

A grain-size study of the influences of rapid climate change on the Moroccan Atlantic slope during Marine Isotope Stage 3

Ranschaert Michel

Renard Centre of Marine Geology, Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Faculteit Wetenschappen, Universiteit Gent

E-mail: michel.ranschaert@hotmail.com

Deze thesis heeft tot doel na te gaan of de korte termijn klimaatsfluctuaties tijdens de laatste glaciële periode hun afdrak hebben achtergelaten in de sedimentaire afzettingen van de zuidelijke Golf van Cadiz. De Golf van Cadiz (34°N - 37°15'N en 009°W - 006°45'W) is een onderdeel van de noordoostelijke Atlantische Oceaan en wordt ingesloten door het Iberisch schiereiland in het noorden, door de Marokkaanse kust in het zuidoosten en door de Straat van Gibraltar in het oosten. Het noorden van de golf werd en wordt uitvoerig bestudeerd door de aanwezigheid van het Cadiz contouriet systeem (Llave *et al.*, 2006; Hernández-Molina *et al.*, 2006) en de uitstroom van het Midderraans water in de Atlantische Oceaan (Baringer en Price, 1999). Studies van onder andere Llave *et al.* (2006) en Hernández-Molina *et al.* (2011) hebben aangetoond dat de duizendjarige periodiciteit geregistreerd is in de sedimenten van het contourietsysteem. Een belangrijke rol wordt hiervoor toegeschreven aan de fluctuaties in stroomsnelheid van het *Mediterranean Outflow Water* (MOW), die gelinkt zijn aan de duizendjarige klimaatsveranderingen (Llave *et al.*, 2006). Een toegenomen interesse in het zuidelijk deel van de Golf of Cadiz is komen opzetten met de ontdekking van de Pen Duick rug en de daarmee geassocieerde moddervulkanen en uitgestorven koudwaterkoralen (Van Rensbergen *et al.*, 2005a; Foubert *et al.*, 2008). Deze organismen komen doorgaans niet voor op dergelijke breedtegraden, ze gedijen beter langs de noordelijke Europese kusten gekenmerkt door lagere watertemperaturen (Foubert *et al.*, 2008; Wienberg *et al.*, 2010). De oudste koudwaterkoralen gevonden door Wienberg *et al.* (2010) langs de Marokkaanse kust zijn zo'n 300.000 jaar oud, terwijl de bloeiperiode tussen de 48.000 jaar en het begin van het Holoceen gelegen is. Dit is dan ook de hoofdreden waarom deze studie zich toespitst op *Marine Isotope Stage* (MIS 3) om de processen die de bloei hebben bevorderd te analyseren aan de hand van de informatie vervat in de sedimentkorrels. De oceanografische processen en de stroomsnelheid op de zeebodem zullen gereconstrueerd worden in functie van de klimaatsfluctuaties waarna kort aangehaald zal worden welke atmosferische processen die regio hebben beïnvloed.

Het onderzocht materiaal is afkomstig van boorkern MD08-3227 (35°16.28'N, 006°47.89'W) genomen tijdens cruise 169 aan boord van de R/V Marion Dufresne in 2008 in het kader van het ESF EuroDIVERSITY MICROSYSTEMS project. De boring werd uitgevoerd met een Calypso core omdat deze techniek de interne structuur van het kernmateriaal behoudt die paleomilieustudies mogelijk maakt. De 30.30 meter lange kern bleek gebogen te zijn waardoor het uiteindelijk bereik overeenkomt met een diepte van 33.2 meter (Van Rooij *et al.*, 2008). Eenmaal de kern aan boord gehesen, werd deze onderverdeeld in secties van 1.5 m en vervolgens in tweeën gesplitst: een werkhelft en een archiefhelft (Van Rooij *et al.*, 2008). De magnetische susceptibiliteit en de chemische compositie van de korrels werden opgemeten met respectievelijk de Multi-Sensor Core Logger en de X-stralen fluorescentiescanner, terwijl de korrelgrootte onderzocht werd met de Sedigraph III.

