

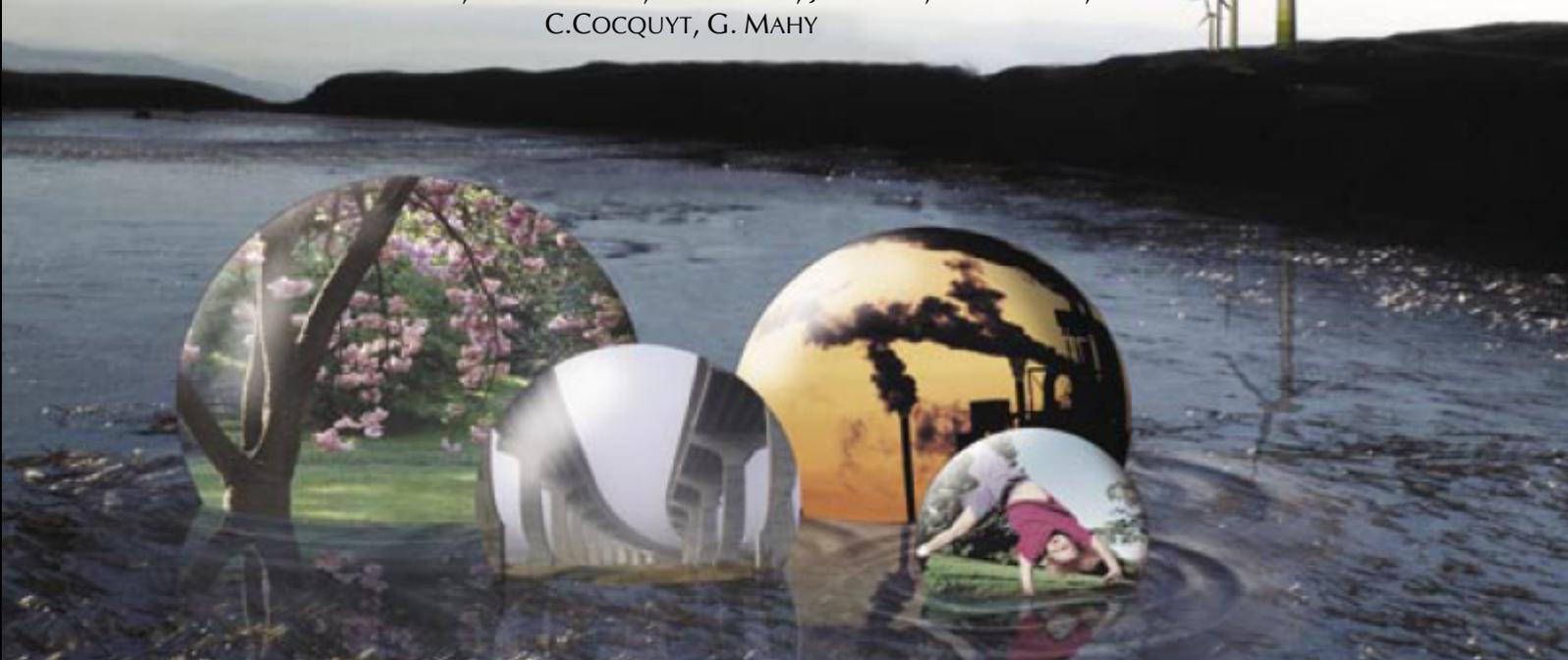
# SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**IMPACTS CLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES SUR LES  
ECOSYSTÈMES AFRICAINS  
"CLANIMAE"**

