Belgische kust.

Het is een belangrijke vissershaven en beschikt ten andere over een hulpbasis van de Zeemacht.

2. Toegang tot de haven van Oostende. — Ontworpen havenverbetering.

Er zijn vier bebakende uitvalswegen, die van Oostende naar het diepe vaarwater leiden. Ze lopen naar het N, het NO, het ZW en het NW.

De noordelijke route die door de grote kustvaart wordt gebruikt ligt het dichtst bij de grote geul, die men bereikt na de *Grote Rede* te zijn voorbijgevaren en na de *Wenduine bank* en de oostelijke rand van de drempel van de *Wielingen* te zijn overgestoken.

De noordoostelijke route die van ondergeschikt belang is, wordt door het regionaal verkeer gebruikt.

De zuidwestelijke leidt naar de « Pas de Calais » (Het Nauw van Calais) langs het *Westdiep* en de pas van Duinkerken.

Tenslotte voert de noordwestelijke route over de diepten van de *Grote Rede*, *Uitdiep* en *Negenvaan*, alvorens in de Oost-West gerichte grote maritieme vaarweg uit te lopen. Beide laatste wegen worden gebruikt door de pakketboten van de Oostende-Dover-lijn.

Buiten de secundaire route naar het NO, kunnen de drie andere, omzeggens steeds door schepen van gemiddelde tonnenmaat (5 000 T. ongeveer) bevaren worden.

De bodem van deze toegangswegen is vrij stabiel, maar soms moet men bij een begin van aanzanding, vooral in de aanloopzone tot de haven, ingrijpen door baggerwerk.

Deze haven dankt haar belang in de eerste plaats aan het passagiersverkeer met Dover als bestemming, aan de regionale kustvaart en aan de visserij-industrie.

Het is ook een marinebasis voor de Belgische Zeemacht.

Om de nautische hoedanigheden van de toegangsweg tot de voorhaven te verbeteren, voorziet men de verbreding van de pas. Door het noordelijk staketsel 35 m achteruit te brengen, wil men een breedte van 100 m verwezenlijken.

Met het oog op de verbetering van de havenuitrusting en van de haveninstallaties in het algemeen, is de bouw voorzien van een vloedkom, voorzien van slipways, ten Oosten van de vissershaven (cf. aanduidingen op bijkartaal van plaat 18^A).

3. Toegang tot de haven van Blankenberge.

De haven op 8 km ZW van Zeebrugge, is een vissershaven van ondergeschikt belang. Het is echter een zeer in de smaak vallende yachthaven geworden.

De nautische eisen die door de vissersschepen met kleine tonnenmaat en door de pleziervaartuigen worden gesteld, geven geen aanleiding tot speciale problemen in verband met de toegangswegen.

4. Toegang tot de haven van Zeebrugge. — Uitbreiding en verbetering van de haveninstellingen van Zeebrugge.

De toegang tot de haven van Zeebrugge, waarvan het havenhoofd zich op 3 km dwars van de *Wielingenpas* bevindt, bestaat uit een bebakende vaarweg, waarvan de minimum diepten thans meer dan 8 m bedragen.

De haven van Zeebrugge en het kanaal met groot profiel dat haar met Brugge verbindt (13 km) werden in hun geheel gebouwd en in gebruik genomen op het einde der vorige eeuw.

Leopold II was er de promotor van.

Gelegen in de omgeving van belangrijke zeevaartroutes werd het een aanloophaven. Rond deze tijd was de industriële en handelsontwikkeling van haar hinterland niet ver genoeg gevorderd om aan deze haven een andere bestemming te kunnen geven.

Langs het zeefront gebouwd, bestaat de haven in wezen uit een ruime havendam, met verticale wanden, 75 m breed, waarvan het platform (dek) gelegen is op 13,50 m hoogte (boven het nulvlak H). Dit machtig bouwwerk strekt zich in boogvorm uit naar het diepe water, over een lengte van 2 500 m naar het NO gericht. Deze havendam is voorzien van 1 600 m aanlegkaden.

Men stelde al heel gauw vast dat de door de dam beschutte rede de neiging vertoonde sterk aan te zanden en niettegenstaande ingrijpende baggerwerken, ondervond men alle mogelijke moeilijkheden om de pas open te houden, die de normale werking van de haven moet verzekeren.

Om aan de gebrekkige toestand te verhelpen, bestudeerde men tenslotte een oplossing die erin bestaat een tracé uit te werken dat steunt op een voorhaven, die als getijdok dienst doet en die binnen convergerende dammen gevat wordt.

Dit tracé werd aangenomen en gaf aanleiding tot grootse werken, die thans reeds in uitvoering zijn, zoals de details aantonen die binnen een omlijsting van bijkartaal op de plaat 18^A, voorkomen.

Men ziet dat deze werken beogen een modern havencomplex te verwezenlijken, met behoud van de bestaande havendam, die aldus tot de machtigste van de twee convergerende dammen van het ontwerp uitgroeit.

De voorhaven wordt dus een volledig beschut getijdok, met een diepte van 13,50 m waarin de schepen met grote tonnemaat gemakkelijk en onder alle omstandigheden, zolang als nodig over voldoende diep water zullen beschikken.

In dit project is alles voorzien om de haven van Zeebrugge uit te rusten met een outilering en een organisatie, die volledig beantwoorden aan de eisen die voor een gespecialiseerde haven, in deze tijd worden gesteld.

5. Toegang tot de haven van Antwerpen.

De haven van Antwerpen ligt diep in het Schelde-estuarium op 77 km van de zee en speelt een heel bijzondere rol in de economische evolutie van West-Europa. Steunend op een stevige organisatie op alle gebied is het een haven geworden met verschillende en zeer gespecialiseerde functies.