De kern werd genomen in de drift afzetting in het verlengde van de Pen Duick rug. Deze afzetting is tot stand gekomen door de opheffing van laatstgenoemde rug tijdens het Mioceen-Pliocene door extensietektoniek (Van Rensbergen *et al.*, 2005b). Deze opheffing heeft de zeebodem morfologie grondig verstoord alsook de zeebodemstromingen waaraan het sedimentatiegedrag zich heeft aangepast. De drift omgeving heeft een hoge sedimentatiesnelheid (gemiddeld 10cm per duizend jaar) waardoor paleomilieustudies mogelijk zijn. Aan de hand van de bestudeerde seismische profielen zijn er vier grote sedimentaire eenheden herkend in de drift. De onderste twee eenheden zijn syntektonische afzettingen die aan de top geërodeerd zijn, terwijl de bovenste twee eenheden post-tektonisch zijn. Bovenop het harde substraat van de Pen Duick rug bevinden zich uitgestorven koudwaterkoralen. Door de drift afzetting van de El Arraiche regio te correleren met de Cadiz contourietafzetting is het mogelijk om de discontinuïteiten te plaatsen in de tijd. Op deze manier wordt de afzetting van de eerste eenheid geplaatst tijdens de Vroeg-Pliocene Revolutie (4,2 Ma geleden), overeenstemmend met de vorming van de Cadiz contourietafzetting (Hernández-Molina *et al.*, 2006). De erosieoppervlakte aan de top van deze eenheid wordt toegeschreven aan een verhoogde stroming over de zeebodem, dit stemt overeen met de zeespiegeldaling tijdens de Laat-Pliocene Revolutie (Hernández-Molina *et al.*, 2006) en vormt dus de basis voor de tweede eenheid. Deze bestaat uit afzettingen die lopen tot 1,8 Ma geleden. De equivalente lagen in het noordelijk

deel van de golf van Cadiz voor de derde eenheid zijn QI (Llave *et al.*, 2007) en U1 (Marchès *et al.*, 2010) die tot de Midden-Pleistocene Revolutie doorlopen. De meest recente eenheid correleert met de eenheden U2, U3 en U4 (Marchès *et al.*, 2010) en QII (Llave *et al.*, 2007). De wisselende amplitude van de reflectoren wordt toegeschreven aan de afwisseling van zand- en siltlagen.

De bemonsteringsstrategie is gebaseerd op het Ca/Fe XRF signaal bestaande uit opeenvolgende pieken en dalen. Een interval van 5cm tussen de verschillende monsters blijkt de beste representatie te geven van de waargenomen Ca/Fe fluctuaties. Tussen een diepte van 635 en 1075cm zijn er 74 stalen genomen. Het weerhouden diepte-interval is gebaseerd op een eerdere datering van de kern (Van Rooij *et al.*, 2011) waarbij een kleine foutmarge aan toegevoegd werd. Op plaatsen waar de fluctuatie van het signaal te hoog is, wordt het bemonsteringsinterval herleid tot 2cm zodanig dat er geen kostbare informatie verloren gaat. Naast de eigen stalen, worden ook de 60 stalen van De Jonge (2010) en de 108 stalen van Vangampelaere (2010) geanalyseerd op korrelgrootte om een beter beeld te krijgen van de evolutie doorheen de tijd tussen het interval gaande van de top tot een diepte van 1254cm. Daarnaast worden ook de resultaten van de uitgevoerde $\delta^{18}\text{O}$ metingen door De Jonge (2010) op de CaCO_3 schelpen van de *Globigerina bulloides* foraminifera gebruikt om de veranderingen in het klimaat te kunnen reconstrueren. De verzamelde monsters worden nat gezeefd en onderverdeeld in drie fracties: de grove fractie (> 150 μm), de zandfractie (63-150 μm) en de fijne fractie (< 63 μm). De fijne fractie wordt dan volgens het sorteerbare silt protocol van Hall *et al.* (2003) behandeld om de korrelgrootteanalyse uit te voeren. Voor de interpretatie van de resultaten zal enkel gekeken worden naar het gemiddeld sorteerbaar silt (SS) overkomend met de fractie tussen de 10 μm en de 63 μm . Volgens McCave *et al.* (1995) is dit de meest accurate manier om de variatie in stromingssnelheid af te leiden waarbij een hogere gemiddelde SS waarde overeenstemt met een sterkere stroming.

