



n. serneels

oceanografie

nr 14 / Oceaanwetenschap

Deze publikatie kwam tot stand dank zij de medewerking van onderstaande personaliteiten, vermeld in de volgorde waarop hun artikels gepubliceerd werden :

De h. E. LELOUP,

Doctor in de Zoölogische Wetenschappen
Laboratoriumdirecteur aan het Koninklijk Instituut
voor Natuurwetenschappen van België
Expert bij de Economische Organisatie
voor Samenwerking en Ontwikkeling (E.O.S.O.)

Dit nummer werd onder zijn leiding samengesteld

Professor H. LACOMBE

Fysisch oceanografielaboratorium van het
Musée National d'histoire naturelle, Parijs

Dr. Max GILLBRICHT

Biologische Anstalt, Helgoland

De h. L.H.N. COOPER

Marine Biological Association van het
Verenigd Koninkrijk van Groot-Brittannië

Dr. Walter CHIPMAN

Radiobiologisch Acting Director van het International
Laboratory of Marine Radioactivity, Monaco

RECHTZETTING

In de inhoudstafel van nr 13 is een spijtige vergissing geslopen
waarvoor we ons ten zeerste verontschuldigen. Men dient te lezen :
De h. Jean de Heinzelin de Braucourt
Doctor in de Wetenschappen
Professor aan de Universiteit van Gent
Docent aan de Vrije Universiteit van Brussel

BP review
wordt gepubliceerd door BP Belgium n.v.
Jan van Rijswijcklaan 162, Antwerpen

Alle briefwisseling betreffende "BP review"
dient gericht aan de Public Relationsdiensten
van BP Belgium n.v.
Jan van Rijswijcklaan 162, Antwerpen

Verantwoordelijke uitgever : E. ALLEBE
Mechelsesteenweg 245, Antwerpen

Hoofdredakteur : Marcel BEAUFAYS

Fotogravure De Schutter

Drukkerij E. Stockmans & C° n.v.

Edition française sur demande



...De eerste die de zee bedwong, zegt een Maleise legende, was een verloren gelopen kind, de enige overlevende van een volksstam die door het hemelvuur doodgebliksemd werd. De andere clans, die in de laren van het woud verbleven, weigerden het een onderkomen te geven. Het deed beroep op het medelijden der dieren. Een wilde eend stond het zijn uit gevlochten bamboestokken vervaardigd nest af. Het kind legde zich neer om te sterven en... sliep in. Toen het uit zijn slaap ontwaakte, dacht het in het paradijs der verloren kinderen terecht te zijn gekomen. Weldra onderging het de aanval van de Zeven gesels van de Zee: de angst, de honger, de dorst, de eenzaamheid, het zelfbeklag, de spijt en de hoop. Toen hij deze teruggedreven had, werd hij grond gewaar. Hij zag dat deze op zijn geboortegrond gelek en koud was als een dode onder het blanketsel van zijn fonkelende vruchten en zijn goudblonde stranden.

"La Mer" (V. Romanovsky et C. Francis-Bæuf)

Jules Verne deed in zijn gedenkwaardige "droom"-reis: "Twintigduizend mijl onder zee" enigszins een onderzeese reis om de wereld. Deze illustratie van Neuville en Riou, verschenen in een uitgave van J. Hetzel en Cie, toont zeekwallen en lange zeewierlierten.

Dr. E. Leloup

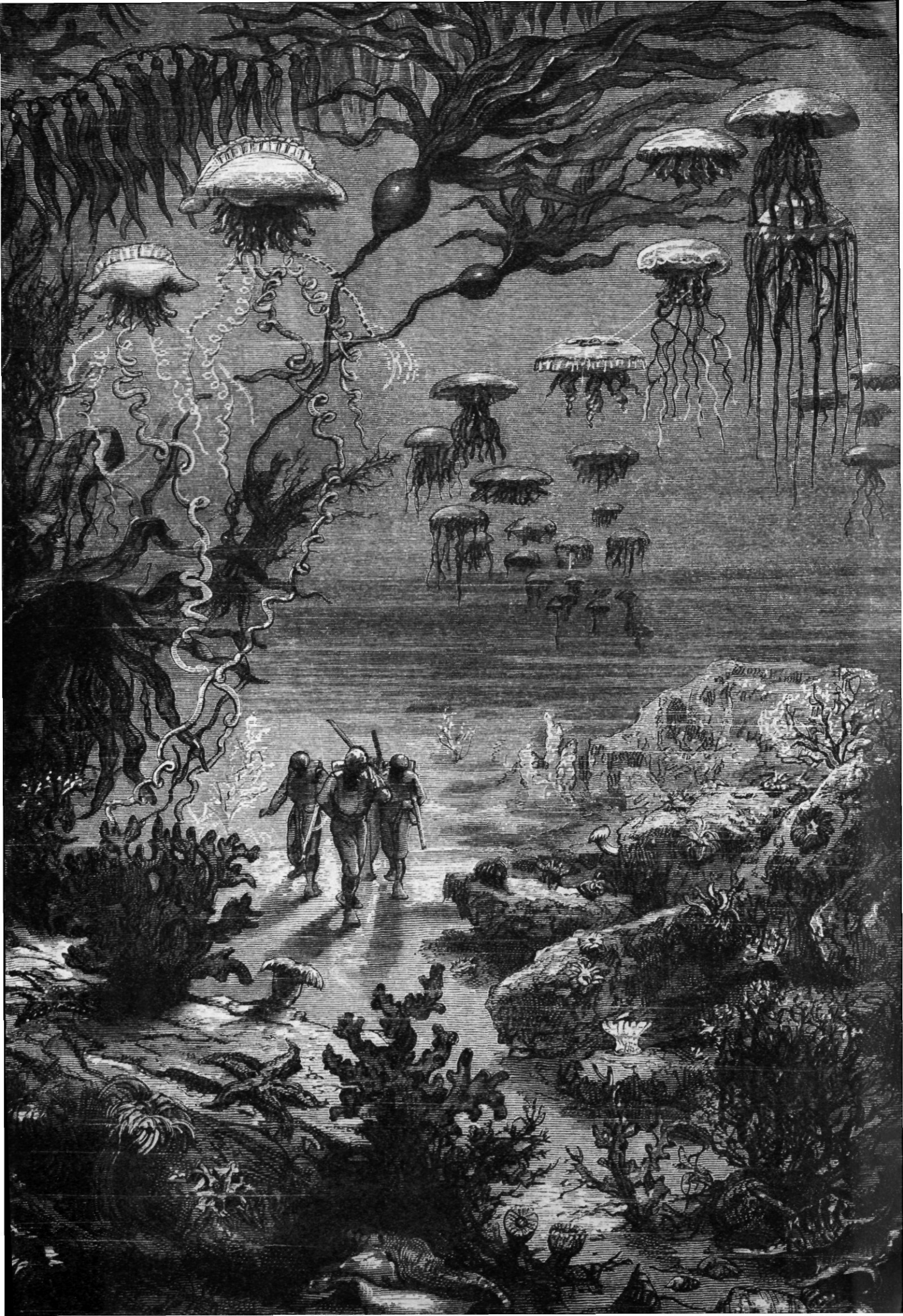
De mens kent de werking van het zeewater bij middel van de golven, de deining, de getijden en de vloedgolven, waarvan hij de gevolgen ondergaat. Tijdens zijn zwerftochten over de steeds in beweging zijnde oceanen stelt hij, sinds de oudheid, aan de oppervlakte en in de diepte verplaatsingen vast van aanzienlijke zoutwatermassa's.

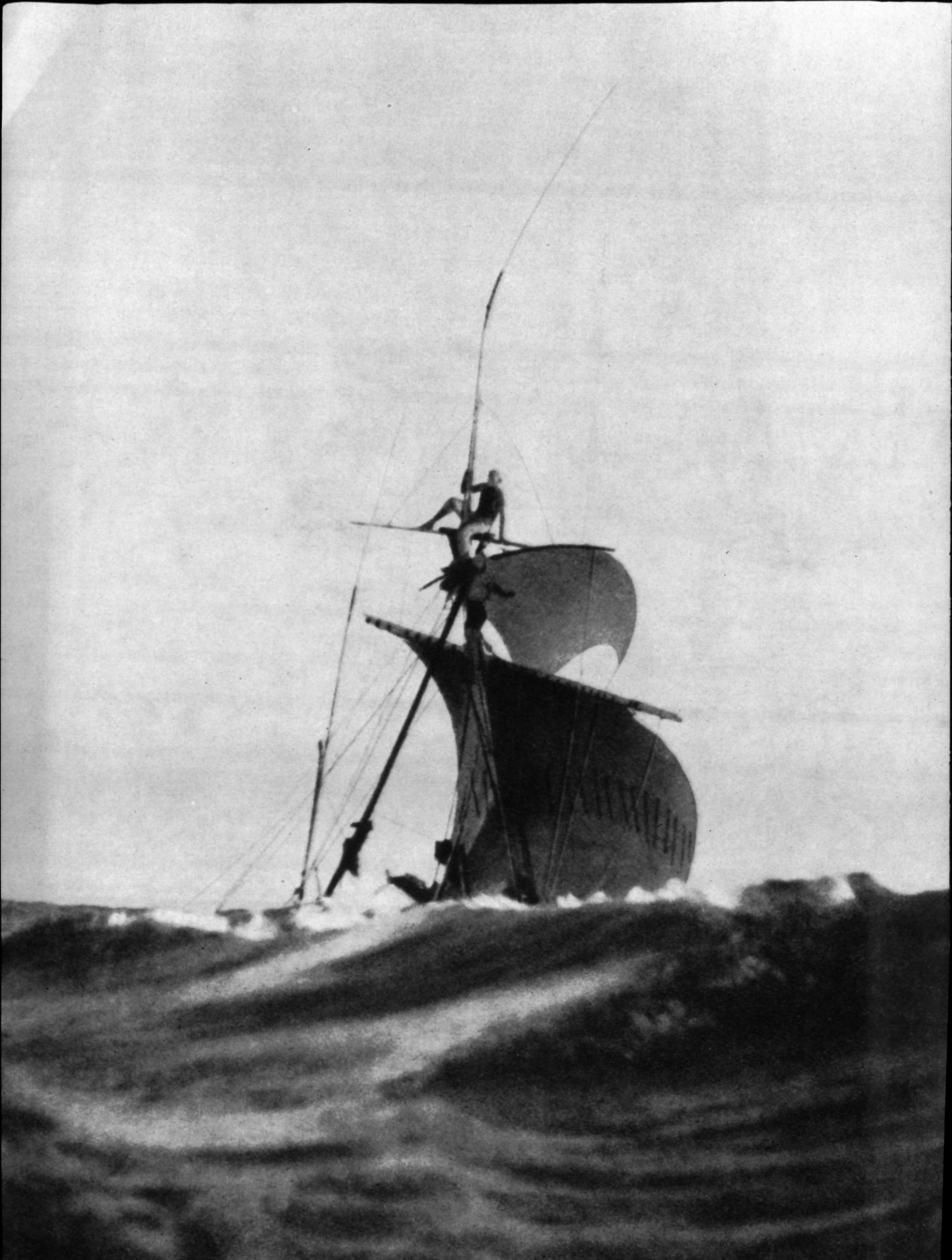
Deze warme of koude stromingen blijven niet zonder gevolg voor de algemene ekonomie van bepaalde landen. Zo kunnen we bijvoorbeeld de werking aanstippen van de Golfstroom op de westkust van Noord-Europa evenals die van de Humboldtstroom op de Stille Zuidzeekust van Zuid-Amerika. De mens heeft eveneens de invloed erkend die de wenteling van de aarde op de grote oceaancircuits uitoefent; deze draait in de richting van de wijzers van een horloge in het noordelijk halfrond en in omgekeerde richting in het zuidelijk halfrond.

Anderzijds beuken verticale stromingen tegen de vastelandskusten in. Zij brengen het water uit de diepten naar de oppervlakte en voeren aldus alle opgeloste minerale zouten met zich die noodzakelijk zijn voor het leven van de mikroskopische wezens van het oppervlakteplankton. Op sommige plaatsen volgt hieruit een doorgedreven vermenigvuldiging van organismen. Dit diep water bevordert aldus het ontstaan van geweldige concentraties van vissen.

Aflevering 13 van "BP review" zet de ideeën uiteen die de oceanografen onlangs verworven hebben over de oorsprong en het ontstaan der oceanen; over de uiterlijke gedaante van uit het water opgedoken land en van de oceaانبekkens, over de aard van de zeebodem evenals over het zeeijs en de ijsbergen.

Maar de mens maakt gebruik van het zoutwater. Hij trekt er zeezout uit, broom, kali, iodium en tal van andere producten. Het levert hem ook eetbare planten en dieren. Tevens slaagt hij er in het zeewater zelf te karakterizeren en er enkele dynamische, fysische en scheikundige eigenschappen van te bepalen. Dat is het doel van aflevering 14 van dit tijdschrift.





Prof. Dr. Lacombe

De zee is de zetel van bewegingen, die zowel in hun oorzaken als in hun uitingen uiterst gevarieerd zijn.

Wanneer de zeevaarder zich aan boord van een schip begeeft, ondergaat hij dadelijk de wieging, die ontstaat door de kortstondige en onstuimige beweging, eigen aan de golven en de deining. Doch er zijn tal van andere bewegingen, waarvan de zeewaarnemer zich geen rekenschap kan geven door het gebruik van zijn zintuigen, wegens gebrek van een referentiepunt om deze bewegingen af te meten. Het is gebleken dat de best waarneembare kortstondige bewegingen, zoals de golven, tevens de minst veelvuldige zijn onder die welke zich voordoen op de geweldige oceanische uitgestrektheid, die 71 % der oppervlakte van onze aardbol inneemt.

Wanneer wij de golfbewegingen in gedachten uitschakelen, zou er dan kalmte heersen? Beslist niet; het zou een misleidende "kalmte" zijn, vermits er tal van bewegingen bestaan die wij, bij gebrek aan referenties, slechts met behulp van speciale technieken kunnen opsporen. En nochtans welke speling in de gamma van die bewegingen... Men ontmoet inderdaad "grote oceaanstromingen" waarvan het geheel de "oceaancirculatie" uitmaakt. Zij doen zich voor in uitgestrekte gebieden, zoals de noordelijke Atlantische Oceaan, waarheen water wordt gevoerd volgens min of meer gesloten banen, van verscheidene duizenden kilometers, afgelegd met zeer ongelijkmatige snelheden naargelang de gebieden. Hoog in de buurt van de westelijke grens van deze oceaan (gebied van de Golfstroom), zijn zij in hun oostelijk gedeelte nauwelijks merkbaar; de vervoerde watervolumes belopen verscheidene tientallen miljoenen kubieke meter per seconde. In de gamma der afnemende trajekten van watermolekulen komen vervolgens de getijstromingen, die onafscheidelijk verbonden zijn aan de schommelingen van het zeeniveau onder invloed van de gravitatiekrachten, die door de ons meest

de dynamika van oceaanwater

nabije hemellichamen - de maan en de zon - op de vloeibare molekulen worden uitgeoefend. Deze krachten, die lichtjes verschillen van die welke zich doen gelden op een molecuul die in het midden van onze aardbol zou geplaatst zijn, pogen de molekulen aan de oppervlakte ten overstaan van die van de kern te verplaatsen. Zij behoren tot de zeer zeldzame krachten, die zich op het water doen gelden, waarvan wij de nauwkeurige wiskundige formule kennen. Zij verwekken stromingen die water vervoeren over afstanden die een kilometer, een tiental kilometers of meer bedragen en vooral in de ondiepe gedeelten van de zeeën voelbaar zijn. Deze bewegingen, net als die welke eigen zijn aan de deining, worden elders in dit tijdschrift bestudeerd.

Maar buiten al de aangehaalde zeebewegingen, ontmoet men overal op zee een woeling op kleine schaal, de turbulentie, die een hoofdrol speelt, enerzijds in het overbrengen

van de beweging tussen aangrenzende waterlagen met verschillende snelheden, en anderzijds in de praktische verdeling van al de eigenschappen in het water. Bewegingsoverbrenging en "woelige" verdeling der eigenschappen zijn veel heviger dan wanneer het water zou in beweging gebracht worden door een ideale, niet woelige beweging, een gelaagde laminaire stroming, die men op zee praktisch nooit ontmoet. Ten slotte zijn bepaalde zeer langzame oceaانبewegingen van belang voor aanzienlijke watervolumes, ter grootte van $\frac{2}{3}$ van het volume van oceaanwater. Deze bewegingen vormen de "diepe circulatie" der oceanen en zijn afhankelijk van het koude water dat gewoonlijk op hogere breedtegraden in de oceaانبekkens wordt uitgestort. Dat koude water wordt naar lagere breedtegraden gevoerd en draagt doelmatig bij tot het termisch "konditioneren" van onze planeet.

◀ Een harde leertijd in de Humboldtstroom (naar "De expeditie van de Kon-Tiki" door Thor Heyerdahl. Pl. V. P. 95).

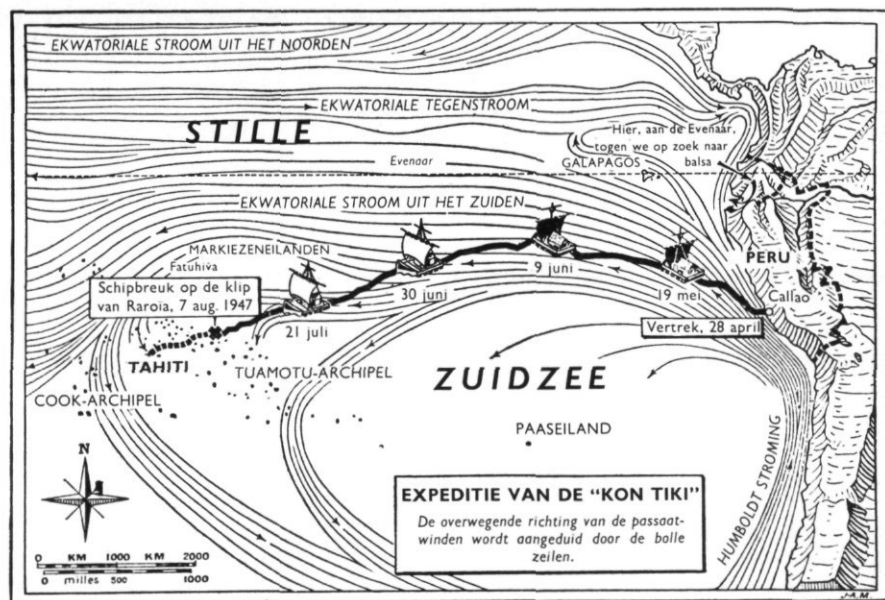
I. ONDERZOEK DER STROMINGEN

Wat weten wij over deze stromingen? Onze rechtstreekse kennis van de oceaancirculatie aan het oppervlak berust essentieel op de waarnemingen van zeevaarders, die sinds geruime tijd een voorstelling van de stroming verkregen door vergelijking van de "ware" plaats van het schip, bekomen door het bepalen van het astronomisch punt en door de "geschatte" positie, resultante van de gevolgde koers en van de snelheid ten opzichte van het water, afgeleid uit het aantal wentelingen van de schroef afgestemd op een snelheidsbasis. De menigvuldigheid der gedane waarnemingen, hun systematische ontleding volgens de scheepsjournalen, hebben het mogelijk gemaakt maandelijks, halfjaarlijkse of jaarlijkse "stromingskaarten" op te stellen, dikwijls per "vierkante graad" in breedte en lengte, en die het gemiddelde van alle in het "vierkant" uitgevoerde en beredeneerde bepalingen weergeven.

De bekomen cijfers hebben een statistische waarde wanneer de waarnemingen talrijk zijn; maar zij ontstaan echter uit een blind gemiddelde van meestal uiteenlopende individuele waarnemingen van de totale afdriving en niet alleen van het deel dat aan de stroming te wijten is, dus zonder de afwijkingen van het schip onder invloed van de wind.

Deze scheepswaarnemingen hebben slechts betrekking op de oppervlaktestroming en blijven zonder belang voor de lagere en de diepere bewegingen. De "stromingskaarten" geven nochtans het essentiële weer van wat wij weten over de oceaancirculatie volgens rechtstreekse bepalingen. Het meten op een bepaald punt van een stroming in volle zee is zelfs aan de oppervlakte - en nog meer in diepere lagen - een moeilijke onderneming voor een schip dat het anker moet werpen of gemeerd worden aan een boei om enigszins stabiel te blijven. Tot nog toe werden nog maar heel weinig rechtstreekse metingen verricht en alleenstaande metingen van korte duur hebben daarenboven dikwijls weinig zin.