De voornaamste haventrafiek bestaat uit de invoer van brandstoffen (ruwe olie, kolen) erts en koopwaren.

De uitvoer is omzeggens even belangrijk en bestaat voornamelijk uit zware goederen, ijzer- en scheikundige produkten, die voor het grootste deel uit het hinterland van Antwerpen worden aangevoerd.

Vele van de op de plaat 18^B aangegeven geweldige uitbreidingswerken zijn in volle uitvoering en meerdere van deze werken naderen hun voltooiing.

De betrekkingen met het achterland, vooral de Rijntrafiek en de Maastrafiek via het Albertkanaal hebben een dergelijke vlucht genomen dat de havendokken voor binnenschepen belangrijk vergroot moeten worden.

De in aanbouw zijnde en omzeggens voltooide Zandvlietsluis, 500 m lang, 57 m breed en 13,50 m diep (beneden nul N.K.D.) zal de haven toegankelijk maken voor de zeer grote schepen.

Deze vereenvoudigde uiteenzetting maakt het duidelijk dat de voorspoed van de haven van Antwerpen volledig afhangt van de instandhouding van de nautische eigenschappen van de Schelde, haar enige toegangsweg.

Hierna willen we even laten zien, welke haar vroegere eigenschappen waren, hoe we er nu voorstaan en welke inspanningen worden geleverd om deze te verbeteren en te voldoen aan de steeds groter wordende eisen.

a) Evolutie in de nautische eigenschappen van de Schelde.

De nautische hoedanigheden van een rivier zijn het geheel van elementen die toelaten een objectieve beoordeling te geven van haar werkelijke vervoercapaciteit. De uitbatingsmiddelen, dus de eigenlijke infrastructuur van de haven, die zelf in functie staat tot de evolutie van de afmetingen of tonnemaat der schepen van de hedendaagse wereldvloed, zijn hierbij bepalend.

Het gaat hier niet alleen om de diepte van de rivier, maar ook om de breedte en verloop van het vaarwater (rationalisatie van de vorm) zonder de uiterste belangrijke factoren in verband met de veiligheid en verkeersleiding te vergeten, bebakening, loodsdienst, radio- en telefoonverbindingen voor verkeersleiding, radar, enz.

Om een idee te geven over de actuele toestand, kunnen we vermelden dat thans bij gunstig getij de haven van Antwerpen toegankelijk is voor schepen van ongeveer 50 000 T.D.W. — de normale lading voor schepen met een diepgang van ongeveer 12,50 m.

Zonder twijfel is het van belang hier in enkele lijnen een overzicht te geven van hoe de diepten vroeger waren.

Op dit terrein kunnen wij spijtig genoeg niet ver teruggaan in de tijd. Voor de XIX^e eeuw beschikken we niet over betrouwbare gegevens inzake de diepten. De eerste peilingen, de

eigenlijke basisdocumenten voor de hydrografische studie van de Schelde, werden rond 1800 uitgevoerd. Zij werden door *Beautemps-Beaupré* in kaart gebracht voor het traject Vlissingen-Antwerpen.

De voornaamste later uitgevoerde peilingen, zijn als volgt gekend :

- | | | |
|---|----------|--|
| — Kaart van <i>Goudriaan</i> | — 1822 — | Nederlandse peiling, van de Ooster- en Wester-Schelde; |
| — Kaart van <i>Stessels</i> | — 1862 — | Belgische peiling, van Rupel tot Waarde; |
| — Kaart van <i>Petit</i> | — 1877 — | Belgische peiling, van Antwerpen naar Bath; |
| — Kaart van <i>de Jong</i> | — 1891 — | Nederlandse peiling, van Vlissingen tot Zandvliet; |
| — Kaart van <i>Rochet</i> | — 1893 — | Belgische peiling, van Antwerpen tot Zandvliet; |
| — Kaart van <i>de Haan</i> en <i>Luymes</i> | — 1905 — | Nederlandse peiling, van Vlissingen tot Antwerpen. |

Deze peilkaarten, uitgevoerd vóór de periode van de baggerwerken in de Schelde (1905), zijn van uitzonderlijk belang. Zij tonen toestanden die uit een zuiver natuurlijke evolutie van de diepten voortkomen.

Gelijkaardige toestanden kwamen voor tijdens de eerste wereldoorlog. De Schelde, gedoemd tot absolute rust en zonder dat er baggerwerk werd uitgevoerd, vertoonde na vier jaar natuurlijke evolutie, de hiernavermelde diepten.

Kleine wijzigingen in de vorm van de rivierbedding tengevolge van bepaalde aanpassingen daargelaten en zonder nadere ontleding van de hoedanigheid en het aantal der peilingen, die uitsluitend met het handlood werden uitgevoerd, in beschouwing te nemen, kunnen we vermelden dat de in de vaarpas gepeilde diepten, tijdens bovenvermelde campagnes, de volgende waren, herleid tot de nul N.K.D.

- Van Vlissingen tot Bath : 6,00 m (Hansweert);
- Van Bath tot Antwerpen : 6,00 m (Bath) en 5,70 m (Zandvliet).

Evenwel blijkt dat de drempel van Bath, die steeds een kwade naam heeft gehad, bij de peilingen in oktober 1867, diepten van 4,50 m vertoonde.

De diepten, op bovenvermelde kaarten aangeduid, werden bekomen door peilingen gedaan bij middel van het handlood, enige werkwijze in die tijd gebruikt, waarvan de nauwkeurigheid afhing van talrijke voorzorgen die niet altijd verenigbaar waren met de omstandigheden van de uitvoering.

Sinds 1930, worden de Belgische kaarten gepeild met een « Echo »-peiltoestel. Dit instrument laat toe doorlopende peilingen op 10 cm na uit te voeren *a rato* van 300 dieptemetingen per minuut.

