

# CLANIMAE - Résultats

## Impacts Anthropiques et Climatiques sur les Ecosystèmes Africains

DURÉE DU PROJET  
01/01/2007 - 31/07/2011

BUDGET  
752.698 €

### MOTS CLES

Afrique de l'Est, biodiversité, changement climatique, développement durable des ressources en eau, dynamique végétale, érosion du sol, hydrologie, qualité de l'eau, paleoecologie, ressources naturelles, services écosystémiques

### CONTEXTE

L'ampleur et la répartition géographique de l'impact humain sur la biosphère terrestre a fortement augmenté au cours du siècle passé, en particulier en Afrique de l'Est équatoriale où l'accroissement de la population et l'intensification de l'agriculture sont parmi les plus importants au monde et où les économies en développement sont fortement dépendantes de l'eau et des denrées fournies par les écosystèmes naturels. Un développement économique tenant compte de la conservation de la biodiversité et du fonctionnement de l'écosystème requiert une connaissance spatiale et temporelle de l'apparition et de l'importance relative de l'impact humain (pré)historique et moderne sur les écosystèmes terrestres et aquatiques pour (1) évaluer l'état actuel de ces écosystèmes et leur capacité de résistance aux perturbations anthropiques, (2) modéliser leurs réponses possibles aux futurs changements climatiques, démographiques et économiques et, de là, (3) développer des stratégies optimales pour la gestion des ressources en eau et des terres à l'échelon local.

### OBJECTIFS

Le but du projet CLANIMAE est de fournir des recommandations pour une gestion durable des ressources en eau et des terres en Afrique de l'Est tropicale, par l'étude comparative d'écosystèmes vierges et perturbés dans le paysage moderne et en reconstruisant les interactions climatiques, environnementales et humaines historiques qui affectent ces écosystèmes. Cette approche du « **Passé en tant que clé du présent (et du futur)** » a été développée en couplant des données sur les végétations passées et les changements de la qualité de l'eau préservée dans les enregistrements sédimentaires lacustres avec des informations au cours des dernières dizaines ou centaines d'années sur la variabilité climatique le long d'un gradient de l'ouest de l'Ouganda (humide) à l'est du Kenya (semi-aride). En utilisant cette méthodologie, l'objectif de CLANIMAE est de

- 1) séparer les influences respectives des variations climatiques naturelles passées des activités humaines passées sur les écosystèmes est-africains et déterminer la chronologie et l'importance relative des perturbations de l'écosystème par les populations locales avant le 20<sup>ème</sup> siècle comparé aux altérations lors de la période coloniale et récente;
- 2) déterminer l'importance de la diminution de qualité des eaux lacustres dû à l'envasement et à l'excès d'apport en nutriments qui peuvent être liés à la déforestation et à l'agriculture comparé à la variabilité naturelle de l'eau du fait de la dynamique à long terme de l'écosystème ;

- 3) établir la capacité de résistance des écosystèmes africains et les perspectives de restauration des écosystèmes perturbés si la pression humaine devait être réduite ou mitigée.

### RESULTATS PRINCIPAUX ET CONCLUSIONS

Les activités dans le cadre de CLANIMAE ont été regroupées en 5 unités de travail, traitant de (1) la calibration et la validation des indicateurs paléo-environnementaux; (2) la reconstruction de la variabilité du passé climatique; (3) la reconstitution des changements (pré-)historiques des écosystèmes terrestres; (4) la reconstitution des changements (pré-)historiques de la qualité de l'eau; et (5) l'intégration des données et l'identification de liens de causalité avec les changements environnementaux passés. Une partie des activités du projet a été développée sur base d'une étude comparative des écosystèmes de divers lacs de cratère dans l'ouest de l'Ouganda. Nous avons accompli sept campagnes de terrain au cours desquelles nous avons évalués 66 lacs. Pour tous les lacs, nous avons collecté des données sur la morphologie des bassins, sur l'affectation des sols, la transparence de la colonne d'eau et la fréquence de son mélange, la composition chimique de l'eau, les nutriments, les biota aquatiques (algues, zooplancton, zoobenthos) et la productivité aquatique ; nous avons aussi collecté des sédiments de surface intacts en vue de la calibration de divers indicateurs paléoécologiques en relation avec les gradients environnementaux actuels et l'intensité de l'activité humaine dans le bassin versant des lacs. L'analyse de la qualité de l'eau et des données environnementales a révélé des relations exponentielles négatives significatives entre la transparence (mesurée comme profondeur de Secchi, SD) et la concentration totale de phosphore, et entre la transparence et la biomasse d'algues (déterminée par la mesure de la concentration en chlorophylle a).