Bovendien zijn die rechtstreekse metingen, niettegenstaande de ont-



(naar het werk "De expeditie van de Kon-Tiki" door Thor Heyerdahl)

De oceaانبewegingen dragen doeltreffend bij tot het termisch "konditioneren" van onze planeet...

wikkeling van procédés welke de rechtstreekse bepaling van de oppervlakte- of onderoppervlaktestroming mogelijk maken, nog veel te gering om er een algemeen beeld uit af te leiden van de niet strikt oppervlakkige circulatie. Om dat te bekomen, moet men vertrouwen op onrechtstreekse methoden.

Hierbij worden matematische werktuigen gebruikt, die de werkelijkheid weergeven langs een vrij algemeen geldend schema van de natuurlijke voorwaarden, gesteund op de algemene fysische resultaten der oceanografische expedities. De omvang van deze resultaten, sterk verschillend van streek tot streek, is in ruimte en tijd zeer gering.

De beoordeling van deze onrechtstreekse methoden vereist dat voor-

eerst een inventaris opgemaakt wordt van de werkingen en krachten op het zeemilieu en die de oceaancirculatie kunnen verwekken, handhaven, beïnvloeden of weergeven. Uit deze inventaris blijkt het uitzonderlijke belang van de uitwisseling van energie tussen oceaan en dampkring in termische en mechanische vorm.

De termische energie, die de oceaan en de dampkring met mekaar uitwisselen, komt enerzijds voornamelijk voort uit de warmtevoorraad door de zonnestraling aan het zeeoppervlak geleverd en anderzijds uit het warmteverlies geleden door de verdamping van het water. De voornaamste fysische kenmerken, temperatuur en zoutgehalte, van het mariene oppervlaktewater worden

De "rokende" zee. 1 Februari 1959 —38°N —69°W — De temperatuur van het water overtreft die van de lucht met 20°C. (Dokument C. NEUMANN van de Woods Hole Oceanographic Institution) (beeld 1)



hoofdzakelijk bepaald door het vergelijken der intensiteit van die twee tegengestelde processen. Daar het oppervlaktewater warmer is dan de lucht, is de verdamping biezonder intens wanneer de densiteitsligging in de luchtlagen in contact met het water labiel is. Deze lagen willen zich dan verheffen en de vochtigheid meevoeren waarmee ze geladen zijn. (Beeld I, genomen bij ongeveer 38° Noord, 69° W op 1 februari 1959 door C. Neumann van het Instituut van Woods Hole; de temperatuur van het water overschrijdt die van de lucht met 20°).

De zeer geringe betrekkelijke betekenis van de diepten der oceanen tegenover hun horizontale afmetingen heeft voor gevolg dat de invloed op de zee van de energie, die zij met de dampkring ruilt, aanzienlijk is. Welnu, de hoger aangehaalde termische uitwisselingen hebben een rechtstreeks effect op de densiteit en de gelaagdheid van het water. In bepaalde koude streken is het water, dat aanzienlijke termische verliezen door afkoeling en verdamping heeft ondergaan, vooral in de winter in staat een densiteit te bereiken die hoog genoeg is om soms zeer diep in deze gebieden, "diepwaterbronnen" genaamd, door te dringen. Deze laatste komen in de oceanen, zoniet in de zeeën, weinig voor en verwekken de hoger aangehaalde diepe circulatie. Vanaf het ogenblik dat het water gezakt is, wordt het onttrokken aan de uitwisseling van energie met de dampkring en de studie van de langzame evolutie van zijn dieptekenmerken geeft, met behulp der methode van de "analyse der watermassa's", inlichtingen over de beschreven geografische omlopen.

Maar de tamelijk regelmatige winden, die over de uitgestrektheden van de zee waaien, oefenen op het oppervlak ervan een wrijving uit die het water rechtstreeks wegvoert door mechanische energie, vooreerst aan de dunne bovenlaag, daarna in een aanzienlijke dikte van een honderdtal meters door viscositeit, versterkt door de turbulentie. Nabij de oceaanoevers of de grenzen tussen verschillende stromingen, kunnen deze "afdrijvingsstromingen", ontstaan door de winden, verticale bewegingen uitlokken, belangrijk door sommige van hun gevolgen, onder andere het opstij-

gen van koud water ("opwelling"), waardoor diep water, rijk aan voedende zouten, nabij de oppervlakte wordt gevoerd.

Naast de verdeling der densiteiten, welke de drukking in de massa bepaalt, de "innerlijke" kracht dus, is er nog de verbreiding van de wrijving aan het oppervlak, een der "uiterlijke" krachten, welke op de zee inwerken en in staat zijn belangrijke bewegingen uit te lokken. Het is gebleken dat het wezenlijkste van de oceaancirculatie aan de oppervlakte en even daaronder door de wind ontstaat.

Maar zodra een uitwendige kracht in een zeegebied met heterogene densiteit een beweging uitlokt, reageert zij op de verdeling der densiteiten. Elke door de zee ondergane inwerking, uitwisseling van termische energie met de dampkring, stroming wegens een uitwendige kracht, neerslag, smelten van het ijs, enz... reageert dus op de verdeling der densiteiten. Dit is dus een syntese-element dat de tolk is van alle door het zeemilieu ondergane inwerkingen. Men leidt er in het biezonder uit af dat de verdeling der densiteiten in staat is, althans gedeeltelijk, de aanwezigheid aan te duiden van zeestromingen, onverschillig of zij ontstonden door een innerlijke ofwel een uiterlijke oorzaak.

In het begin van de eeuw heeft men een zogenaamd "geostrofiisch" krachtendiagram ontworpen, gelijkaardig met dat van de geostrofiische winden in de meteorologie, dat schematisch verband legt tussen de verdeling der zeedensiteiten en de spreiding der stromingen, oppervlakkige zowel als diepe. In dit krachtendiagram werd ook de "Corioliskracht", een gevolg van de aswenteling der aarde, opgenomen, aangezien ze van overwegend belang is bij de studie der zeestromingen op lange termijn.

Aldus zijn wij in de mogelijkheid de omvangrijke informatie over de densiteit van het zeewater op verschillende punten, verzameld door de talrijke oceanografische opsporingsschepen, aan te wenden tot betere kennis van de zeecirculatie. In feite is het essentiële van wat wij weten buiten de loutere oppervlakte-circulatie, het resultaat van onrechtstreekse bepaling met het "krachtendiagram". De schematizeringen

**"Een stroom
in de Oceaan,
die nooit uitdroogt
of buiten zijn oevers
treedt... sneller dan
de Amazone,
majestueuzer dan
de Mississippi..."**

en de moeilijkheden (keus van de referentie-oppervlakte) die zij bevat, verlenen haar slechts een benaderend karakter. Bij gebrek aan rechtstreekse stromingsmetingen, die talrijk en lang genoeg zijn, is dit diagram van aanzienlijk belang. Maar wij zullen zien dat het slechts een algemeen schema van de stromingen kan geven. Het voorbeeld van de evolutie der ideeën over de Golfstroom sinds twintig jaar zal ons helpen dit te begrijpen.

II. DE GOLFSTROOM

De Golfstroom is enigszins een oude bekende van elk van ons. Reeds op de schoolbanken klonk deze naam ons vertrouwd in de oren als die van een weldoende genius, die West-Europa van een gunstregime liet genieten. Dank zij hem werden de hitte van de continentale zomers en de strengheid der winters gemilderd; onze kusten zijn 's winters toegankelijker dan die van Nieuw-Schotland. In 1770 gaf Franklin een "kaart van deze stroom" uit (beeld 2).

De Amerikaanse oceanograaf, M. F. Maury, schreef in 1859: "Het is een stroom in de oceaan; gedurende de hevigste droogten droogt hij niet uit; bij de hoogste waterstanden treedt hij nooit buiten zijn oevers. Zijn westelijke oever en zijn bekken zijn koudwaterlagen, waartussen warm en blauw water met vlugge golflslag vloeit; nergens ter wereld bestaat er zulke majestueuze stroom. Hij is sneller dan de Amazone, majestueuzer dan de Mississippi en het geheel van deze twee stromen vertegenwoordigt niet het duizendste deel van het watervolume dat hij verplaatst.

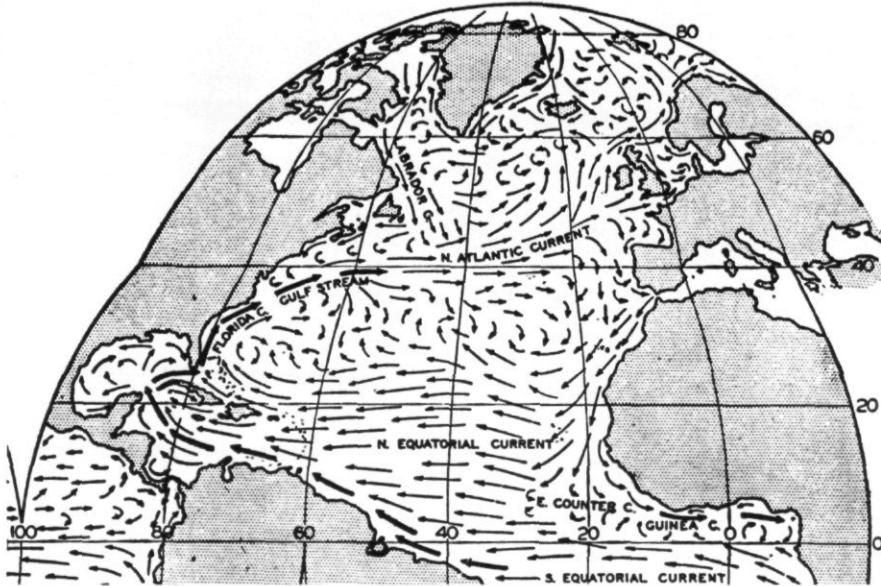
Deze machtige "stroom", die een geheel vormt dat men "Golfstroom" noemt, bestaat in feite uit verscheidene stromingen (beeld 3):

- de zogenaamde Florida-stroming, afkomstig van de zeestroom, gelegen tussen Florida en Cuba, trekt naar het noorden langs de Amerikaanse continentale helling;
- de zogenaamde "Golf-stroming", die zich van het land verwijderd vanaf de Kaap Hatteras, strekt zich uit tot het zuiden van de Banken van Newfoundland, hetzij ongeveer 45° lengtegraad west, waarboven de stroming de neiging

De Golfstroom
(volgens B. FRANKLIN, 1770)
(beeld 2)



Appendix 10 - Cruise and Geodetic Survey, Report for 1890



Systeem van de stromingen van de Noord-Atlantische Oceaan (volgens SVERDRUP) (beeld 3)

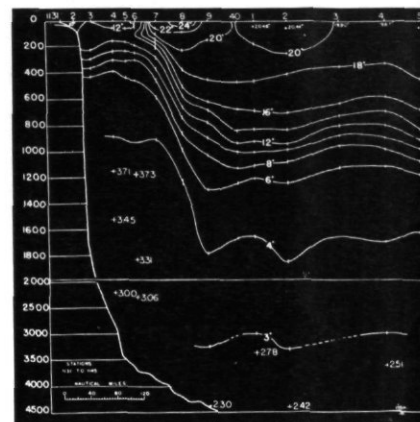
vertoont zich open te stellen en haar individualiteit prijs te geven ;

— De Noord-Atlantische stroming of -afdrijving volgt hierop. In dat gebied laat zich een stroming gevoelen die gemiddeld naar het noordoosten of het oosten trekt. De stroming is er minder regelmatig en vangt de impuls op van de westenwinden, welke in dit gebied veelvuldig voorkomen.

Anderzijds vloeit in de Florida-stroming, in de omgeving van de breedtegraad van de Bahama Eilanden, een belangrijke vloed die langs de Grote Antillen in het noordoosten loopt en rechtstreeks aansluiting geeft met het noordelijk deel van de noordelijke Ekwatoriale stroming. Ten oosten van de Golfstroom strekt zich een ruim gebied uit dat zich zeer langzaam beweegt, de zee van Saragossa. Het water van de Golfstroom, dat grotendeels uit de noordelijke ekwatoriale stroming voortkomt, nadat deze door de Golf van Mexico doorkruist werd, is warm, zout en blauw. Maar het baart vooral opzien wegens het contrast dat het biedt met het koud en zoutarm kustwater dat overvloedig aanwezig is langs de linkerkant van de eigenlijke Golfstroom, van Kaap Hatteras tot aan de banken van Newfoundland. Deze contrastzone is de "Cold Wall"; in 1922 vertoefde een schip van de Amerikaanse "Coast Guard", dat zich met de "Ice Patrol" bezighield, en schrijlings op de watergrens stilstond, met zijn voorsteven in water van 1° C en zijn achtersteven, 72 meter verderop, in water van 13° C. Dit warmteverschil is uitzonderlijk, maar het past hierbij op te merken

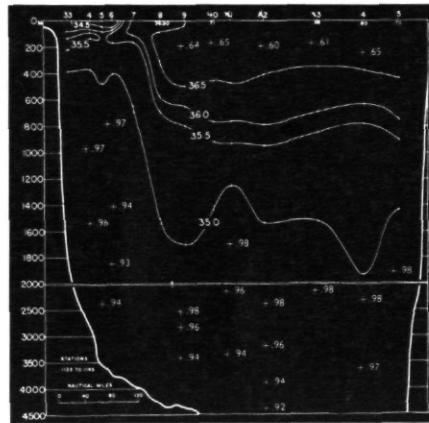
dat het essentiële kenmerk van het water van de Golfstroom nu niet bestaat in een precieze gamma van temperatuur en zoutgehalte van het water, maar vooral in de snelle schommelingen in de horizontale richting van deze eigenschappen, dus ook van de densiteiten van het zeewater. Het hoger aangehaalde geostrofisch krachtendiagram toont aan dat de streken met betrekkelijk sterke horizontale schommelingen van densiteit samenvallen met gebieden met sterke stroming. Net zoals in de dampkring de gebieden met hevige winden samenvallen met de gebieden met sterke horizontale gradiënten van atmosferische druk. Het bestaan van sterke horizontale gradiënten van zeedensiteiten valt samen met sterke kurvehellingen van gelijke temperaturen (isothermen) of gelijke zoutgehalten (isohalines) op verticale vlakken in zee. De beelden 4, 5 en 6 tonen, volgens de verrichtingen van het Amerikaanse schip "Atlantis", verticale vlakken van temperaturen en zoutgehalten (februari 1932) en van zeedensiteiten (augustus, september 1932) tussen de toegang tot de Chesapeake en de Bermuda Eilanden. Op de densiteitskaart stemt de gemerkte waarde van 27,75 overeen met een densiteit van het water van 1,02775. De zone met sterke stroming valt samen met het gebied met sterke helling van deze kurven. Beeld 7, dat volgens Iselin het reliëf toont van het isothermisch vlak van 10°, bakent op het plan goed de zone met sterke helling van dit oppervlak en de zone met sterke stroming af. Dit reliëf vermindert naar het noordoosten : men verlaat de zone van de

Temperatuurschijf tussen de inham van de Chesapeake en de Bermuda Eilanden (diepten in meters). 11-18 Februari 1932 (naar Iselin) (beeld 4)

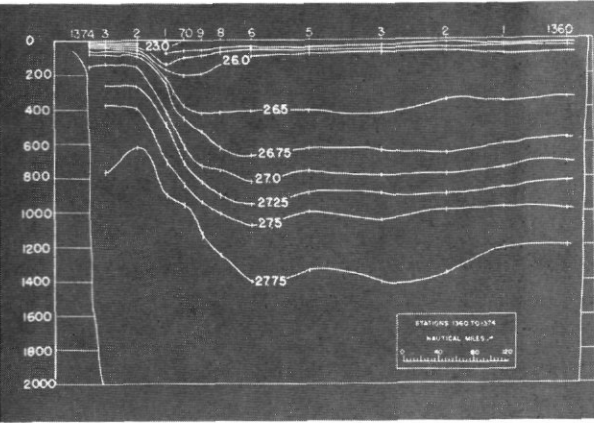


Golfstroom voor die van de Noordatlantische afdrijving. De Florida-stroming is tussen 1884 en 1887 het toneel geweest van rechtstreekse systematische metingen van zeestroming, aan de oppervlakte en in de diepte, onder leiding van John Elliott Pillsbury, officier bij de Amerikaanse Marine. De bij deze gelegenheid verrichtte werken maken, misschien zelfs tot op vandaag, het belangrijkste geheel uit van rechtstreekse stromingsmetingen op grote diepten. De door Pillsbury gemeten snelheden bereikten 1,8 m/s in het Kanaal van Florida tussen het schiereiland en de Bahama Eilanden. Tussen het schiereiland van Yucatan en de westpunt van Cuba heeft hij bij de 1,3 m/s gemeten. Ter hoogte van Kaap Hatteras, in de as van de stroming, bedroeg de gevonden maximum snelheid 1,8 m/s, ongeveer zoals in het Floridakanaal.

Deze metingen gaan de invoering van het geostrofisch krachtendiagram een twintigtal jaren vooraf. Toegepast door G. Wüst in 1924, op de plaats van het vak van Pillsbury, in het Floridakanaal, heeft het een verdeling geleverd van berekende stromingen die uiterst dicht bij de van de rechtstreekse metingen van Pillsbury afgeleide verdeling liggen. Welnu, de metingen waarop de geostrofische formule berust, behoren tot de meest klassieke en eenvoudigste van de oceanografische techniek en vereisen vooral heel wat minder middelen en bieden heel wat minder moeilijkheden dan de rechtstreekse stromingsmetingen. Over de ganse wereld heeft zich dan ook een verwaarlozing voorgedaan der rechtstreekse stromingsmeting ten bate van de onrechtstreekse bepalingsmethode die de toepassing van het geostrofische diagram uitmaakt. De idee, die men zich tussen 1924 en het einde van de tweede wereldoorlog van de Golfstroom gevormd heeft, berust op dit diagram: men mag zeggen dat ze het "geostrofische apogeu" van de Golfstroom is. Het betaamt te precizeren dat dit geostrofisch denkbeeld op de fundamentele hypothese berust volgens dewelke de stroming bestendig is, dat wil zeggen plaatselijk onveranderlijk in de tijd. Anderzijds berusten de volgens het diagram bepaalde snelheden op waarden van de vloeibare densiteit



Zoutgehalteschiff tussen de inham van Chesapeake en de Bermuda Eilanden (diepten in meters, zoutgehalte in grammen per kg zeewater). 11-18 Februari 1932 (naar ISELIN) (beeld 5)



Densiteitsschiff tussen de inham van Chesapeake en de Bermuda Eilanden (diepten in meters). 23 Augustus - 3 september 1932. (naar ISELIN). De cijfers vertegenwoordigen het verschil op één van de densiteit vermenigvuldigd met 1.000. (beeld 6)

Diepte in meters van de isothermische oppervlakte van 10° C. (naar ISELIN) (beeld 7)



op verticale trappen van 20 tot 50 mijl, waarvan men ook de bestendige verdeling veronderstelt. Elke reeks metingen op een verticale ("hydrologisch station" genoemd) vergt drie uur tijd en de gewoonlijk door een enkel schip gemaakte opeenvolgende stations verschillen dus eveneens met enkele uren. De verdeling van aldus bepaalde stromingen zou dus de "fijne structuur" van het stromingsveld, net als de schommelingen ervan in de tijd, niet op de voorgrond kunnen brengen. Doet de werkelijke Golfstroom zich in dit kader voor? Zulks eenvoudigheidshalve veronderstellen betekent niet dat de oceanografen meenden het werkelijk te hebben verwezenlijkt. Maar het was de enige opvatting die de praktische bepalingsmogelijkheden van die tijd toeliet.

De geostrofische "Golfstroom" verplaatst ongeveer 55 miljoen kubieke meter per seconde naar het noordoosten, de Floridastroom 26 miljoen (in overeenkomst met de gegevens van Pillsbury); 12 miljoen m³/s zouden voortkomen van de Antillengestroom, 17 miljoen zouden deel uitmaken van een draaikolk in de richting van de wijzers van een horloge in het westelijk gedeelte van de zee van Saragossa. Meer naar het oosten, richting Europa, zouden er 16 miljoen m³ tussen de Azoren en Portugal voorbijtrekken; 6 zouden zich naar het noordoosten begeven ter hoogte van Ierland, waarvan 3 hun weg zouden vervolgen naar Noorwegen en 3, al afbuigend naar links, zich zouden aansluiten bij de stroming die langs het zuidoosten de oostkust van Groenland bespoelt.