De diepten die destijds werden waargenomen en die kenmerkend waren voor een natuurlijk diepteverloop, zijn sedertdien merkkelijk veranderd, door het wegnemen van ondiepten en de daaropvolgende uitdiepingswerken.

Heden ten dage vormen de drie hierboven vermelde drempels, samen met deze van Valkenisse halfweg Baalhoek en Bath, het cruciale complex in de Beneden-Schelde.

De diepten van deze vier drempels schommelen rond de hierondervermelde gemiddelden :

- Hansweert : 8,40 m;
- Valkenisse : 8,40 m;
- Bath : 8,50 m;
- Zandvliet : 9,00 m.

De drempel van Bath biedt het meeste weerstand en blijft nog altijd het meest gevreesd.

Tussen Zandvliet en Antwerpen worden de minima op ongeveer 8,00 m gehouden, verder opwaarts tot aan de Rupel bereiken ze 5,00 m. Vroeger waren de minima in deze twee rivier-vakken nooit hoger dan 5,50 m à 5,00 m. Figuur 12 geeft de huidige toestand van de Schelde-drempels en van de voornaamste bijrivier de Rupel.

b) De baggerwerken.

Door de betrekkelijk kleine afmetingen van de toenmalige handelsvloot, voldeed de Schelde tot het einde van de XIX^e eeuw, gemakkelijk aan de behoeften van de zeescheepvaart.

Vanaf het begin van deze eeuw en tengevolge van de geweldige opgang en uitbreiding der handelsbetrekkingen over zee, onderging de Scheepsbouwtechniek ingrijpende veranderingen en groeide de tonnemaat van de schepen (evenals hun diepgang) zienderogen. Er werden dan ook zwaardere eisen gesteld aan de hoedanigheden der toegangswegen. Om het rithme van deze snelle aangroei te kunnen volgen, moest men vanaf 1905 beginnen te baggeren. Met deze werkwijze, eerst slechts sporadisch toegepast, heeft men steeds, wanneer de toestand moeilijk werd, de zaken snel kunnen rechtzetten.

Gelijklopend met de toename van de tonnemaat nam de baggeractiviteit toe. Sedert 1929 wordt er praktisch onophoudend gebaggerd.

Alhoewel de resultaten van het baggerwerk over het algemeen kort van duur zijn, blijven ze nochtans het enige hulpmiddel dat onmiddellijk een goede uitwerking verzekert.

De onderstaande tabel geeft de evolutie van de baggerwerken op de afwaarts van Antwerpen gelegen drempels, sedert 1930, alsmede de correlatie met de toename van de tonnemaat weer, uitgedrukt in eenheden *deadweight*.

Jaar	Volume in m ³	T.D.W.
1930	2 253 385	12 000
1935	3 841 000	13 000
1940	1 104 000	
1945	1 757 360	13 000
1950	3 592 470	18 000
1955	5 620 935	28 000
1960	6 739 542	40 000
1961	7 695 621	47 000
1962	8 561 363	52 000
1963	8 500 283	52 000
1964	8 717 561	52 000
1965	8 244 241	52 000

T.D.W. : maximum draagvermogen, *deadweight* tonnage, de belangrijkste karakteristiek voor een handelsschip. Totaal gewicht in Engelse ton van 1016 kg van de lading boven de normale zomerlaadlijn (*Plimsoll mark*) zonder dat het vaartuig dieper gaat liggen. Onder de genoemde beperkingen vertegenwoordigt het, het verschil in gewicht tussen het volledig geladen schip en het lege vaartuig.

Tot 1962 vormt de evolutie dus een stijgende lijn. Vanaf 1962 schijnt er blijkbaar een plafond te zullen bereikt worden, want het is blijkbaar een uitgemaakte zaak dat de grens van de uitdieping met de actuele technische mogelijkheden van baggerwerken, bereikt is.

Toont het voorgaande aan dat de faam en de ontplooiing van de rivier verschuldigd is aan de baggerwerken, dan zou de uiteenzetting toch onvolledig zijn, als we niet moesten wijzen op

de infrastructuurle verwezenlijkingen, zowel op stedeboekkundig gebied als op dat van de havenuitbreiding, dank zij de miljoenen ton zand die in de polders werden opgespoten.

Een volledig nieuwe stad op de Linkeroever en een havenuitbreiding tot de Nederlandse grens werden er op gebouwd. De capaciteit van de Antwerpse haven, evenals haar speciale uitrusting zal hierdoor onverminderd blijven toenemen.

c) **Ontwerpen voor een verbetering van de toegangswegen door normalisatie.**

Onze middelen om de toegangswegen alleen door baggerwerk te verbeteren, raken in de huidige omstandigheden en na onschatbare diensten te hebben verleend, uitgeput.

Dit verwondert niemand, want deze evolutie werd voorzien. Ze moet ons niet uitermate veront- rusten, want meer rationele methoden, zoals normalisatiewerken, zullen hier een oplossing brengen.

De studie van deze vraagstukken werd toevertrouwd aan het Waterboekkundig Laboratorium van het Departement van Openbare Werken. Ze wordt uitgevoerd op schaalmodellen. Het indrukwekkend Scheldemodel dat met dit doel werd gebouwd, geeft het riviervak tussen Oosterweel en Hansweert weer. Het gedeelte tussen Zandvliet en Valkenisse werd uitgevoerd met beweeglijke bodem. De hierbij gevolgde methode is zeer ver uitgewerkt en wordt « historische methode » genoemd. Haar meest in het ooglopende eigenschap is wel haar ver door- gevoerde ijking, waardoor het model tijdens de proeven om de duur, de natuurlijke evolutie van de rivier gaat weergeven, zoals ze in het verleden werd waargenomen. Men mag hieruit afleiden dat wat zich in het model voordoet, tijdens en na de normalisatieproeven, weinig zal verschillen van wat men op de rivier zelf zal waarnemen.