Om de dieptegerelateerde schaal om te zetten naar een tijdsgelateerde schaal wordt er een ouderdomsmodel ontwikkeld. Dit gebeurt aan de hand van de correlatie tussen de Ca/Fe verhouding van de bestudeerde kern met het $\delta^{18}\text{O}$ signaal (Shackleton *et al.*, 2000) van kern MD95-2042 die ter hoogte van Portugal gelegen is. De Analyseries 2.0.3 software zal de gevonden correlatiepunten met elkaar verbinden en het Ca/Fe signaal uittrekken of samendrukken in functie van de sedimentatie-accumulatiesnelheid. Deze methode laat toe om op een onafhankelijke wijze een datering uit te voeren van het sediment.

Tijdens MIS 3 zijn er 4 Heinrich events geïdentificeerd aan de hand van de magnetische susceptibiliteit, de dichtheid, de Ca/Fe verhouding en het $\delta^{18}\text{O}$ signaal van de planktonische foraminifera. Kenmerkend voor een Heinrich event in deze kern is de piekdistributie van al deze parameters. Door deze gebeurtenissen te identificeren is het mogelijk om het ouderdomsmodel te controleren aan de hand van de equivalente gedateerde Heinrich events in de Noordelijke Atlantische Oceaan (Channell *et al.*, 2012). Hieruit blijkt dat de ouderdom van de verschillende Heinrich events goed overeenkomt met de beschikbare dataset en dat het verschil met NGRIP maximaal 1000 jaar bedraagt. Dit verschil kan te wijten zijn aan verschillende factoren. Een goede datering is niet altijd mogelijk door bioturbatie (Austin en Hibbert, 2012), door bepaalde variaties in de ijskern die niet steeds geregistreerd zijn (Austin *et al.*, 2011) en door de veronderstelling dat er een synchroniciteit bestaat tussen de ijskern en de huidige kern ondanks hun grote afstandsverwijdering (Wunsch, 2006). De spectraalanalyse op de gemiddelde SS korrelgrootte heeft twee cyclische patronen aan het licht gebracht. Er blijkt een cyclus met een duur van 1,5ka te bestaan en een van 8ka. Laatstgenoemde komt overeen met de periodiciteit van Bond cycli, waarvan Heinrich events deel uitmaken terwijl eerstgenoemde het gevolg is van de duizendjarige Dansgaard-Oeschger oscillatie. De gevonden periodiciteit stemt overeen met de 1470 jaar periodiciteit die Alley (2001) heeft gevonden voor de afwisseling tussen warmere en koudere periodes die kenmerkend zijn voor Dansgaard-Oeschger oscillaties.

De paleo-oceanografische veranderingen tijdens het MIS 3 interval worden bestudeerd aan de hand van het $\delta^{18}\text{O}$ signaal. De isotopische samenstelling van de foraminiferenschelpen is verondersteld in evenwicht te verkeren met de isotopische samenstelling van het oppervlaktewater. Veranderingen moeten bijgevolg een weerspiegeling zijn van klimatologische en oceanografische fluctuaties. Zowel de Heinrich events als de stadials (= koudere periode tijdens Dansgaard-Oeschger cyclus) worden gekenmerkt door lagere oppervlaktetemperaturen, hoewel dit voor de stadials minder uitgesproken is. Aangezien het oppervlaktewater bestaat uit Noord-Atlantisch Centraal Water (NACW) en de vorming ervan sterk verbonden is met de thermohaliene circulatie in de Atlantische Oceaan, moet er een link bestaan tussen de klimaatveranderingen en deze stromingen. Niet alle Heinrich events hebben echter eenzelfde respons wat betreft de verarming van het $\delta^{18}\text{O}$ signaal. Patton *et al.* (2011) schrijft dit toe aan de combinatie van verschillende factoren: het smeltwater zorgt voor een verarming van het isotopisch signaal, terwijl de afnemende saliniteit en temperatuur van het water zullen zorgen voor een verrijking van het isotopisch signaal. Gekoppelde oceaan-atmosfeer modellen waaronder die van Clark *et al.* (2007) hebben aangetoond dat de thermohaliene circulatie

