

Kalkskeletten

van mariene organismen
als archieven van klimaatverandering

Doorsnede van het aragonietskelet van een Ceratoporella nicholsoni sclerospons (epifluorescentie microscopie). Deze sclerospons, pas ontdekt begin 20ste eeuw, werd tot 1969 verkeerd als een koraal bestempeld. Onder de 17 voorkomende soorten rifbouwende sclerosponzen is Ceratoporella nicholsoni deze met het meest massieve skelet. Door middel van opeenvolgende markeringen met een fluorescerende stof kon de gemiddelde groeisnelheid van het skelet geschat worden op 0,25 mm/jaar. Sommige specimens worden eeuwenoud, wat een unicum is in de dierenwereld. © Ph. W.

Dit onderzoeksproject werd in 2001 opgestart door een consortium van twee federale instellingen en drie universiteiten, in het kader van het tweede meerjarenplan ter wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling, een vierjarig onderzoeksprogramma gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid. De betrokken instellingen zijn het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, de Université Libre de Bruxelles, de Vrije Universiteit Brussel en de Universiteit Antwerpen.

Het project wil een bijdrage leveren tot de reconstructie van het klimaat uit het verleden en dit door tijdreeksen gebaseerd op instrumentele waarnemingen, naar het verdere verleden toe aan te vullen met informatie opgeslagen in kalkskeletten van mariene ongewervelden. Hiervoor werden drie taxa uitgekozen op basis van karakteristieken zoals levensduur, groei en mineralisatiepatroon. Deze taxa zijn: (i) tweekleppigen zoals mosselen, venusschelpen, sint-jakobsschelpen; (ii) echinodermen zoals zeesterren en zeeëgels; en (iii) sclerospongiae, een kleine groep, uitsluitend tropische sponzen met een hard kalkskelet.



Paleontologie en het plan voor wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling PODO 2

Het PODO 2 (2001 - 2005) wordt gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid en besteedt een belangrijk gedeelte van zijn budget (ongeveer 10 van de 60 miljoen euro) aan het onderzoek van de klimaatveranderingen: evolutie op wereldschaal, oorzaken (broeikasgassen, aerosols, El Niño, ...) en voorspellingen op mondiaal en regionaal niveau.

Wetenschappers van vier onderzoeksnetwerken proberen de natuurlijke klimaatschommelingen te reconstitueren aan de hand van paleoklimatologische gegevens afkomstig van ijskernen (Antarctica) en van mariene - of meer-sedimenten (Tanganyika, Antarctica). Door gegevens van geologische, ecologische, taxonomische observatie en van numerieke modellen te combineren, kun-

nen de onderzoekers het ritme, de omvang en de geografische spreiding van de natuurlijke klimaatschommelingen analyseren. Naast de huidige klimaatveranderingen die rechtstreeks of onrechtstreeks toegeschreven kunnen worden aan de menselijke activiteit, speelt dit onderzoek een belangrijke rol bij het opstellen van scenario's voor klimaatvoorspelling.

Het is al langer bekend dat chemische elementen en isotopen, zoals ze geïncorporeerd zijn in kalkskeletten (hoofdzakelijk samengesteld uit calciumcarbonaat; CaCO_3), informatie bevatten over de evolutie van het klimaat. Vooral koraalafzettingen zijn veelbestudeerde substraten die indicatoren (ook *proxies* genoemd) bevatten van klimaatrevolutie, zoals bijvoorbeeld de temperatuurevolutie op aarde. Deze gegevens kunnen worden samengevoegd met paleoklimatologische informatie verkregen uit groei-ringen van bomen, ijskernen of sedimenten. Hoewel elk van deze omgevingsarchieven waardevolle informatie leveren, hebben ze echter ook allemaal hun zwakke punten. Zo wordt bijvoorbeeld de samenstelling van biogene carbonaten niet enkel bepaald door de chemische samenstelling van het zeewater en de heersende fysische en chemische condities, maar ook door fysiologische factoren eigen aan het organisme. De juiste interpretatie van de proxy signalen vereist dan ook een gedetailleerd inzicht in de verschillende mechanismen die de incorporatie van deze proxies in het organisme en het kalkskelet sturen. Teneinde de klimaatomstandigheden op wereldschaal te kunnen reconstrueren, dienen de proxygegevens bovendien liefst representatief te zijn voor een zo breed mogelijk taxonomisch, geografisch en ecologisch bestand.

