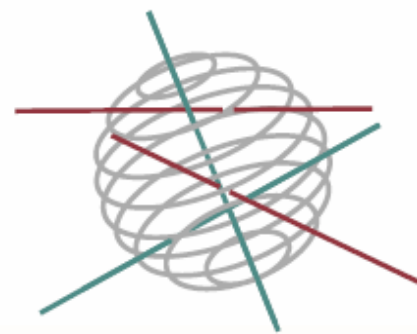


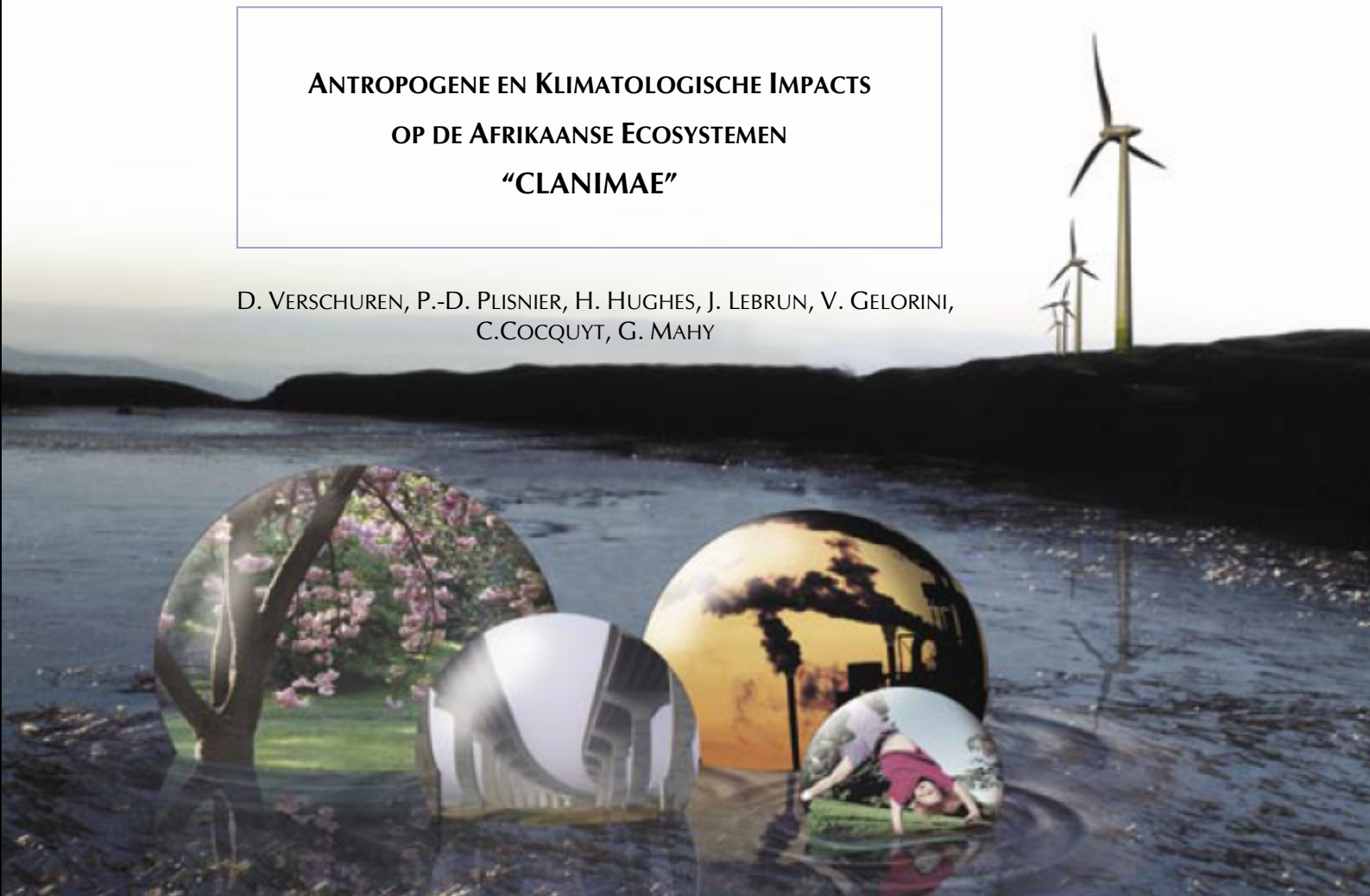
# SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**ANTROPOGENE EN KLIMATOLOGISCHE IMPACTS  
OP DE AFRIKAANSE ECOSYSTEMEN  
"CLANIMAE"**