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



ENERGY 

TRANSPORT AND MOBILITY 

AGRO-FOOD 

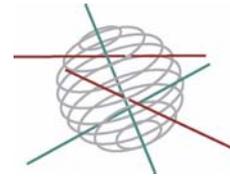
HEALTH AND ENVIRONMENT 

CLIMATE 

BIODIVERSITY 

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS 

TRANSVERSAL ACTIONS 



***Biodiversité***

RAPPORT FINAL PHASE 1  
RESUME

**IMPACTS CLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES SUR LES  
ECOSYSTEMES AFRICAINS**

**“CLANIMAE”**

SD/BD/03A

**Promoteurs**

**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

***Juillet 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 **Impacts climatiques et anthropiques sur les écosystèmes africains “CLANIMAE”**. Rapport Final Phase 1. Résumé. Bruxelles : Politique scientifique fédérale 2009 – 8 p. (Programme de recherche « La science pour un Développement Durable »)

## Contexte et objectifs du projet

L'ampleur et l'extension géographique de l'impact de l'homme sur la biosphère a augmenté rapidement depuis les derniers 100 ans, en particulier en Afrique de l'Est équatoriale où le taux de croissance de la population et l'intensification de l'agriculture figurent parmi les plus élevées du monde, et où les économies en développement dépendent fortement de l'eau et d'autres biens et services fournis par les écosystèmes naturels. Le développement de l'économie de même que la conservation de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes requièrent une connaissance spatiale et temporelle explicite de l'ampleur relative de l'impact de l'homme au cours du temps, sur les écosystèmes terrestres et aquatiques pour 1) évaluer la santé actuelle des écosystèmes et leur résilience aux impacts anthropiques 2) modéliser la gamme des réponses possibles aux futurs changements climatiques, et 3) développer localement des stratégies optimales pour l'aménagement des ressources en sol et en eau. CLANIMAE réponds au besoin urgent d'une perspective correcte à long terme des interactions actuelles homme-environnement en Afrique tropicale de l'Est, en reconstruisant, au travers d'analyses multidisciplinaires de sédiments lacustres datés, simultanément à haute résolution la variabilité des climats passé et l'histoire de la végétation de même que les changements de qualité des eaux. Une caractéristique essentielle de cette recherche paléo-écologique intégrée est qu'elle adresse la question des relations climat-environnement-homme à l'échelle de temps à laquelle les processus concernés se sont effectivement passé. Ceci nous permet de 1) séparer les influences de la variabilité climatique naturelle et des activités de l'homme sur les écosystèmes terrestres, 2) déterminer le moment exact et l'ampleur relative du défrichement anthropique indigène (pré-20<sup>ème</sup> siècle) comparé aux altérations récentes du paysage et 3) déterminer l'ampleur des pertes de qualités des eaux dues à une sédimentation plus élevée et liées à la déforestation et à l'agriculture, comparées à celles associés au changement hydrologique à long terme.

## Résultats du projet par rapport au calendrier de travail

Les activités CLANIMAE sont organisées en 14 tâches groupées en 5 work-packages. Une partie majeure des activités de la phase 1 concernait, en **work package 1**, la calibration des indicateurs proxy et la validation, par des études comparatives de différents écosystèmes de lacs de cratère en Ouganda de l'ouest. Nous avons accompli 4 campagnes de terrain (jan.-fév. 2007, juillet-août 2007, fév. 2008, août-sept. 2008), au cours desquelles 66 lacs ont été examinés. Dans tous ces lacs nous avons collecté des informations concernant la morphologie du bassin, l'usage du sol, la transparence, et l'état trophique des eaux ; des échantillons pour les analyses chimique de l'eau, les nutriments et les organismes aquatiques (phytoplancton, zooplancton, zoobenthos); un échantillon des sédiments de surface pour la calibration des proxies paléo-écologiques en rapport à des gradients environnementaux actuels et à l'intensité des activités humaines dans le bassin des lacs. Toutes les campagnes de terrains de la phase 1 traitent des conditions de saison sèche. Pour connaître la variation saisonnière en fonction du lac, nous avons installé des chaines de thermistors en surface et en eau profonde dans 9 lacs. Celles-ci avaient enregistré en août 2008 des données continues de 12 et parfois 18 mois. Le déchargement final des données en avril 2010 nous permettra d'obtenir la variabilité saisonnière de même qu'interannuelle.