Hoe werden deze opvattingen sinds het einde van de tweede wereldoorlog gewijzigd?

III. DE GOLFSTROOM VOLGENS NA DE TWEDE WERELDOORLOG GEDANE BESTUDERINGEN

Van 1936 af had de verhoging van het aantal werkcampagnes van het schip "Atlantis" van het Woods Hole Oceanographic Institution, gelegen nabij Kaap Cod, niet ver van de Golfstroom, seizoenfluctuaties van de geostrofische Golfstroom op de voorgrond gebracht, evenals plaatselijke fluctuaties van de ver-

deling der densiteiten op de vertikaal, die snel genoeg waren om de "onbestendigheid" te suggereren van deze verdeling en derhalve ook van de stroming.

Maar tijdens en na de tweede wereldoorlog en aanvankelijk ten minste uit militaire noodzaak, hebben de vorderingen van de techniek voor de oceanografen methoden beschikbaar gemaakt die de ogenblikkelijke plaatselijke bepaling toelaten van de door een schip ontmoete oppervlaktestroming, van de termische structuur in een naburige waterlaag van het oppervlak van 250 meter dikte, van de ogenblikkelijke watervloed die bijvoorbeeld de zeearm tussen de Florida en de Bahama Eilanden oversteekt. Deze vorderingen vinden hun hoogtepunten in het bedrijfsklaar maken van de batytermograaf (Spilhaus), netten van radionavigatie, studiemethoden der waterbewegingen door het meten der elektromotorische inductiekrachten die ontstaan door de verplaatsing van konductoren of van zeewater in het magnetisch aardveld (Longuet, Higgins, Von Arx).

Ingevolge talrijke vaststellingen, in ruimte en tijd, gedaan door schepen die afgezonderd lagen van snelle fluctuaties van fysische en dynamische zeekenmerken, kwam men tot de methode van het "opmaken op verscheidene schepen", welke belangrijke drijvende middelen concentreerden, om een bepaald probleem in een afgetekend gebied te bestuderen. De eerste operatie van die soort was de operatie "Cabot", gezamenlijk uitgevoerd door de Verenigde Staten en Canada in juni 1950. Men is dan tot de bevinding gekomen dat de Golfstroom geen regelmatig in zee vloeiende stroom is, aan de oppervlakte noch op grote diepte, doordat hij gevormd werd door sterke, smalle stromingtongen (tot op 6 knopen, hetzij 3 m/sek), bestendig fluktuierend, golvende slingeringen vormend die hun omtrek op een enigszins regelmatige wijze veranderden. Min of meer beweeglijke, min of meer uitgestrekte draaikolken, gevormd door koude in warm water gesloten waterlobben, werden opgemerkt (beelden 8, 9, 10 en 11).

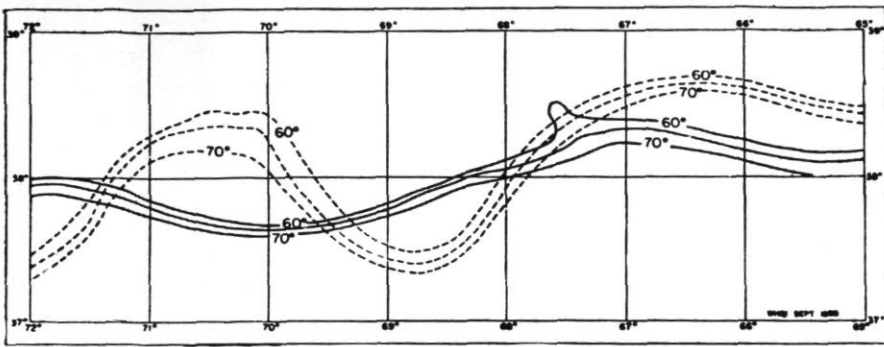
Aldus verminkt het bedrijfsklaar maken van de door de vorderingen der techniek beschikbaar gestelde

toestellen de gemiddelde geostrofische opvatting die wij in 1936 hadden en plaatst de oceanografen tegenover tal van verwickelingen. Een alleenstaande meting heeft geen zin meer. Hoe deze stroming kenmerken? Hoe er de fijne structuur van bepalen? Hoe er de samenstelling op kleine schaal van verklaren? Gaan wij uit de verhoging van het aantal metingen, ten koste van langdurige en dure operaties, een "statistische" Golfstroom afleiden? Zal hij aanzienlijk verschillen van de geostrofische Golfstroom? Zal hij genoeg verschillen om de door de verhoging van het aantal operaties op zee vereiste uitgaven te rechtvaardigen?

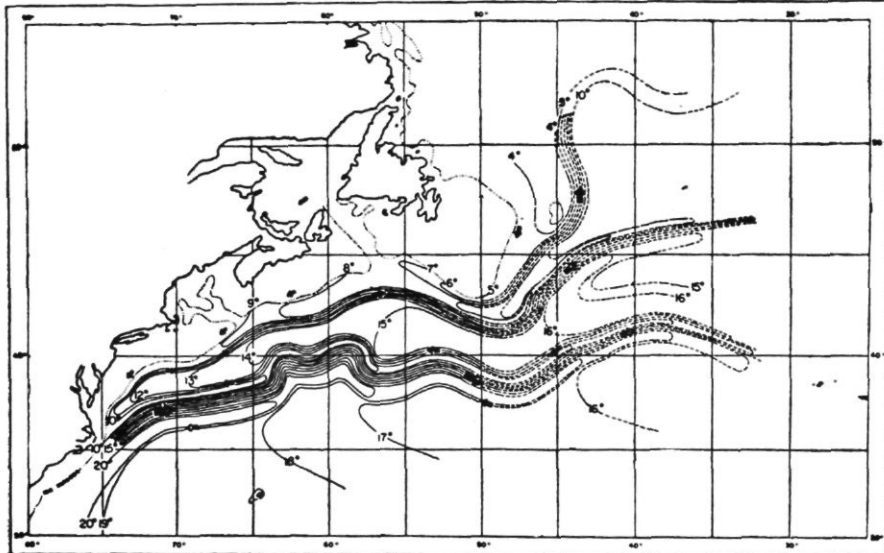
Rechtstreekse metingen opeenstapelen is goed, alhoewel duur; statistische studie maken van de resultaten is nuttig. Volstaat dat? Neen, want men moet begrijpen waarom en hoe deze fluctuaties optreden ten einde ze te kunnen voorzien. En dan dient de oplossing van het probleem van de Golfstroom, evenals de oceaancirculatie in het algemeen, die ook fluctuaties heeft, gezocht langs alle mogelijke wegen, zoals:

a) intensifikatie van de rechtstreekse metingen, enerzijds dank zij de door de U.N.E.S.C.O. (Intergoevernementele Oceanografische Commissie) voorgeschreven en aangevatte internationale samenwerking; door bepaalde landengroepen zoals die van de N.A.T.O.; door bepaalde internationale of regionale wetenschappelijke verenigingen (Internationale Raad voor het Onderzoek van de Zee van Kopenhagen, enz.); anderzijds dank zij het bedrijfsklaar maken van "vaste oceanografische stations", samengesteld uit boeien welke kapatietoestellen dragen die bestendig verschillende zeekenmerken tijdens een hele reeks onderdompelingen meten evenals de meteorologische elementen; de "oproeping" van deze boeien door radiosignalen brengt de uitzending van alle sinds de laatste "ondervraging" verzamelde gegevens. De aanzienlijke massa elementen die men kan verspillen, zal de plaatsing vereisen van krachtige exploitatiemiddelen van deze gegevens...

b) studie van steeds meer ingewikkelde theoretische schema's, dank zij een betere kennis van de mogelijkheden die geboden worden door de



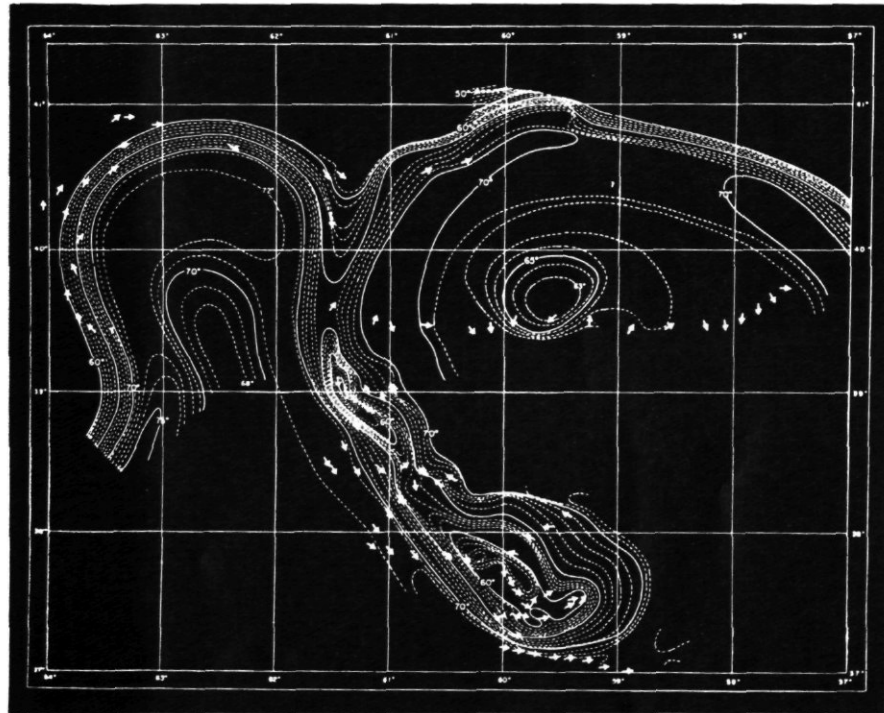
Posities van de Golfstroom ten oosten van Kaap Hatteras bij de aanvang en het einde van de zomer van 1950, naar de gemiddelde isothermen (°F) tussen 0 en 200 meter onderdempeling. De volle lijnen hebben betrekking op 8 juni 1950, de stippellijnen op 21 en 22 juni 1950. Noteer de amplitudeverhoging der golvingen en de vermindering van de golflengte (naar FUGLISTER en WORTHINGTON 1951) (beeld 8)



Schematische verdeling der temperaturen (°C) bij de onderdempeling van 200 meter in de zone van de Golfstroom (volgens FUGLISTER, 1951) naar de tijdens het opmaken verzamelde gegevens op verscheidene CABOT-schepen (1950) (beeld 9)

Sluiting van een bocht in de Golfstroom, naar de verdeling der gemiddelde temperaturen (°F) in de 200 oppervlakteter. De pijlen duiden de stromingsrichtingen aan, gegeven door de stromingsmeter met gesleepte elektroden VONARX (naar FUGLISTER en WORTHINGTON, 1951) (beeld 10)

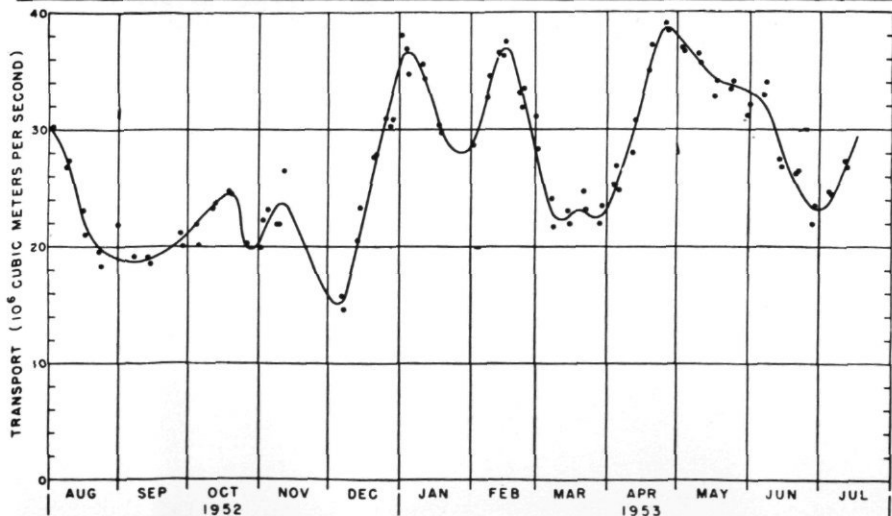
Vloed van de Florida-stroming van augustus 1952 tot juli 1953 (naar G.K. WERTHEIM, 1954) (beeld 11)



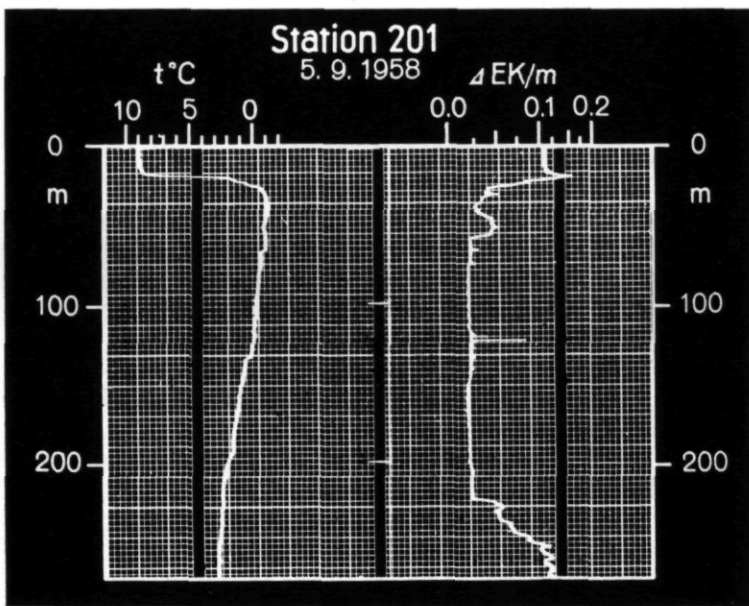
werking der vloeistoffen om de mechanismen te verklaren die door de "dynamika in draaiend bekken" ingezet worden, wat formeel het geheel der problemen van de zeedynamika uitmaakt.

c) studie op verkleinde draaiende hydraulische modellen (om de Corioliskracht, waarvan de aktie fundamenteel is, in rekening te nemen); studie op mathematisch model (numerieke berekening) of analogisch model (onder meer elektrische analogie).

Veelbelovende vorderingen werden alom opgetekend. Indien de Golfstroom bochten maakt, beweegt volgens min of meer afwijkende richtingen, soms schijnt rond te tasten, voorbij hoogten en laagten gaat, kan men zich dan inbeelden dat de ideeën, die wij over hem hebben niet dezelfde onvolmaaktheden zullen kennen? Zoals één der meest bevoegde Amerikaanse specialisten over de Golfstroom, professor H. Stommel, heeft geschreven: "telkens men op de staart van dit monster trapt, laat het een verschillend geluid horen". Onze opzoekingen doen overeenstemmen met zulk geluid, stelt steeds nieuwe problemen aan het wetenschappelijk avontuur van onze eeuw.



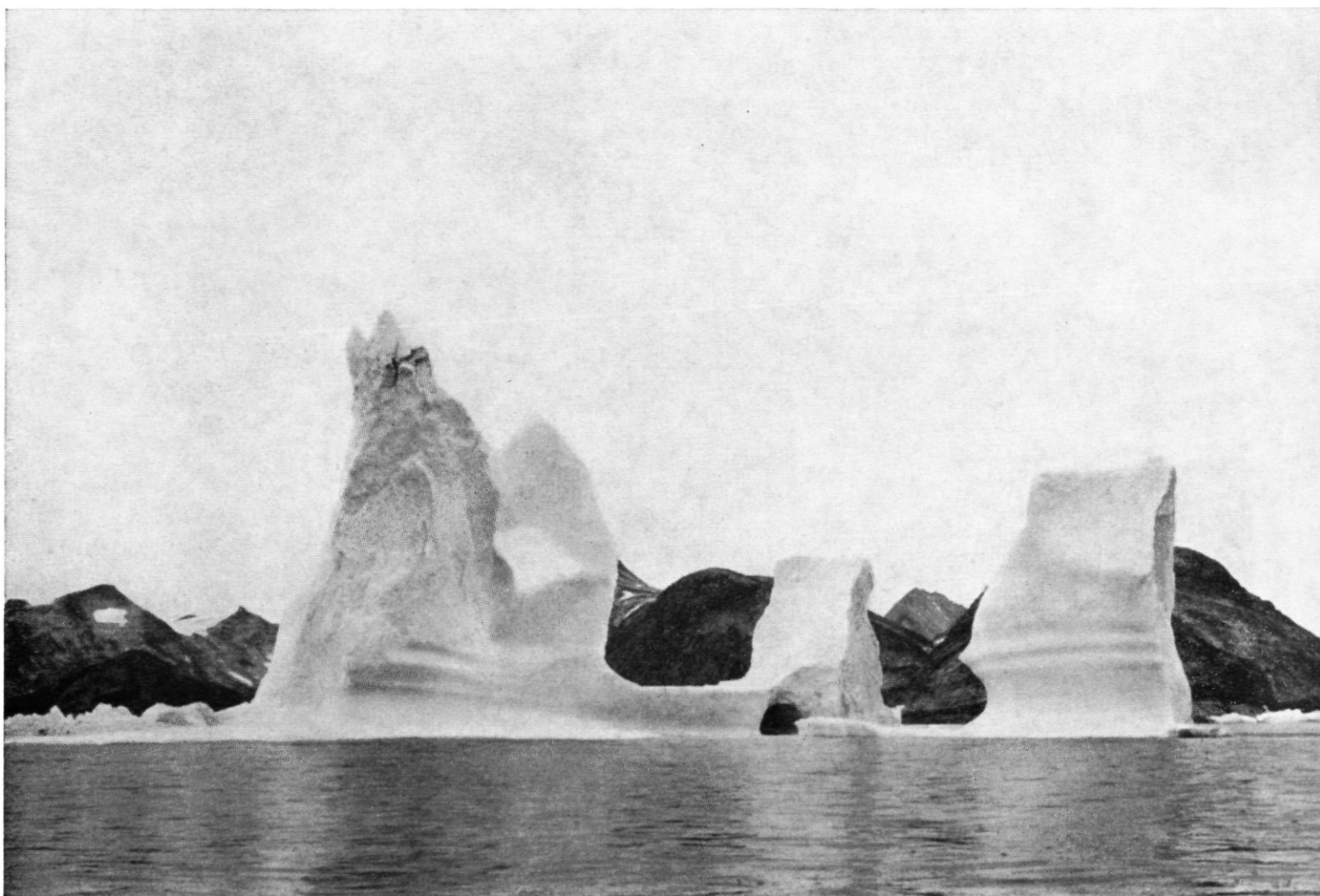
DE
FYSISCHE
EIGENSCHAPPEN
VAN
HET
ZEEWATER



Vertikale registrering van temperatuur ($t^{\circ}\text{C}$) en doorzichtigheid ($\Delta \text{EK/m}$) nabij New-foundland tijdens de zomer (diepte 280 m)

Dr. Max Gillbricht

Tafelijsberg van de Antarktische Oceaan. (beeld 1)



Zeewater is samengesteld uit 96,5 water, zouten en andere oplossingsprodukten. Deze éne vaststelling maakt het ons reeds mogelijk er verschillende andere te formuleren. Zo weten wij zeer goed dat water een uitzonderlijk hoge soortelijke warmte heeft. Zij is bijvoorbeeld tienmaal hoger dan die van ijzer. Het kan daarenboven, binnen de grenzen der normale voorwaarden van de aardtemperatuur, bevriezen en verdampen. Tijdens deze transformaties komt er heel wat energie vrij of wordt er, ten overstaan van de massa, heel wat verbruikt.

Welnu, de zee beslaat een aanzienlijk deel van het aardoppervlak (70,8 %) met een gemiddelde diepte van 3.790 m. Haar gewicht bedraagt $1,419 \times 10^{18}$ ton (1.419.000.000.000.000 ton).