D. VERSCHUREN, P.-D. PLISNIER, H. HUGHES, J. LEBRUN, V. GELORINI,  
C.COCQUYT, G. MAHY



ENERGY 

TRANSPORT AND MOBILITY 

AGRO-FOOD 

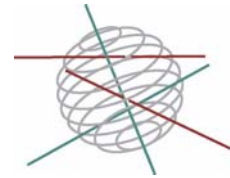
HEALTH AND ENVIRONMENT 

CLIMATE 

BIODIVERSITY   

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS   

TRANSVERSAL ACTIONS 



***Biodiversiteit***

EINDVERSLAG FASE 1  
SAMENVATTING

**ANTROPOGENE EN KLIMATOLOGISCHE IMPACTS  
OP DE AFRIKAANSE ECOSYSTEMEN  
“CLANIMAE”**

SD/BD/03A

**Promotoren**

**Universiteit Gent**

Prof. Dr. Dirk Verschuren  
Limnology Unit, Department of Biology

**Royal Museum for Central Africa**

Prof. Dr. Luc André  
Biogeochemistry and aquatic geochemistry Unit, Mineralogy and  
Petrography

**Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux**

Prof. Dr. Laurent Bock  
Laboratoire d'Ecologie, Unité Sol-Ecologie-Territoire

**National Botanic Garden of Belgium**

Dr. Christine Cocquyt  
Department Cryptogamy

**York Institute for Tropical Ecosystem Dynamics (KITE)**

Dr. Robert A. Marchant  
Environment Department, The University of York

**Auteurs**

Dirk Verschuren, Pierre-Denis Plisnier, Harold Hughes, Julie Lebrun,  
Vanessa Gelorini, Christine Cocquyt & Grégory Mahy

***Juli 2009***



Rue de la Science 8  
Wetenschapsstraat 8  
B-1000 Brussels  
Belgium  
Tel: + 32 (0)2 238 34 11 – Fax: + 32 (0)2 230 59 12  
<http://www.belspo.be>

Contact person: Sophie Verheyden  
+ 32 (0)2 238 36 12

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference :

D. Verschuren, P.-D. Plisnier, H. Hughes, J. Lebrun, V. Gelorini, C.Cocquyt, G. Mahy  
***Antropogene en Klimatologische Impacts op de Afrikaanse Ecosystemen "CLANIMAE"***.  
Eindverslag Fase 1. Samenvatting. Brussel: Federaal Wetenschapsbeleid 2009 – 8 p.  
(Onderzoeksprogramma "Wetenschap voor een Duurzame Ontwikkeling")

## Achtergrond en doelstellingen

De omvang en geografisch bereik van antropogene impact op de biosfeer is de laatste 100 jaar sterk toegenomen, in het bijzonder in equatoriaal Oost-Afrika, waar de bevolkingsaan groei en intensifiëring van landgebruik zowat de hoogste zijn ter wereld, en ontwikkelende economieën rekenen op voldoende watervoorraden en diverse producten en diensten van natuurlijke ecosystemen. Economische ontwikkeling met instandhouding van de biodiversiteit en natuurlijke werking van terrestrische en aquatische ecosystemen vereist plaats-specifieke kennis van de geschiedenis en omvang van (pre-)historische menselijke verstoring van die ecosystemen voor 1) evaluatie van hun huidige toestand en resterend recuperatievermogen, 2) modellering van hun respons op toekomstige antropogene impact, en 3) ontwikkeling van lokaal optimale strategieën voor land- en watergebruik. CLANIMAE beantwoordt de behoefte aan een degelijk lange-termijn perspectief van de hedendaagse interacties tussen mens, klimaat en natuur in Oost-Afrika door simultane reconstructie van (pre-)historische klimaatvariëaties alsook veranderingen in het landschap (vegetatie) en de waterkwaliteit van meren, door middel van multi-disciplinaire analyses van gedateerde meersedimenten. De geïntegreerd multi-disciplinaire onderzoeksmethode van CLANIMAE pakt bovenstaande problematiek aan op de tijdschaal waarop de relevante processen zich hebben afgespeeld. Dit laat ons toe 1) een onderscheid te maken tussen de invloeden van natuurlijke klimaatverandering en antropogene activiteit op terrestrische ecosystemen in Oost-Afrika, 2) de precieze timing en relatieve omvang te bepalen van historische (pre-20<sup>ste</sup> eeuwse) kaalkap en landschapsverstoring in relatie tot van de laatste decaden, en 3) het verlies aan waterkwaliteit (eutrofiëring, hoge turbiditeit) te bepalen welke kan gelinkt worden aan bodemerosie en nutriëntenexport veroorzaakt door ontbossing en landbouw, eerder dan het gevolg van natuurlijke lange-termijn variatie in waterbalans.