De beoogde verbeteringswerken zullen dus in de toekomst in belangrijke mate afhangen van de resultaten der voorafgaande laboratoriumproeven.

De studies hebben ertoe geleid een ontwerp van verbetering door normalisatie aan te nemen. De uitvoering die in opeenvolgende fasen werd voorzien, werd reeds van nu af inge- schreven in een programma van maritieme werken die bij voorrang dienen uitgevoerd.

Het ontwerp werd uitgekozen tussen verschillende ter studie genomen projecten, omdat het het best aan de opgelegde zekerheids- en veiligheidscriteria voldoet.

In grote lijnen weergegeven, bestaat het in een geheel van langse lage strekdammen, lei- dammen en kribben. De inplanting van deze kunstwerken heeft in de eerste plaats tot doel de huidige ligging van de vaargeul te normaliseren om vervolgens met baggerwerk een grotere diepte in de vaarpas te verwezenlijken. Met deze normalisatiewerken zal in de eerste plaats de verbetering van het meest ingewikkelde riviervak, namelijk het gedeelte tussen Doel en Baal- hoek worden nagestreefd.

De invloed van de geplande werken op het verloop van het getij zal zeer klein zijn. De verwezenlijking ervan zal in belangrijke mate de nautische hoedanigheden van het vaarwater bevorderen en dit vooral in de omgeving van Bath, waar de bocht veel ruimer zal worden, ter- wijl de natuurlijke diepte op de drempels geleidelijk groter zal worden, dan deze die thans wordt gepeild, en wat even belangrijk is, meer stabiel.

IX. — HYDROLOGIE VAN HET SCHELDEBEKKEN.

1. **Algemeenheden.**

Binnen het kader van onze uiteenzetting moet nu nog een probleem aangeraakt worden, dat alhoewel het in wezen behoort tot het fluviaal regime en er de basis van uitmaakt, toch bij sterke bovenwas invloed uitoefent op het maritieme regime van de Schelde. Het gaat hier om

TABEL A.

GEMIDDELDE MAANDELIJKSE EN JAARLIJKSE DEBIETEN (m³-sec).

<i>Bekken</i>		<i>Jan</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>Mei</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Aug</i>	<i>Sep</i>	<i>Okt</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jaar</i>	<i>%</i>
Bovenschede (fluviaal)	1949	29,4	16,8	16,1	8,5	2,4	1,7	0,7	0,6	0,1	2,9	5,5	17,0	8,5	20
	1952	186,7	176,5	80,6	45,7	18,8	9,5	4,0	7,7	9,6	15,9	57,6	122,3	61,2	42
Dender	1949	12,0	5,9	7,9	5,3	3,5	2,4	0,9	0,8	1,6	1,7	2,7	6,1	4,2	10
	1952	42,5	38,6	17,3	10,0	3,5	2,0	2,9	2,5	2,2	4,2	17,8	39,3	15,2	10
Durme (zijkbekken)	1949	5,1	3,9	3,8	3,2	2,2	1,7	1,1	1,1	0,9	1,4	2,4	3,7	2,6	6
	1952	17,6	14,6	9,8	7,0	3,8	3,2	3,4	4,8	4,4	5,6	12,0	16,0	8,5	6
Schelde (opw. Rupel)	1949	46,5	26,6	27,8	17,0	8,1	5,8	2,7	2,5	2,6	6,0	10,6	26,8	15,3	36
	1952	246,8	229,7	107,7	62,7	26,1	14,7	10,3	15,0	16,2	25,7	87,4	177,6	84,9	58
Zenne	1949	9,0	5,6	10,4	6,0	6,4	4,5	3,7	4,0	3,9	4,8	5,1	6,6	5,8	14
	1952	27,2	19,5	14,9	10,5	7,1	6,4	7,9	7,1	4,7	5,8	16,2	27,3	12,9	9
Dijle	1949	18,3	17,0	20,2	12,8	10,0	7,1	6,0	5,8	5,5	6,7	10,5	13,4	11,3	27
	1952	46,9	45,0	32,0	22,5	12,0	10,0	8,3	14,6	14,7	16,6	36,0	44,2	25,2	18
Kleine Nete	1949	8,0	5,6	7,3	5,7	5,6	5,0	1,9	2,1	3,4	4,6	9,1	14,3	6,1	15
	1952	25,0	19,7	11,0	8,1	3,8	3,3	4,1	6,4	7,4	8,7	15,9	21,9	11,3	7
Grote Nete	1949	4,9	4,5	5,2	4,1	1,4	2,7	0,4	0,7	0,5	0,2	3,1	4,2	2,7	5
	1952	17,0	14,4	6,7	5,1	2,4	1,1	2,4	3,2	2,0	5,5	11,0	13,2	7,0	5
Beneden Nete + Rupel	1949	2,5	2,0	1,9	1,6	1,1	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	1,2	1,8	1,3	3
	1952	8,8	7,3	4,9	3,5	1,9	1,6	1,7	2,4	2,2	2,8	6,0	8,0	4,3	3
Rupel (monding)	1949	42,7	34,7	45,0	30,2	24,5	20,2	12,5	13,1	13,8	17,0	29,0	40,3	27,2	64
	1952	124,9	105,9	69,5	49,7	27,2	22,4	24,4	33,7	31,0	39,4	85,1	114,6	60,7	42
Totaal (*)	1949	89,2	61,3	72,8	47,2	32,6	26,0	15,2	15,6	16,4	23,0	39,6	67,1	42,5	100
	1952	371,7	335,6	177,2	112,4	53,3	37,1	34,7	48,7	47,2	65,1	172,5	292,2	145,6	100
Schelde Rupel	1949	1,09	0,77	0,62	0,56	0,33	0,29	0,21	0,19	0,19	0,35	0,37	0,67	0,55	
	1952	1,98	2,17	1,55	1,26	0,96	0,66	0,42	0,45	0,52	0,66	1,03	1,55	1,40	

(*) Dit totaal, alhoewel beperkt tot de streek onmiddellijk afwaarts de samenvloeiing van Rupel-Schelde, mag beschouwd worden als een aannemelijke waarde voor het bovendebiet te Antwerpen.

het hydrologisch aspect. Hiermede wordt het geheel van verschijnselen bedoeld dat bijdraagt tot de voeding van het stroomgebied en zijn debiet.

