

PhD Position

Évolution hydroclimatique depuis 20,000 ans dans la dépression Afar (Éthiopie & Djibouti) et impact sur les milieux et l'adaptation des sociétés néolithiques

Contexte et problématiques de recherche

L'Afrique tropicale a été, au cours du Quaternaire, le théâtre de changements cycliques de précipitations liés à la mousson africaine en réponse aux variations de l'orbite terrestre autour du soleil. Ainsi, la dernière période plus humide qu'aujourd'hui (African Humid Period 14-6 ka) en Afrique du Nord s'installe progressivement à partir de 15.000 ans et dure environ 7000 ans. Cette période humide est interrompue par plusieurs épisodes arides ayant duré quelques centaines d'années, autour de 12, 8,2 et 4,2 ka cal. BP. Les mécanismes à l'origine de ces épisodes demeurent encore inexplicables. Révélateurs d'un affaiblissement des moussons tropicales, ils semblent coïncider avec la fréquence des événements de Heinrich suite à la fonte rapide d'icebergs et l'apport d'eau douce dans l'océan Atlantique Nord. En révélant le caractère fortement non linéaire, ils suggèrent que des évolutions inattendues du climat pourraient intervenir dans le futur, en réponse aux émissions massives de gaz à effet de serre résultant des activités humaines.

Figure 1: Bassin du Gobaad (bassin oriental du lac Abhé). Vue du site de fouille Hara Idé 3 mettant en relief le niveau clair de diatomite témoignant de la présence du paléolac Abhé pendant l'African Humid period. (Photo de Jessie Cauliez, Copyright PSPCA program).



La sédimentation du lac Abhé, localisé sur la frontière entre l'Éthiopie et Djibouti, témoigne des variations hydrologiques, contrôlées par les forçages climatique et tectonique (Fig. 1). Alors qu'il couvrait, au début de l'Holocène, une surface de 6000 km², ce lac est réduit aujourd'hui à une surface de 300 km² (Mogni et al., 2021). Cette réduction a forcément impacté les populations environnantes, aussi, la reconstitution des variations hydrologiques holocènes dans la corne de l'Afrique permettra de contraindre des questions prégnantes touchant à la néolithisation :

- Quelles sont les conditions de l'émergence et de la consolidation des premières sociétés d'éleveurs dans la Corne de l'Afrique et quelle est la place des stress climatiques dans le choix des populations à opter pour une économie mixte alliant prédation (chasse, pêche, cueillette) et production de nourriture (introduction de la domestication de bovins et caprins par la Péninsule arabique ou la côte érythréenne), il y a près de 4500 ans ?
- Les changements majeurs de disponibilités en eau ont-ils impacté la façon dont les sociétés maillent, balisent leur territoire et initient de nouvelles relations avec leur environnement dans ce moment de transition néolithique ?

La mission de terrain DESIRÉ¹ menée par plusieurs équipes scientifiques françaises en collaboration avec l'équipe scientifique djiboutienne de l'ORREC en mars 2023 a permis de collecter une carotte sédimentaire de 16 m de long dans le lac Abhé ainsi que de la sismique réflexion qui seront étudiées en utilisant une approche multidisciplinaire, profitant de la synergie entre les équipes de chaque pays.

Le projet de thèse financé par l'ANR NILAFAR² a pour objectif de :

1. Quantifier les variations hydrologiques de la dépression Afar à partir des sédiments lacustres du bassin sédimentaire Abhé pour améliorer notre compréhension des mécanismes à l'origine des épisodes d'aridification depuis 20,000 ans,
2. Etudier à haute-résolution des changements hydrologiques récents et explorer la coévolution Climat-Homme-milieu.