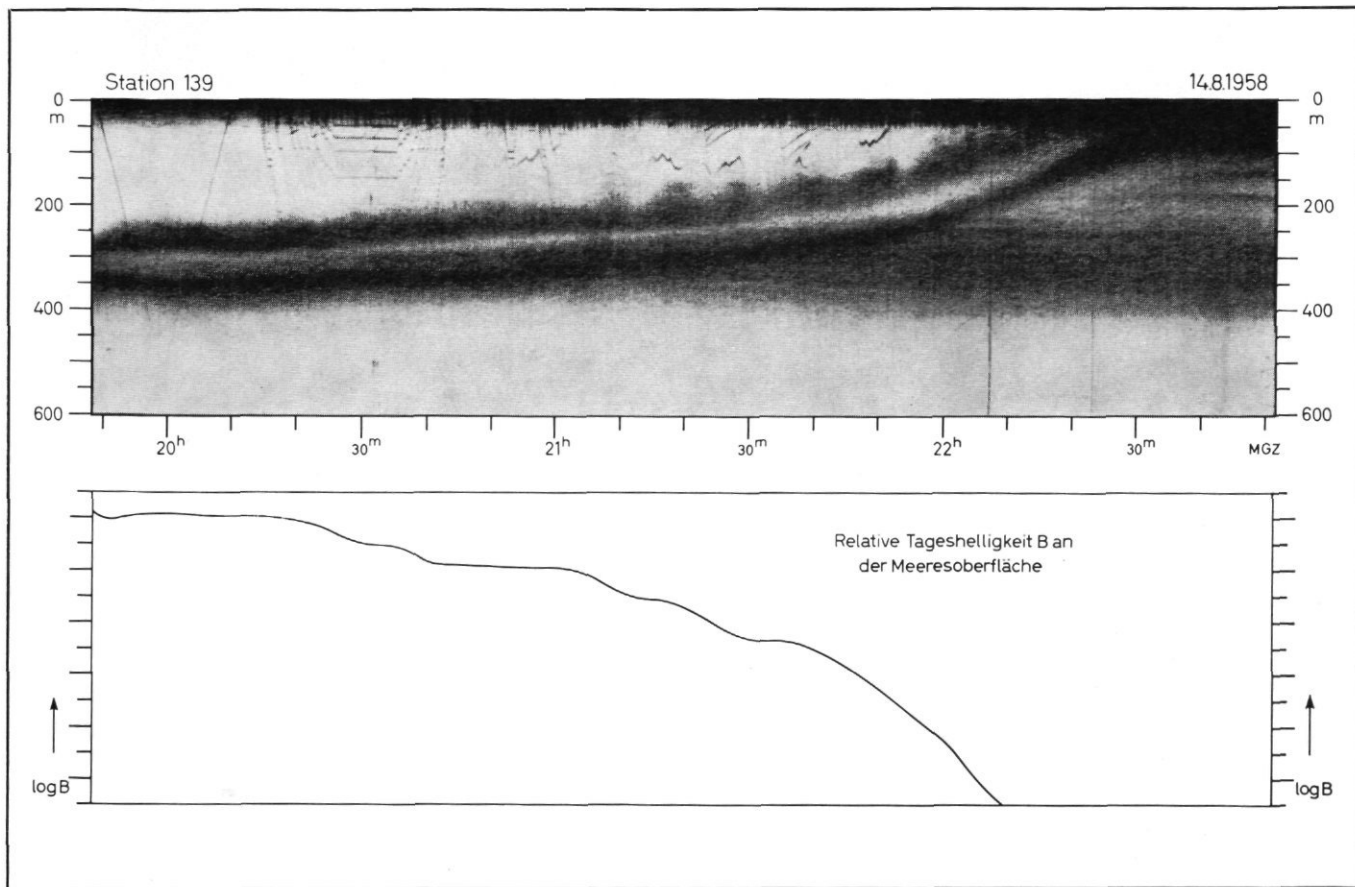
Deze cijfers geven slechts een idee van de geweldige hoeveelheden water der oceanen van de aardbol. Om de temperaturen ervan op een waarneembare wijze te wijzigen, zijn er dus energietransformaties vereist. Men zou over de verbrandingswaarde van ongeveer 141.000.000.000.000 ton stookolie moeten kunnen beschikken om de warmte van het ganse zeegebied met één graad op te drijven (bij wijze van vergelijking bereikte de wereldproduktie van minerale oliën in 1963: 1.304.546 metrieke ton). Aldus oefenen de oceanen een zeer grote nivelerende invloed uit op de temperatuurverschillen op het aardoppervlak. Het best gekende voorbeeld van dit verschijnsel is het verschil tussen het zacht klimaat der oceanen en dit van de continenten met zijn sterk uitgesproken contrasten.

Het zeewater komt echter nooit tot stilstand, het is steeds in beweging en verplaatst zich dikwijls over verre afstanden. Natuurlijk verschilt de verwarming van het oppervlak van de ene klimaatzone tot de andere. Hieruit volgt dat de grote zeestromingen eveneens grote warmtestromingen met zich brengen. Dit brengt een afkoeling van de tropengebieden met zich terwijl de hogere breedtegraden niet alleen warmer water krijgen, doch tevens de werking van een hogere luchttemperatuur ondergaan.

Keren we nu terug naar het eigenlijke zeewater. Indien zijn temperatuur verandert, dan verandert zijn

densiteit (soortelijk gewicht) zich tegelijkertijd: warm water is lichter dan koud water. Daarenboven bevat het zeewater zouten, waarvan de hoeveelheden in ‰ (g/kg) worden uitgedrukt. Het zoutgehalte der oceanen bedraagt gemiddeld 35 ‰ en het verhoogt de densiteit van het zeewater aanzienlijk. Wanneer het tussen watermassa's tot een treffen komt, "schuiven" zij over mekaar heen, naargelang hun densiteit. In kustwater met sterke getijstromingen ontstaat een belangrijk mengsel, waardoor deze waarneming bemoeilijkt wordt. In de grote oceanen kunnen deze verschijnselen nochtans zeer indrukwekkend aandoen. Het best bekende voorbeeld ervan is het wegvloeien van het water van de Middellandse Zee naar de Atlantische Oceaan. De (Europese) Middellandse Zee is een gebied waarin de verdamping de neerslag en de toevoer overtreft en het water een tamelijk hoge warmtegraad bereikt. Hierdoor is het water van de Middellandse Zee veel warmer, rijker aan zouten en zwaarder dan dit van de Atlantische Oceaan. Een oppervlaktestroom vloeit bestendig van de Atlantische Oceaan naar de Middellandse Zee langs de Straat van Gibraltar en maakt de door verdamping ondergane verliezen goed. Tegelijkertijd trekt er, in tegenovergestelde richting een dieptestroom voorbij de drempel van Gibraltar. Dit water valt, als een geweldige onderzeese waterval, van 400 m tot op een diepte van 1.000 m in de Atlantische Oceaan tot het zijn densiteit heeft bereikt. Het warme, zoutrijke water verspreidt zich in deze diepe laag en kan, dank zij deze kenmerkende hoedanigheden, over een lange afstand waargenomen worden.

Op grote diepten trekt het water soms over een onderzeese bergketen heen om in een aangrenzend bekken te vloeien. Op de bodem vindt men er slechts het water dat zich oorspronkelijk aan de oppervlakte bevond en langs de laagste pas er in gelukt is er binnen te dringen. De diepte waarop het voorbijtrekt (zaldiepte) kan met juistheid bepaald worden wanneer men de verdeling der densiteiten van de watermassa's, welke zich langs beide zijden van de drempel bevinden, in verticale richting als basis neemt. Men kan zich nauwelijks preciezer aanwijzin-



Boven : Laag voor stijgende ultra-klankpeiling, in de centrale Atlantische Oceaan, tijdens de zomer ; de registreringen nabij de oppervlakte komen voort van onderwatermeettoestellen.
 Onder : licht van de relatieve dag, aan het zeeoppervlak. (beeld 2)

gen indenken met betrekking tot de bergketen. Heel wat belangrijker voor ons is de betekenis der densiteitsverschillen nabij het oppervlak. Indien het water niet teveel doorwoeld wordt, slaagt de zon er, op de lage breedtegraden en gedurende de zomer ook op hogere breedtegraden, in op korte tijd temperatuurlagen op te stellen. De bovenste laag is vlak, warm en licht. Wanneer twee soorten water "overeenschuiven" kan zich een gelijkaardig verschijnsel voordoen, maar het zoutgehalte kan, samen met de temperatuur, ook zijn rol spelen. Dit kan, gedurende bepaalde perioden van het jaar, zeer goed waargenomen worden in het wes-

telijk deel van de Baltische Zee. 's Zomers dringt het zeer zoutrijk koud water, van de Noordzee afkomstig, in de onderste lagen binnen, terwijl het zoutarme warme water van de Baltische Zee wegvloeit. Op de trefpunten bespeurt men gelijkaardige densiteitsverschillen tussen het oppervlak en de bodem. Sinds geruime tijd is men er nochtans van op de hoogte dat temperatuur, zoutgehalte en densiteit in zulk water geen wijzigingen ondergaan. Men ontmoet eerder een bovenste en een onderste laag, waartussen de overgang duidelijk merkbaar is. Vermits men vroeger slechts afzonderlijke monsters, genomen bij middel van flessen water

(beeld 2) kon nemen, kon men zich onmogelijk juiste gegevens verschaffen met betrekking tot de structuur van deze lagen. De moderne registreertoestellen hebben de vroegere opvattingen nochtans bevestigd. Nu is een zo scherp afgetekende grens maar stabiel wanneer er zich geen vermenging heeft voorgedaan. Deze vaststelling geldt vanzelfsprekend ook voor alle in water opgeloste stoffen. Dit maakt de identifikatie mogelijk van de laag bij middel van nogal verschillende waarnemingen. De twee watermassa's zijn inderdaad volledig gescheiden. Bij het op de bodem vallen, dwarsen de organische deeltjes, die in de bovenste laag tot stand kwamen,

Eeuwige hernieuwing van het water van al de zeeën van de aardbol...

het scheidingsvlak. Deze scheidingslijn heeft voor gevolg dat de bovenste laag op de duur geen plant-aardige voedende bestanddelen meer bevat terwijl in de diepten alle zuurstof verbruikt is. Het klassieke voorbeeld, dat dit laatste verschijnsel illustreert, is de Zwarte Zee, waarvan het bodemwater een hoog gehalte aan zwavelwaterstof bezit.

Ook de praktische visvangst dient rekening te houden met de verdeling der lagen. Zo geschiedt de haringvangst, ter hoogte van IJsland, daar waar het koude poolwater door een dunne laag warm water van de Atlantische Oceaan bedekt wordt. Onder die voorwaarden vertoeven de vissen in grote hoeveelheden even onder het oppervlak. Deze beperkte zone verplaatst zich bestendig. Eertijds bezaten de IJslandvaarders slechts kleine sloepen. Daar de haring zich verplaatst met het water dat hem bevat, hing het succes van de vangst af van het

dichterbijkomen of het zich verwijderen van dit water ten opzichte van de IJslandse kust.

Uit de schoollessen in fysika weten wij nog dat water zijn grootste densiteit bereikt op 4° C. Dit is niet zo bij het zeewater dat zout bevat, waarvan de densiteit stijgt tot op het bevroingspunt (-1,9°). IJsvorming op de zee is dus moeilijk omdat elke waterkolom tot op het bevroingspunt dient afgekoeld. Het ijs, dat men op de oceanen tegenkomt, komt vooral van het vasteland voort. Ook de geweldige tafelvormige ijsbergen van de antarktika (beeld 1), evenals hun arme neefjes uit het noorden, zijn overblijfselen van gletsjers. Het komt eerder zelden voor van het betwistbaar geluk - op een zeeijsveld te verdwalen - te kunnen genieten. Dit ijs heeft een structuur welke geheel verschilt van die welke wij kennen van de binnenwateren. Daar het zeeoppervlak beweegt, leidt de invloed van het zout vooreerst tot het ontstaan van een ijsbrij die vervolgens ronde schijven vormt, voorzien van opgerichte randen (pannekoeken of ijsschotels). Later kunnen er nog ijsschotsen uit voortkomen die, naar de kust toe, ijsbanken vormen.

Deze sterke temperatuurverlaging onder de hoge breedtegraden maakt het water aan het oppervlak tegelijkertijd zo zwaar dat het naar de bodem zakt. Hieruit volgt een onophoudende hernieuwing van het

water van alle zeeën van de aardbol. Dit geschiedt op een ritme dat snel genoeg is om de dieren op de bodem de zuurstof te leveren die zij nodig hebben. Het feit dat men op de bodem der tropische zeeën eveneens water van polaire oorsprong (vooral antarktisch) vindt, verklaart hier de lage bodemtemperatuur van minder dan 2° C.

Te dien opzichte is deze tot op de bodem voelbare afkoeling van groot belang voor de kustwaters. Terwijl de bewoners van de binnenzeeën zich niet bekommeren om de strenge winters, omdat zij zich steeds in een temperatuur van 4° C verheugen, wordt deze uitzonderlijke situatie een werkelijke catastrofe voor de dieren die op de bodem van de zeebochten leven.

Zo heeft men, vóór de Duitse kusten van de Noordzee, gedurende de winter 1962/1963, tijdens ver doorgedreven opzoeken onderstaande minima kunnen waarnemen :

Als vergelijking beschikt men daarenboven over gemiddelden van talrijke jaren van hetzelfde maritiem gebied. Na wat wij hoger hebben uiteengezet, baart het verrassing te moeten vaststellen dat men juist bij uiterste temperaturen geen gelijkmatige afkoeling tot op de bodem bekomt. Dit wordt verklaard door het feit dat op dit gebied de hoger beschreven anomalie van de temperatuur van het water laat uitschijnen dat reeds een lichte verhoging van het zoutgehalte dezelfde invloed heeft op de densiteit als een grote temperatuurverlaging.

Een heel lichte verhoging van het zoutgehalte met betrekking tot de diepte, zoals zij zich steeds nabij de kust voordoet, volstaat om een verhoging van de temperatuur naar de bodem te bereiken, indien de lagen met dezelfde densiteit gestabiliseerd blijven.

Een temperatuurverhoging beïnvloedt de densiteit meer bij hoge dan bij lage temperaturen, zoals onderstaand tabel aantoont :

In deze gevallen is de buitengewone afkoeling echter, zelfs op grote diepten, van zulk belang dat weinig organismen het kunnen overleven. Men bevindt zich dan in die toestand waarin alle twee jaar de soorten, die de koude niet kunnen verdragen, uitgeroeid worden ; en het gebied dient dan opnieuw bevolkt. Hieruit volgt dat er geen sprake kan zijn

Temperatuur

Diepte in meter	minima van de Duitse Bocht in de Noordzee 1962/1963	gemiddeld minimum (per maand - 1927/36 rond Helgoland)
0	-1,72	+3,28
5	1,63	
10	1,63	3,4
20	1,39	3,6
22	1,33	3,6
24		3,6
25	1,08	3,7
30	0,67	
32		3,6
35	0,46	
40	0,47	
44		3,7
45	0,27	
50	0,28	

van bestendige biologische verhoudingen.

Hoger hebben wij reeds bondig gesproken over de verwarming die in de eerste plaats van de zonnestralen voortkomt. In feite zijn de lange-golf-warmtestralen er niet toe in staat in het water te dringen. Zij verwarmen rechtstreeks slechts een heel dunne laag van enkele centimeters. Het ultraviolet licht dringt eveneens niet diep door, maar dan toch nog beter dan het ultrarood licht. Daarmee vergeleken laat het water het zichtbaar licht heel goed door. In de blauwe spektraalstrook (475 mikronen) kan 1% van de intensiteit van het oppervlak een diepte van 140 m bereiken. Dit is tegelijkertijd de laagste grens van

het plantenleven. Deze cijfers hebben vanzelfsprekend slechts betrekking op de helderste oceanen en ook is de lichtverdeling hier gans verschillend van wat wij over 't algemeen gewoon zijn. Door de lichtbreking aan het oppervlak worden de stralen gedeeltelijk weerkaatst en zij die binnendringen vallen meer loodrecht dan in openlucht. Juist is dat het oppervlak zelden tot rust komt en elke beweging der golven maakt het bepalen van de richting van het licht natuurlijk moeilijk.

Zo wij anderzijds de heldere, dus vrije en onvruchtbare, oceaan verlaten om ons naar de kust te begeven of ten minste naar streken waar talrijke mikro-organismen en hun

Een water met een temperatuur van	met een zoutgehalte van	met dezelfde densiteit als een water met een temperatuur van	met een zoutgehalte van
— 1,5	35 ‰	— 0,5	35,04 ‰
14,5	35 ‰	15,5	35,28 ‰
29,5	35 ‰	30,5	35,46 ‰

afval het water bezoedelen, doen de zaken zich anders voor. In dit geval komen ontelbare verstrooide deeltjes tussenbeide en in deze "nevel" is het nauwelijks mogelijk een lichtrichting te bepalen. De waarnemer ziet langs alle kanten een sterk diffuus licht. Evenzo kan men in troebel water de voorwerpen, die zich op een afstand bevinden, niet meer duidelijk onderscheiden. Vermits deze stand van zaken normaal is in de bewoonde zeeën, kunnen de dieren de ogen slechts gebruiken voor het zien op korte afstand, wat het geval is bij de vissen. In zulke voorwaarden dringt het licht natuurlijk niet zo goed door zoals hoger aangehaald. In de stroommondingen met geringe helling, die veel neerslag met zich voeren, bevindt de grens van 1% zich dikwijls slechts op enkele centimeters van het oppervlak. Maar voor heel het zuidelijk gedeelte van de Noordzee mag men aannemen dat de grens van 1% van het licht van het oppervlak zich gemiddeld

op ongeveer 10 meter bevindt. Ten overstaan van het helder water geschiedt er een verplaatsing naar het geel van de kleur van het meest doordringend licht. Dit verschijnsel wordt gedeeltelijk verklaard door het feit dat het kortegolf-licht door de kleine deeltjes beter verspreid wordt. Het door de stromen met krachtige stromingen aangevoerde water heeft een geelachtige kleur. Dit is vooral het geval wanneer het van moerasachtige oorsprong is.

Bij zulke ingewikkelde voorwaarden zijn slechts twee opzoekingsmethoden mogelijk. De eerste tracht het klimaat te beschrijven van het onderzees licht, terwijl de andere er zich mee tevreden stelt de optische kwaliteiten van het water te bepalen en daardoor de verschillende watermassa's te onderscheiden en er de besluiten uit te halen. Bij deze tweede veronderstelling is de meettechniek zeer eenvoudig. Een bestendige lichtbron en een fotoelektrische cel zijn voorzien van

een speciale onderzeezoeker. De stroom tussen de lichtkamer en de meetkamer maakt dan een meet-middel uit voor de toestand van de zuiverheid van het water. De aldus bekomen kurven onderscheiden zich door hun structuur over 't algemeen zeer weinig van degenen, die van andere registreringen voortkomen (vb. de temperatuur). Zeer dikwijls veroorzaakt de ondoorzichtigheid een onbetwistbaar maximum in de nabijheid van de overgangslaag, waaruit men mag besluiten dat zich hierin deeltjes in grote hoeveelheid hebben opgehoopt. Dit leidt tot het besluit dat organische deeltjes zich met lichter water van de bovenste laag laden en dat zij enkele tijd in de overgangslaag rondrijven; zij gewinnen zich dan aan het omringende water om ten slotte op de bodem neer te zinken. Terwijl het licht in het water slechts een betrekkelijk oriëntatiemiddel is en trouwens enkel maar de richting aangeeft waarin het oppervlak zich bevindt, heeft het geluid dikwijls een zeer grote waarde, vermits het water het uitstekend als geleider dient. Herinneren wij eraan dat de snelheid van het geluid ongeveer 1500 m/sek bedraagt. Wij weten sinds lang dat vooral de organismen, die op grote diepten leven, licht kunnen voortbrengen. De recente opzoekingen beginnen het belang te onderkennen van de rol die het geluid speelt bij de zeedieren. Een positieve oriëntatie van het geluid over lange afstanden is echter niet mogelijk. Het zeewater is niet overal hetzelfde en de wijzigingen van temperatuur, zoutgehalte en drukking beïnvloeden de geluidssnelheid. Hieruit volgt dat het geluid zich niet in rechte lijn voortplant, zodat de vaststellingen met betrekking tot een geluidsbron, op grote afstand gelegen, bijgevolg slechts betrekkelijk zijn.