## Onderzoeksresultaten in relatie tot het werkplan

CLANIMAE activiteiten zijn georganiseerd in 14 taken gegroepeerd in 5 work packages, met resp. focus op 1) calibratie en validatie van paleoecologische proxies; 2) reconstructie van klimaatvariëatie; 3) reconstructie van veranderingen in terrestrische ecosystemen; 4) reconstructie van historische veranderingen in waterkwaliteit; en 5) als uiteindelijk doel de bepaling van de timing en oorzaak van landschapsevolutie. Een belangrijk gedeelte van fase 1 was gewijd aan **work package 1**, aan de hand van een vergelijkende studie van kratermeer-ecosystemen in Oeganda. We voltooiden 4 veldcampagnes (jan-feb 2007, jul-aug 2007, feb 2008, aug-sept 2008), waarbij een totaal van 66 meren werden bestudeerd. In alle meren werden data verzameld over bekken-morfometrie, landgebruik, transparantie en aquatische productiviteit; monsters voor analyse van waterchemie, nutriënten en aquatische biota (fytoplankton, zooplankton, zoobenthos); en een intact monster van recent afgezette sedimenten voor calibratie van diverse paleoecologische proxies in relatie tot de huidige ecologische gradiënten en de intensiteit van antropogene impact. Compatibiliteit van gegevens doorheen de dataset vereiste dat alle fase 1 veldwerk werd uitgevoerd tijdens het droge seizoen (in jan-feb of jul-sept). Om toch een idee te krijgen van seizoenale variatie in ecosysteem-karakteristieken plaatsten we temperatuurloggers in de epilimnia en hypolimnia van 9 meren. Tegen augustus 2008 hadden die data van 12 of 18 opeenvolgende maanden geleverd; tegen de laatste veldcampagne (april 2010) zullen deze data een idee geven van zowel seizoenale als inter-annuele variatie in de fysische limnologie van die meren.

Daarop selecteerden we voor Taak 1.1 18 meren waar we de invloeden van morfometrie (relatieve diepte), fysische limnologie (mengregime) en nutriënten-budget (TN, TP, SRP, DIN) nagaan op de gevoeligheid van een meer voor waterkwaliteitsverlies in geval van antropogene verstoring van het kraterbekken. Deze studie omvat naast CLANIMAE veldgegevens ook alle historische informatie over de Oegandese kratermeren in de literatuur, en ongepubliceerde gegevens beschikbaar gemaakt door collega's. Op basis van de trofische index TLI variëren deze 18 meren van oligotroof (4 meren) over mesotroof (10 meren) naar eutroof (3 meren) en hypertroof (1 meer). Opmerkelijke verschillen tussen het nutriëntengehalte van het oppervlaktewater en het hypolimnion in diepere (>30 m) meren duiden op het belang van regeneratie van nutriënten uit het hypolimnion voor ondersteuning van de primaire productie. Analyse van diverse limnologische parameters in de volledige dataset