Matériel et stratégie de travail

Le projet de thèse repose sur l'étude de séquences sédimentaires courtes dans les lacs Gamari (GEM-18-3/4) et Afambo (AFA18-02) et d'une séquence sédimentaire longue de 16 m du lac Abhé (ABH23) couvrant les derniers 20.000 ans. Ces séquences ont enregistré, sur des pas de temps différents, les apports terrigènes des rivières Awash (pour les 3 carottes) et Gobaad (pour la longue carotte AB23). Ce système de dispersion sédimentaire depuis les sources du fleuve Awash (apports détritiques montagnards éthiopiens) au niveau du Haut Plateau Ethiopien jusque dans ces lacs endoréiques, répond en grande partie aux variations d'intensité de la mousson est-Africaine. Ainsi, les sédiments de ces lacs constituent un enregistrement hydro-climatique unique de l'environnement continental passé de leurs bassins versants. Enfin, cette région étant tectoniquement active, l'interprétation des analyses en chimie organique et inorganique tiendra compte du forçage tectonique notamment à partir des profils sismiques obtenus lors de la mission DESIRÉ.

L'étudiant/te s'attachera :

- à améliorer la chrono-stratigraphie des séquences sédimentaires étudiées (comparaisons des datations ¹⁴C sur matériel bulk et éventuellement sur composés spécifiques, radionucléides et en paléomagnétisme),
- à analyser le cortège en éléments majeurs (Fluorescence des rayons X à haute résolution et sur échantillons discrets), en minéraux, notamment argileux (DRX) ainsi que la composition et l'abondance en biomarqueurs organiques (GDGTs, acides gras, n-alkanes, triterpènes, HBI, isotopie MO - δ¹³C- et moléculaire δ²H, δ¹³C-, caractérisation de la MO) des séquences sédimentaires AFA18-02, GEM-18-3/4 et ABH23,
- à caractériser la nature des composés organiques et inorganiques des sédiments lacustres i) sur l'échelle temporelle récente (séquence courte de 170 cm d'Afambo) et effectuer une comparaison avec des variables météorologiques pour améliorer l'interprétation de ces traceurs au niveau de la dépression Afar; ii) sur l'échelle de l'Holocène et de la déglaciation pour étudier les biomarqueurs fossiles des sols du bassin versant des lacs Afambo, Gamari et Abhé et reconstituer les variations hydrologiques,
- préciser le timing et l'amplitude des épisodes arides autour de 4.2 ka et 8.2 ka. Les résultats ainsi acquis seront mis en perspective avec les travaux récents sur l'expression des événements 4.2 et 8.2 sur le continent africain, au nord de Madagascar, en Méditerranée et dans les océans Atlantique et Indien (lien avec le processus el Nino et IOD) afin d'améliorer la compréhension des mécanismes contrôlant la mousson Africaine.

Déroulement de la thèse

¹ <https://www.oca.eu/fr/acc-geoazur/4234-la-mission-au-lac-abhe-du-projet-anr-nilafar-a-ete-fructueuse>

² <https://geoazur.oca.eu/fr/anr-nilafar>

La thèse sera co-encadrée par Marie Revel, Guillemette Ménot et Fabien Arnaud. Ce travail de thèse, dont le financement est acquis, s'appuie sur le consortium qui porte le projet de recherche ANR NILAFAR (<https://geoazur.oca.eu/fr/anr-nilafar>). La première année de thèse se déroulera au laboratoire Géoazur (en intégrant plusieurs missions à EDYTEM) pour réaliser une partie des mesures essentielles en sédimentologie et géochimie élémentaires. Les deuxième et troisième année se dérouleront au LGLTPE ENS-Lyon pour la géochimie organique analytique (en intégrant des missions au LSCE en collaboration avec Jérémy Jacob) afin de se familiariser avec les méthodes de géochimie organique ainsi que l'interprétation des signatures géochimiques. Ce projet de recherche doctoral se base sur l'étude des carottes AFA-18 et GEM-18 issues du projet CLIMAFAR 2018-20 (responsable L. Khalidi CEPAM-CNRS) et la longue carotte ABH23 issue de l'ANR NILAFAR (Responsable M. Revel, <https://geoazur.oca.eu/fr/anr-nilafar>).