Nous avons sélectionné 18 lacs pour étudier (Tâche 1.1) les influences respectives de la profondeur relative, de la régime de mélange et du budget des nutriments (TN,TP,SRP, DIN) sur la vulnérabilité lacustre par rapport à la perte de qualité des eaux sujettes à l'exploitation anthropique du bassin versant. Cette étude concerne les données de terrain CLANIMAE et toutes les données historiques des lacs de cratères ougandais publiées ou rendues disponibles par des chercheurs précédemment. En utilisant un index de statut trophique TLI, nos 18 lacs d'étude principale couvraient la gamme oligotrophique (4 lacs), mésotrophique (10 lacs), eutrophique (3 lacs) et hypertrophique (1 lac). Des différences marquées entre la concentration en surface des nutriments et les eaux profondes (>30 m) indiquent l'importance du mélange des lacs sur l'approvisionnement en nutriments de l'hypolimnion pour leur productivité. L'analyse de données environnementales d'un ensemble de 66 lacs a permis d'observer une relation significative exponentielle entre la transparence du disque de Secchi et le phosphore total et entre la transparence et la Chl *a*. Cette relation permet une première estimation de TP

ou Chl *a* dans les lacs de cratères d'Ouganda basée sur les données de Secchi. Il n'y avait pas de corrélation significative entre la transparence et l'azote inorganique dissous (DIN). Les lacs de cratères d'Ouganda peu impactés par l'activité humaine, sont en général oligotrophes quand leur profondeur est > 90 m, et mésotrophe à une profondeur inférieure à 90 m. Les lacs avec un impact anthropique marqué peuvent être classés dans les catégories oligotrophes (profondeur >90 m), mésotrophe (35<profondeur<90 m), ou eutrophe/hypertrophe (profondeur <35 m). Un usage significatif anthropique d'un bassin versant a pour effet d'augmenter le niveau trophique des lacs de profondeur <35 m tandis que les lacs très profonds restent relativement peu affectés. Il est probable que leur hypolimnion serve de réservoir pour le stockage des nutriments et leur faible fréquence de mélange complet ne permette pas un recyclage important des nutriments dans les eaux de surface où la production primaire a lieu. Nos données supportent l'hypothèse que tous les lacs de cratères d'Ouganda se mélangent complètement au moins occasionnellement. Les conditions météorologiques permettant le mélange des lacs profonds (température de l'air plus froide et conditions venteuses) peuvent être assez rares, avec une fréquence de plusieurs décades pour les lacs les plus profonds. Ces lacs sont oligomictiques et se mélangent donc moins qu'une fois par an. Finalement, une évaluation préliminaire de toutes les données historiques et des profils récents de température de la colonne d'eau indique qu'un réchauffement apparent des eaux profondes (comparable au réchauffement observé au lac Tanganyika) surimposé à des variations inter-annuelles.

Dans la Tâche 1.2, CLANIMAE a pour objectif de développer un modèle d'inférence basé sur les diatomées pour les changements de production primaire dans le passé (niveau trophique) de lacs africains. Pendant la phase 1, nous avons calibré la distribution des espèces de diatomées dans un gradient de productivité (mesuré par les concentrations de TP, TN, Si dissout, transparence, Chl *a*), réalisé par l'analyse des assemblages de diatomées fossiles dans les sédiments récents dans 48 lacs. Le développement de ce modèle d'inférence de productivité basé sur les diatomées africaines est compliqué par l'apparente rareté des diatomées dans le phytoplancton vivant dans la plupart des lacs de cratères d'Ouganda étant donné que l'essentiel de la productivité algale est assuré par d'autres groupes (cyanobactéries, algues vertes etc.). Des données sur la composition du phytoplancton obtenues par analyse HPLC des pigments algaux sur les échantillons de plancton actuel ont permis de discerner des associations entre des espèces de diatomées (observées dans les sédiments de surface) et des communautés caractéristiques algales africaines. Pour les 18 lacs principaux, les données HPLC ont été calibrées à partir de comptages des échantillons de phytoplancton préservés. La rareté apparente des diatomées peut aussi être un phénomène saisonnier. Le développement d'un modèle d'inférence diatomée-TP a été postposé à la phase 2 du projet car une meilleure connaissance de la dynamique saisonnière des algues des lacs Ougandais est nécessaire à partir des récoltes effectuées pendant la saison principale des pluies.