van 66 meren toonde negatief exponentiële relaties tussen Secchi diepte (transparantie) en TP, en tussen transparantie en Chl *a*. Deze relatie laat toe een ruwe schatting van TP of Chl *a* (als maat voor productiviteit) te maken op basis van Secchi data. We vonden geen significante relatie tussen transparantie en opgeloste stikstof (DIN). Meren zonder noemenswaardige antropogene verstoring zijn doorgaans oligotroof als ze dieper zijn dan 90 m, en mesotroof als hun diepte <90 m. Meren met significante antropogene verstoring zijn afhankelijk van hun diepte oligotroof (>90 m), mesotroof (35 m < diepte <90 m) of eutroof/hypertroof (<35 m). Dus, landgebruik in een kraterbekken verhoogt de trofische status van meren minder dan 35 m diep, terwijl zeer diepe meren relatief onaangetaast blijven. Hun hypolimnia doen dienst als nutriëntreservoir, en de lage frekwentie van volledige menging belemmert regeneratie van die nutriënten naar het oppervlak waar de primaire productie plaatsvindt. Onze data geven aan dat alle zoete Oegandese kratermeren af en toe volledig mengen. De meteorologische condities die menging van diepe meren kunnen veroorzaken (lage luchttemperatuur samen met sterke wind) kunnen vrij zeldzaam zijn, met een interval van tientallen jaren; deze meren zijn oligomictisch, i.e. ze mengen minder vaak dan eens per jaar. Tenslotte, alle nu beschikbare historische en recente temperatuurprofielen wijzen op een geleidelijke opwarming van de bodemtemperatuur van de Oegandese kratermeren (van een grootte-orde vglbaar met die waargenomen in het Tanganyika-meer), naast de inter-annuele variatie geassocieerd met warme (vb., 2002) of koude (vb., 2007-2008) jaren.

In Taak 1.2 werkt CLANIMAE aan de ontwikkeling van het eerste op diatomeeën gebaseerd inferentie-model voor veranderingen in de primaire productie (trofische status) van Afrikaanse meren. Via analyse van fossiele assemblages in recent afgezette oppervlaktensedimenten calibreerden we de verspreiding van diatomee-soorten langsheen een brede productiviteitsgradiënt (gemeten als TP, TN, opgeloste Si, Secchi transparantie, Chl *a*) in 48 Oegandese kratermeren. Ontwikkeling van dit productiviteits-inferentiemodel wordt gecompliceerd door klaarblijkelijke schaarsheid van diatomeeën in het fytoplankton van de meeste Oegandese kratermeren; de productie wordt voornamelijk verzorgd door blauwwieren, desmidiales, andere groenwieren, enz. Data over de volledige fytoplankton-gemeenschap in deze meren bekomen door HPLC analyse van de pigment-inhoud van actuele algenmonsters toont associaties tussen individuele soorten diatomeeën en belangrijke types Afrikaanse fytoplankton-gemeenschappen. Voor de kerngroep van 18 CLANIMAE studiemeren werden de HPLC data ook gec calibreerd met semi-quantitatieve tellingen van actuele fytoplankton-monsters. De schaarsheid van diatomeeën in deze meren kan ook een seizoenaal fenomeen zijn. Ontwikkeling van het diatomee-TP inferentiemodel werd dan ook uitgesteld tot fase 2 van het project in afwachting van een beter begrip van de seizoenale dynamiek van diatomeeën-gemeenschappen in Oegandese kratermeren op basis van regenseizoen-collecties gemaakt in april 2009.

Taak 1.3 bestudeert ecologische invloeden op de verspreiding van waterplanten in Oegandese kratermeren, eveneens voor exploratie van hun indicator-waarde in paleoecologische reconstructies. Onze volledige dataset omvat 216 survey plots in 36 meren, waar in totaal 140 soorten terrestrische, semi-aquatisc en aquatisc plantensoorten werden geïnventariseerd van de oever tot het open water. Individuele plantensoorten verschillen van elkaar in hun habitatvereisten, weerspiegeld in karakteristieke distributies in relatie tot 13 relevant fysische en chemische eigenschappen van hun (semi)aquatisc habitat. Cluster-analyse toonde 8 grote ecologische gemeenschappen (groepen), elk met karakteristieke indicatorsoorten. We benadrukken dat deze groepen deel uitmaken van een continuüm. ANOVA testen toonden significante verschillen tussen de ecologische groepen in habitatkeuze qua waterdiepte, afstand tot de oever, turbiditeit (transparantie), temperatuur, conductiviteit en opgeloste zuurstof. De 8 waterplanten-gemeenschappen behouden hun eigenheid in multivariaatanalyse, waarbij CA assen 1 en 2 samen 35% verklaren van de floristische variatie tussen survey plots. Enkel pH en TN zijn ecologische predictoren van de verspreiding van waterplanten tussen de Oegandese meren onderling.