Cette relation permet une estimation approximative de la productivité des lacs de cratère ougandais sur base d'une simple mesure de la profondeur de Secchi. Aucune corrélation significative n'a été notée entre la transparence et l'azote inorganique dissous. Nos données physiques indiquent que la colonne d'eau de la plupart des lacs se mélange entièrement, au moins occasionnellement, mais que seuls ceux de moins de 30m de profondeur se mélangent totalement au moins une fois par an. Les conditions météorologiques permettant le mélange complet des lacs profonds (des températures de l'air basses et des conditions venteuses) sont relativement rares, si bien que certains des lacs les plus profonds ne se mélangent qu'une fois au cours de plusieurs décennies.



# CLANIMAE - Résultats

## Impacts Anthropiques et Climatiques sur les Ecosystèmes Africains

Nous avons ensuite sélectionné 30 lacs d'étude principaux en vue de déterminer l'influence de la profondeur de la colonne d'eau et de la fréquence de mélange sur la vulnérabilité de la qualité de l'eau des lacs lorsque leur bassin est soumis à la pression anthropique. Ces lacs ont ensuite été classés en fonction de leur productivité sur base de leur indice trophique  $TLi = chl\ a/SD$ . Parmi les 30 lacs étudiés, 7 sont oligotrophes (faible productivité,  $TLi < 0.02$ ), 9 sont mésotrophes (productivité moyenne,  $0.02 < TLi < 0.12$ ), 11 sont eutrophes (forte productivité,  $0.12 < TLi < 0.6$ ) et 3 sont hypertrophes (très forte productivité,  $TLi \geq 0.6$ ). Les lacs où l'impact de l'activité humaine est faible ou nulle tendent à être oligotrophes lorsque leur profondeur excède 90m, et mésotrophes lorsque leur profondeur est inférieure. Les lacs avec une influence humaine significative peuvent être oligotrophes (profondeur >90m), mésotrophes (profondeur entre 35 et 90m) ou eutrophe/hypertrophe (profondeur <35m). Une exploitation importante des sols est susceptible d'augmenter la productivité des lacs peu ou modérément profonds tandis que la qualité de l'eau des lacs très profonds ne sera pas affectée. Il est probable que le volume d'eau profonde serve au stockage plus ou moins permanent des nutriments, la faible fréquence des mélanges profonds empêchant leur recyclage en surface où a lieu la production primaire.

CLANIMAE a pour objectif de développer un premier modèle par inférence basé sur les diatomées pour la reconstruction des changements passés de la productivité aquatique de lacs africains. L'étude menée en parallèle sur la composition isotopique du silicium dans les diatomées fossiles comme traceur géochimique possible de la productivité aquatique a débouché sur une amélioration importante de la compréhension du cycle du silicium dans les lacs africains. Nous avons également étudié le contrôle environnemental sur la distribution des espèces de macrophytes aquatiques dans les lacs de cratère d'Ouganda, tout en étudiant leur valeur en tant qu'indicateurs environnementaux. Ces analyses ont révélé huit communautés écologiques (groupes) majeures, chacune ayant ses espèces indicatrices et des besoins distincts en terme de profondeur d'eau locale, de distance de la berge, de transparence ou de turbidité, de température, de concentration en ions dissous et d'oxygène dissous. L'utilisation des reliquats fossiles de plantes aquatiques est toutefois compromise par la mauvaise conservation de certaines espèces, ce qui introduit un biais dans l'interprétation paléo-environnementale. Ce biais peut-être partiellement résolu en utilisant des taxa bien préservés comme indicateurs pour chaque communautés. Les études menées en parallèle sur la distribution des espèces de cladocères (daphnies sensu lato) et d'ostracodes dans 62 lacs de cratère d'Ouganda ont démontré leur potentiel en tant qu'indicateurs de la qualité de l'eau et de la santé de l'écosystème dans les lacs est-africains. Ces différents groupes d'invertébrés aquatiques jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire aquatique, et, en tant que tel, contribuent à l'intégrité écologique des écosystèmes aquatiques. La distribution de cladocères parmi les lacs est fortement liée à la disponibilité des nutriments (concentration en phosphore total), à la diversité des macrophytes aquatiques, au pH, à la température moyenne annuelle, et à la proportion du bassin versant cultivée.