La Tâche 1.3 étudie les contrôles environnementaux liés à la distribution des espèces de macrophytes dans les lacs de cratères d'Ouganda, et leur valeur comme indicateur environnemental dans les reconstructions paléo-écologiques. Notre base de données, complète comprends 216 sites d'échantillonnages dans 36 lacs où un total de 140 espèces de plantes aquatiques, terrestres et semi-aquatiques ont été identifiées depuis la rive jusqu'à la zone pélagique. Les espèces de plantes diffèrent entre-elles par leurs exigences environnementales, reflétées dans des gammes distinctes de distribution en fonction de 13 caractéristiques chimiques et physiques différentes. Les analyses par clusters ont révélé 8 communautés écologiques (groupes) majeures, chacune avec des espèces indicatrices. Il faut souligner néanmoins que ces communautés de plantes font partie d'un continuum. Les tests ANOVA ont montré des différences significatives parmi les groupes écologiques pour la profondeur, la distance par rapport à la rive, la turbidité, la température, la conductivité et l'oxygène dissous. Ces huit communautés aquatiques de macrophytes sont aussi identifiées en analyse des correspondances avec des axes CA 1 et 3 qui expliquent ensemble 35% de la variabilité floristique entre les sites d'échantillonnages. Seul le pH et le TN semblent être des prédicteurs significatifs de la distribution des macrophytes des lacs d'Ouganda.

Les Tâches 1.4 et 1.5 ont pour but de développer l'utilisation de la signature isotopique du silicium dans l'opale des diatomées fossiles (mesuré à l'aide d'un MC-ICP-MS) comme nouveau traceur paléo-environnemental. Durant la phase 1, deux pas importants ont été

réalisés dans cette direction. Premièrement, le MC-ICP-MS au MRAC, (partenaire 2) a été amélioré par l'ajout d'une fente d'entrée ajustable, d'une pompe primaire plus puissante et de cônes *skimmer* et *sampler* d'un nouveau type. Ces nouveaux paramètres permettent d'atteindre une résolution suffisante pour résoudre les interférences de  $^{14}\text{N}^{16}\text{O}$  et  $^{14}\text{N}_2$  sur le pic du  $^{30}\text{Si}$  et du  $^{28}\text{Si}$  respectivement, et permettent ainsi des mesures plus justes des rapports isotopiques  $\delta^{30}\text{Si}$  et  $\delta^{29}\text{Si}$ . Deuxièmement, nous avons rassemblé des données sur les concentrations de Si dissout (DSi), les températures et le  $\delta^{30}\text{Si}$  et le  $\delta^{18}\text{O}$  des diatomées à différentes profondeurs dans 15 lacs africains situés dans des zones climatiques ayant un déficit local en eau plus ou moins marqué, ainsi que dans 2 lacs de cratères ougandais (l'un oligotrophe, l'autre eutrophe) situés dans une zone peu impactée par l'activité humaine pour l'un et fortement pour l'autre. Dans ces deux lacs, le DSi comme le  $\delta^{30}\text{Si}$  sont assez homogènes tout au long de la colonne d'eau, il s'agit probablement d'une conséquence d'un mélange (quasi-complet dans ces lacs relativement peu profonds) pendant ou peu avant la période d'échantillonnage. Dans le lac Katinda, fortement impacté, des valeurs de 22 ppm de DSi et des  $\delta^{30}\text{Si}$  de 2.50 ‰ peuvent soit indiquer un lessivage plus important des sols en raison de la déforestation et de l'agriculture (il est connu que la formation d'argile fractionne les isotopes du Si), soit une très forte production de diatomées. Comme la forte productivité du lac Katinda durant la période d'échantillonnage était principalement le fait des cyanobactéries, les données sur la saisonnalité des diatomées récoltées durant la phase 2 pourraient aider à expliquer ces observations.