Het is gebleken dat er zich in de oceanen, op ongeveer 1.000 m diepte, een laag bevindt met zeer zwakke geluidssnelheid, waarheen zich de geluidsgolven richten die hoger of lager liggen. Indien er in deze laag een geluid wordt voortgebracht, kan het ze slechts ten dele verlaten. De geluidsgolven, in bundels verenigd, doorlopen lange afstanden. Dit verschijnsel wordt uitgebaat om als hulpsignalen te dienen bij op deze diepte veroor-

De ultra-klank "ontdekt" de visbanken, ja, zelfs afzonderlijke vissen

zaakte ontploffingen. In dit geval kan het geluid nog goed opgevangen worden, zelfs door zeer ver verwijderde waarnemingsstations. De plaats, waar de ontploffing zich heeft voorgedaan, wordt bepaald door de ogenblikken van de kaptatie in de verschillende stations. De diepteschatting door ultra-geluidspeiling is gekend. Zij maakt de studie mogelijk van de zeebodem over grote uitgestrektheden, wat met behulp van de oude methoden praktisch onmogelijk bleek. Zo men de gevoeligheid van de ontvanger verhoogt, is het mogelijk de visbanken, ja zelfs de afzonderlijke vissen, op te sporen. Dergelijke toestellen worden over 't algemeen gebruikt door vissers in volle zee. In volle zee stelt men daarenboven, bij middel van ultra-geluidspeilers, over grote uitgestrektheden lagen vast die zich 's nachts juist onder het waterpeil bevinden en over dag tot op 250 à 500 meter dalen. Het betreft hier ongetwijfeld dieren die voor daglicht gevoelig zijn en zich naargelang zijn variaties verplaatsen.

Er zijn verscheidene organismen die zich op dergelijke wijze gedragen en aanvankelijk was het zeer moeilijk de soorten te determineren, die verantwoordelijk zijn voor de door de peiler-echo geleverde aanwijzingen. De beste registrering wordt bekomen wanneer de (akoestische) densiteit van het lichaam, dat de echo levert, zoveel mogelijk verschild van die van het water. Op die basis, en ingevolge gelijkaardige waarnemingen, is men er meer en meer van overtuigd dat vooral de met gas gevulde zwemblazen van de kleine vissen de registreringen geven. Ook de schilden van de kreeften doen zich bij gelegenheid opmerken. De dikwijls zeer talrijke

kleine inktvissen ontsnappen aan deze waarneming. Daarbij maakt een opgevangen echo het niet mogelijk te besluiten dat men zich aan de aanwezigheid van een uitgebreide bevolking mag verwachten. Om een bestendige registrering te bekomen zijn er slechts weinig individuen nodig.

De beschreven voorbeelden kunnen voor nu volstaan. Wij moeten er ons inderdaad steeds van bewust zijn dat de mens nog maar aan het begin staat van zijn kennis van de kenmerken van de zee. In dit opzicht kan dit artikel enkel maar onze huidige opvatting weergeven. Misschien werd veronachtzaamd wat later als essentieel zal aangezien worden... Misschien zullen ook andere aspecten met de tijd aan belang inboeten... Dat weten wij niet.

BIBLIOGRAFIE

Dietrich, G. und Kalle (1957): *Allgemeine Meereskunde*. Editions Borntraeger, Berlin.

Goedecke, E. (1958): *Über Höhe und Eintrittszeit der Extreme sowie deren Schwankungen im mittleren Jahresgang von Temperatur, Salzgehalt und Dichte des Wassers in der Deutschen Bucht*. Dtsch. Hydr. Ztschr. II, 4.

Hersey, J. und R. Backus (1962): *Sound scattering by marine organisms*. The Sea I. Interscience Publishers, New York/London.

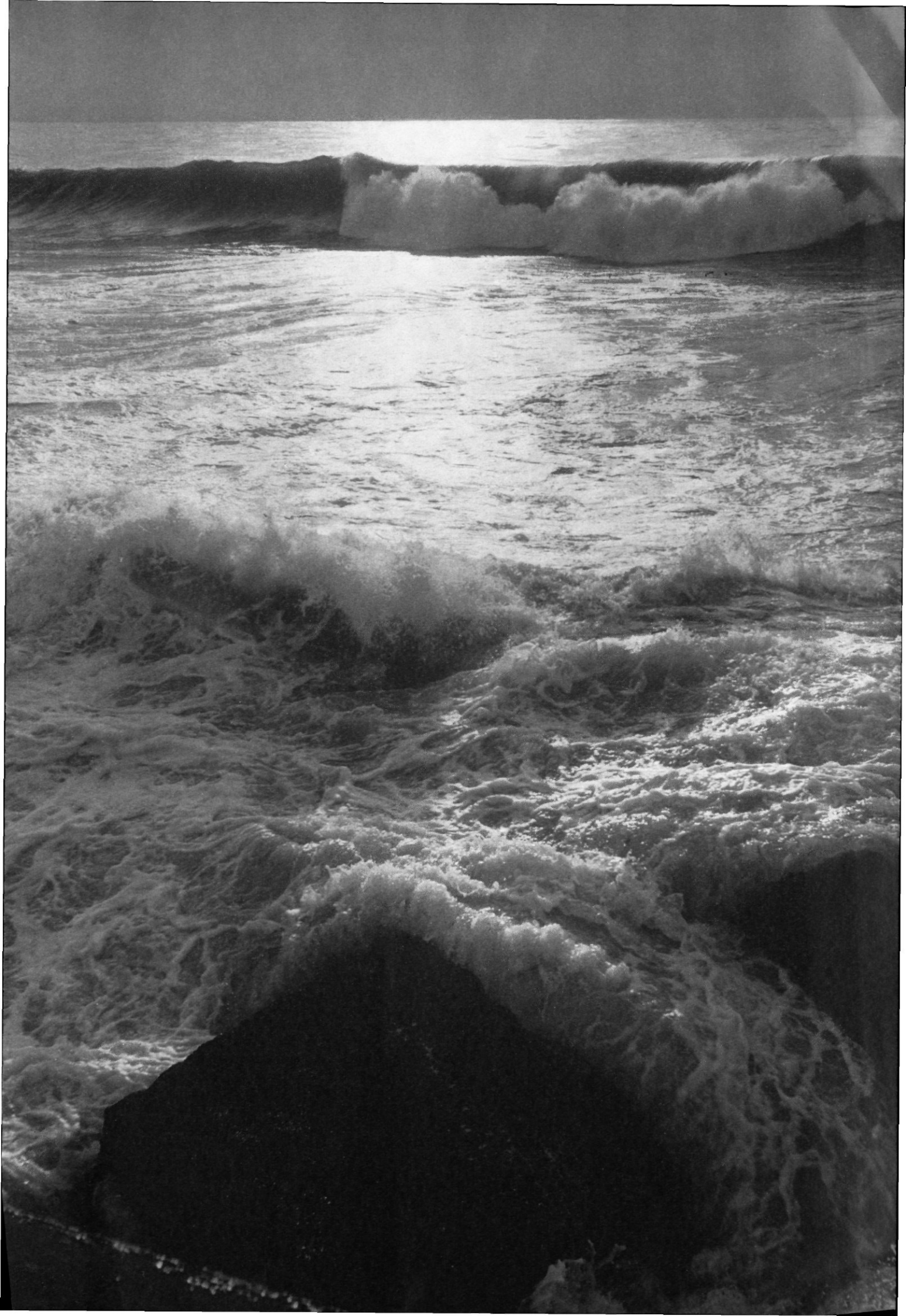
Jerlov, N. (1951): *Optical studies of ocean waters*. Repts. Swedish Deep Sea Expdn. 3, Physics und Chemistry I.

Joseph, J. (1958): *Die Trübungsverhältnisse in der Irminger See im Juni 1955 und ihre hydrographischen Ursachen*. Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforsch. 14, 4.

Joseph, J. (1959): *Über die vertikalen Temperatur- und Trübungsregistreringen in einer 500 m mächtigen Deckschicht des nördlichen Nordatlantischer Ozeans*. Dtsch. Hydr. Ztschr. Erg.-Heft B 3.

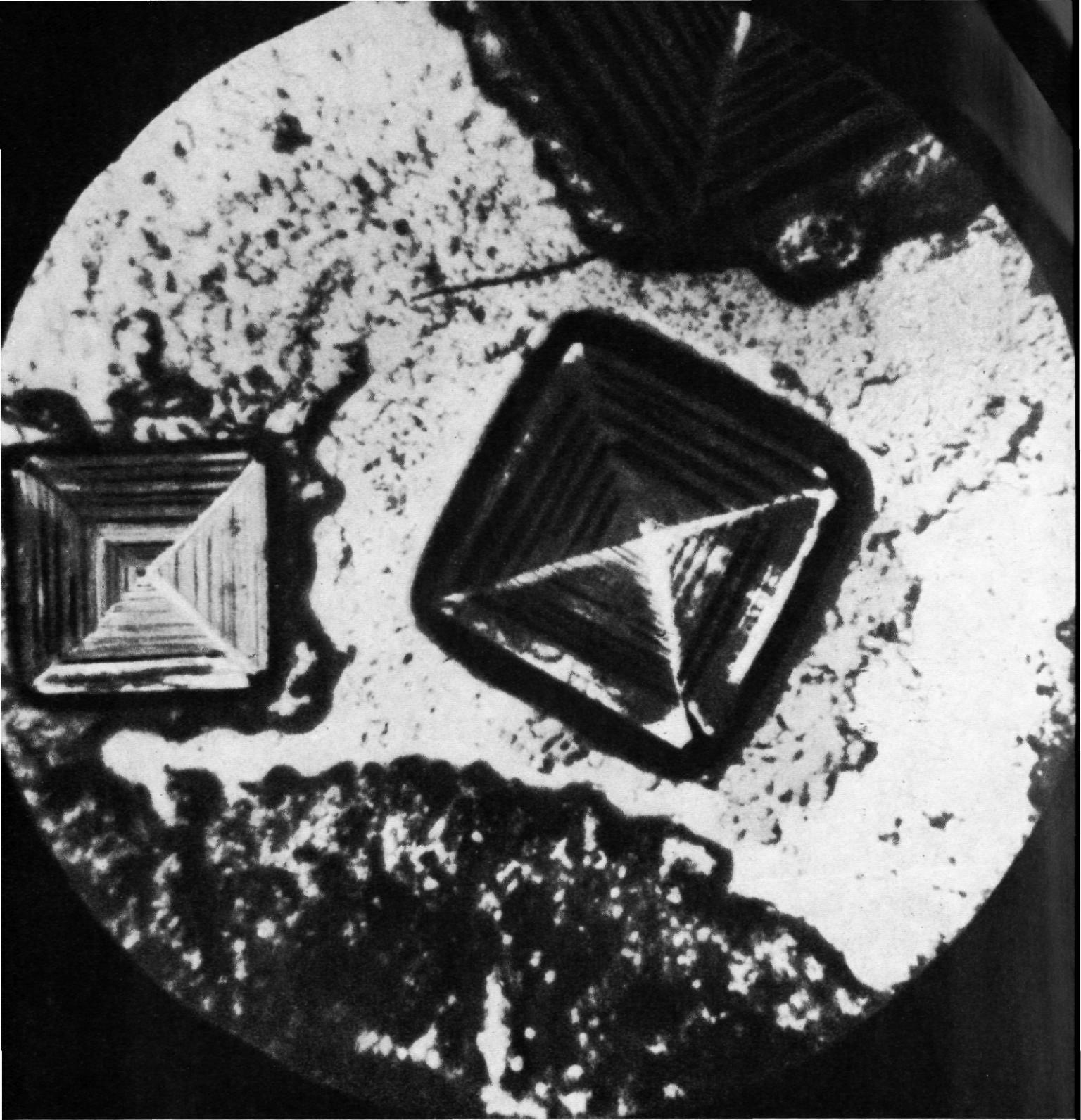
Severdrup, H., Johnson, M. und Fleming, R. (1955): *The Oceans*. Prentice-Hall, New York.

De golf van de Adour te Bayonne bij kalm weder. (Atlas foto R. Perrin)



L. H. N. Cooper F. R. S.

enkele
scheikundige
problemen
van
de zee



Het sterk vergrote residu van een druppel zeewater na verdamping: kristallen chloornatrium op een kalkneerslag.
Bron: "La Mer,, (V. Romanovsky et C. Francis-Bœuf)

De zee is dynamisch, wat eigen is aan het leven, zodat de geleerden, die haar bestuderen, zich moeten tevreden stellen met momentopnamen van een steeds wisselend systeem. Elkeen die een zeereis maakte heeft kunnen vaststellen met welke snelheid de vormen van de golven aan de oppervlakte zich aftekenen tijdens een storm of merkte hun woeste kracht op waarmee zij over het strand rollen of zich tegen de kapen werpen. Al deze verschijnselen mogen chaotisch aandoen. De fysici brengen nochtans orde in de studie van de golven. Het stramien van de zeescheikunde lijkt op het eerste gezicht even verward als dit van de golven tijdens een storm, maar ook daar maakt een systematische studie het mogelijk er een schets van te maken.

Bij stormweer blaast de wind het schuim van de kop der golven weg. Hij droogt de luchtballen uit en voert de resterende zoutdeeltjes zeer hoog in de dampkring. Op die wijze leveren zij de kernen waarrond zich - hoog boven het land - regendruppels vormen. Zonder deze zoutdeeltjes zou het op aarde heel wat minder regenen.

Bij het wegvloeien van regenwater worden calcium, magnesium en sulfaten door uitloging uit de grond en de rotsen geëxtraheerd. Aldus is het cyclisch zout, wanneer het terug naar zee keert, vergezeld van een heel wat grotere hoeveelheid uitgeloopte ionen. Bijgevolg is de concentratie van calcium, magnesium en sulfaten ten overstaan van sodium en chloride over 't algemeen veel aanzienlijker daar waar de grote rivieren zich in zee werpen dan in volle zee. De oceaan is een uitstekende menger. De zouten op overschot verspreiden zich snel zodat het oceanazout een bijna konstante samenstelling heeft. Gedurende zestig jaar wilde één der aangenomen dogma's van de oceanografie in feite dat de samenstelling van het zeezout onveranderd bleef. Het chloridegehalte, plus het bromide in het zeewater, kan met een zeer grote nauwkeurigheid vastgesteld worden bij middel van de volumetrische analyse door zilvernitraat. Met deze gegevens en de temperatuur is het mogelijk, in ruil voor het globaal zoutgehalte, de densiteit te berekenen van het zeewater en van de oceanastromingen, die de wetten

van de dynamika volgen, geleid door de distributie van de massa of van de densiteit. Het grootste gedeelte van onze kennis betreffende de oceanastromingen hangt af van de metingen van de temperatuur en van het chloridegehalte, waarbij de samenstelling van het zeezout als konstant wordt beschouwd. Onlangs is het mogelijk gebleken de conductiviteit te meten van stalen van zeewater aan boord van een schip op zee. Deze meting doet het beter dan de traditionele titreringsmethode. Zij is trouwens aanmerkelijk juist en maakt studies mogelijk betreffende de circulatie in de diepe zee, waaraan men zich vroeger niet kon wagen.

Indien het zeezout een konstante samenstelling heeft, zou de vervanging van de scheikundige titreringsmethode door de meting van de conductiviteit tot geen enkel gevolg hebben moeten leiden; het verliep in feite echter anders. De twee metingen kunnen niet met mekaar vergeleken worden met die nauwkeurigheid welke wij zouden gewenst hebben om de oceanocirculaties te bepalen. Proeven hebben aangetoond dat de densiteit, berekend in functie van de conductiviteit, dichter de werkelijke densiteit benadert dan de densiteit berekend op basis van het chloridegehalte. De conductiviteit is in ieder geval een geschikter techniek om de densiteit in zee vast te stellen.

Deze afwijking in de titreringsmethode heeft ongetwijfeld verscheidene oorzaken: (a) de schommelingen in de samenstelling der van de vastelanden afkomstige zouten, welke reeds door ons vermeld werden; (b) het feit dat de zouten gefractioneerd worden bij het afkoelen van het ijs in de poolstreken; (c) de neerslag en de oplossing van zouten zoals calciumkoolzuurzout; (d) de fraktionering tijdens de meteorologische watercyclus van waterstof en deuterium, van zuurstof-16 en zuurstof-18; (e) de biologische fraktionering van andere isotopen, zoals die van koolstof en zwavel.

Maar, vermits wij tot nog toe deze onzekere bronnen niet links kunnen laten liggen, staan de oceanografen, die de dynamika van het water bestuderen, voor een vraag waarop waarschijnlijk alleen de scheikundigen een antwoord zullen kunnen

geven. Eén der grootste problemen van de wetenschappelijke wereld is wel het beter begrijpen van de circulatie van de oceaan, een zeer belangrijk verschijnsel voor de weersvoorspelling en voor de visvangsten. Om tot dit begrip te komen, moeten de fysici en de scheikundigen zich, in nauwe samenwerking, bezighouden met betekenisvolle cijfers op de zesde of zevende rang in hun metingen, die van de densiteit afgeleid zijn. Welnu, deze metingen worden uitgevoerd op de onvaste bruggen van de opsporingsschepen.

De zee is één grote vuilnisbelt. Al het materiaal, dat aan het land en de rotsen der continenten ontruikt wordt, belandt uiteindelijk in zee. Wij mogen er ons bijgevolg aan verwachten, vroeg of laat, ergens al de scheikundige elementen terug te vinden van het periodiek stelsel van Mendelejev alsmede alle metabolische producten voortkomend van de afval of de krengen van levende organismen. De oceanograaf-scheikundige heeft tot taak deze te schatten, eerst analytisch en vervolgens in termen van talrijke dynamische stelsels die in zee voorhanden zijn. Sommige hiervan zijn biologisch, andere geochemisch. Totdat hij een antwoord heeft op de vraag "hoeveel?", kan hij onmogelijk een antwoord vinden op de vragen "hoe?", "waarom?" en "wanneer?". Bij het zoeken naar een antwoord op de vraag "hoeveel?", kan hij gebruik maken van instrumenten, die hem thans ter beschikking staan. Aldus hebben de verwezenlijkingen van de oceanografie-scheikunde steeds de stand weergegeven van de analytische scheikunde van haar tijd.