Wij willen verder bondig aantonen dat dit belangrijk probleem met zorg werd behandeld en dat kostbare gegevens werden ingewonnen over dit verschijnsel. We zullen niet uitwiden over zekere klassieke beschouwingen en enkel de belangrijkste samenhangende factoren van het regiem behandelen, 't is te zeggen : de neerslag, het debiet, de afvloeingscoëfficiënt.

Het probleem van het bepalen van het bovendebiet van de Schelde is vanzelfsprekend van belang voor het ganse hydrografisch bekken (19 500 km²). Om het op te lossen moeten we gelijktijdig de som van de gedeeltelijke debieten, zowel van de Bovenschelde, haar stroomgebied en van de bijrivieren kunnen bepalen. Dit totaal vormt het eigenlijk bovendebiet van de rivier.

Gezien men de voorkeur gaf aan de directe meetmethoden (molentjes) en men gegevens over een periode van minstens tien jaar wilde verzamelen, begon men met de meetprofielen vast te stellen. Deze, zes in getal, liggen alle in het opwaartse gedeelte, zo dicht mogelijk bij de grens van de voortplanting van de getijgolf. Op die plaatsen werd de meting van de variaties in de waterhoogte gemeten met limnigrafen.

Een voorbereidende fase begon in 1947 en het programma voor de tienjarige studie werd in 1949 aangevat.

2. Ontcijfering en analyse van de gegevens.

a) Gemiddelde en uiterste waarden van het debiet.

Om een duidelijk overzicht te geven van wat werkelijk belangrijk is in dit uitgebreid geheel van gegevens, het gaat hier om dagdebieten, hebben wij deze in maand-, jaar- en tienjaargemiddelden samengebracht. De jaren 1949 en 1952, de meest betekenisvolle onder hydrologisch oogpunt, werden vooral toegelicht. Ze leveren immers het laagste en het hoogste gemiddeld debiet tijdens deze tienjarige periode.

1949 was een heel droog jaar, 521 mm regenneerslag, werd voorafgegaan door een lange periode (9 jaar) van normale regenneerslag, terwijl 1952 volgde op twee werkelijke natte jaren.

Deze beschouwingen zijn belangrijk omdat de hygrometrische toestand van de bodem invloed uitoefent op de hydrologie van het stroomgebied (voorafgaandelijke verzadigingsgraad).

De tabel A hiernaast, geeft per bekken, de gemiddelde hierbovenvermelde debieten in m³-sec. Te Antwerpen liepen de uiterste waarden van het bovendebiet gedurende de periode 1949-1958, van 10 m³-sec tot 573 m³-sec.

Het minimum viel in de maanden juni, juli, augustus en september 1949, en het maximum in februari 1957.

b) Afvloeingscoëfficiënten.

Dit is de verhouding tussen de hoogte van de afvloeiende regenneerslag en de hoeveelheid regen die in werkelijkheid neerkwam.

In tabel B duidt men het percentage aan van de jaarlijkse waarden van dit coëfficiënt, samen met de udometrische cota te Ukkel waargenomen. Deze verhouding werd ten andere in functie van deze cota berekend.

De vreemde verstrooiing (afwijking) in de waarden voor de Schelde, ten overstaan van hun gemiddelde, onder andere abnormaal laag, is te wijten aan het ophouden van opperwater te Gent voor de voeding van de kanalen (cf. II, 5, a).

Deze gemiddelden vertonen een andere zichtbaar abnormale waarde voor de Kleine Nete. Ze ligt inderdaad te hoog, maar dit moet geen verwondering baren als men weet dat van tijd tot tijd deze rivier wordt gebruikt als uitlaat voor de irrigatiekanalen van de Kempen.

TABEL B.

AFVLOEIINGSCOEFFICIENTEN.

Jaar	Neerslag in mm te Ukkel	Schelde	Dender	Dijle	Zenne	Kleine Nete	Grote Nete	Beneden Nete + Rupel
		%	%	%	%	%	%	%
1949	521	5	18	20	30	47	22	30
1950	950	10	18	13	27	43	25	24
1951	810	9	37	28	40	53	38	24
1952	926	20	37	25	37	49	32	32
1953	558	14	27	30	40	47	39	36
1954	741	4,5	14	23	27	54	36	29
1955	617	8,5	21	26	37	46	39	32
1956	796	9,8	25	30	41	49	41	36
1957	802	11,8	27	28	33	45	35	32
1958	834	13,7	26	26	34	47	35	31
1949 1958	756	11	25	25	35	48	34	31

We zullen dit hoofdstuk afsluiten met de afvloeingscoëfficiënt voor 1950, te geven van het ganse stroomgebied, afwaarts van Gent (maritiem en fluviaal gedeelte).

