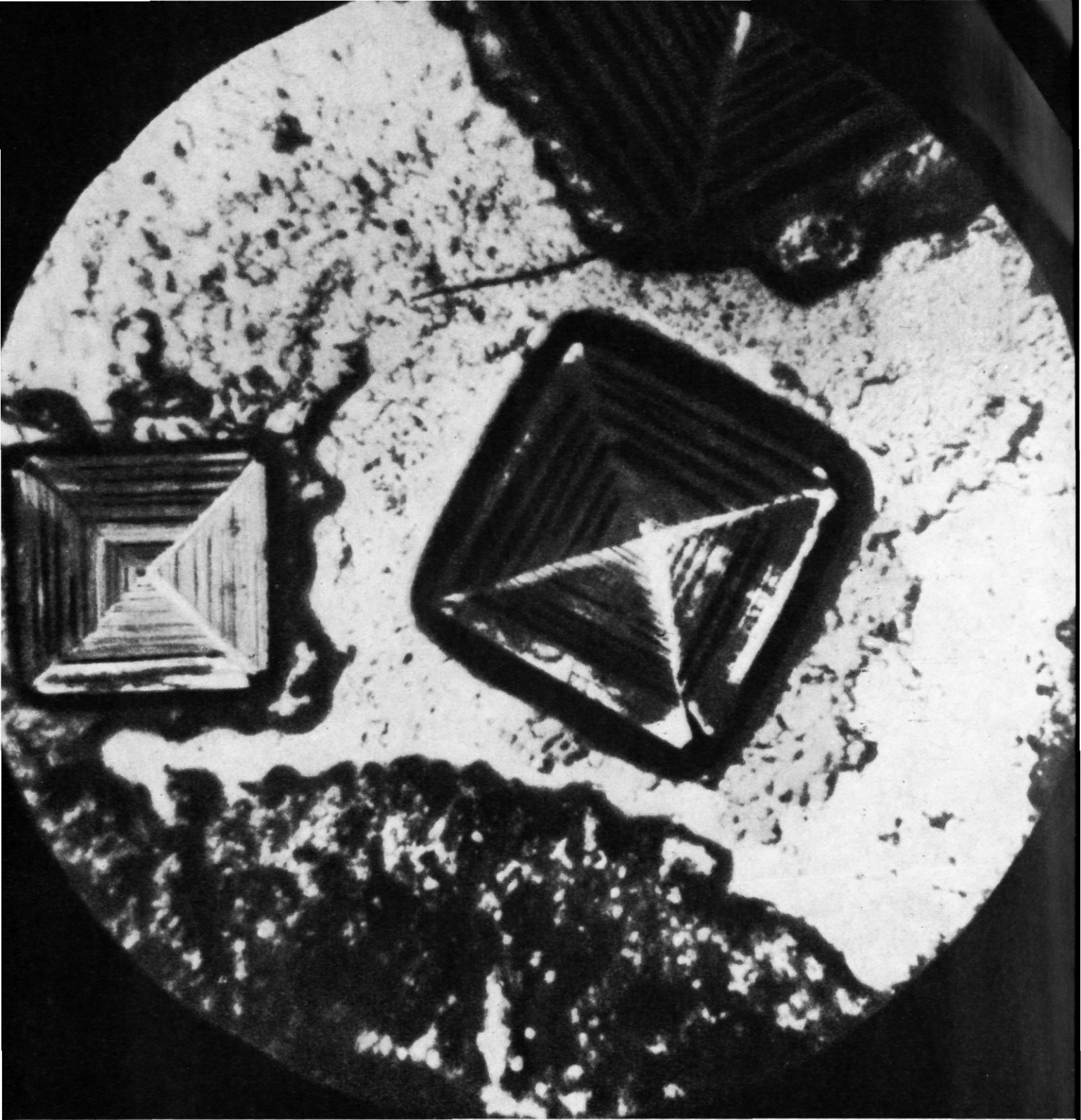


L. H. N. Cooper F. R. S.

**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 zullen 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 oceaanzout 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 oceaanstromingen, 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 oceaanstromingen 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 titrering. Zij is trouwens aanmerkelijk juister 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 titrering 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 gewent hebben om de oceaancirculaties 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 titrering van de densiteit 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 calciumkoolzuur-zout; (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.