Taken 1.4 en 1.5 beogen de ontwikkeling van het  $\delta^{30}\text{Si}$  signaal in fossiele diatomeeën als nieuwe geochemische proxy in omgevingsreconstructies, gebruikmakend van MC-ICP-MS apparatuur. Tijdens fase 1 werden hiertoe twee belangrijke stappen gezet. Ten eerste werd de Nu-MC-ICP-MS van het KMMA (partner 2) uitgerust met een verstelbare toegangssleuf, een sterkere pomp en nieuw ontworpen staalname- en 'skimmer'-kegels. Die aanpassingen,

in combinatie met het gebruik van collectorsleuven, laat een MS resolutie toe die interferentie van de  $^{14}\text{N}^{16}\text{O}$  en  $^{14}\text{N}_2$  pieken met  $^{30}\text{Si}$  en  $^{28}\text{Si}$  overkomt, en zo preciezere meting van  $\delta^{30}\text{Si}$  en  $\delta^{29}\text{Si}$  toelaat. Verder bekwamen we data over DSi, temperatuur en diatomee  $\delta^{30}\text{Si}$  en  $\delta^{18}\text{O}$  in de waterkolom van 15 Afrikaanse meren gesitueerd in klimaatzones van milde tot sterk negatieve waterbalans, alsook van 2 Oegandese kratermeren (één oligotroof, één eutroof) gesitueerd in landschappen met geen resp. intensieve antropogene impact. Zowel DSi als  $\delta^{30}\text{Si}$  bleken vrij homogeen te zijn doorheen de waterkolom van deze beide meren, wschl. het gevolg van volledige menging van deze relatief ondiepe meren tijdens of kort voor de bemonstering. De waarden uit het geïmpacteerd meer duiden ofwel op zeer hoge productiviteit van diatomeeën of is het gevolg van verhoogde bodemverwerking door ontbossing en landbouw. Vermits de (hoge) productiviteit van dit meer tijdens de staalname op rekening van blauwwieren moet worden geschreven, zullen data over de seizoenaliteit van diatomeeën verzameld tijdens fase 2 hierin duiding kunnen brengen.

**Work package 2** legt zich toe op reconstructie van klimaatvariatie (neerslag en droogte) in Oost-Afrika tijdens recente millennia. Het omvat twee taken respectievelijk behelst met de reconstructies zelf (Taak 2.1) en de datering ervan (Taak 2.2). Voor het merendeel van de CLANIMAE studiesites waren data sets van hydrologische klimaatproxies al beschikbaar bij aanvang van dit project, of kwamen beschikbaar tijdens fase 1 via complementaire PhD en MSc projecten, alsook andere samenwerkingsverbanden. Nieuwe klimaatreconstructies voor kratermeren in westelijk Oeganda, slenkmeren in centraal Kenia en het Challa-meer in zuidoost-Kenia (dit laatste via het ESF-EuroCLIMATE project CHALLACEA) bevestigen de eerder gedocumenteerde geografische en temporele patronen van klimaatvariatie tijdens het laatste millennium. CLANIMAE investeert aanzienlijk in accurate datering van de bestudeerde sedimentarchieven, om regionale correlatie van klimaat anomalieën tussen sites toe te laten, zowel binnen Oost-Afrika als met andere (tropische en gematigde) regio's (Taak 4.1). Gericht op de archieven van het Wandakara- en Katinda-meer in Oeganda, en Challa in Kenia, heeft dit de timing van belangrijke klimaat episodes aanzienlijk verbeterd.