Le **work package 2** se concentre sur la reconstitution des variations climatiques (variation de l'humidité) en Afrique de l'Est durant les derniers millénaires. Cela inclut deux sous-tâches traitant respectivement des reconstitutions proprement dites (Tâche 2.1) et de leur datation (Tâche 2.2). Les séries de données climatiques de la plupart des sites étudiés dans CLANIMAE étaient déjà disponibles avant le début de ce projet ou le sont devenues durant la phase 1 via des PhD, des MSc et autres collaborations. Les nouvelles reconstitutions climatiques à partir des lacs de cratère de l'ouest de l'Ouganda, de lacs de la Rift Valley dans le centre du Kenya et du lac Challa au sud du Kenya (ce dernier grâce au projet CHALLACEA de l'ESF-EuroCLIMATE) confirme les tendances spatiales et temporelles documentées dans les enregistrements publiés sur l'histoire climatique du plateau Est Africain. CLANIMAE investit des efforts significatifs dans la datation précise des enregistrements sédimentaires afin d'établir à l'échelle régionale, entre les différents sites, des corrélations avec des anomalies climatiques reconstituées tant en Afrique de l'Est que dans d'autres régions tropicales et tempérées. En se concentrant sur les lacs Wandakara et Katinda en Ouganda et Challa au Kenya, cela a contribué à préciser les périodes de changements climatiques prononcées.

Le **work package 3** se concentre sur la reconstitution des dynamiques de végétation passées sur base d'analyses de pollen (Tâche 3.1) et de phytolithes (Tâche 3.2) fossiles. Au cours de la dernière décennie, des progrès significatifs ont été réalisés sur la documentation de l'histoire de la dynamique de la végétation en Afrique de l'Est durant les derniers 2-3000 ans. Toutefois, l'attribution de causes à des changements de végétation documentés souffre de la difficulté de différencier, dans les enregistrements de pollen fossiles, les impacts climatiques des impacts anthropiques. CLANIMAE résout ce problème en produisant une reconstitution complètement couplée des changements passés du climat, de la végétation et de la qualité de l'eau en les extrayant des mêmes enregistrements sédimentaires. De plus, nous avons calibré l'amplitude de la réponse de l'écosystème terrestre au changement climatique et à l'impact anthropique tel qu'enregistré dans les données de pollens fossiles. Jusqu'à maintenant, les sous-contrats de CLANIMAE ont produits des reconstitutions liées à quatre enregistrements sédimentaires de lac Simbi, Chibwera, Challa et Kanyamukali (partiellement complétés). La reconstitution du lac Challa couvre les derniers 2700 ans et peut être directement reliée aux enregistrements de variation de l'humidité produits par le projet CHALLACEA. Les ~800 ans de reconstitution de la végétation de la région sub-humide du Kenya de l'ouest du lac Simbi peuvent être reliés aux enregistrements du niveau du lac Victoria dans les diatomées. La reconstruction de la végétation de Chibwera pour la savane vierge dans la vallée du Rift à l'ouest de l'Ouganda couvre les derniers 250 ans, en commençant avec une sécheresse sévère à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle. Contrairement aux données de pollen du lac Simbi, où une réponse assez modeste de la végétation aux

changements climatiques est surimposée par une forte signature de l'impact anthropique (d'abord par des peuples pasteurs et plus tard par des agriculteurs), les données de pollen de Chibwera indiquent une dominance claire des changements de végétation induits par des changements climatiques dans ces paysages vierges (ou au moins semi-naturels). Nous avons trouvé que seulement quelques décades de conditions climatiques légèrement plus humides (5-10 % de précipitations supplémentaires) tels qu'observés au début du 20<sup>ème</sup> siècle, peuvent réduire l'abondance de pollens des graminées par environ la moitié (entre 75% et 45 %). Les plusieurs proxies des enregistrements de Chibwera illustrent de plus combien la solidité de données indépendantes concernant l'équilibre des conditions d'humidité peuvent améliorer l'information extraite des données de pollens.