De aanpak van het CALMARS-netwerk (*Calcareous Marine Skeletons*) combineert veldwerk met in het laboratorium gecontroleerde experimenten. Het veldwerk bestaat uit de opvolging van de milieu-omstandigheden op sites in gematigde en tropische streken (Noord-Amerikaanse oost- en westkust; Europese Atlantische kust; Noordzee; Middellandse Zee; Caraïbische Zee).



Brad ROSENHEIM zwemt een onderwatergrot binnen tijdens een expeditie naar La Martinique (© Ph. W.)



Een Caraïbische sclerospon, *Ceratoporella nicholsoni*, met massief kalkskelet. Deze sclerospon komt enkel voor in donkere submariene grotten. De groei van het hier getoonde specimen wordt al 20 jaar gevolgd. Met een automatische thermograaf wordt elke twee uur de temperatuur van het water in de grot geregistreerd. (© Ph. W.)



Mercenaria mercenaria (© David P. GILLIKIN)

Isotopen

Atomen van éénzelfde chemisch element met een gelijk aantal protonen, maar een verschillend aantal neutronen in de atoomkern. De som van protonen en neutronen (het massagetal) zal dus voor de verschillende isotopen van éénzelfde element verschillen. Voor koolstof bijvoorbeeld kennen we de natuurlijke isotopen met massagetal 12 (^{12}C ; natuurlijk percentage 98,89%), massagetal 13 (^{13}C ; natuurlijk percentage 1,11%) en massa-

getal 14 (^{14}C). In dit geval zijn de isotopen ^{12}C en ^{13}C stabiel en niet radioactief, terwijl ^{14}C radioactief, dus niet stabiel is. Alhoewel ze vergelijkbare chemische eigenschappen hebben, vertonen de verschillende isotopen van éénzelfde element meestal verschillen in bijvoorbeeld hun reactiesnelheid daar deze afhankelijk is van hun massa. We spreken in dit geval van isotopenfractionering. Het bepalen van de afwijking in de isotopen-

verhouding tussen substraat en product betrokken bij een reactie levert informatie op over de fysisch-chemische omstandigheden (zoals de temperatuur bijvoorbeeld) waarbij de reactie zich voltrok. De isotopenfractionering is meestal zeer klein (van de grootte-orde van enkele per duizend) en dient bepaald te worden met zeer gevoelige en nauwkeurige instrumenten, zoals isotope-ratio massaspectrometers.

De geselecteerde proxies zijn de verhouding van de stabiele isotopen van koolstof ($\delta^{13}\text{C}$; een indicator voor de antropogene uitstoot van koolstofdioxide alsook voor de biologische activiteit in het milieu, zoals ademhaling en primaire productie); de verhouding van de stabiele isotopen van zuurstof ($\delta^{18}\text{O}$; een indicator voor de temperatuur); de verhouding tussen de elementen magnesium/calcium, strontium/calcium (indicatoren voor temperatuur), en barium/calcium (indicator voor productiviteit, saliniteit, alkaliniteit).