Une partie importante du programme de travail s'est focalisée sur la reconstruction de la dynamique de la végétation basée sur l'analyse des pollens fossiles dans les sédiments lacustres bien datés. Nous avons également calibré l'ampleur de la réponse des écosystèmes terrestres aux changements climatiques tels qu'enregistrés dans les données de pollen, en comparant l'histoire de la végétation d'un paysage naturel par rapport à un paysage perturbé par l'Homme.

Nous avons constaté que, même quelques dizaines d'années de climat légèrement humide (5-10% de précipitations supplémentaires), telles qu'à la fin du 19ème siècle et dans les années 1960-1970, ont causé d'importants mouvements migratoires de l'écotone prairie-forêt. Cette constatation est importante parce que cet écotone reflète la différence de capacité de charge écologique requise pour le pastoralisme par rapport à l'agriculture par irrigation. Certaines cultures alimentaires de base en Afrique tels que la banane peuvent être tracées dans le temps en utilisant les phytolithes (silice amorphe) présents dans les tissus végétaux. Grâce en partie à une bourse post-doctorale financée par BELSPO, CLANIMAE a validé les phytolithes fossiles comme indicateurs de la culture passée de la banane en calibrant la relation entre l'abondance des phytolithes dans les sédiments de 25 lacs ougandais par rapport aux plantations de bananiers dans le bassin versant.

Ce test a permis de catégoriser 6 types de végétation naturelle, 16 types de cultures, et 4 types de terres agricoles en jachère. Nous avons utilisé les mêmes échantillons de sédiments et les données d'utilisation des sols pour calibrer la valeur d'indicateur écologique des microfossiles non-pollen africains palynomorphes retrouvés dans les préparations de pollens fossiles, également le long d'un gradient de paysages allant de l'état naturel à celui fortement impacté par l'activité humaine.

CLANIMAE a produit des reconstitutions de la végétation pour les zones des lacs Chibwera, Kanyamukali et Katinda en Ouganda, et des lacs Challa et Simbi au Kenya. Dans l'ensemble, ceci indique un impact significatif de l'homme sur le paysage de l'Afrique (déforestation, cultures) remontant à (au moins) ~ 1000 AD dans l'Ouest sub-humides de l'Ouganda et à environ 1700 AD dans le centre du Kenya.

Les milieux semi-arides révèlent des signatures probables de l'utilisation des terres par les éleveurs remontant à 600 ans, mais la végétation plus intense et la perturbation des sols typique des cultures, et la perte de qualité de l'eau qui en résulte, apparaît principalement limités aux derniers 70-80 ans.

Les données fossiles de diatomées du lac Chibwera n'ont montré aucun signe d'augmentation de la productivité ou de perte de qualité de l'eau en conformité avec l'état intact de la végétation de la savane dans le Parc National Reine Elisabeth. En revanche, les données du lac Katinda fortement impacté (et Kanyamukali) indiquent que la perte de qualité de l'eau causée par des activités anthropiques a commencée il y a ~ 700 ans. Des signes antérieurs de productivité accrue peuvent également être expliqués par des épisodes de niveau de lac plus faibles contrôlés par le climat.



# CLANIMAE - Résultats

Impacts Anthropiques et Climatiques sur les Ecosystèmes Africains

## CONTRIBUTION DU PROJET A LA POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT DURABLE

Se référant aux priorités fixées par le programme «Science pour un Développement Durable » (SSD), CLANIMAE s'est intéressé à d'importantes questions de recherche présentant un intérêt essentiel pour les questions liées à la politique environnementale de 1) développement économique durable, 2) gestion des ressources naturelles, 3) conservation de la biodiversité, 4) adaptation des communautés vulnérables aux changements globaux, et 5) mondialisation plus humaine. Les résultats du projet qui sont particulièrement pertinents pour l'élaboration des politiques sur les ressources en eau et en sols en Afrique tropicale sont:

- 1) La productivité des lacs de cratère d'Ouganda peut être contrôlée de façon simple par des mesures répétées de la transparence de la colonne d'eau avec un disque de Secchi.
- 2) La vulnérabilité des lacs de cratère en Ouganda à l'eutrophisation et à la perte de qualité de l'eau pour une intensité donnée d'utilisation des sols est fortement liée à la profondeur des lacs et à la fréquence associée du mélange de leur colonne d'eau. Les lacs <35 m de profondeur sont très vulnérables, les lacs >90 m de profondeur sont relativement résistants à la perte de qualité de l'eau. Dans leur état originel, les lacs peu profonds d'Ouganda sont généralement mésotrophes (avec une productivité légèrement plus élevée) mais pas oligotrophes (improductifs)
- 3) Les lacs de cratère présentant une eau claire (presque sans exception > 90 m de profondeur) sont une source précieuse d'eau potable de qualité, et devraient être gérés pour l'écotourisme et des loisirs modestes seulement. Les lacs plus productifs de faible profondeur ou intermédiaire (35-90 m), qui font déjà l'objet d'une utilisation intensive des terres peuvent être gérés pour le développement de la pêche et l'extraction de l'eau agricole, celle-ci dans les limites fixées par le volume de chaque lac et le taux de renouvellement de l'eau. Aussi bien dans les lacs peu profonds que dans les lacs de profondeur intermédiaire, la production excessive d'algues parfois toxiques et les mortalités fréquentes de poissons peuvent être évitées par la création de bandes tampons de végétation empêchant le ruissellement d'atteindre le lac. La pisciculture devrait être limitée aux ressources productives des lacs peu profonds, où les éléments nutritifs ajoutés et la nourriture sont continuellement recyclés dans la colonne d'eau.
- 4) La variabilité des espèces de plantes aquatiques, de diatomées, de zooplancton et de zoobenthos selon un gradient depuis les habitats naturels jusqu'aux habitats fortement impactés par l'Homme confirme leur applicabilité comme indicateurs biologiques de qualité des eaux dans les lacs africains.
- 5) La mise en évidence de réponse majeure de la végétation naturelle à la variabilité de précipitations historiques modestes montre que les stratégies de développement économique durable doivent tenir compte de la variabilité temporelle importante dans les écosystèmes, ce qui affecte leur capacité de charge et service réalisé pour la société.
- 6) Dans les régions semi-arides (par exemple, le centre de la vallée du Rift au Kenya), la sensibilité hydrologique des lacs aux importantes fluctuations naturelles nécessite la création de ressources en eau tampon pour faire face aux sécheresses intermittentes. Les études de sédimentation aident à établir des limites appropriées à l'extraction de l'eau en identifiant le seuil de niveau du lac en dessous duquel un écosystème en bonne santé et à eau claire peut passer à un état turbide avec une mauvaise qualité de l'eau.
- 7) Les lacs de cratère d'Ouganda dépassent largement leur importance économique propre comme analogues du fonctionnement des écosystèmes des grands lacs tels que Victoria et Tanganyika et de leurs états historiques, présents et futurs possibles.

## COORDONNEES

### Coordinateur

#### **Dirk Verschuren**

Universiteit Gent  
Vakgroep Biologie - Limnology  
K. L. Ledeganckstraat 35  
B-9000 Gent  
Tel:+32 (0)9 264.52.62  
Fax:+32 (0)9 264.53.43  
dirk.verschuren@UGent.be

### Partenaires

#### **Luc André**

Musée Royal de l'Afrique Centrale  
Biogéochimie et géochimie aquatique  
Minéralogie et Pétrographie  
Leuvensesteenweg 13  
B-3080 Tervuren  
Tel:+32 (0)2 769.54.59  
Fax:+32 (0)2 769.54.32  
luc.andre@africamuseum.be

#### **Laurent Bock**

Faculté universitaire des Sciences  
agronomiques de Gembloux  
Laboratoire d'Ecologie  
Unité Sol-Ecologie-Territoire  
Passage des Déportés 2  
B-5030 Gembloux  
Tel:+32 (0)81 62 25 38  
Fax:+32 (0) 81 61 48 17  
geopedologie@fsagx.ac.be

#### **Christine Cocquyt**

Jardin botanique national de Belgique  
Section Cryptogamie  
Domein van Bouchout  
B-1860 Meise  
Tel:+32 (0)2 260.09.41  
Fax :+32 (0)2 260.09.45  
c.cocquyt@telenet.be

#### **Robert A. Marchant**

The University of York  
York Institute for Tropical Ecosystem  
Dynamics (KITE)  
Environment Department, Heslington  
York, YO10 5DD, UK  
Tel:+44-1904 434061  
Fax:+44-1904-432998  
rm524@york.ac.uk