Quelques importantes denrées alimentaires en Afrique, telles que la banane (*Musa*), produisent insuffisamment de pollen pour être observés dans les préparations palynologiques mais peuvent être tracées au moyen de leur phytolithes fossiles. CLANIMAE valide les fossiles phytolithiques de *Musa* comme indicateur paléo-environnemental des cultures de bananiers en quantifiant la relation entre l'abondance des phytolithes de *Musa* dans les sédiments de surface de 25 cratères Ougandais et la superficie relative des plantations de bananiers dans leur bassin versant. Cette vérification utilise les données de l'enquête de couverture végétale qui a estimé le pourcentage de superficie de terrains occupés par 6 types de végétation naturelle, 16 types de cultures ou plantations et 4 types de jachères agricoles. Pour quantifier la vulnérabilité des lacs individuels à l'érosion des sols et à l'enrichissement en nutriments (voir Tâche 1.1), ces classifications ont été traduites en un indice d'impact anthropique (Hi) que modifie les fractions de surface de couvertures végétales par un facteur de susceptibilité à l'érosion du sol, spécifique à chaque catégorie de végétation naturelle et anthropique. La calibration des phytolithes est en cours: de larges échantillons doivent être examinés pour atteindre un seuil de signification statistique des résultats.

Le **work package 4** concerne la reconstruction des changements de qualité des eaux dans le passé. La tâche 4.1 implique d'appliquer nos relations calibrées diatomées/productivité (Tâche 2.1) aux assemblages de diatomées fossiles extraites des enregistrements sédimentaires ciblés. Ce rapport résume les données de diatomées du lac Chibwera, un site de validation méthodologique. Cet enregistrement ne montre pas de signes d'une augmentation de productivité ou de diminution de la qualité des eaux, en accord avec les conditions non perturbées de la végétation de savanne dans le Parc National Queen Elizabeth.

En absence d'impacts humains, les restes fossiles de macrophytes aquatiques dans les lacs africains reflètent les épisodes de niveaux lacustres faibles. Quand la végétation naturelle du bassin versant d'un lac peu profond est perturbée par les activités humaines, les macrophytes souffrent d'une réduction de la transparence de l'eau du fait de l'érosion des sols. De ce fait, la combinaison d'informations sédimentologiques, de diatomées fossiles et de macrofossiles de plantes indicatrices permet d'identifier les effets de changements climatiques naturels sur l'abondance des macrophytes et de séparer les effets anthropiques sur l'érosion des sols sur la transparence de l'eau. L'étude de la distribution stratigraphique des fossiles de macrophytes dans les échantillons de sédiments (Tâche 4.2) est principalement effectuée pendant la seconde phase du projet.

Les microfossiles palynomorphes non-polliniques (NPPs) sont largement utilisés comme indicateurs paléo-écologiques en Europe et en Amérique du Nord, mais avant ce projet, leur utilité en Afrique tropicale n'avait pas été examinée en profondeur. La Tâche 4.3 concerne la calibration des valeurs d'indicateurs écologiques des NPP en relation avec des variables locales du paysage (végétation, utilisation du sol, érosion, pratiques de brûlage) et des caractéristiques lacustres (morphométrie, productivité) par une analyse de leur distribution dans les sédiments de surface de 25 lacs, situés dans une gamme de paysages répartie entre des conditions naturelles 'pristines' jusqu'aux paysages sérieusement affectés par les activités humaines. La couverture de végétation actuelle et l'utilisation du sol ont été cartographiés quantitativement (Tâche 3.2) et d'informations liés aux activités humaines et concernant les herbivores domestiques. Les analyses NPP ont permis de récolter actuellement 9038 fossiles, dont 97% pourrait être attribués à l'un des 256 morphotypes distincts appartenant aux spores et autres restes de champignons, spores de fougères, différentes phases de repos des algues aquatiques et des restes animaux microscopiques. La haute biodiversité couplée avec la