als feedback mechanisme fungeert voor de transmissie van de duizendjarige klimaatsoscillaties. Kortstondige periodes van hogere zoetwateraanvoer door het smelten van ijsbergen blijken al voldoende te zijn om een abrupte verandering teweeg te brengen in de sterkte van de thermohaliene circulatie (Ganopolski en Rahmstorf, 2002). De koudere periodes, zijnde de Heinrich events en stadials, zijn het gevolg van een verzwakte thermohaliene circulatie waarbij de vorming van het Noord-Atlantisch Diep Water (NADW) nagenoeg stilvalt. Ondanks het feit dat MIS 3 een tussenijstijd is, blijken zelfs de warmere periodes (interstadials) nog steeds lagere temperaturen te bezitten dan in de hedendaagse situatie. De hogere temperaturen sinds het Holoceen kunnen een verklaring zijn waarom de koudwaterkoralen niet meer kunnen gedijen op deze site, terwijl de bloeiperiode overeenkomt met beduidende lagere temperaturen.

Zoals reeds aangehaald, bestaat er een 1.5ka periodiciteit in het signaal van het gemiddelde SS. Dit betekent met andere woorden dat de stroomsnelheid varieert in functie van deze snelle klimaatsveranderingen. Koudere periodes worden gekenmerkt door een toegenomen korrelgrootte, wat betekent dat de stroming bijgevolg sterker was. De sterkere stroming zal eigenlijk de fijne fractie terug in suspensie brengen. Deze observatie wordt gestaafd door de verhoogde magnetische susceptibiliteit tijdens koude periodes die toegeschreven wordt aan de grovere samenstelling van het sediment. Deze verhoogde bodemstroming is gunstig voor de ontwikkeling van de koralen aangezien de stroming in staat is om meer nutriënten te vervoeren en de begraving van de koralen door sediment zal verhinderen. Andere proxies vertonen eveneens een bepaald patroon tijdens koude periodes. Zo vertoont de grove fractie ($> 150\mu\text{m}$) een piek tijdens iedere Heinrich event. Doorgaans wordt deze proxy gebruikt om de hoeveelheid ice-rafted debris te bepalen, maar aangezien de zuidelijke grens van de debris afzetting meer ten noorden ligt van het studiegebied, lijkt het weinig waarschijnlijk dat deze daar zullen voorkomen. Een visuele analyse van deze fractie toont aan dat het overgrote deel bestaat uit gebroken schelpfragmenten die waarschijnlijk herwerkt zijn door de sterkere stroming.

De voornaamste bron van het sedimentair materiaal ligt in het Atlasgebergte en op de Marokkaanse vlakte. Het materiaal wordt naar de oceaan toe getransporteerd door noordoostelijke passaatwinden. Tijdens stadials en Heinrich events worden hogere windsnelheden waargenomen terwijl het klimaat overwegend droger en warmer was. Deze hypothese wordt ondersteund door de verhoogde chemische vertering, de verhoogde aanvoer van hematietkorrels en een toename van de siltfractie ten opzichte van de kleifractie. Het droger klimaat en de hogere windsnelheden worden toegeschreven aan een verplaatsing van de Intertropische Convergence Zone die veroorzaakt wordt door een verzwakking van de thermohaliene circulatie. Tijdens deze periodes is de hemisferische temperatuurgradiënt hoger waardoor de windsnelheid in kracht toeneemt.

Verder onderzoek in het studiegebied kan ondernomen worden om meer accurate informatie te vinden betreffende de duizendjarige oscillaties. De bemonsteringsresolutie van de stabiele isotopen kan verhoogd worden om de fluctuaties van het oppervlaktewater beter in kaart te brengen. In de huidige studie was de resolutie beperkt tot de duur van een Bond cyclus. Het wordt ook aanbevolen om de Nd isotopen te gaan opmeten om te bepalen welke watermassa's over de zeebodem hebben gestroomd tijdens bepaalde periodes. Op die manier zou de invloed van het MOW en andere watermassa's beter toe te schrijven zijn aan sedimentologische veranderingen en zouden de gevolgen van de klimaatsveranderingen in een breder perspectief geplaatst kunnen worden.