**Work package 3** omvat reconstructies van historische vegetatie-dynamiek op basis van fossiel pollen (Taak 3.1) en fytolieten (Taak 3.2). De laatste 10 jaar is aanzienlijke vooruitgang geboekt in de documentatie van de geschiedenis van vegetatie-dynamiek in equatoriaal Oost-Afrika tijdens de laatste 2-3000 jaar. Begrip van de oorzaak van die vegetatie-dynamiek lijdt echter onder de tekortkomingen van pollen-data om klimaatgedreven en antropogene vegetatie-veranderingen van elkaar te onderscheiden. CLANIMAE omzeilt dit probleem met volledig gekoppelde reconstructies van het voormalig klimaat, vegetatie en waterkwaliteit op basis van dezelfde, goed gedateerde en bewezen sedimentarchieven van meren. Bovendien calibreren we ook de omvang van vegetatie-respons, zoals geregistreerd in palynologische data, op klimaatvariatie en antropogene impact. Dit doen we door parallelle reconstructie van klimaatgedreven meerniveauperandering en vegetatiedynamiek in twee Oegandese kratermeren gesitueerd in resp. een relatief ongestoord en een sterk verstoord landschap. Op dit ogenblik hebben CLANIMAE subcontracten reconstructies opgeleverd van vegetatiegeschiedenis in de sedimentarchieven van vier meren: Simbi, Chibwera, Challa en Kanyamukali (deels afgewerkt). De Challa reconstructie beslaat de laatste 2700 jaar, en kan rechtstreeks worden gerelateerd aan de waterbalans-reconstructie toegeleverd door het CHALLACEA project. De ~800-jaar vegetatie-reconstructie voor sub-humied westelijk Kenia uit het Simbi-meer kan worden gelinkt aan een meerniveaureconstructie voor het Victoria-meer op basis van diatomeeën. De Chibwera reconstructie voor intacte savanne in de slenkvallei van westelijk Oeganda omvat de laatste ~250 jaar, startend in een periode van droogstand wegens uitzonderlijke droogte. In tegenstelling tot Simbi, waar beperkte vegetatie-respons op klimaatvariatie wordt overweldigd door signalen van menselijke activiteit (eerst pastoralisten, later boeren), suggereren Chibwera pollen data dominantie van klimaatgedreven vegetatiedynamiek in dit ongestoord landschap. We stelden vast dat zelfs enkele decaden van beperkt hogere (5-10%) neerslag, zoals zich voordeed tijdens het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw, de abundantie van graspollen bijna halveert (van 75% tot 45%). De multiple-proxy Chibwera record illustreert verder hoe soliede, onafhankelijke gegevens over klimaatgedreven variatie in waterbalans de palynologische informatie kan versterken.

Sommige belangrijke Afrikaanse voedingsmiddelen zoals banaan (*Musa*) produceren onvoldoende pollen om geregistreerd te worden in pollenpreparaten, maar kunnen worden getraceerd dmv hun fossiele fytolieten. CLANIMAE valideert fossiele *Musa* fytolieten als paleo-ecologische indicatoren van bananencultivatie door kwantificering van de relatie tussen de abundantie van *Musa* fytolieten in de oppervlakesedimenten van 25 kratermeren in Oeganda, en de relatieve bedekking van het kraterbekken met bananenplantages. Deze test gebruikt opnames van landgebruik uit 2007, welke het relatieve oppervlak van 6 types natuurlijke vegetatie, 16 types cultuurgewassen of plantages, en 4 types braakliggende landbouwgrond weergeven. Deze classificatie werd omgezet in de antropogene-impact-factor  $H_i$ , de som van elke fractie landgebruik vermenigvuldigd met een eigen vegetatie-specifieke 'bodemosie-gevoeligheidsfactor'. De fytoliet-calibratie studie is lopende: grote monsters moeten worden gescand om statistisch betekenisvolle resultaten te bekomen.

**Work package 4** betreft de reconstructie van historische veranderingen in water-kwaliteit. In Taak 4.1 wordt de gecalibreerde diatomee/productiviteit relatie (Taak 2.1) toegepast op fossiele diatomeeën-assemblages in boorkernen. Dit rapport vat dergelijke gegevens samen voor het Chibwera-meer, één van de proxy-calibratie sites in westelijk Oeganda. Deze record toont geen spoor van recent toegenomen productiviteit of waterkwaliteitsverlies, consistent met de ongestoorde toestand van de savanne-vegetatie in Queen Elisabeth National Park.