Cette thèse inclura plusieurs collaborations nationales :

- i) avec Jessie Cauliez (TRACES, Toulouse) et Lamya Khalidi ©EPAM, Nice), archéologues, spécialistes de la transition néolithique dans la corne de l'Afrique (Mologni et al., 2022)
- ii) avec Eric Chaumillon (LIENSs, expert en sismique réflexion qui apportera son éclairage sur la néotectonique active de la région Afar
- iii) avec Nathalie Vigier (LOV- Villefranche sur Mer) pour l'altération des sédiments des lacs
- iv) avec Pierre Brigode (Geoazur) pour la modélisation en hydrologie

et internationales avec les chercheurs de l'ORREC (Observatoire Régional de la Recherche pour l'Environnement et le Climat) à Djibouti.

Conditions requises pour postuler :

- **Avoir un master degree en géosciences, paléoclimatologie, géologie ou géochimie**
- **Capacité d'organisation et grande autonomie**
- **Capacité et curiosité à développer une approche pluri-disciplinaire**
- **grandes qualités de communication**

Contacts

Marie Revel

Associate Professor Université Côte d'Azur
Laboratoire Géoazur -UMR 7329
250 Rue Albert Einstein
06560 VALBONNE-SOPHIA ANTIPOLIS, France
Tel : +33 4 83 61 87 29
Email : revel@geoazur.unice.fr

Guillemette Ménot

Professor ENS de Lyon
Laboratoire de Géologie de Lyon, Terre, Planètes, Environnement
46 allée d'Italie, 69364 Lyon cedex 07, France
Tel : +33 4 72 72 84 14
Email: guillemette.menot@ens-lyon.fr

Fabien Arnaud

Directeur de recherche CNRS
Chargé de mission CNRS (INSU/INEE)
Environnement, DYnamiques et TErritoires de la Montagne (EDYTEM)
CNRS - Université Savoie Mont Blanc

F-73000 Chambéry
Tel : +33 (0)4 79 75 94 17
Email: fabien.arnaud@univ-savoie.fr>

Jérémy Jacob

Directeur de Recherche CNRS
LSCE (UMR CEA-CNRS-UVSQ 8212)
Orme des Merisiers – CEA/Saclay - Bât. 714
91191 Gif-sur-Yvette Cedex - France
Tel : +33 (0) 1 69 08 68 76
Email: jeremy.jacob@lsce.ipsl.fr

Mologni et al., 2021. Holocene East African monsoonal variations recorded in wave-dominated clastic paleo-shorelines of Lake Abhe, Central Afar region (Ethiopia & Djibouti). *Geomorphology* 391:107896, 2021

Mologni C., Revel M., Bastian L., Bayon G., Bosch D., Khalidi L. & Vigier N. Enhanced continental weathering ($\delta^{17}\text{O}$ and $\delta^{11}\text{B}$) during the rise of East African complex polities: an early large-scale anthropogenic forcing?. *Comptes Rendus. Géoscience* 354(G2):319-337, 2022.

PhD Position

Hydro-climatic evolution in the past 20,000 years in the Afar depression (Ethiopia & Djibouti) and impact on the environment and adaptation of Neolithic societies

Context and research issues

Tropical Africa has been, during the Quaternary, subjected to cyclical changes in precipitation related to the African monsoon in response to variations in the earth's orbit around the sun. Thus, the last wetter period than today (African Humid Period 14-6 ka) in North Africa occurred progressively from 15,000 years ago and lasted about 7,000 years. This humid period is interrupted by several short arid episodes (hundreds of years) around 12, 8.2 and 4.2 ka whose mechanisms remain unexplained. These episodes seem to coincide with the frequency of Heinrich events following the rapid melting of icebergs and the influx of fresh water into the North Atlantic Ocean. These rapid variations, by revealing the highly non-linear nature of the climate system, suggest unexpected climate changes in the future, in response to massive greenhouse gas emissions resulting from human activities.