Het team van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, onder leiding van Luc ANDRÉ van het laboratorium voor Petrografie-Mineralogie-Geochemie, bestudeert twee soorten tweekleppigen uit Bretagne die voorkomen in twee verschillende biotopen: de Aziatische tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*) voorkomend in het estuarium van de Noyal-rivier (Golf van Morbihan) en de sint-jakobsschelp (*Pecten maximus*) op de zandplaat van Brest. Anne LORRAIN toonde tijdens eerdere werkzaam-

heden aan dat het metabolisme van het organisme een grote invloed kan hebben op de chemische samenstelling van de schelp, en het niet in rekening brengen hiervan kan leiden tot foutieve interpretaties van de proxysignalen in de schelpen. Om meer inzicht te verkrijgen in de verschillende stappen die leiden tot de verwerking van het milieusignaal in de schelp wordt in nauwe samenwerking met het *Institut Universitaire Européen de la Mer* (IUEM, Brest, Frankrijk) niet enkel de chemische samenstelling van de schelp en het zeewater bestudeerd, maar ook die van de weefsels, de hemolymfe en het vocht tussen mantel en schelp (van waaruit de opbouw van de schelp plaatsgrijpt). Resultaten tonen voor sommige elementen sterke verschillen aan tussen fysiologisch vocht en zeewater. De samenstelling van de schelp zal dan uiteindelijk ook bepaald worden door deze van het zeewater en de fysiologie van het organisme. Een robuuste ijking van de proxysignalen opgeslagen in de kalkskeletten aan de externe controlefactoren, vereist dan ook eerder een proefondervindelijke dan een empirische aanpak.



Ceratoporella nicholsoni, een spons met massief kalkskelet. (© Ph. W.)

Een sint-jakobsschelp (*Pecten maximus*, hier uitzonderlijk buiten zijn natuurlijke habitat, het sediment. Deze soort maakt dagelijks een herkenbare aangroeiing aan. Studie van deze schelpen laat een reconstructie toe van de omgevingscondities met dagelijkse resolutie (© Y. GLADU)

Zeester (*Asterias rubens*) die zowel in de Noordzee als in de Atlantische oceaan voorkomt. Door haar alomtegenwoordigheid (van de Witte Zee tot Senegal en van Labrador tot Zuid-Carolina) vormt deze soort een ideaal substraat voor het volgen van klimaatsveranderingen. (©Ch. DE RIDDER)



Zo'n proefondervindelijke aanpak wordt aangewend door Valentine MUBIANA en Ronny BLUST in het Laboratorium voor Ecofysiologie, Biochemie en Toxicologie aan de Universiteit Antwerpen. Zij voeren proeven uit met *Mytilus edulis* in aquaria onder gecontroleerde condities van temperatuur en zoutgehalte. Het gebruik van specifieke ionkanaalremmers (remmers van de activiteit van membraaneiwitten die het transport van stoffen bevorderen) toont aan dat de meeste elementen een zeer verschillende weg afleggen in de cel en op een specifieke manier worden ingelast in de schelp.

In de afdelingen Analytische- en Milieuchemie en Isotopengeochemie van de Vrije Universiteit Brussel bepalen David P. GILLIKIN, Baharak BASHAR, Frank DEHAIRS, Willy BAEYENS en Eddy KEPPENS de stabiele koolstof- en zuurstofisotopenverhoudingen ($\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{18}\text{O}$) als ook de concentraties van verschillende elementen, zoals strontium, magnesium, barium in schelpen van tweekleppigen. Het betreft tapijtschelpen uit Noord-Amerika, nl. de Amerikaanse venusschelp (*Mercenaria mercenaria*) voorkomend langsheen de Amerikaanse oostkust (o.a. Noord-Carolina) en *Saxidomus giganteus* voorkomend langsheen de Amerikaanse westkust (van de staten Washington tot Alaska), alsook de gewone blauwe mosel (*Mytilus edulis*) uit de Noordzee en Scheldemonding. Ten einde een voldoende fijne tijdschaal te kunnen reconstrueren worden de schelpen bemonsterd langsheen hun groei-as met bemonsteringstechnieken van hoge resolutie, waarna analyse met hooggevoelige instrumenten zoals massaspectrometers volgt. Ook hier werd aangetoond dat het metabolisme een belangrijke rol speelt bij de incorporatie van een proxy in de schelp. Hieruit volgt dan ook dat meer voorzichtigheid geboden is bij het aanwenden van bijvoorbeeld $\delta^{13}\text{C}$ als indicator voor de invloed van koolstofuitstoot door de mens in het leefmilieu. Verder werd duidelijk dat de zuurstofisotopenver-

