



DE

► RADIOAKTIVITEIT

VAN ZEEWATER

Dr. W. Chipman

◀ Om gevaarlijke radioactieve materialen te behandelen, gebruikt men mechanische handen. De operator 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-operator in staat stellen een draad door het oog van een naald te rijgen.

Sinds de ontdekking van de radioactiviteit 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.

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 fraktie van een sekonde duren of integendeel triljoenen jaren. Aan te stippen valt dat deze verzwakkingssnelheid 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 spruit 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**

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 (mrاد/jaar). Een rad wordt willekeurig bepaald als de opslorping van 100 ergs energie per weefsel-gram, 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 mrاد/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 mrاد/jaar kan verwerken, zou een oceaanis, op een diepte van ongeveer 20 meter, een totale dosis ondergaan van 34 mrاد/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.

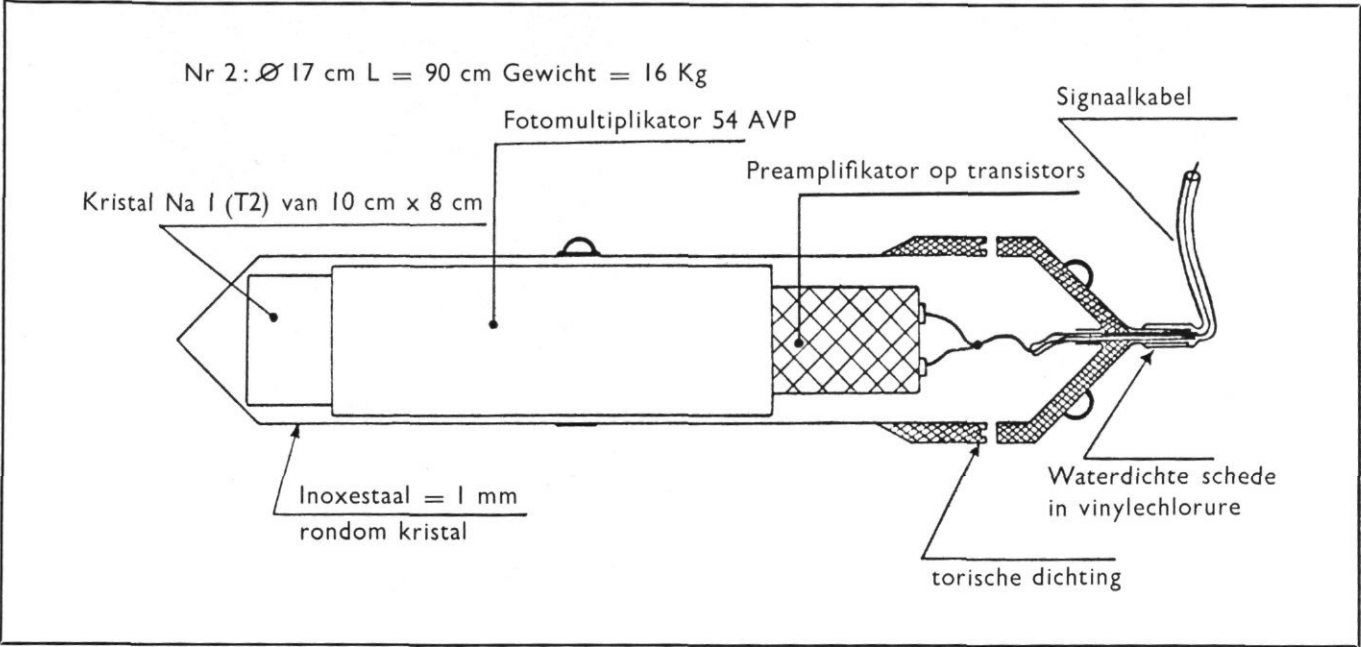
DE PROEFNEMINGEN MET NUKLEAIRE TUIGEN BRON VAN VERHOOGING DER RADIOAKTIEVE ISOTOPEN

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 nukleaire 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 termonukleair 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 kontakt komen.

VERHOOGING VAN DE RADIO-AKTIEVE ISOTOPEN VOORTKOMEND UIT DE VREED-ZAME TOEPASSINGEN VAN DE ATOOMENERGIE

De aanwending van het splijtings-procédé in de nukleaire reaktoren 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 selectie 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 brandstof der reactoren. Deze afvalstoffen met hoge aktiviteit 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 RADIOACTIEVE 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 diens gevolg 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 vertikale 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 oceaankwater 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 splijtingsprodukten, 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 splijtingsprodukten en andere radio-isotopen in zich kunnen sluiten in zulke hoeveelheden dat zij schadelijk zouden kunnen zijn voor de mens.

Eén van de gevaarlijkste splijtingsprodukten 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 oester-
banken. 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-radio-actief 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 radio-actieve 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 radio-actieve 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 radio-actieve 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.

Radio-actieve 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.