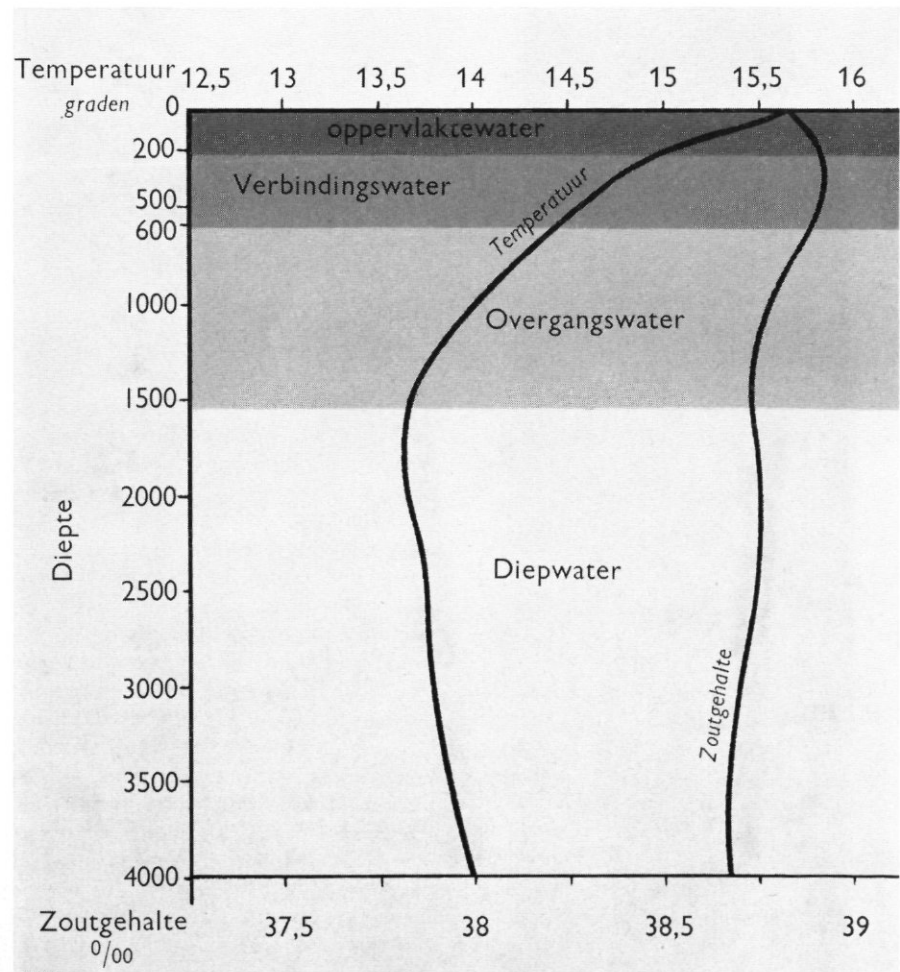
In de loop van de tweede helft van de negentiende eeuw heeft de gravimetrische scheikundige ontleding op schaal van de gram of de centigram zich sterk ontwikkeld. Wanneer de opsporingsschepen ver verwijderde waterstalen meebrachten, konden Forchhammer en Dittmar de eerste systematische analyses doen van wat wij thans de hoofdconstituenten noemen. De gebruikte onderzoeksmiddelen lieten nog veel te wensen over. Er bestond geen goede analytische methode voor één der twee meest gewone elementen van de zee: natrium. Voor de meeste bestanddelen bleven dikwijls

kleine maar belangrijke vergissingen bestaan. Dittmar spaarde zich geen moeite om deze vergissingen op te sporen en er rekening mede te houden. Thans, na 70 jaar, doen de resultaten die hij behaalde het nog altijd en de jonge analisten zouden er hun voordeel mee doen indien zij zijn "Challenger Report" als handboek van nauwkeurige gravimetrische analyse zouden lezen. Rond hetzelfde tijdstip gaven de Duitse biologen en scheikundigen er zich rekenschap van dat de voedende bestanddelen een rol moeten spelen in de harmonische ontwikkeling van de zeeplanten en dieren. De analytische methoden uit die tijd maakten een juist begrip van dit verschijnsel echter niet

Van het plankton naar de walvis : een mariene voedselketen

mogelijk. Er moest nog een kwart eeuw verlopen vooraleer de kolorimetrische methoden analyses mogelijk maakten van concentraties die zo zwak waren als die van een duizend miljoenste deel. Deze methoden waren niet alleen gevoelig, maar tevens snel en tamelijk precies. Zij werden toegepast bij de zeeanalyse van fosfaten en nitrieten en - met minder behoorlijke resultaten - van silikaten, nitraten en ammoniak. Deze methoden werden verbeterd en het oceaanwater werd aan duizenden analyses onderworpen. Tegenwoordig begrijpen wij het mechanisme van de seizoencycli der voeding in de gematigde zeeën. Wij weten nu ook waarom, wanneer het diep water stijgt - zoals dit het geval is ter hoogte van bepaalde kusten van de Stille Oceaan in Zuid-Amerika - nieuwe toevoer van voedingsstoffen in het water, dat aan het zonlicht is blootgesteld, de groei bevordert van drijvende planten, schaaldiertjes en andere dieren die er in leven. Uiteindelijk vormen de vissen, vogels en walvissen de eindproducten van deze mariene voedselketen. Scheikundige studies van deze cyclus hebben de basis

Schommelingen van de temperatuur en van het zoutgehalte in verband met de diepte in de oostelijke Middellandse Zee (naar een station van de DANA) (Bron : "La Mer" blz. 231, werk gepubliceerd door de Librairie Larousse onder leiding van V. Romanovsky en Claude Francis-Bœuf)



geleverd van een nieuwe wetenschappelijke tak: de Produktiviteit van de Zee.

Wat de zware metalen en andere bestanddelen van het zeewater betreft, werden met de beschikbare methoden verspreide, meestal kolorimetrische, analyses uitgevoerd, of absorptiometrische, volgens de huidige terminologie. Analyses, die op verschillende plaatsen uitgevoerd werden, kunnen dikwijls verschillen van honderd tot zelfs duizend maal, volgens een bepaalde faktor. Deze orde van grootheid in de verschillen lijkt onwaarschijnlijk. Soms kan men veronderstellen dat er een bezoedeling is door de materialen die gebruikt werden voor de opnemingsstoestellen. Soms is het mogelijk dat wij het analytisch probleem, dat zich voor ons stelt, niet begrepen hebben. De meeste absorptiometrische methoden voor de metalen worden uitgewerkt ten einde de opgeloste kationen te meten, terwijl het mogelijk is dat de zware metalen in zee zich onder ander vormen voordoen dan de kationen. De ijzerkationen lossen zeer moeilijk op en wanneer zij zich vormen, precipiteren zij zich misschien als bruin ijzererts of als fosfaat, die niet kunnen opgelost worden door de analytische techniek. Het zeewater kan organische complexors bevatten, waarvan wij weinig afweten. De chelatoren bevatten twee of verscheidene scheikundige complexorgroepen die als de scharen van een krab reageren om metalen zoals ijzer en kobalt zeer stevig te kunnen vastgrijpen. Mogelijk zullen zij deze niet gemakkelijk loslaten onder invloed van analytische reagentia. Aldus kan de analyse een "blanco"-resultaat opleveren, zelfs wanneer er veel zijn.

De rivieren voeren lijmachtige deeltjes van kleiachtige mineralen in zee aan. In feite kunnen kleiachtige mineralen, zoals illiet opnieuw ontstaan in de oceaan. Door basische ruiling en andere fysische mechanismen kan de klei de zich in het zeewater bevindende elementen stevig aaneenklevende. Hij verlamt ze, zodat onze analytische technieken ze niet kunnen scheiden, niet meer dan de planten en dieren ingeval van nood.

Ten einde de antwoorden op de vraag "hoe?", voor wat veel bestanddelen van het zeewater be-

treft, moeten wij ons de parallelle vraag stellen: "Verbonden, op welke wijze?". De analyst heeft de hulp moeten inroepen van fysische en organische scheikundigen en die hulp heeft op zich laten wachten. Dit wekt geen verrassing, vermits de studie van de scheikundige procédés, welke substanties insluiten die verborgen worden door een 10^8 tot 10^{10} maal groter concentratie van zouten, niet meer in trek is, alhoewel toch van groot praktisch nut.

De studie der metalen is nauw verbonden met die van de organische bestanddelen van het zeewater, die ingewikkelde formules kunnen leveren, maar de studie van deze organische bestanddelen zelf is nog minder eenvoudig. De biologen zijn tot de gevolgtrekking gekomen dat de verspreiding, de opeenvolging en de verwijdering van de soorten verband houden met de scheikundige bestanddelen, in een bepaald water overvloedig aanwezig en in een ander ontbrekend. De meeteenheden van deze overvloed zou goed de mikrogram per ton (1 in 10^{12}) kunnen zijn. De scheikundige analyse bereikt nauwelijks die graad van nauwkeurigheid, zodat wij voor veel belangrijke bestanddelen ofwel een biologische proef ofwel, voor bijzondere bestanddelen, een proef moeten aanwenden die mogelijk is dank zij één der zeer moderne - en over 't algemeen zeer lastige - technieken die de fysici aan de analisten overmaken.

Dit probleem is van groot belang. Het betreft hier het opsporen, determineren en ontleden in alle schuilplaatsen en op alle diepten van al de oceanen en op alle continentale platten, waar zich de meeste visvangsten van de wereld lokaliseren, van honderden organische bestanddelen welke praktisch geen analytische karakteristieke eigenschappen hebben. Deze analyses dienen vervolgens veelvuldig herhaald te worden om het ons mogelijk te maken de wijzigingen per seizoen en op langere termijn te begrijpen, evenals het effect van de stromingen en de stijgende drukkingen op het vervoer van de organische bestanddelen. Daarbij zal nog blijken dat velen zeer labiel zijn en slechts zolang bestaan als nodig is om als bemiddelaar op te treden tussen de ene soort en de andere, later in de opvolgingslijn. Vermits pogingen op

goed geluk af tot niets zullen leiden, moeten de oceanografen-scheikundigen, die de organische scheikunde van de zee bestuderen, zich akkoord verklaren om prioriteiten in 't leven te roepen. Schrijver van dit artikel meent dat de ko-enzymen een praktisch en waarschijnlijk hoogst voordelig vertrekpunt kunnen bieden.

De enzymen bepalen en controleren om zo te zeggen elk levensprocédé en zijn voor iedere soort en iedere functie scheikundig verschillend; men moet er dus een geweldig aantal van hebben. De meeste enzymen - maar niet alle - hebben ko-enzymen nodig om ze te doen ageren. Van deze ko-enzymen zijn er slechts heel weinig die aan alle levende wezens gemeen zijn. Bepaalde planten en bepaalde dieren zijn ertoe in staat ze zelf te fabriceren, terwijl weer andere van hun voedsel of van hun omringend milieu afhankelijk zijn om er zich te verschaffen.

Alhoewel wij het niet met zekerheid weten, is het zeer goed mogelijk dat de ko-enzymen één der belangrijkste bemiddelaars zijn, dank zij dewelke één soort de opeenvolging van andere soorten controleert. Waarschijnlijk controleren de ko-enzymen de ontwikkeling van auxosporen van fytoplankton, de geslaagde vruchtbaar-making en de vroege splitsing van cellen in de dieren-eieren en de latere metamorfozen. In dit stadium van hun leven zijn de organismen waarschijnlijk heel bijzonder geschikt om door hun milieu gecontroleerd te worden.

De samenstellende delen van ko-enzymen, zoals aneurine, riboflavine, nicotinamide, cytosine, uracil, thymine en purine, kunnen eveneens belangrijk zijn. Al deze bestanddelen zijn actief bij zeer grote verdunning. Ook kan er nog heel veel tijd verlopen alvorens men scheikundige methoden heeft ontwikkeld die voldoende gevoelig zijn, maar de biologische proef kan er het vertrekpunt van vormen.

De termen ko-enzym en vitamine betekenen bijna hetzelfde. Gewoonlijk niet gerangschikt als ko-enzym, alhoewel zij als dusdanig kan ageren, is vitamine B₁₂ in het zeewater, meer dan andere, een studieobject geweest. Zij kan dienen om de complexiteit te illustreren waarmee alwie zich op de organische schei-

kunde van de zee wil toeleggen, rekening moet houden. Zij schijnt de enige vitamine te zijn welke uitsluitend gesynthetiseerd wordt door mikro-organismen die in de grond, het water of de ingewanden van herkauwende dieren verblijven.

Gekonfronteerd met een probleem als dit van vitamine B₁₂, zullen biologen en scheikundigen het waarschijnlijk op een gans verschillende wijze aanpakken. De bioloog - of ook de fysioloog - die zich eerst afvraagt hoe een plant of een dier functioneert, zou zich kunnen tevreden stellen met een antwoord in entiteitsvorm zoals vitamine B₁₂. Een scheikundige of een biochemicus denkt anders, vermits hij niet alleen de fysische en scheikundige eigenschappen van de entiteit tracht te leren kennen, maar bovendien gans haar structuur. Welnu, een oceanograaf-scheikundige, die er moet aan denken dat de zee niet alleen een ingewikkeld scheikundig systeem is maar tevens een biologisch milieu, dient bij het behandelen van het probleem rekening te houden met deze twee aspecten.

Hij kan de substantietermen, die technisch gemakkelijk kunnen bestudeerd worden, niet vereenvoudigen, doch hij moet tevens in biologische termen denken. Om het oceanografisch probleem te formuleren van vitamine B₁₂, mag men niet onverschillig blijven voor de fantastische verandering die zich tussen de jaren 1948 en 1958 in onze kennis heeft voltrokken. Dank zij hoogstmerkwadige opzoekingen, waaraan vier scheikundige laboratoria en één laboratorium gespecialiseerd in kristalkunde door Röntgenstralen hebben deelgenomen, heeft men de volledige ruimtestructuur kunnen opstellen van vitamine C₆₃H₈₈O₁₄P C°.

Op beeld nr. 1 wordt deze structuur op plan geprojecteerd, zoals dit de gewoonte is voor scheikundige formules, terwijl op beeld nr. 2 een ruimteformule in perspektief geprojecteerd werd. Dat is dan de scheikundige substantie waarvan de oceanograaf-scheikundige de distributie en de uitwerking op de verdunningen ter grootte van één op één miljoenste miljoen moet bestuderen in aanwezigheid van geweldige hoeveelheden overblijvende zouten.

Met dergelijke verdunningsgraden

De verspreiding, de opvolging en de uitsluiting der soorten hangt af van de scheikundige substanties, in bepaald water overvloedig aanwezig, in ander totaal ontbrekend

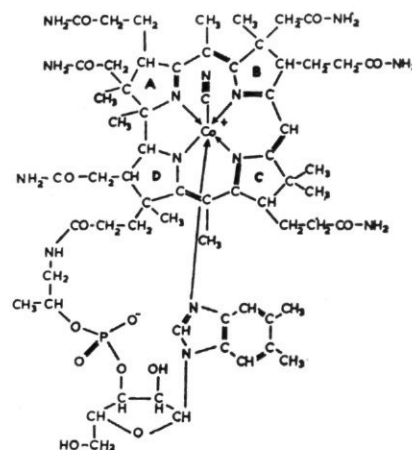


FIG. 1

Dank zij merkwaardige opzoekingen, verricht door vier scheikundige laboratoria en een laboratorium dat gespecialiseerd is in kristalkunde door Röntgenstralen, heeft men de volledige ruimtestructuur kunnen opmaken van de vitamine C₆₃H₈₈O₁₄P C°. In beeld 1 wordt deze structuur op plan weergegeven, zoals dit de gewoonte is voor de scheikundige formules, terwijl in beeld nr. 2 een ruimteformule in perspektief wordt getoond.

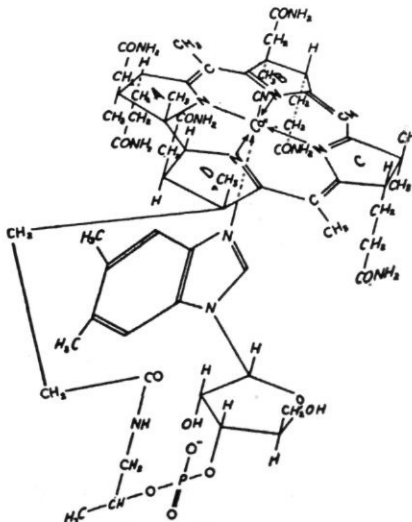


FIG. 2

schijnt geen enkele scheikundige proefneming effectief te zijn, doch de biologische proefneming heeft haar doelmatigheid bewezen.

Er dient eveneens rekening gehouden met de konstruktieblokken waaruit vitamine B₁₂ is samengesteld. Elke fosfoor- en kobaltatoom moet door het omringend milieu geleverd worden. Alhoewel de distributie van het fosfoor der fosfaten in zee genoegzaam gekend is, kunnen onze methoden niet meer toegepast worden bij verdunningen die ongeveer 1 per 10⁹ lager zijn. Door syntese zou er bijgevolg voor vitamine B₁₂ fosfaat in toereikende hoeveelheid in het water kunnen zijn, daar waar de analyst nochtans geen enkele concentratie zou signaleren.

Aan kobalt heeft men te weinig aandacht geschonken, maar de rechtstreekse absorptiometrische analyse volstaat waarschijnlijk niet om de verschillende mogelijkheden te doen kennen van het water voor de voortdurende produktie van vitamine B₁₂. Voor kobalt zullen wij de mogelijkheid moeten scheppen voor snelle routine-technieken, gebaseerd op de spektroskopie door atoomopslorping of ko-precipitering. De bovenste helft van de structuur, die men op de beelden nummers 1 en 2 ziet, is een uit vier pyrrolringen gevormde makro-ring. Op een plan, bijna op de rechte hoek ten overstaan van de makro-ring, bevindt zich de "nukleotide"-komposante, die de naam draagt van 1 - dD - ribofuranosido - 5,6 - dimethylbenzamidazole, gebonden door het fosfoor tot 1 - amino - 2 - propanol. Er zijn talrijke dwarsverbindingen. Er dient aangestipt dat de basis in de nukleotide niet van het gebruikelijke molekuultype van de purine- of pyrimidinesoort, doch een dimethylbenzamidazole is. De oceanograaf-scheikundige, die hoopt te ontdekken waarom bepaalde zeewaters 'goed' zijn en andere 'slecht' voor de levende organismen, dient zich bezig te houden met deze komposante en met al de anderen waaruit vitamine B₁₂ is samengesteld.

En daar houdt de complexiteit niet op, want vitamine B₁₂ is één van de bestanddelen van een nauw verwante groep, bestanddelen die een gelijkaardige doch niet identieke biologische aktiviteit hebben. Van de reeds vermelde groepen bevat vitamine B₁₂ daarbij een cyanide-

groep, -CN, gemakkelijk verwisselbaar, gehecht aan het centraal kobaltatoom. Uit de verwisseling van de cyanidegroep met hydroxyl of nitriet bekomt men minder aktieve vitamines. Dimethylbenzamidazole kan eveneens vervangen worden door adenine of een ander purine. In feite zullen een twintigtal of meer substanties afzonderlijk moeten bestudeerd worden indien men een studie wil maken van de zee als omringend milieu, waarin de planten en dieren moeten gedijen en dit wat betreft de enige vitamine B₁₂. Voor andere vitamines en ko-enzymen zal een gelijkaardig onderzoek vereist zijn.

In het gematigde en verlichte oppervlaktewater gedraagt vitamine B₁₂ zich als een voedend element met een maximale concentratie in de winter en welke in de lente afneemt om in de zomer minimaal te worden. Men vindt ze soms in zeer diep water (4.000 meter) waar weinig organismen leven. Vanuit oceanografisch oogpunt gezien is dit water oud, zodat de vraag zich opdringt of de vitamine of één van haar analogen ongewijzigd kan blijven gedurende honderden jaren of dat er daar genoeg mikro-organismen aanwezig zijn om een bevoorrading te verzekeren, hetzij inzake vitamine B₁₂, hetzij inzake één van haar analogen. Tijdens een reeks waarnemingen diep in de Golf van Gascogne was er een aanzienlijk maximum van 5,2 5 m µg/l op een diepte van 1.450 à 1.540 meter, wat zeer betekenisvol kan zijn. Deze dieptegrootte bevindt zich tussen het water van de Golf van Gibraltar met een diepte van ongeveer 950 meter en het water dat tussen 1.850 en 2.100 meter afgetekend in lagen ligt. Temperatuur en zoutgehalte veranderen snel naar gelang de diepte en dit geldt ook voor de densiteit. Naarmate de densiteit en de viskositeit stijgen, neemt de proportionele valhoeveelheid van detritisch materiaal, afkomstig van de bovenste lagen, af; soms houdt deze val zelfs volledig op.

Zulke voorwaarden zouden de groei van mikro-organismen kunnen bevorderen, ten einde vitamine B₁₂ van het water, waarin zij zich in feite bevindt, af te scheiden. Het zou er naar uitzien dat de mikro-organismen de organische materie op een hoger en nuttiger voedselpel

**Waarom
is een bepaald
zeewater "goed"
en een ander
"slecht"
voor de levende
organismen ?**



Magnesiumafschekbakken in een Amerikaanse fabriek (Foto U.S.I.S. naar "La Mer" blz. 343 ; werk gepubliceerd door de Librairie Larousse onder leiding van V. Romanovski en Claude Francis-Bœuf)

gebracht hebben, ten einde een voedselketen te beginnen die van de kleine tot de grootste organismen gaat. Elk dier in deze voedselketen, dat in het hem omringend milieu in elk stadium van zijn ontwikkeling behoefte heeft aan vitamine B₁₂, zal er in feite een geheel toebereide adequate reserve vinden.

Indien men in de oceanografie vorderingen wil maken, is het onontbeerlijk de inspanningen te concentreren op beperkte problemen, die men rechtstreeks kan behandelen en waarvoor een oplossing kan gevonden worden. De analyses van vitamine B₁₂ tonen aan dat zulk beperkt probleem te vinden is in de Golf van Gascogne rond de 1.500 meter of eerder op een speciaal niveau van potentiële densiteit (C, B 27.82 ± 0.005 ; potentiële densiteit 1.02782).

Kobalt is niet het enig metaal dat een belangrijke rol speelt onder de biologisch actieve agenten in zee. Er zijn er andere, zoals ijzer, koper, vanadium en misschien zelfs niobium bij de Zakpijpen (Ascidacea). Al deze metalen kunnen betrokken worden in complexe formules met organische derivaten welke een zeer groot additief vermogen bezitten. De complexors zouden twee rollen kunnen spelen in zee. Vooreerst door gematigd oplosbare ionen oplosbaar te houden opdat ze zouden kunnen gebruikt worden door de mikro-organismen, planten en dieren. Maar op de tweede plaats zouden de complexors, wanneer deze reactie zich zeer goed voltrekt, de metalen zo eng met mekaar kunnen verbinden dat de organismen er niet meer zouden kunnen toe komen

ze er opnieuw uit te halen voor hun behoefte. De analysten en de specialisten in fysische scheikunde dienen dit probleem noodzakelijkerwijze in gemeen overleg aan te vatten. Alle takken van de wetenschap vertonen de neiging met sprongen vooruit te komen en de oceanografische scheikunde maakt hierop geen uitzondering.