Bij afwezigheid van menselijke impact reflecteren fossiele resten van waterplanten in Afrikaanse meren episodes van laag meerniveau. Wanneer natuurlijke vegetatie in een ondiep meerbekken verstoord wordt door menselijke activiteiten, lijden waterplanten van de verlaagde helderheid te wijten aan influx van geërodeerde bodem. Informatie van sedimentologie, diatomeeën en waterplant-indicatoren laat toe de klimaatgedreven effecten op waterplantgemeenschappen te herkennen, en zo ook het effect van bodemosie op de helderheid van het meer. Studie van de stratigrafische verdeling van fossiele waterplanten in boorkernen (Taak 4.2) wordt uitgevoerd in fase 2 van het project.

Non-pollen palynomorfen (NPPs) worden uitgebreid gebruikt als paleoecologische indicatoren in Europa en Noord-Amerika, maar tot nu was hun waarde als dusdanig in tropisch Afrika nog niet goed bestudeerd. Taak 4.3 betreft de calibratie van de ecologische indicatorwaarde van Afrikaanse NPPs in relatie tot lokale landschapsvariabelen (vegetatie, landgebruik, erosie, brand) en meereigenschappen (morfometrie, productiviteit) door analyse van hun verspreiding in recente sedimenten van 25 Oegandese kratermeren gesitueerd langsheen een landschapsgradiënt van natuurlijk ongestoord tot sterk door de mens geïmpacteerd. De huidige vegetatiebedekking en landgebruik werd kwantitatief opgenomen (Taak 3.2) en voorzien van populatie-gegevens over gedomesticeerde herbivoren. Die NPP analyse leverde tot dusver 9038 fossielen op, waarvan 97% kon worden toegeschreven aan 256 morfotypes van sporen van fungi, varens en mossen, diverse ruststadia van aquatische algen, en microscopische dierlijke resten. Deze hoge biodiversiteit gekoppeld aan beperkte verspreiding tussen sites kan wijzen op sterke ecologische specificiteit van individuele morfotypes; het vereist ook bijkomende tellingen om de kans op toevallige patronen te beperken. Van de meer algemene NPP morfotypes konden er totnogtoe 18 toegewezen worden aan een specifiek taxon. Vergelijking van de NPP verspreidingspatronen met ecologische variabelen toont dat *Glomus* sp. (een mycorrhizale fungus symbiont op plantenwortels) positief gerelateerd is met bodemosie door landbouw. Directe Gradient Analyse (RDA) van de distributie van 30 belangrijke terrestrische NPP morfotypes toont dat de verspreiding van courant met antropogene landschapsverstoring geassocieerde fungi inderdaad alle een significante correlatie vertonen met ecologische variabelen gelinkt aan lokaal landgebruik, zoals teelt van gewassen en veehoederij.

In **work package 5** worden, grotendeels in fase 2 van het project, de patronen van klimaat- en antropogene impact geïntegreerd in tijd en ruimte. Eerdere studies gaven aan dat grootschalige ontbossing en conversie tot landbouwgrond in de jaren 1920-1930 is begonnen toen het transportnetwerk in Oost-Afrika voldoende was uitgebouwd voor industriële productie en export van landbouwgewassen. Dit wordt bevestigd door de indicatie, in CLANIMAE data uit het Simbi-meer, dat landbouw daar startte in de jaren 1920, snel gevolgd door verlies van waterkwaliteit (bloei van *Spirogyra*) tengevolge overvloedige toevoer van nutriënten. Een CLANIMAE analyse van variatie in sedimentatie-snelheid in het Naivasha-

meer (centraal Kenia) over de afgelopen 120 jaar toont dat sinds de mid-jaren 1980 de natuurlijke variatie wordt overschreden, wijzend op verlies van vegetatie in het Malewa rivierbekken dat voorheen de bodemerosie had beperkt. De verlaagde transparantie van het meer dat dit tot gevolg had heeft al een merkbare invloed op het fyto- en zooplankton, mogelijks ook de lokale vispopulaties. Reconstructie van de vegetatiedynamiek in deze regio dateert significante landbouw-impact vanaf de 17<sup>de</sup> eeuw, wschl. geassocieerd met de bevolkingstoename na introductie van mais. CLANIMAE vegetatiereconstructies van drogere gebieden in Kenia tonen geen duidelijke impact van sedentaire landbouw op het landschap vòòr de 20<sup>ste</sup> eeuw; de Simbi data tonen wel schuchtere signalen van pastoralisme vanaf de 12<sup>de</sup>-14<sup>de</sup> eeuw. In westelijk Oeganda ondersteunen nieuwe CLANIMAE gegevens eerdere indicaties van significante ontbossing daterend tot 900-1000 jaar geleden.