Dit gegeven is van bijzonder belang, niet enkel omdat het wellicht de eerste nauwkeurige waarde is die men hierover bezit, maar vooral omdat het een hydrologisch verband met de studie van de kubering van het gemiddeld getij van 1950 uitmaakt, waarvan een geheel van uitslagen onder vorm van een tabel op plaat 18^B wordt weergegeven. Deze coëfficiënt berust op :

- een moduul te Vlissingen van 92,2 m³-sec (gemiddeld jaarlijks debiet);
- een stroomgebied van 11 075 km²;
- een afgewogen gemiddelde van de jaarlijkse neerslag, in 65 stations gemeten, van 909,7 mm.

De berekening geeft :

- een relatieve moduul van 8,3 liter-sec-km²;
- een afvloeingsindex van 262,7 mm;
- een afvloeingscoëfficiënt van $\frac{262,7}{909,7} = 0,289$ of 29 %.

Deze waarde kan normaal uitgeschreven worden tussen de waarden die gangbaar zijn voor de rivieren van de West-Europese vlakten. 1950, alhoewel zeer nat, vertoonde echter een zwakke verzadigingsgraad van de grond, omdat de voorafgaande periode zeer droog was en de grond eveneens tamelijk droog.

De waarde van 29 % mag beschouwd worden als een coëfficiënt die tot de minima behoort. Bij analogie zou men mogen besluiten dat het geschatte maximum rond 40 % schommelt.

c) Verdampingsindex.

Nu we het gehad hebben over de afvloeingscoëfficiënt mogen we de verdampingsindex niet voorbijgaan. Algemeen wordt aangenomen dat deze waarde gelijk is aan hun verschil en in ons geval zou bedragen : $909,7 - 262,7 = 647$ mm wat 1,8 mm gemiddeld per dag zou geven; in het licht van de bovenvermelde klimatologische voorwaarden, een normale waarde. Het spreekt vanzelf dat het verlies een afvloeiing niet alleen aan zuivere verdamping moet worden toegeschreven, maar ook aan inzijpeling naar de diepergelegen waterlagen en opname door planten (in veel geringere mate). Men weet echter niet precies welke fractie deze verschijnselen uitmaken.

BESLUIT.

Wij hebben getracht in deze methodisch opgestelde monografie een inzicht te geven van onze huidige kennis van de essentiële elementen die de fysieke hydrografie van het zuidelijk bekken van de Noordzee in het algemeen en van de kustzone, het estuarium en de Zeeschelde in het bijzonder kenmerken.

Ze brengt een uitgebreide documentatie samen over verschillende courante vraagstukken, benevens belangrijke numerieke gegevens. Veel hiervan heeft betrekking op weinig gekende onderwerpen.

Hoe merkwaardig onze verworvenheden op het gebied van de waarneming der verschijnselen ook mogen zijn, toch blijven ze voor verschillende aspecten fragmentarisch. Deze konden niet aangeroerd worden, omdat de gegevens nog altijd te onvolledig zijn.

Deze studie wil verder aantonen hoe nodig het is verschillende gebruikte technieken rationeel te coördineren en ze op een zeer hoog wetenschappelijk peil te houden. Slechts op die wijze zullen we onze som aan kennis verder kunnen uitbreiden en gegevens verzamelen om de steeds zwaardere problemen te vergemakkelijken, die worden gesteld in verband met de toegangswegen tot onze zeehavens.

FIGUREN.

	Bladz.
1. — Getijden in de Noordzee	6
2. — Gemiddeld kusttijverschil vanaf het Kanaal tot het eiland Texel met verbinding aan de Zeeschelde	10
3. — Getijstromingen bij gemiddeld getij in de Wielingen. — Snelheidsparabool	20
4. — Windeffekt op de zeestand te Oostende	27
5. — Buitengewone stormvloed, 1 februari 1953, te Antwerpen	30
6. — Buitengewoon laagtij, 15 maart 1964	31
7. — Zoutgehalte van het zeewater	34
8. — Chloorgehalte en bovendebiet te Antwerpen	36
9. — Verband tussen Chloorgehalte en bovendebiet	37
10. — Temperatuur van het zeewater	39
11. — Scheldewater- en luchttemperatuur te Antwerpen	40
12. — Wandelaar - Gentbrugge. Lengteprofiel van het vaarwater en tijvoortplanting	45



BIBLIOGRAPHIE.

ALGEMEENHEDEN.

- THOMSON (W. Lord Kelvin). — *The tide gauge, tidal harmonic analyser and tide predictor*. Proc. Inst. civil Engrs. 65 (3), London, 1881.
- HARRIS (R.). — *Manual of Tides (appendices to Reports)*. U.S. Coast and Geodetic Survey, Washington, 1897-1907.
- ROLLET DE L'ISLE. — *Observations, étude et prédiction des marées*. Service hydrographique de la Marine, Paris, 1905.
- LUYMES (J.). — *Overzicht der Getijleer*. Ministerie van Marine. 's Gravenhage, 1919.
- STERNECK (R.). — *Die Gezeiten der Ozeane*. Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien. 11a, 129, 130 (1920-21).
- DOODSON (A.) and WARBURG (H.). — *Admiralty Manual of Tides*. H.M. Stationery Office, London, 1941.
- ROUCH (J.). — *Traité d'océanographie physique. T. III : Les mouvements de la mer*. Payot, Paris, 1948.
- MELCHIOR (P.). — *Les marées terrestres*. — Monographies de l'Observatoire Royal de Belgique, n° 4, 1954.

Werken waarin monografieën voorkomen die gewijd zijn aan de Noordzee en aan de Belgische kusthavens.