Op onze dagen maken alle verwachtingen een kans : alles schijnt inderdaad op een komende ontdekkings- tocht te wijzen in gebieden waarvan men een tiental jaren geleden het bestaan zelfs niet kon vermoeden. In alle takken van de scheikunde worden heel wat problemen gesteld en niettegenstaande de moeilijkheden veelvuldig en omvangrijk zijn, zullen de bekomen resultaten de omvang der geleverde inspanningen belonen.



DE

▶ RADIOAKTIVITEIT

VAN ZEEWATER

Dr. W. Chipman

Sinds de ontdekking van de radio-activiteit door Henri Becquerel en het radium door Pierre en Marie Curie, kort vóór het begin van deze eeuw, weten wij dat er in onze omgeving natuurlijke radioactieve materialen bestaan. Deze ontdekkingen verruimden onze kennis betreffende de overvloed van deze materialen. Wij begrijpen thans beter wat radioactiviteit is, aangezien de mens radioactieve substanties kan produceren. Het gebruik van atoommateriaal is met reuzenschreden vooruitgegaan sinds in 1942 de gecontroleerde splijting van uranium tot een goed einde werd gebracht door het verwezenlijken van de eerste autonome kettingreactie. Deze ontwikkeling ging gepaard met een aangroei van het aantal en van de hoeveelheid der radioactieve isotopen te land, in zee en in de atmosfeer.

Alvorens de geschiedenis van de radioactiviteit van zeewater te schetsen, lijkt het gepast bondig de oorzaak te verklaren van de radioactiviteit van bepaalde elementen die in zee aanwezig zijn en in alle milieus waar de mensen leven. Zij

vloeit voort uit de fysische werking van sommige atomen, waaruit die elementen bestaan.

Al de elementen zijn opgebouwd uit atomen, bestaande uit een kern en daarrond banen waarin elektronen bewegen. In de kern is er een voor elk element kenmerkend aantal protonen, evenals een aantal neutronen, die aan deze protonen gekoppeld zijn. Het in een gegeven atoom aanwezige aantal kan echter variëren, vergeleken met een ander atoom. Aldus is een element, ongeacht zijn oorsprong, uit atomen samengesteld die niet helemaal op mekaar gelijken. De gelijkenis is echter voldoende opdat dit element specifieke kenmerken zou bezitten. Deze verschillende atoomtypen vormen de isotopen van dit element. Nemen wij het element ijzer als voorbeeld: ongeacht zijn herkomst in natuurlijke staat, noteren wij de aanwezigheid van 9 isotopen. Al de atomen hebben 26 protonen, maar het aantal neutronen in de kern der atomen kan, individueel beschouwd, tussen 26 en 34 schommelen.

De radio-isotopen van een element zijn isotopen die stralingen uitzenden.

◀ Om gevaarlijke radioactieve materialen te behandelen, gebruikt men mechanische handen. De operateur wordt beschermd door een dikke ruit en brengt de mechanische handen in beweging met behulp van zijn vingers. Deze mechanische handen, die een 250.000 F kosten, zijn zo precies dat zij een nieuweling-operateur in staat stellen een draad door het oog van een naald te rijgen.

den, voortkomend uit de door de kern van bepaalde atomen vrijgelaten energie. In bepaalde gevallen is de verhouding tussen de neutronen en de protonen zodanig dat de kern in labiele toestand verkeert. Hij tracht dan een stabiele toestand te veroveren bij middel van nukleaire veranderingen, die tot gevolg hebben energie vrij te maken. Deze energie komt vrij in de vorm van een alpha-deeltje, een bèta-deeltje, een gamma-photon of een neutron, waarbij elke vrijmaking desintegratie genoemd wordt. De kern verwerft een stabiele toestand na één of verscheidene desintegraties en hij houdt dan op radioactief te zijn.

Men kan het ogenblik niet voorzien waarop gelijk welke labiele kern stabiel zal worden. Daarentegen is de desintegratiesnelheid voor een aantal van deze kernen van een gegeven radio-isotoop kenmerkend. De tijd, die veresit is opdat de helft der kernen de stabiele toestand bereikt, wordt "halveringstijd" van de radioactieve isotoop genoemd. Dit kan slechts een fractie van een sekonde duren of integendeel triljoenen jaren. Aan te stippen valt dat deze verzwakkingsnelheid exponentieel is, dat wil zeggen dat een helft van de aanwezige radioactiviteit bij de aanvang na iedere periode van de halveringstijd blijft voortbestaan. Aldus blijft voor een radio-isotoop, welke een halveringstijd van een jaar heeft, de helft van de oorspronkelijke radioactiviteit na een jaar voortbestaan; de helft van die welke na een jaar aanwezig is, blijft na twee jaar over; de helft van de na twee jaar voorhanden zijnde radioactiviteit blijft nog na drie jaar. Enzovoort. Slechts door de radioactieve verzwakking verliest een radioactief materiaal zijn radioactiviteit.

Met andere woorden: de radioactiviteit kan door niets vernietigd worden.

NATUURLIJKE RADIO-AKTIVITEIT DER ZEEMILIEUS

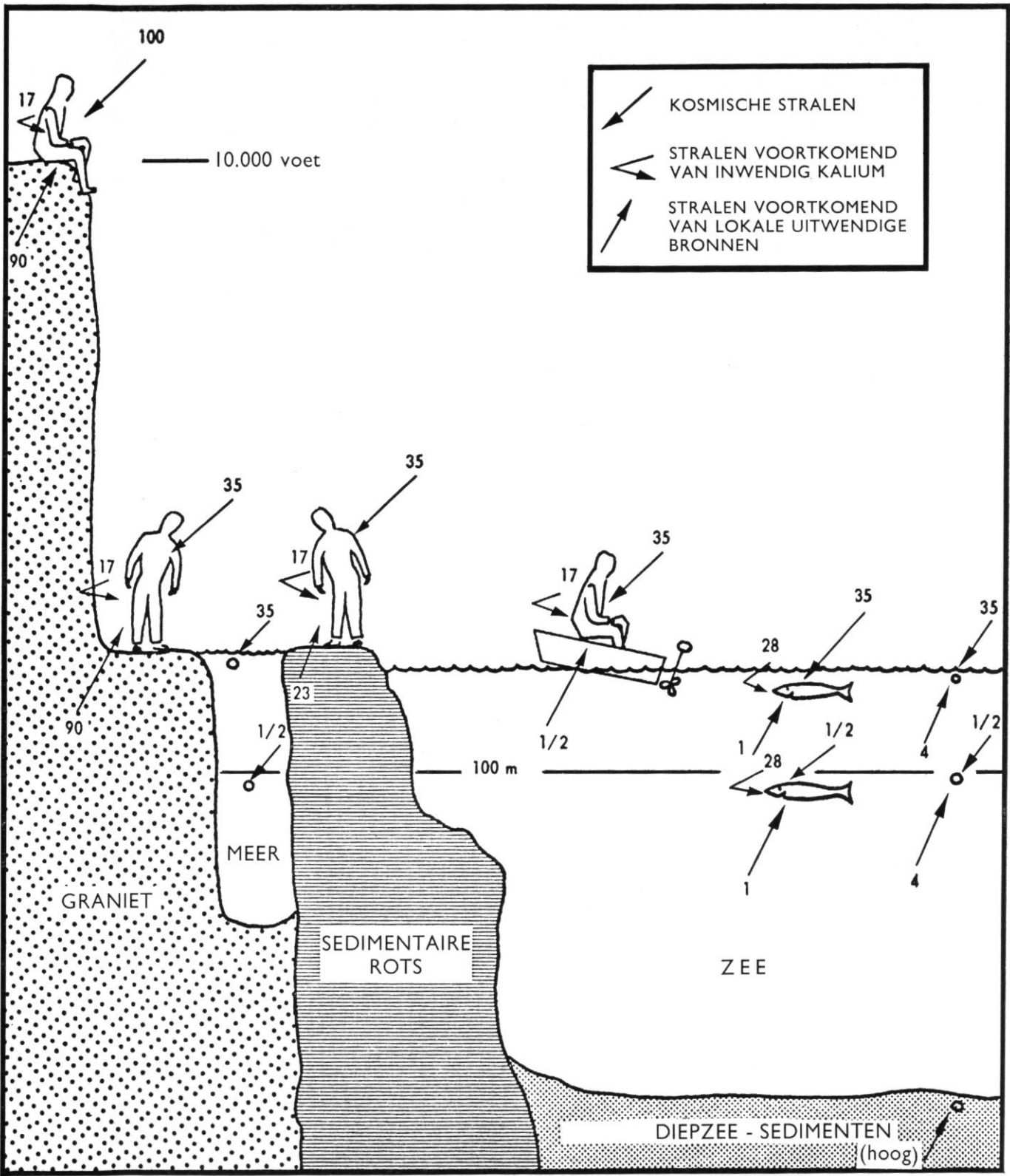
De radioactiviteit van zeewater spuit bijna uitsluitend voort uit oorspronkelijke radioactieve elementen: dat wil zeggen die aanwezig waren bij de vorming van de aarde. De grootste hoeveelheid hiervan

komt voort van de continenten (waar radioactieve elementen van de rotsen en sedimenten loskomen om naar zee te worden gevoerd door de rivieren), de bevoorrading der onderaardse vlakke watervallen en de door de wind verplaatste stofdeeltjes. Sommige van deze elementen behoren tot een reeks van radio-isotopen, waarvan het verzwakkingsschema de vorming van radioactief afgeleide isotopen tot gevolg heeft. Dit is het geval voor de reeksen die aanvangen met uranium -238, uranium -235 of thorium -232. Andere elementen zijn die oorspronkelijke radio-isotopen, welke rechtstreeks in stabiele vormen verzwakken: zoals rhenium -187, letetium -176, samarium -147, neodymium -144, cerium -142, indium -115, rubidium -87 en kalium -40. Enkel deze laatste twee radio-isotopen zijn, in merkelijke concentraties, in zeewater aanwezig. De globale natuurlijke radioactiviteit van zeewater komt voor 97% van het enige kalium -40 voort.

Buiten deze oorspronkelijke radio-isotopen bestaat er een bepaald aantal die uit nukleaire reacties voortkomen en plots in de natuur opduiken. Zij worden bestendig geproduceerd in de atmosfeer door de botsing tussen kosmische stralen en elementen. Deze bevatten chloorine -39, zwavel -35, fosfor -32, fosfor -33, silikon -32, sodium -22, koolstof -14, beryllium -10, beryllium -7 en tritium. Zij dringen in zee, maar dragen weinig bij tot de globale radioactiviteit. Tritium en koolstof -14 zijn de belangrijkste van deze groep.

Vermits zeewater radioactief is, zijn de vissen en al de andere organismen blootgesteld aan uitstralingen afkomstig van het omringend water en radio-isotopen, die zich in hun lichamen bevinden, voornamelijk door kalium -40. Zij ondergaan eveneens de werking van de kosmische stralen, maar - ten ware zij niet dicht bij de oppervlakte leven - is de hoeveelheid uit deze bron afkomstige uitstralingen gering. De kosmische uitstralingen worden in een aanzienlijke graad door het zeewater opgeslorpt. Slechts ongeveer 30% der aan het zeeoppervlak bestaande uitstralingen bereikt een diepte van 10 meter en 4% een diepte van 50 meter. De organismen zouden uitstralingen kunnen ont-

De grootste radioactiviteit bevindt zich in de sedimenten onder het water van diepe oceanen



TOTAAL DER NATUURLIJKE DOSISSEN (mrad/jaar)

Man op graniet		Man op sedimentaire rots	Man op zee	Grote vis in zee		Mikro-organismen in zee	
10,000	m.s.l.			aan de oppervl.	100 m	aan de oppervl.	100 m
207	142	75	52	64	30	39	5

Dosissen natuurlijke uitstralingen opgevangen door de mens in verschillende milieus en door zeevissen en -organismen. (Volgens Théodore R. Folsom & John Harley, 1957. In: "The effects of atomic radiation and Fisheries, Publication 551, blz. 30, National Academy of Sciences, Nations Research Council, Washington)

vangen afkomstig van de radio-isotopen van de zeebodem, doch dit hangt af van hun afstand van de bodem. In ondiep water, waar men het grootste gedeelte der eetbare zeeorganismen aantreft, zijn de sedimenten van de bodem weinig radio-actief: minder dan de gemiddelde grond op het vasteland. De grootste radioactiviteit bevindt zich in de sedimenten onder het water van diepe oceanen.

Bijgaand diagram vergelijkt enkele natuurlijke dosissen uitstralingen, waaraan de mens op verschillende gebieden onderworpen is met die welke de vissen en de mikro-organismen in zee ontvangen. De geringe ontvangen dosissen worden uitgedrukt in millirad per jaar (mrad/jaar). Een rad wordt willekeurig bepaald als de opslorping van 100 ergs energie per weefselgram, zoals het mogelijk is ze te meten in het uitstralende weefsel. Men kan zich een idee van de geringheid van deze eenheid vormen wanneer men bedenkt dat, wanneer alle opgeslorpte energie in warmte zou omgezet zijn, men over 420.000 rads zou moeten beschikken om de temperatuur van het water met één graad te verhogen.

De geringe uitstralingsdosissen van het zeemilieu zijn op het diagram aangeduid. In 't hooggebergte kan een mens een dosis van 207 mrad/jaar verdragen, op een zandig strand 142 en aan boord van een schip slechts 52. Daar waar een mens op graniet of op een zandplek ter hoogte van de zeespiegel een dosis van 142 mrad/jaar kan verwerken, zou een oceaanis, op een diepte van ongeveer 20 meter, een totale dosis ondergaan van 34 mrad/jaar (kosmische stralen 5 + zee-water 1 + inwendig 28). Een grote vis zou de uitstralingsdosis met de helft verminderen door het oppervlak te verlaten voor een diepte van 100 meter, waarbij hij in elk geval zijn van inwendige zenders afkomstige uitstralingsbron bewaart.

RADIOAKTIVITEIT AFKOMSTIG VAN DE AKTIVITEITEN VAN DE MENS

De laatste twintig jaar heeft de mens de radioactiviteit van zijn omgeving aanzienlijk verhoogd, deze van de zeeën en oceanen inbe-

grepen. Deze aangroei spruit voort uit militaire proefnemingen met nukleaire tuigen evenals de vreedzame toepassingen van de atoom-energie. Bijgevolg bevat de gehele biosfeer bepaalde radioactieve isotopen en de verhoging van radioactieve elementen in het menselijk lichaam, het water en het voedsel geeft aanleiding tot een bepaalde onrust. De voortzetting der proefnemingen met nukleaire wapens en de verspreiding van radioactieve materialen in het omringend milieu ingevolge de uitbreiding van het gebruik van nukleaire energie voor vreedzame doeleinden, kunnen de levensvreugde van de mens bedreigen.

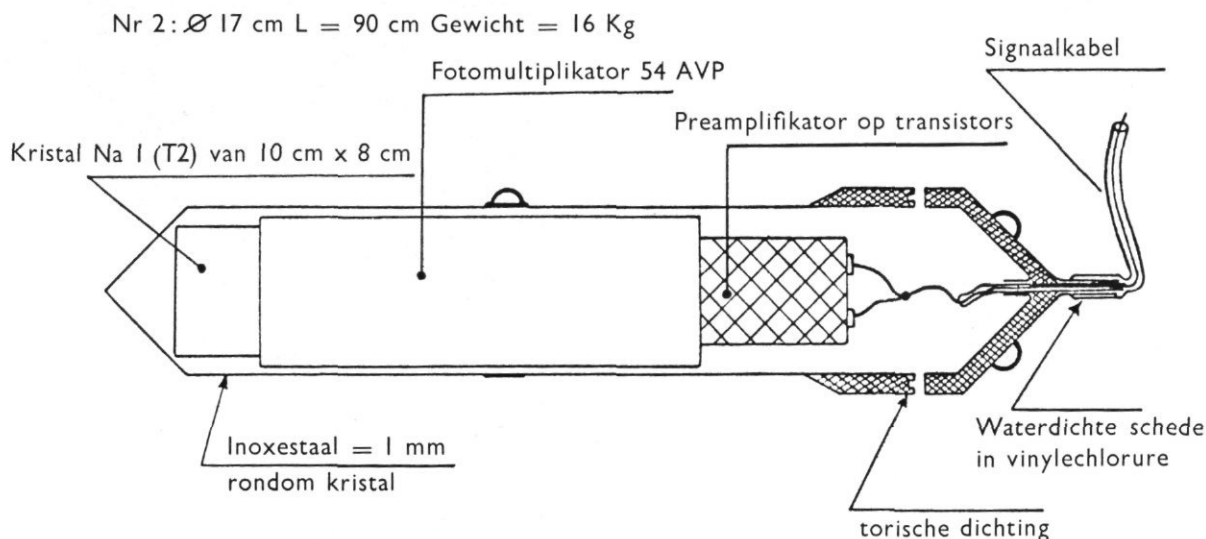
DE PROEFNEMINGEN MET NUKLEAIRE TUIGEN BRON VAN VERHOOGING DER RADIOAKTIEVE ISOTOPEN

De toename van het aantal radioactieve isotopen in het zeewater, evenals op het land, spruit voort uit de ontploffing van nukleaire tuigen. De aard van de radioactieve isotopen, die zij veroorzaken, hangt af van het type van ontploffing: splijting of fusie. Vóór 1952 waren alle nukleaire ontploffingen van het type: desintegratie door splijting, maar sindsdien is men overgegaan tot proefnemingen met reaktietuigen door fusie. In het geval van de splijtingen, desintegreren de atoomkernen van uranium -235 en van plutonium -239 zich wanneer zij door neutronen getroffen worden. Hieruit volgt een produktie van grote hoeveelheden energie doch tevens een vorming van radioactieve isotopen van nieuwe elementen. Een splijting schept ongeveer 200 isotopen van 35 elementen waarvan vele vlug verzwakken. De produkten van de splijting, die biologisch gezien belangrijk zijn, zijn: jodium -131, strontium -90, cesium -137, zirconium -95, niobium -95 en ruthenium -106. In de loop van de week die volgt op een nukleaire ontploffing, mag jodium -131, waarvan de halveringstijd 8 dagen duurt, als bijzonder gevaarlijk beschouwd worden. Wegens de kortstondige halveringstijd heeft het nochtans geen invloed op het zeemilieu.

In het procédé door fusie - type dat

De laatste twintig jaar heeft de mens de radioactiviteit van zijn milieu, dit van de zeeën en oceanen inbegrepen, in sterke mate vergroot

Schema van de peilingen van onderzees spektrometrie gamma. (Volgens: "Identification des nuclides radioactifs dans l'eau de mer par spectrophotographie gamma" par Roger Chesselet, Tovy Grjebine, Gérard Lambert en Daniel Nordemann. In "Océanographie géologique et géophysique de la Méditerranée Occidentale", Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1962, blz. 202)



tegenovergesteld is aan dit door splijting - worden twee atomen samengevoegd om de kern te vormen van één enkele atoom. De waterstofatoomkernen worden samengevoegd om aldus een heliumkern te vormen (of een zwaarder waterstofisotoop). Zij maken, naast een aanzienlijke hoeveelheid energie, een groot aantal neutronen vrij. Om tot een fusie te komen, zijn er temperaturen vereist die tot één miljoen graden bedragen. De radioactieve isotopen, die na een ontploffing van een fusietuig in het omringend milieu vrijkomen, zijn: de zware waterstofisotopen, deuterium of tritium, als overschotten, evenals een aantal radioactieve isotopen die voortspruiten uit de inwerking van neutronen op de in de onmiddellijke omgeving aanwezige elementen. Een der belangrijkste is de radioactieve koolstof, koolstof -14, voortgebracht door de radioactief geworden neutronen van nitrogeen.

De meest courante nucleaire tuigen gebruiken de reactie splijting - fusie - splijting. De splijting zet de

voor de reactie door fusie vereiste geweldige temperatuur in. Op haar beurt produceert zij grote hoeveelheden neutronen en veroorzaakt aldus de splijting van een groter aantal materialen. In zulke tuigen komen de geproduceerde radioactieve isotopen zowel uit de splijting als uit de fusie voort. Het termonuclaire tuig, waarin het verband tussen de splijting en de fusie gering is, staat gekend onder de naam "eigenlijke bom", om reden dat de gevaarlijkste radioactieve isotopen - die uit de splijting voortkomen - er tot een minimum herleid zijn. De distributie van de radioactieve isotopen bij de neerslag hangt af van de omvang van ontploffing. Een grote ontploffing is die waarbij de door de zwavel gevormde wolk de stratosfeer bereikt. Zij verwekt in een onmetelijke straal neerslag. Bij zwakkere ontploffingen blijft de wolk in de troposfeer en blijft de uitgestrektheid van neerslag beperkt. Maar elke ontploffing wordt - op een gebied van verscheidene kilometers rond haar centrum - gevolgd door

een grote hoeveelheid plaatselijke neerslag. De aard van de materialen in die sterke neerslag is afhankelijk van het type van de grond en van andere materialen die zich op de plaats van de ontploffing bevinden en met de ontplofende bol in contact komen.