Figure 1: Gobaad Basin (eastern basin of Lake Abhe). Photo of the Hara Idé 3 excavation site highlighting the diatomite level indicating the presence of the Abhe paleolake during the African Humid period (Photo by Jessie Cauliez, Copyright PSPCA program).



The sedimentation of the lake Abhe, located in Ethiopia and Djibouti, bears witness to these hydrological variations, controlled by climatic and tectonic forcings (Fig. 1). While it covered a surface area of 6000 km² at the beginning of the Holocene, this lake is now reduced to a surface area of 300 km² (Mologni et al., 2021). The reconstruction of Holocene hydrological variations in the Horn of Africa will also help to answer questions concerning Neolithization:

- What were the conditions for the emergence and consolidation of the first pastoralist societies in the Horn of Africa and what role did climatic stresses play in the choice of populations to opt for a mixed economy combining predation (hunting, fishing, gathering) and food production (introduction of cattle and goat domestication from the Arabian Peninsula or the Eritrean coast), nearly 4500 years ago?
- Did major changes in water availability impact the way societies meshed, marked out their territory, and initiated new relationships with their environment in this moment of Neolithic transition?

The field mission named DESIRÉE conducted by French scientific teams with help of Djiboutian scientific teams of ORREC in march 2023 have successfully recovered long sedimentary cores in Abhe Lake that will be studied using multidisciplinary and integrated approach taking advantage of well-established synergy between teams of each country.

The thesis project funded by ANR NILAFAR³ aims to:

1. quantify the hydrological variations of the Afar depression from the lakes of the Abhe sedimentary basin to improve our understanding of the mechanisms behind the aridification episodes over the last 20,000 years,
2. study at high-resolution recent hydrological changes and explore the co-evolution Climate-Human-Environment.

Material and work strategy

The thesis project is based on the study of short sedimentary sequences collected in Gamari Lake (GEM-18-3/4) and Afambo Lake (AFA18-02 seasonal records of the last 50 years) and a 16m-long sedimentary sequence from Lake Abhe (ABH23) covering the last 20,000 years that recorded terrigenous inputs from the Awash and Gobaad rivers. This system of sediment dispersion from the sources of the Awash River in the Ethiopian Highland to these endoreic lakes, responds largely to variations in intensity of the East African monsoon. Thus, the sediments of these lakes constitute a unique hydro-climatic record of the past continental environment of the watersheds of these three lakes. Also, this region being tectonically active, the interpretation of organic and inorganic chemistry analyses will take into account these tectonic movements from the seismic profiles obtained during the DESIRÉE mission in March 2023⁴.

The student will focus on:

- to improve the chrono-stratigraphy of the studied sedimentary sequences (14C dating on bulk material and possibly on specific compounds, radionuclides, paleomagnetism),
- to the analysis of the major element distribution (X-ray Fluorescence Core scanner, DRX) as well as the composition and abundance of organic biomarkers (GDGTs, fat acids, n-alkanes, triterpenes, HBI, MO isotopic - $\delta^{13}\text{C}$ - and molecular $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ -, MO characterization) of the sedimentary sequences AFA18-02, GEM-18-3/4 and ABH23,
- to characterize the nature of organic and inorganic compounds in lake sediments i) on the recent time scale (Afambo short sequence) and comparison with meteorological variables to improve the interpretation of these tracers at the level of the Afar Depression; ii) on the Holocene and deglaciation scales to study fossil biomarkers of the soils of the Afambo, Gamari and Abhe lake catchment and to reconstruct the hydrological variations
- on the arid episodes around 4.2 ka and 8.2 ka, in order to specify the timing and modalities of onset and termination of the arid episodes. These results will be put in perspective with recent works on the expression of

³ <https://geoazur.oca.eu/fr/anr-nilafar>

⁴ <https://www.oca.eu/fr/acc-geoazur/4234-la-mission-au-lac-abhe-du-projet-anr-nilafar-a-ete-fructueuse>

the 4.2 and 8.2 events on the African continent, north of Madagascar, in the Mediterranean and in the Atlantic and Indian Oceans (link with the El Nino process) in order to improve the understanding of the mechanisms controlling the African monsoon.