houding ($\delta^{18}\text{O}$) in de schelp en alom gebruikt als indicator voor temperatuurschommelingen, ook sterk afhankelijk is van de $\delta^{18}\text{O}$ samenstelling van het water zelf. Zonder een goede kennis hiervan worden er gemakkelijk fouten gemaakt bij de reconstitutie van de watertemperatuur. Dit geldt vooral in estuaria en kustgebieden waar een grote maar variabele hoeveelheid zoetwater langs stroomt. Hoewel voor koralen ook de verhouding tussen strontium en calcium een indicator is voor temperatuurschommelingen, geldt dit niet voor de bovengenoemde Noord-Amerikaanse schelpen waarvoor de verhouding van deze elementen tot Ca ook door groeisnelheid wordt beïnvloed. Laboratoriumexperimenten met *Mytilus* wijzen dan weer op een nauwe correlatie tussen het bariumgehalte in de schelpen en de concentratie in het water. De verhouding tussen barium en calcium zou dus een waar-

devolle indicator zijn voor het zoutgehalte.

Sclerosponsen groeien uitzonderlijk traag (tussen 0,1 en 0,3 mm/jaar) en leven uitzonderlijk lang. Dit heeft tot gevolg dat zelfs vrij kleine exemplaren eeuwenoud kunnen zijn.

Philippe DUBOIS en Herwig RANNER van het Laboratorium voor Mariene Biologie aan de Université Libre de Bruxelles bestuderen specifiek kalkskeletten van zeesterren en zeeëgels.

Zij stelden vast dat niet alleen de zuurstofisotopenverhouding ($\delta^{18}\text{O}$) in de kalkskeletten van jonge zeesterren (*Asterias rubens*), gekweekt in aquaria onder gecontroleerde condities, zeer nauwkeurig de experimentele temperaturen weerspiegelen, maar dat dit eveneens geldt voor de verhouding magnesium/calcium. Deze tot nu toe weinig bestudeerde groep blijkt dus goed geschikt als indicator van variaties van de omgevingstemperatuur.

In de afdeling ongewervelden van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen bestudeert Philippe WILLENZ al twintig jaar de groeisnelheid van sclerospongiae (of koraalsponsen) van de Caraïben. Het unieke van deze sponzen is dat ze siliciumspiculae (stekels) combineren met een hard kalkskelet. De koolstof/zuurstofisotopenverhoudingen van het kalkskelet van sclero-

Regeneratie van de stekel van de zeeëgel Paracentrotus lividus die voorkomt in de Atlantische oceaan en de Middellandse Zee (optische microscopie). Wegens hun regeneratiecapaciteit vormen de stekels van zeeëgels een uitstekend experimenteel model voor de groei van het kalkskelet.
(© H. RANNER)

Tropische zeeëgel (Lytechinus variegatus)
(© Ph. W.)

Philippe WILLENZ op zoek naar sclerosponsen tijdens een expeditie naar La Martinique (© L. BERRY)