VERHOOGING VAN DE RADIO-AKTIEVE ISOTOPEN VOORTKOMEND UIT DE VREEDZAME TOEPASSINGEN VAN DE ATOOMENERGIE

De aanwending van het splijtings-procédé in de nucleaire reactoren heeft het ontstaan van sterk radioactieve afval binnen in de elementen van bestraalde brandstof voor gevolg. Alhoewel hun huidig gehalte gering is, zijn zij geweldig radioactief en het zou werkelijk gevaarlijk zijn ze in het omringend milieu los te laten. Men schat dat, wanneer in alle landen al de thans voorziene installaties met atoomenergie zouden opgericht zijn, de globale hoeveelheid bekomen splijtingspro-

dukten slechts 60 ton per jaar zou bedragen.

Maar deze produkten zouden een radioactiviteit van bij de 70.000 mega-curiën hebben, hetzij meer dan 10 % van de natuurlijke radioactiviteit van al de oceanen van de wereld. Alle voorzorgen werden echter genomen om te vermijden dat de radioactieve afvalstoffen zich in de omgeving zouden kunnen verspreiden en normaal worden zij in de elementen van de brandstof vastgehouden. Veel reaktoren met groot arbeidsvermogen gebruiken gezuiverd water als afkoelingsagent. Het intens bombardement van de neutronen van een kleine hoeveelheid elementen - onder andere produkten van de korrosie van het metaal - in het afkoelingswater laadt het met een bepaald aantal radioactieve isotopen. Fouten in het omhulsel kunnen eveneens de aanwezigheid van splijtingsprodukten in de elementen van de brandstof met zich brengen. De vlekken van de afkoelingsagent worden verwijderd bij middel van ruilsystemen van ionen. Vervolgens worden zij er uitgehaald en gekoncentreerd om opgeslagen te worden in afwachting dat men er zich definitief kan van ontdoen. De kleine hoeveelheden vloeibare afvalstoffen met gering percentage aan radioactiviteit worden verwijderd. Een bepaald aantal van deze grote reaktorinstallaties zijn gelegen langs de kusten, in baaien of inhammen en hun afvloeiingen dringen in zee door. Deze installaties lossen voornamelijk radioactieve elementen afkomstig van metaalresten, zoals: zink -65, ijzer -55, ijzer -59, chroom -51, kobalt -58 en kobalt -60. Het vrijmaken van de radioactieve elementen maakt het voorwerp uit van een strenge controle. Waar het van enig belang is, stelt het nochtans slechts problemen in zeer beperkte zones van het zeemilieu.

De schepen met nukleaire aandrijving, of zij thans in bedrijf zijn genomen of nog in aanbouw zijn, gebruiken reaktoren van het met water gepresuriseerd type met gewoon water als moderator. In de komende jaren zullen waarschijnlijk andere typen van reaktoren aanvaard worden voor bepaalde nukleaire schepen, maar het is praktisch onmogelijk de aard en de hoeveelheid radioactieve afvalstof-

Deze luchtfoto werd genomen in 1946 bij de ontploffing onder water van een atoombom.

De wolk heeft niet meer de klassieke paddestoelvorm doch lijkt eerder op een reuze-ijspudding. Men kan zich eerst rekenschap geven van de afmetingen van deze wolk wanneer men weet dat de stipjes op de voorgrond oorlogsschepen zijn. (Bron: A.P.)





**De ingestie
van de radioactieve
elementen,
aanwezig in de
bezoedelde vissen,
de schaal-
en weekdieren,
jaagt een grenzeloze
vrees aan**

fen te voorspellen die het zeewater gebeurlijk zouden bezoedelen. Het aantal voor de toekomst voorziene schepen met nukleaire aandrijving is aanzienlijk. Binnen een tiental jaren zullen bij de 300 van deze schepen ofwel in gebruik ofwel in aanbouw zijn.

Zoals wij hoger, in verband met vaste reactoren, vermeld hebben, maken de reactoren van schepen met nukleaire aandrijving eveneens grote hoeveelheden splijtingsprodukten vrij, doch deze worden in de elementen van de brandstof opgesloten en verwijderd bij de herbevoorrading in brandstof. De radio-isotopen van het afkoelingswater hopen zich op bij de harpuizen door uitwisseling van ionen in de filterzuiveringsstelsels. Kleine hoeveelheden afkoelingswater kunnen, ingevolge de waterexpansie, tijdens de opwarmingsperioden van de reactoren ontsnappen, maar men slaagt er in ze, in afwachting dat men er zich van ontlast, te zuiveren of op te slaan.

Wat de bezoedeling van het zeewater door de schepen met nukleaire aandrijving betreft, is het voornaamste probleem misschien dit van de uitstorting der radioactieve harpuizen van ionenruil. In sommige gevallen kunnen zij echter gelost en begraven of behandeld en tot stolling gebracht worden vóór hun lossing zodanig dat het wegvloeien van hun radioactieve nukleonen slechts zeer langzaam kan geschieden.

De schepen met atoomaandrijving varen op verscheidene typen van zeemilieus. In sommigen onder hen zou de uitstorting van radioactieve afval tot gevaarlijke toestanden aanleiding kunnen geven. Een strenge selektie en controle van de uitstortingszones zouden echter de verwijdering kunnen mogelijk maken van de afvalstoffen van een lager of gemiddeld radioactief peil zonder het zeeleven ernstig aan te tasten. Na een bepaalde uitstralingsperiode worden de brandstoffen van nukleaire reactoren in scheikundige fabrieken behandeld ten einde er de afvalstoffen van de splijtingsprodukten uit te verwijderen en de waardevolle splijtbare materialen er uit te halen. Men recupereert aldus opnieuw hoogst radioactieve scheikundige afvalstoffen welke splijtbare produkten bevatten. Wij hebben

reeds het belang aangetoond van de radioactiviteit van deze produkten in de elementen van de brandstoffen der reactoren. Deze afvalstoffen met hoge activiteit worden bewerkt en opgeslagen, maar hun behandeling en het stockeren stelt tal van problemen. De manier om er zich definitief van te ontdoen maakt één der ernstigste problemen uit die zich in de wereld van vandaag kunnen stellen.

Men heeft de mogelijkheid overwogen de zeer radioactieve afvalstoffen van de splijtingsprodukten naar de grote diepten van de oceanen te voeren. Het schijnt dat hieruit, zelfs in dit geval, een verspreiding van zeer groot aantal radioactieve elementen in de bovenste lagen van de zeeën zou voortvloeien. Deze elementen zouden de mariene hulpbronnen aantasten, alhoewel de oceanografen het niet eens zijn over de belangrijkheid van het omroeren van zeer diepe waterlagen in de oceanen. De problemen van behandeling en injectie in de oceaandiepten zouden ertoe bijdragen zulk projekt te kelderen.

Het is noodzakelijk dat de fabrieken, die de brandstof behandelen, over betrekkelijk kleine hoeveelheden van deze splijtingsprodukten, aanwezig in de aanzienlijke massa's van vloeistoffen, beschikken, welke van de scheidingsprocessen voortkomen. Deze dienen, onder strenge controle, uitgestort in de rivieren of in zee, langs de kusten. Deze toevoeging van radioactieve elementen aan het zeewater is ongetwijfeld de grootste beslommering die voortvloeit uit het vreedzaam gebruik van de atoomenergie. Het aantal van deze scheikundige installaties neemt over gans de wereld toe. Kleine hoeveelheden radioactieve afvalstoffen spruiten voort uit het gebruik van radioactieve isotopen in de geneeskunde, in de nijverheid en in de opzoekingslaboratoria. Zij worden in een vaste vorm gekoncentreerd. Meestal worden zij begraven, maar soms ook in zee afgezet. Deze toevoegingen zijn van een betrekkelijk geringe belangrijkheid en hebben geen problemen geschapen inzake bezoedeling van het zeewater. De stortplaatsen liggen over 't algemeen in diep water, boven het kontinentaal plat en men heeft geen enkele bezoedeling opgemerkt, zelfs niet in de onmiddellijke omgeving.

De laatste jaren werden de eenvoudige radio-isotopen aangewend tot het winnen van elektrische energie. Tot dit doel gebruikt men de thermische energie die voortkomt uit de desintegratie en de verzwakking van massieve hoeveelheden van een ingevoegd radioactief nucleon. Deze kompakte energiereserves worden gebruikt in de ruimtevaartuigen, de verwijderde meteorologische stations, voor de scheepvaart en de oceanografische opzoekingen.

In deze energiecentrales heeft men gebruikt of voorziet men het gebruik van een mengsel van nucleonen waaronder strontium -90, cesium -137, cerium -144, polonium -210, plutonium -238, curium -242, kobalt -60 en promethium -147. Alhoewel de respectievelijke brandstoffen in metalen koffers steken, in een legering van metalen en oxyden, voorziet men dat deze laatste snel in het water zouden kunnen oplossen en, wanneer het de zee betreft, dat zij een oorzaak zouden kunnen zijn van de toename aan radioactiviteit. Dit is vooral het geval sinds men een geweldige hoeveelheid radioactieve isotopen gebruikt.

DE VERSPREIDING VAN DE IN HET ZEEWATER GESTORTE RADIOAKTIEVE ELEMENTEN

Bij de 70 % van de aardbol wordt door zeewater bedekt. Ongeveer 90 % van de watermassa der grote oceanen heeft meer dan duizend meter diepte. De radio-isotopen, die aan de zee worden toegevoegd, zullen dientengevolge in een groot watervolume verdund of verspreid worden. Alhoewel alle oceanen met mekaar verbonden zijn en er dus gebeurlijk een algemene omroering zou kunnen gebeuren, voltrekken de mengprocessen zich uiterst langzaam. In het oppervlaktewater van grote oceaanstromingen sleept het water over een grote afstand mee. De horizontale verdeling is dus betrekkelijk belangrijk; maar zelfs in dit geval kan de menging niet snel geschieden. De verticale vermenging is een heel wat langzamer proces en het water kan slechts op een diepte van enkele honderden meters goed doorengemengd worden. De stromingen en bewegingen van de watermassa's zijn uiterst

gering en langzaam in de grote, diepe oceanen. Het mengen van dieper water met dit aan de oppervlakte voltrekt zich slechts na honderden jaren.

De verspreiding der radio-isotopen, die aan de zee werden toegevoegd, hangt af van de scheikundige en fysische kenmerken van het water en van het radioactief element. Sommige van deze elementen werden onder oplosbare vorm bijgevoegd, andere onder onoplosbare vorm. Zij kunnen hun oplosbare vorm bewaren, neergestort worden, als deeltjes overblijven of zich oplossen, op de scheikundige elementen van het zeewater reageren om deeltjes te vormen of ten slotte zich met reeds aanwezige deeltjes vermengen.

De radio-isotopen die zich, ingevolge hun toevoeging, in het oceaانwater bevinden in de vorm van opgeloste lichamen, worden vlug genoeg in het oppervlaktewater verspreid, maar in het water van de tussendiepten geschiedt dit veel langzamer. De radioactieve elementen in de vorm van deeltjes of zij die niet met deeltjes gekoppeld worden, worden in zekere mate verspreid door oceaanstromingen en door omroeringen in de hogere lagen van de oceaan. Hun eindbestemming bestaat erin in de sedimenten van de oceaan te worden afgezet. Hun dalingssnelheid hangt af van de afmetingen van de deeltjes en van de densiteit van de verschillende watermassa's, daar het zeewater uit lagen bestaat.

INVLOED VAN DE IN ZEE GESTORTE RADIO-ISOTOPEN OP HET WELZIJN VAN DE MENS

De radio-isotopen, die ioniserende deeltjes en stralen uitzenden, kunnen de levende organismen ernstig beschadigen: volgens uitstralingsstype en volgens de intensiteit van de dosis. De gevaarlijksten zijn over 't algemeen zij die in de weefsels van het lichaam zijn opgehoopt, omdat zij zich innig met die weefsels verbinden en sommigen, gedurende een behoorlijk tijdsverloop, in het lichaam bewaard blijven. Enkele splijtingsproducten, die in het zeewater binnendringen, worden voor deze levende organismen als zeer gevaarlijk beschouwd.

Men kan vermoeden dat de verwondingen door uitstraling, die de produktie van commerciële vis aantasten, een verlies aan zeevoedsel met zich zou kunnen brengen. Tot nog toe heeft men echter geen bewijs van zulke beschadigingen bij een vissenpopulatie of aan andere organismen gevonden, zelfs niet in de zeezones die sterk door de radioactieve elementen bezoeeld zijn.

De bestendige toevoeging van een grote variëteit van radioactieve materialen aan het zeewater is een grote bron van kommer voor wat de radioactieve bezoeiding betreft van vissen, schaaldieren en weekdieren. De ingestie van de radioactieve elementen, vervat in dit zeevoedsel, jaagt grote vrees aan. Zij zou gevaarlijke splijtingsproducten en andere radio-isotopen in zich kunnen sluiten in zulke hoeveelheden dat zij schadelijk zouden kunnen zijn voor de mens.

Eén van de gevaarlijkste splijtingsproducten die men in het voedsel vindt is strontium -90. De vissen, schaaldieren en eetbare weekdieren

Radioactieve uitstromingen kunnen de inhammen binnendringen, nabij de mossel- en oesterbanken. Het is dus van belang ze te controleren...

voegen heel wat kleiner hoeveelheden van deze isotoop toe aan het voedselregime van de mens dan het van het land herkomstig voedsel. Dit komt doordat het verband, in de eetbare gedeelten van de vissen, de schaal- en weekdieren, tussen het radioactief strontium en de atomen van stabiel strontium en van calcium - scheikundig gelijkend op strontium - geringer is dan in de landorganismen. Dit is zo wegens

een bepaald aantal redenen. Aldus nemen de vissen bijvoorbeeld strontium -90 rechtstreeks uit het zeewater op. De in hun voedsel vervatte hoeveelheden zijn heel wat geringer en zij, die in het water vervat zijn, zijn zwak. Inderdaad, strontium -90 dringt in de zee door, ingevolge neerslag in een oplosbare vorm. Welnu, als opgelost lichaam is het snel in zee verspreid. Deze verspreiding is heel wat groter dan op het land. Strontium -90 wordt trouwens sterk verdund door de aanwezigheid in het water van betrekkelijk belangrijke hoeveelheden niet-radioactief strontium en grote hoeveelheden calcium. Door zich calcium toe te eigenen voor zijn metabolisme neemt de vis minder strontium -90 op. Cerium -137, afkomstig van de neerslag, eveneens een gevaarlijk splijtingsprodukt, dringt in de zee door in oplosbare vorm, vooral door regen en sneeuw. Het blijft opgelost in het zeewater en wordt snel verspreid en verdund. Gedeeltelijk wegens zijn verdunning en zwakke concentraties in het zeewater mag men zeggen dat het landvoedsel de mens aanzienlijker hoeveelheden cerium -137 levert dan het zeevoedsel. De vissen en de andere zeedieren hopen slechts geringe hoeveelheden van deze radioactieve nuklide op: waarschijnlijk wegens de overvloed van het element kalium in het zeewater. Kalium bezit heel wat kenmerken welke op die van cerium gelijken en het schijnt het opnemen van cerium -137 door de zeedieren te beperken. Sommige van de andere radioactieve nukliden, splijtingsprodukten, zoals cerium -144, zirconium -95, niobium -95 en ruthenium -106, kunnen zich in van de zee afkomstig voedsel, zoals schaal- en weekdieren, bevinden. Deze radio-isotopen zijn nochtans minder gevaarlijk voor de mens; zij worden niet in aanzienlijke mate opgeslorpt en bestralen de weefsels slechts gedurende de periode waarin zij zich in het verteringsapparaat bevinden. In het zeewater verenigen deze radio-isotopen zich met deeltjes en zinken langzaam tot op de bodem, om zich in de sedimenten op te stapelen. Zoals dit bij de mens het geval is, worden deze radio-isotopen niet in merkelijke hoeveelheid opgenomen door de weefsels van de vissen en de andere zeedieren. Zij bezoedelen

echter de oppervlakken van de meer primitieve vormen van het zeeleven en men vindt ze in bepaalde weekdieren zoals mosselen, steenmosselen en oesters.

De elementen: zink, ijzer, kobalt en mangaan bevinden zich slechts in zeer kleine hoeveelheden in het zeewater. Het zijn echter onmisbare elementen in het metabolisme van de vissen en zeedieren; zij spelen belangrijke fysiologische rollen. De zeedieren concentreren deze metalen in sterke mate in hun lichaam en bijgevolg worden de radio-isotopen van deze elementen op dezelfde wijze opgestapeld. De proefnemingen met nukleaire tuigen in de Stille Oceaan tonen het groot akkumulatievermogen aan van metalen radioactieve nukliden door de zeevissen. Alhoewel er grote hoeveelheden splijtingsprodukten aan het zeewater werden toegevoegd en enkel geringe hoeveelheden metaalresten, toch stelde men vast dat de vissen in deze zone van de oceaan weinig of geen radioactiviteit bezaten die van de splijtingsprodukten afkomstig was. Zij werden daarentegen radioactief gemaakt door de radio-isotopen van zink, ijzer, kobalt en mangaan. Het grootste gedeelte van de globale radioactiviteit in het vlees kwam voort van zink -65. Het onderzoek van de verdeling van de radioactiviteit in een atol en in zijn meertje, vijf jaar nadat het sterke plaatselijke neerslag had ontvangen, duidt een geringe radioactiviteit aan. Enkel kwam de radioactiviteit op de landplanten en dieren voort van de radio-isotopen van de splijtingsprodukten, terwijl de radioactiviteit van de vissen van het meertje enkel afkomstig was van de radio-isotopen van zink, kobalt en mangaan.

Wanneer radionukliden van metalen zich in het voedsel bevinden, als korrosieprodukten van het zeewater, worden ze voor de mens als minder gevaarlijk beschouwd dan tal van splijtingsprodukten. Zeevissen en schaal- en weekdieren, vooral deze laatste twee, kunnen nochtans merkelijke hoeveelheden van deze radionukliden bevatten.

Radioactieve afvloeiingen, welke radio-isotopen van deze metalen bevatten, kunnen in de baaien en inhammen, nabij de mossel- en oesterparken, binnendringen. Men moet ze dus bewaken en controleren.



Foto E.D.F. service création et diffusion.

De fabriek van getijdendrijfkraft van Rance zal als eerste in de wereld de energie der getijden aanwenden. Zij zal gelegen zijn aan de inham van Rance, tussen San Malo en Dinard.

De getijden aldaar behoren tot de sterkste van gans de wereld: 13,50 m tijdens het buitengewoon nachtevening-springtij. De inham draineert 4 maal per jaar een volume van 180 miljoen m³ water. De fabriek van getijdendrijfkraft, opgericht door de "Electricité de France", zal een totaal vermogen hebben van 240.000 kWh; zij zal 544 miljoen kWh produceren.

Met de werken werd in 1961 aangevangen, terwijl de voltooiing voorzien is in de loop van het jaar 1967.

Thans is de centrale damwand drooggelegd. Onze foto toont de grondwerken van de fabriek waarmee reeds gestart werd, evenals de eerste betonwerken van de dichtheidsschermen van de slaperdijk. Er zal 400.000 m³ grond moeten verplaatst en 300.000 m³ beton moeten gegoten worden. Voor de geraamten zal men 10.000 ton staal nodig hebben en de rondgaande kofferdammen vertegenwoordigen een gewicht van 13.000 ton staal. Om deze taak tot een goed einde te brengen werden krachtige middelen aangewend.

Binnen enkele jaren zullen de eerste kWh, geleverd door de blauwe steenkool, zich in het Frans interkonnektienet mengen met die welke reeds geproduceerd worden door de klassieke hydraulische centrales evenals door de termische en nukleaire centrales.



n. serneels



Uitgegeven door BP Belgium n.v. - Jan van Rijswijcklaan 162 - Antwerpen