- WHEWELL (W.). — *Essay towards a first approximation to a map of cotidal lines*. Phil. Trans. Roy. soc., London, 1883.
- DE MEY (P.). — *Etude sur l'amélioration et l'entretien des ports en plage de sable et sur le régime des côtes de la Belgique*. Bruxelles, 1894.
- BLANCHARD (R.). — *La Flandre. Etude géographique de la plaine flamande, la France, Belgique et Hollande*. Paris, 1906.
- PROUDMAN (J.) and DOODSON (A.). — *The principal constituent of the tides of the North Sea*. Phil. Tr. R. Soc., London, 1924.
- DOODSON (A.). — *Meteorological perturbations of sea-level and tides*. Mon. not. R.S. Astr. Geoph. Suppl. 1, London, 1924.
- BRIQUET (A.). — *Le littoral du nord de la France et son évolution morphologique*. Paris, 1930.
- VAN VEEN (J.). — *Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandse Kust*. Rijkswaterstaat, 's Gravenhage, 1936.
- CHARLIER (Ch.). — *Détermination du niveau de la mer à Ostende*. Annuaire de l'Observatoire Royal de Belgique, 1939.
- SCHALKWYK (W.). — *A contribution to the Study of storm surges on the Dutch Coast*. Mededelingen en Verhandelingen. Serie B, publ. n° 7. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Inst., De Bilt, 1947.
- LAUWERS (J.). — *Les marées des ports d'Ostende, de Zeebrugge et de Nieuport*. Ann. Tr. Pub. de Belgique, 1949.
- VAN MEEL (L.). — *Le milieu marin au bateau-phare « West-Hinder »*. Période 1951-1955. Inst. R. des Sc. Nat. de Belgique. Tome XXIII, n° 4, 1957.
- SNEYERS (R.). — *La tempête et le débordement de la mer du 1^{er} février 1953*. « Ciel et Terre » 3 et 4, 1953. Bull. de la Soc. B. d'astr. de Meteor. et de Phys. du Globe.
- PONCELET (L.). — *Aperçu des circonstances météorologiques et climatologiques de la tempête des 31 janvier et 1^{er} février 1953*. Ann. tr. Pub. de Belgique, 6^e fasc., 1954.
- VERSCHAEVE (I.). — *La défense et le maintien des plages belges entre Zeebrugge et la frontière néerlandaise*. C.I.Lv. Bull. Techn. Tome I, Louvain.

Kaarten en documenten.

- BUREAU HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONAL. — *Constantes harmoniques des principaux ports*. Publ. Spéciale, n° 26, Monaco, 1933.
- MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN. — MINISTERIE DES TRAVAUX PUBLICS. — *Vlaamse Banken*. — *Bancs des Flandres (samengesteld uit Belgische, Nederlandse en Franse opnamen van 1935 tot 1962)*.
- MINISTERIE DE LA DEFENSE NATIONALE. — FORCE NAVALE. — *Rapport sur les études océanographiques effectuées au large des côtes belges, à bord du bâtiment de la Force navale « Eupen », en 1961*.
- ADMIRALTY PUBLICATION. — *British Islands and Adjacent Waters. Cotidal and Corange Lines*. London, 1937.
- RIJKSWATERSTAAT. — *Verlag over de waarnemingen met de « Oceaan », in het mondingsgebied van de Westerschelde (1934-38)*. 's Gravenhage, 1951.
- MINISTERIE VAN MARINE. — AFDELING HYDROGRAFIE. — *Stroomatlas voor de Nederlandse kust*. 's Gravenhage, 1951.
- MINISTERIE VAN MARINE. — *Reductiekaart 1956 (Studiekaart in verband met de plaats van de lokale vergelijkingsvlakken en de plaatsen met gelijk havengetal)*. 's Gravenhage, 1956.

Getijtafels.

- HYDROGRAPHIC DEPARTMENT. — *Admiralty tide tables*. London.
 SERVICE HYDROGRAPHIQUE DE LA MARINE. — *Annuaire des marées des Côtes de France*. Paris.
 MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT. — *Getijtafels voor Nederland*. 's Gravenhage.
 MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN. — *Getijtafels voor Oostende*. Brussel.

Monografieën over de Zeeschelde.

- ROCHET (E.). — *Description hydrographique de l'Escaut*. Bruxelles 1894.
 VAN BRABANDT (L.). — *Les étales de courant de l'onde de marée et leurs lieux géométriques*. A.T.P.B. (*), 1908.
 BONNET (L.). — *Contribution à l'étude théorique des fleuves à marée et application aux rivières à marée de l'Escaut maritime*. A.T.P.B. de 1922 à 1923 (7 fascicules).
 HAENECOUR (R.). — *Etude sur la formation de l'Escaut maritime et les rivières à marée de Belgique. Leur entretien et leur amélioration*. A.T.P.B., 1927.
 BONNET (L.), BLOCKMANS (J.) — *Etude du régime des rivières du bassin de l'Escaut maritime, par cubature de la marée moyenne décennale 1921-1930*. A.T.P.B., 1936.
 HAENECOUR (R.). — *Le problème d'hydraulique de l'Escaut maritime*. A.T.P.B., 1945.
 VERLOOY (J.). — *Over de invloed van de neerslag op de waterstanden in het Scheldebekken*. T.O.W.B. (**), 1947.
 CODDE (R.). — *Het verloop van het zoutgehalte in de Zeeschelde*. Acta Technica Belgica, C.I. 6, 1958.
 RIJKSWATERSTAAT. — *Verlag over de stormvloed 1953*. 's Gravenhage, 1961.
 MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN. — Tienjarige statistische gegevens betreffende de getijwaterstanden in het bekken van de Zeeschelde (verschenen in het *Tijdschrift der Openbare Werken van België*, met Franse samenvatting sedert het decennium 1931-1940) :
 VAN BRABANDT (L.). — *Récapitulation décennale 1901-1910*. A.T.P.B., 1912.
 BLOCKMANS (J.). — *Récapitulation décennale 1911-1920*. A.T.P.B., 1927.
 BLOCKMANS (J.). — *Récapitulation décennale 1921-1930*. A.T.P.B., 1934.
 VEKEMANS (R.). — *Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken 1931-1940*. T.O.W.B., 1946.
 CODDE (R.), DE KEYSER (L.). — *Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken 1941-1950*. T.O.W.B., 1954.
 CODDE (R.), DE KEYSER (L.). — *Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken 1951-1960*. T.O.W.B., 1963.
 BASTIN (A.). — *De sedimentologie van het Schelde-estuarium*. Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging. Verslagboek van het Vierde Internationaal Havenkongres. Antwerpen, juni 1964.
 STERLING (A.), ROOVERS (P.). — *Modelstudie betreffende de normalisatiewerken van de Westerschelde te Bath*. Zelfde bron al vorige.
 SNACKEN (F.). — *De ontwikkeling van het Scheldepolderlandschap*. Zelfde bron als vorige.
 MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN. — *Getijtafels voor Antwerpen*. Brussel.
 RIJKSWATERSTAAT. — *Jaarboek der waterhoogten*. — *Tienjarig overzicht der waterhoogten en afvoeren*. 's Gravenhage.
 (*) A.T.P.B. = Annales des Travaux Publics de Belgique.
 (**) T.O.W.B. = Tijdschrift der Openbare Werken van België.