sponsen blijken isotopisch evenwicht te weerspiegelen tussen het carbonaat en het omringende zeewater, wat niet het geval is bij koralen. Sclerosponsen groeien uitzonderlijk traag (tussen 0,1 en 0,3 mm/jaar) en leven uitzonderlijk lang. Dit heeft tot gevolg dat zelfs vrij kleine exemplaren eeuwenoud kunnen zijn. Het kalkskelet van sommige soorten, zoals *Ceratoporella nicholsoni*, bestaat uit zeer compacte aragonietafzettingen en analyse ervan laat de reconstructie toe van omgevingscondities tot verscheidene eeuwen terug. Omdat sclerosponsen niet in symbiose leven met fotosynthetiserende algen, zoals het geval is voor koralen, overleven ze in afwezigheid van licht en komen ze voor tot op 300 m diepte. Deze eigenschap laat een reconstructie toe van de fysico-chemische condities van een diepere waterkolom in tegenstelling tot koralen die slechts informatie bevatten over het oppervlaktewater. De profielen van sporenelementen bij *C. nicholsoni* wijzen erop dat sommige sclerosponsen zouden kunnen dienen als continue paleoklimatologische indicatoren over honderden, zelfs duizenden jaren. Onlangs hebben Claire LAZARETH en Sophie VERHEYDEN aangetoond dat de evolutie van de loodvervuiling in de atmosfeer terug te vinden is in kalkskeletten van sclerospongiae uit de Bahama's. In skeletaccreties gevormd na 1980 is ook een duidelijke afname van de loodconcentraties waar te nemen, wat het gevolg is van een reductie van de atmosferische loodpollutie nadat het gebruik van loodvrije benzine algemeen werd. Lorraine BERRY onderzoekt het verband tussen de proxysignalen in het skelet en in het milieu met behulp van transmissie-elektronenmicroscopie. Ze volgt de weg die uiteenlopende elementen afleggen in levende weefsels, van het ogenblik dat ze worden opgenomen uit de omgeving tot de verwerking in het aragonietskelet. Sclerosponsen kunnen echter niet in een aquarium overleven en de experimenten moeten *in situ* worden uitgevoerd. Dit gebeurt door de opname van proxy-elementen te volgen bij sclerosponsen (*Ceratoporella nicholsoni*) in hun natuurlijke omgeving voor de kust van Jamaica. Een gelijkaardige studie wordt uitgevoerd op een verwante groep sponsen (*Petrobionta massiliana*) in de Middellandse Zee, nabij Marseille.

Het koraalrif aan de noordkust van Jamaica met talrijke onderwatergrotten waar sclerosponsen voorkomen. (© Ph. W.)

Sinds het begin van het CALMARS-project werd er een nauwe samenwerking opgezet met de afdeling Algemene Elektriciteit en Instrumentatie van de Vrije Universiteit Brussel (Fjo DE RIDDER, Johan SCHOUKENS, Rik PINTELON). Deze samenwerking heeft geleid tot de ontwikkeling en toepassing van een reeks wiskundige methoden die een correcte interpretatie van het verloop van de proxies langsheen een groeias in de kalkskeletten mogelijk maakt. Aldus werd een methode ontwikkeld die de mogelijkheid biedt het effect van variabele aangroei van het kalkskelet te corrigeren. Een dergelijke correctie is een noodzaak om bijvoorbeeld specimens met verschillende groeisnelheden, maar voorkomend in éénzelfde milieu, onderling te kunnen vergelijken, wat belangrijk is om de lokale reproduceerbaarheid van een proxysignaal te evalueren. Eens de verschillende proxyprofielen gecorrigeerd zijn voor variaties in de aangroeisnelheid van het kalkskelet kunnen deze worden vergeleken met de tijds-evolutie van de omgevingscondities zoals bijvoorbeeld de temperatuur van het water.

Niet alle problemen zijn echter opgelost. Milieu-omstandigheden hebben niet enkel een rechtstreekse invloed op de incorporatie van de proxies in het skelet maar spelen waarschijnlijk ook in op de fysiologie van het dier, dat weerom een zekere controle uitvoert op de incorporatie van de proxies in het skelet. Dit kan de interpretatie van het signaal compliceren. Bovendien weten we nog te weinig over het mechanisme van de biomineralisatie en de invloed van het basismetabolisme hierop. Verder zijn de routes waarlangs de proxies uit de omgeving worden opgenomen (via het voedsel of via directe blootstelling) over het algemeen niet goed gekend (op enkele uitzonderingen na voor sporenmetalen), maar deze kunnen bepalend zijn voor de graad van "biobeschikbaarheid". Door het verder in stand houden van de opgezette samenwerkingsverbanden en het uitbreiden van de onderzoeksaspecten met een ecofysiologische studie van het biomineralisatie-proces, beogen de projectleiders de huidige kennis over deze complexe vraagstellingen verder te verruimen.

Ph. W. et al.



Het CALMARS-project: www.vub.ac.be/calmar