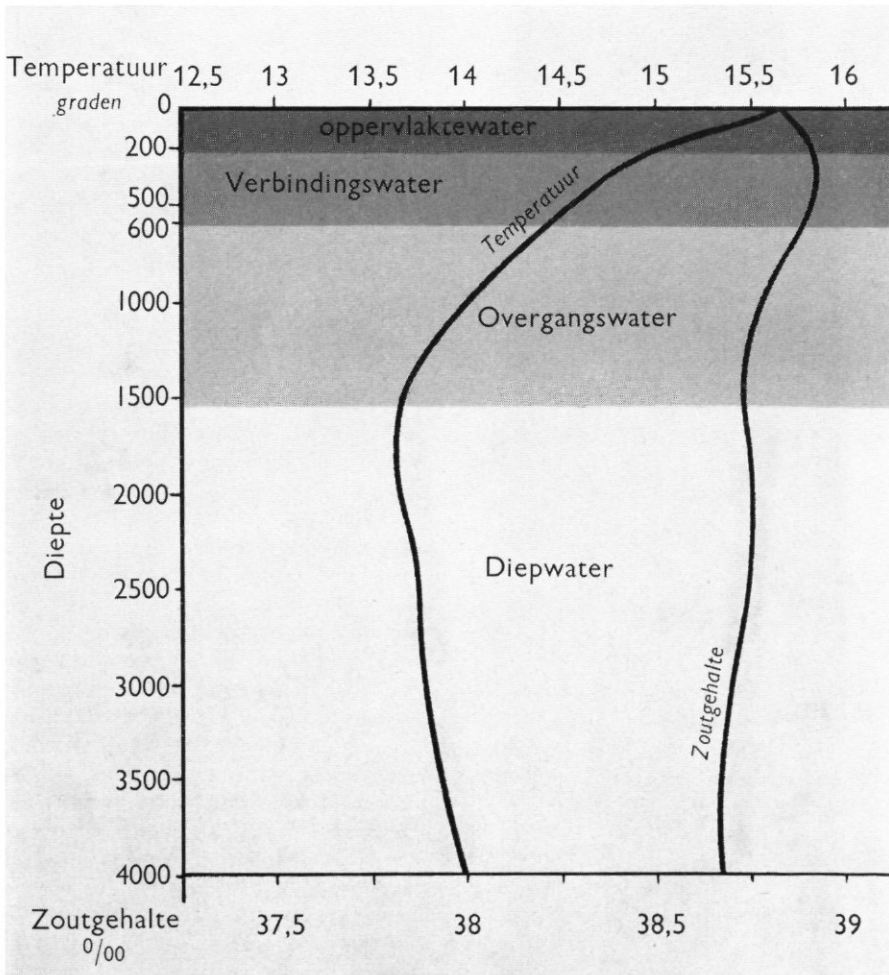
In de loop van de tweede helft van de negentiende eeuw heeft de gravimetrische scheikundige ontleding op schaal van de gram of de centigram zich sterk ontwikkeld. Wanneer de opsporingsschepen ver verwijderde waterstalen meebrachten, konden Forchhammer en Dittmar de eerste systematische analyses doen van wat wij thans de hoofdkonstituenten 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 analysten 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 grootte in de verschillen lijkt onwaarschijnlijk. Soms kan men veronderstellen dat er een bezoedeling is door de materialen die gebruikt werden voor de opnemings toestellen. 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 aaneenkleven. 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 meeteenheid 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 biezondere 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 vruchtbaarmaking 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 funktioneert, 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

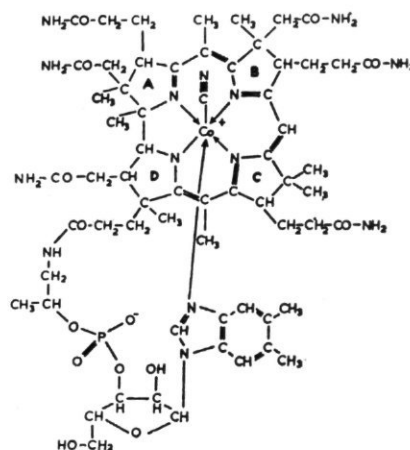


FIG. 1

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.

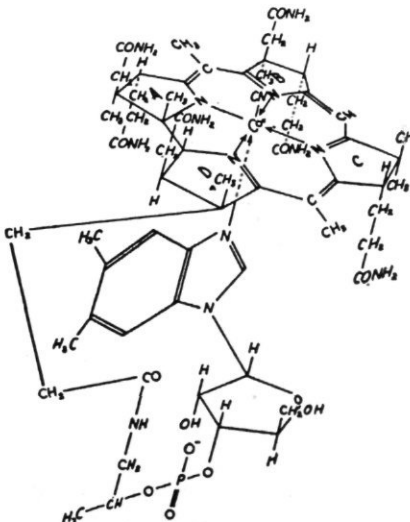


FIG. 2

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 fosfor- en kobaltatoom moet door het omringend milieu geleverd worden. Alhoewel de distributie van het fosfor 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 fosfor 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 512 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 viscositeit 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 voedselpeil

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



Magnesiumafschenkbakken 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 toe bereide 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 analisten 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.