INHOUDSOPGAVE.

Voorwoord	3
I. — Opmaken der kaarten	3
1. <i>Geografisch kanvas</i>	3
2. <i>Historisch overzicht</i>	3
II. — Het getij	4
1. <i>Historisch overzicht</i>	4
2. <i>Theorie</i>	5
3. <i>De getijden in de Noordzee</i>	7
4. <i>Bijzondere eigenschappen van het getij langs de Belgische en Nederlandse kust</i>	7
a) Amfidromisch stelsel	7
b) Lijnen van gelijktijdig hoogwater	8
c) Voortplanting. — Havengetal	8
d) Intensiteit van getij. — Tijverschil	8
e) Afwijking in de periode van het getij	9
f) Dagelijkse ongelijkheid in de hoogte der getijden	9
g) Ongelijkheid van de duur van « stijging en « daling »	11
h) Leeftijd van het getij	11
5. <i>Het getij in de Schelde</i>	11
a) Bondige uiteenzetting over de bijzonderste kenmerken van haar fluvio-maritieme verscheidenheid	11
b) Voortplanting der getijgolf	12
c) Afwijking in de « stijging » en de « daling »	14
d) Afwijking in de amplitude	15
e) Meetkundige plaats van het waterpeil van spring- en doortij	16
6. <i>De getijvoorspelling</i>	16
III. — Getijstromingen	19
1. <i>Stromingen in de Noordzee</i>	19
a) Stromingsrozen	19
b) Vloed- en ebstroming. — Kentering	19
c) Onderstromingen	21
2. <i>De stromingen in de Zeeschelde</i>	22
a) Eb- en vloedstroming. — Kentering	22
b) Stromingssnelheden	23
c) Onderstromingen	24
IV. — Invloed van meteorologische factoren. — Stormtijden	24
1. <i>Geval van de Noordzee</i>	24
a) Invloed van de luchtdruk	25
b) Verhoging van het zeepeil	25
c) Verlaging van het zeepeil	26
d) Bepaling van de stormtijden	28
e) Vervorming van de golven. — Breken.	28
f) Frekwentie van stormvloeden	28
g) Storing in de voorspelde uurrooster	29
h) Organisatie van de stormwaarschuwingdienst	29
2. <i>Stormtijden in de Schelde</i>	29
a) Bijzondere kenmerken	29
b) Frekwentie	29

V. — Zoutgehalte, temperatuur en densiteit van de wateren in de Noordzee en de Zeeschelde	32
1. Zoutgehalte in de Noordzee	32
2. Zoutgehalte van het Scheldewater	34
a) Kenmerken. — Chloorgehalte	34
b) Afwijkingen in het plaatselijk chloorgehalte	35
c) Seizoenschommelingen in het chloorgehalte	35
d) Voortplanting van de golf van het zoutgehalte	35
3. Temperatuur van de Noordzee	38
4. Temperatuur van het Scheldewater te Antwerpen	38
a) Halfdaagse temperatuurvariatie	38
b) Seizoenvariatie	38
5. Densiteit « in situ » van het Noordzeewater	41
6. Densiteit « in situ » van het Scheldewater	41
VI. — Bevriezing van de Schelde. — Ijsgang	42
VII. — De Zeebodem	42
1. Vergelijkingsvlakken voor de dieptemetingen (Bathymetrie)	42
2. Nul van de kaarten	43
3. Reliëf van de zeebodem	44
4. Nautische hoedanigheden van de toegangswegen naar de Schelde	46
5. Bodemreliëf en diepten in de Zeeschelde	47
6. Aard van de bodem in de Noordzee	47
7. Aard van de bodem van de Zeeschelde, de Rupel en de Durme	47
VIII. — Toegangswegen naar België van de zeescheepvaart	49
1. Toegang tot de haven van Nieuwpoort	49
2. Toegang tot de haven van Oostende	49
3. Toegang tot de haven van Blankenberge	50
4. Toegang tot de haven van Zeebrugge	50
5. Toegang tot de haven van Antwerpen	51
a) Evolutie in de nautische kenmerken van de Schelde	51
b) De baggerwerken	53
c) Ontwerpen tot de verbetering van de toegangswegen door normalisatie	54
IX. — Hydrologie van het hydrografisch Scheldebekken	54
1. Algemeenheden	54
2. Ontcijfering en analyse van de gegevens	56
a) Gemiddeld en uiterste waarden van het debiet	56
b) Afvloeiingscoëfficiënten	56
c) Verdampingsindex	58
Besluit	58
Figuren	59
Bibliographie	61