Het CLANIMAE project heeft tot nu toe 3 publicaties opgeleverd en 7 deelnames aan symposia; ook werd talrijk gebruik gemaakt van gelegenheden voor kennis-overdracht naar specifieke groepen van belanghebbenden en het brede publiek. CLANIMAE data en ideeën kwamen aan bod in de stichtende vergadering van het PHAROS programma, dat de IGBP programma's HITE, LUCIFS en LIMPACS groepeert in het thema Past Climate-Human-Ecosystem Interactions, met links naar de ESSP programma's IHDP, WCRP en DIVERSITAS.

### **Voorlopige wetenschappelijke en beleidsondersteunende conclusies**

- 1) De gevoeligheid van Oegandese kratermeren voor eutrofiëring en waterkwaliteitsverlies bij een gegeven intensiteit van landgebruik is sterk gebonden aan bekkenmorfometrie (vnl. de relatieve diepte) en het daar mee door bepaalde seizoenaal mengregime. Meren <35 m diep zijn zeer kwetsbaar, meren >90 m zijn relatief resistent tegen eutrofiëring. Ondiepe kratermeren zijn doorgaans mesotroof, niet oligotroof in hun natuurlijke toestand.
- 2) Onze studie van de relaties tussen de soortensamenstelling van waterplanten, diatomeeën, zooplankton en zoobenthos met abiotische habitatkarakteristieken over de volledige gradiënt van natuurlijke en antropogene ecologische variatie verhoogt aanzienlijk het begrip van hoe dit de biologie van Oegandese kratermeren beïnvloed.
- 3) Onze tests van kwantitatieve relaties tussen assemblages van Afrikaanse plant fytolieten en schimmelsporen (begraven in recent afgezette oppervlaktensedimenten) en ecologische parameters gerelateerd aan menselijke impact zijn een belangrijke eerste stap naar hun rigoureuze gebruik als paleoecologische indicatoren.
- 4) We toonden aan dat het sedimentarchief van Oegandese kratermeren coherente, gepaarde reconstructies van terrestrische en aquatische ecosysteem-dynamiek kunnen leveren met een tijdsresolutie relevant voor de geschiedenis én de toekomst van antropogene impact op het Afrikaans landschap.
- 5) Multi-proxy reconstructies toonden sterke palynologische signalen van vegetatierespons op milde historische variatie in neerslag, en liet toe de respons van het aquatisch systeem op antropogene impact te onderscheiden van die op natuurlijke omgevingsvariatie.
- 6) Hoewel dit de drempel verhoogt om prehistorische menselijke impact op het landschap als dusdanig te herkennen, zal combinatie van pollen, schimmelsporen, fytolieten en biochemische analyses dergelijke signalen met behoorlijke zekerheid kunnen vaststellen.
- 7) Voorlopige CLANIMAE reconstructies ondersteunen het idee dat significante antropogene impact op het Oost-Afrikaans landschap (ontbossing, landbouw) teruggaat tot ~1000 AD in westelijk Oeganda, en tot ~1700 AD in centraal Kenia. Semi-ariëde gebieden tonen schuchtere sporen van landgebruik door pastoralisten tot bij benadering 600 jaar geleden, maar het intens landgebruik en bodemerosie geassocieerd met sedentaire landbouw, en het resulterende verlies van waterkwaliteit, lijkt grotendeels beperkt tot de laatste 70-80 jr.

Het CLANIMAE project beantwoordt de prioriteiten van het BelSPO SSD 'Science for a Sustainable Development' programma, omdat het rechtstreeks een belangrijk onopgelost vraagstuk aanpakt met kritische relevantie voor de gelinkte maatschappelijke problemen rond 1) duurzame economische ontwikkeling, 2) beheer van schaarse natuurlijke grondstoffen, 3) behoud van biodiversiteit, 4) de aanpassing van kwetsbare gemeenschappen aan klimaatverandering, en 5) een meer humane globalisatie. In bovenvermelde fase 1 resultaten zijn vooral de bevindingen onder puntjes 1, 4 en 7 relevant voor een strategisch maatschappelijk beleid omtrent land- en watergebruik in tropisch Afrika.