distribution restreinte entre les sites peut indiquer une grande spécificité écologique des morphotypes individuels. Celle-ci nécessite aussi des comptages additionnels pour réduire la probabilité d'occurrence aléatoire. Entre les morphotypes NPP les plus communs, 18 peuvent être associés à des taxons spécifiques. La comparaison des modes de distribution des NPP avec les variables environnementales révèle que *Glomus sp.* (un champignon mycorhizien vivant en symbiose dans les racines des plantes) est positivement corrélé avec l'érosion des sols par les activités agricoles. L'analyse par gradients directs (RDA) de la distribution de 30 morphotypes majeurs terrestres NPP montre que la distribution des types de champignons, généralement associée avec la perturbation humaine des paysages, a effectivement une corrélation avec les variables environnementales liées à l'activité humaine telles que la culture annuelle et la présence de pâtures.

Pour le **work package 5**, principalement développée pendant la phase 2 du projet, les séquences de climats passés et de périodes d'impacts importants de l'Homme sont intégrées spatialement et temporellement. Les études intégrant les effets des perturbations anthropiques sur la végétation en Afrique de l'Est sur de grandes échelles régionales (Figures 25-26) indiquent que les grands décapages de végétation naturelles ont commencé dans les années 1920's-1930's quand le développement des infrastructures de transport a permis à la production à l'échelle industrielle de cultures vivrières d'être exportées. Ceci est confirmé par les données CLANIMAE du lac Simbi qui montre que le début de l'agriculture sédentaire dans cette région date des années 1920 et que celles-ci ont rapidement été suivies par l'eutrophisation (inférée par la ré-apparition de *Spyrogira*) du fait de l'apport supplémentaire de nutriments causé par l'érosion des sols. Les analyses CLANIMAE des changements dans le taux d'accumulation des sédiments dans le lac Naivasha (région centrale du Kenya) au cours des derniers 120 ans montre que le dépôt de sédiments minéraux est supérieur à la variabilité naturelle associée aux changements de niveaux causés par les changements climatiques depuis la moitié des années 1980 suggérant une disparition de végétation qui, jusqu'alors, avait limité l'érosion des sols dans le bassin versant de la rivière Malewa. La turbidité des eaux lacustres qui en a résulté a eu un impact prononcé sur les communautés algales et zooplanctoniques et peut-être aussi sur les pêcheries locales. La reconstruction de l'équilibre hydrométrique et de la dynamique de végétation dans cette région indique que des impacts significatifs de l'activité agricole sont perceptibles depuis le 17<sup>th</sup> siècle A.D. probablement en relation avec une augmentation de population suite à l'introduction du maïs. Les nouvelles reconstructions de végétation par CLANIMAE à partir de régions plus sèches du Kenya ne montrent pas de signatures claires de l'agriculture sédentaire avant le 20<sup>ème</sup> siècle. Le lac Simbi montre des signes apparents d'utilisation plus intense du sol par des pasteurs commençant environ il y a 600 à 800 ans. A l'ouest de l'Ouganda, les nouvelles données CLANIMAE supportent les interprétations précédentes de déboisement significatifs datant au moins il y a 900 à 1000 ans.

A la date de juillet 2009, le projet CLANIMAE a produit 3 publications soumises ou sous presse et 7 participations à des symposia; nous avons aussi exploité de multiples possibilités de transferts de connaissance pour des groupes spécifiques d'intervenants et le public. Les données et idées de CLANIMAE figuraient de manière significative dans le programme PHAROS qui intègre les programmes IGBP-PAGES HITE, LUCIFS et LIMPACS dans le grand thème général d'interactions du passé climatique-écologique et humain lié aux programmes ESSP IHDP, WCRP et DIVERSITAS.