Conditions of the thesis

The thesis will be co-supervised by Marie Revel, Guillemette Ménot and Fabien Arnaud. This thesis work, whose financing is acquired, relies on the consortium which carries the ANR NILAFAR research project. The first year of the thesis will be spent at the Geoazur laboratory (including several missions at Edytem co-supervised by Fabien Arnaud) for the sedimentary geochemistry part. The second and third years will be spent at the LGLTPE ENS-Lyon for the analytical organic geochemistry (integrating missions at the LSCE in collaboration with Jérémy Jacob) in order to become familiar with the methods of organic geochemistry as well as the interpretation of geochemical signatures.

This PhD research project is based on the study of cores AFA-18 and GEM-18 from the CLIMAFAR 2018-20 project (leader L. Khalidi CEPAM-CNRS) and the long core ABH23 from the ANR NILAFAR (leader M. Revel, <https://geoazur.oca.eu/fr/anr-nilafar>).

This PhD project including numerous national bilateral collaborations:

- i) with Jessie Cauliez (TRACES) and Lamya Khalidi (CEPAM), archaeologists, specialists in the Neolithic transition in the Horn of Africa (Mologni et al., 2022)
- ii) with Eric Chaumillon, expert in seismic reflection who will bring his insight on the active neotectonics of the Afar region
- iii) with Nathalie Vigier (LOV- UMR7093, Villefranche sur Mer) for the erosion and alteration of lake sediments
- iv) with Pierre Brigode (Geoazur) for hydrological modelling;
- v) and international collaboration with researchers from the ORREC (Observatoire Régional de la Recherche pour l'Environnement et le Climat) in Djibouti.

Requirements to apply:

- Have a master degree in geosciences, paleoclimatology, geology or geochemistry
- Organizational ability and large autonomy
- Ability and curiosity to develop a multi-disciplinary approach and Great communications skills

Contacts

Marie Revel

Associate Professor Université Côte d'Azur
Laboratoire Géoazur -UMR 7329
250 Rue Albert Einstein
06560 VALBONNE-SOPHIA ANTIPOLIS, France
Tel : +33 4 83 61 87 29
Email : revel@geoazur.unice.fr

Guillemette Ménot

Professor ENS de Lyon
Laboratoire de Géologie de Lyon, Terre, Planètes, Environnement
46 allée d'Italie, 69364 Lyon cedex 07, France
Tel : +33 4 72 72 84 14
Email: guillemette.menot@ens-lyon.fr

Fabien Arnaud

Directeur de recherche CNRS
Chargé de mission CNRS (INSU/INEE)
Environnement, DYnamiques et TErritoires de la Montagne (EDYTEM)
CNRS - Université Savoie Mont Blanc

F-73000 Chambéry
Tel : +33 (0)4 79 75 94 17
Email: Arnaud <fabien.arnaud@univ-savoie.fr

Jérémy Jacob

Directeur de Recherche CNRS
LSCE (UMR CEA-CNRS-UVSQ 8212)
Orme des Merisiers – CEA/Saclay - Bât. 714
91191 Gif-sur-Yvette Cedex - France
Tel : +33 (0) 1 69 08 68 76
Email : Jérémy LSCE <jeremy.jacob@lsce.ipsl.fr

Mologni et al., 2021. Holocene East African monsoonal variations recorded in wave-dominated clastic paleo-shorelines of Lake Abhe, Central Afar region (Ethiopia & Djibouti). *Geomorphology* 391:107896, 2021

[Mologni C., Revel M., Bastian L., Bayon G., Bosch D., Khalidi L. & Vigier N. Enhanced continental weathering \(\$\delta^7\text{Li}\$, \$\epsilon\text{Nd}\$ \) during the rise of East African complex polities: an early large-scale anthropogenic forcing?. *Comptes Rendus. Géoscience* 354\(G2\):319-337, 2022.](#)