### Conclusions préliminaires des recherches et recommandations générales

- 1) La vulnérabilité des lacs de cratères d' Ouganda à l'eutrophisation et à la perte de qualité des eaux pour une intensité donnée d'utilisation anthropique est fortement liée à la morphométrie (surtout la profondeur) du lac et au régime de mélange saisonnier associé. Les lacs moins profonds que 35 m sont très vulnérable, les lacs plus profonds que 90 m sont relativement résistants à l'eutrophisation. Les lacs peu profonds sont généralement mésotrophiques, pas oligotrophiques dans leur conditions originales.
- 2) Notre étude des relations entre la composition des communautés de macrophytes, d'algues diatomées, de zooplancton et de zoobenthos avec les caractéristiques abiotiques représentant le gradient d'environnement naturel jusqu'aux environnements fortement anthropiques, permet d'accroître considérablement la compréhension des contrôles environnementaux sur la biologie des lacs de cratères d' Ouganda.
- 3) Nos vérifications des relations quantitative entre les assemblages de phytolithes de plantes africaines et les spores de champignons (sédimentés dans les dépôts de surface des lacs) et les paramètres environnementaux liés aux impacts humains, constitue un premier pas important vers l'usage rigoureux en tant que proxy paléo-environnemental de l'utilisation passée des sols dans le paysage environnant.
- 4) Nous avons montré qu'il est possible de produire des reconstructions cohérentes pairées de la dynamique terrestre et aquatique à partir d'enregistrements sédimentaires des lacs de cratères d'Ouganda avec une résolution de l'ordre de la décade à l' échelle du siècle, la gamme la plus utile pour l'histoire des impacts humains dans les paysages d' Afrique de l' Est de même que pour la période à venir.
- 5) Les reconstruction multi-proxy dans les lacs de validation ont révélé des signatures palynologiques majeures en réponse aux changements de végétation terrestre liés à de faibles variations de précipitations, et a permis de distinguer de grandes variabilités naturelles dans la dynamique de systèmes aquatiques à partir de la réponse lacustre aux impact humains.
- 6) Bien que cela relève la barre sur l'évidence d' identification d'impacts humains anciens sur les paysages africains, une combinaison d'analyses de pollen, de phytolithes, de spores de champignons et d'analyses biogéochimiques permettra de distinguer de tels signaux avec une plus grande certitude.
- 7) Les reconstructions préliminaires d'évolutions historiques environnementales dans les sites cibles de CLANIMAE étayent l'idée que l' Homme a eu un impact significatif sur les paysages est-africains (déforestation, agriculture<...) remontant à ~1000 AD dans l'ouest sub humide de l' Ouganda, et à ~1700 AD dans le centre du Kenya. Les environnements semi-arides révèlent des signes apparents d'utilisation par les pasteurs remontant à 600 ans, mais les perturbation plus intenses de végétation et de l'usage du sol typique de l'agriculture et de la perte de qualité des eaux qui en résulte semble limitée aux derniers 70-80 ans.

CLANIMAE exécute les priorités du programme de la 'Science pour un développement durable' (SSD) par ce qu'il concerne directement une importante question non résolue de la recherche en adressant de façon pertinente les questions de politique environnementale interconnectées pour 1) le développement économique durable 2) l'aménagement de ressources naturelles limitées 3) la conservation de la biodiversité 4) l'adaptation de communautés vulnérables au changement global et 5) une globalisation plus humaine. Parmi les résultats de la phase 1 indiqués ci-dessus, ceux numérotés 1,4 et 7 sont particulièrement pertinents à la politique de développement (par les intervenants locaux et leur gouvernement) pour l'eau et les ressources foncières en Afrique tropicale.