

Changements environnementaux et climatiques à la période humide africaine Holocène dans le bassin du lac Fitri (Tchad)

*Mathieu SCHUSTER, Florence SYLVESTRE,
Christine RAIMOND, Abderamane MOUSSA,
Yassine ABAKAR, Tashi YALIKUN*

Introduction

Le lac Fitri, centré sur 12° 50' N et 17° 30' E, est le plus grand lac s'étendant uniquement sur le territoire du Tchad (fig. 1 et 2). Ce lac et sa zone humide associée jouent un rôle majeur dans cette partie du Sahel pour les activités humaines (agriculture, élevage, pêche, transhumance, pastoralisme, commerce) et comme refuge pour la biodiversité (oiseaux migrateurs, faune sauvage, végétation) (RAIMOND *et al.*, 2017).

Le lac Fitri reste mal connu ainsi que le souligne clairement LEMOALLE (1987) : « On possède peu d'informations sur ce lac. L'essentiel des données provient d'une courte campagne réalisée en décembre 1973 et de documents non publiés du service d'hydrologie du Centre Orstom de N'Djamena. », possiblement parce que l'essentiel de l'attention a été jusqu'à présent porté sur le lac Tchad. Ces deux grands lacs partagent un passé commun puisqu'ils ont fait partie à l'Holocène du Mégalac Tchad, avant de s'individualiser à la fin de l'optimum climatique dit de la « période humide africaine » ou du « Sahara vert » (SCHUSTER, 2002). Ils ont ensuite connu des évolutions distinctes, dans un contexte global commun mais avec des spécificités propres liées à des physiographies différentes. Tous deux sont endoréiques, occupent un bassin à la topographie/bathymétrie

très peu prononcée (profondeur très faible en comparaison avec la taille du plan d'eau, s'apparentant ainsi à la catégorie des *wind-driven waterbodies* définie par NUTZ *et al.*, (2018) et dépendent très fortement des précipitations de la mousson ouest-africaine et des régimes de vent saisonniers dont l'empreinte hydrodynamique ancienne a été évaluée par BOUCHETTE *et al.* (2010). Toutefois, le Fitri, avec son bassin de drainage occupant la bande sahélosaharienne, est totalement dépendant de la profondeur de pénétration vers le nord de la zone



Figure 1

Localisation du site d'étude montrant le lac Fitri et le lac Tchad dans le contexte du Mégalac Tchad.

Source : fusion Landsat et STRM. Réalisation : Claude Roquin, IPG-Strasbourg.

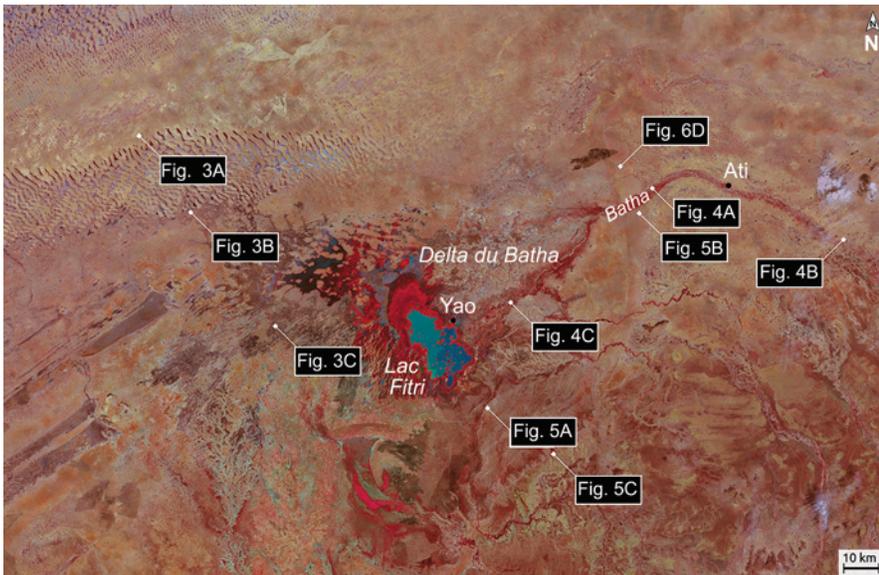


Figure 2

Vue satellite du lac Fitri et d'une partie de son bassin montrant la nette dominance des environnements de dépôts sableux et localisant les différentes figures illustrant cet article.

Source : mosaïque d'images Spot de 2010 (Sidrat) en fausses couleurs faisant apparaître la végétation en rouge.

de convergence intertropicale (ZCIT). La variabilité de la mousson ouest-africaine s'exprime au lac Fitri par des fluctuations de grande amplitude de la superficie des eaux libres et de la profondeur du lac, à toutes les échelles de temps (de la saison à plusieurs millénaires) (YALIKUN *et al.*, ce volume).

Ainsi, le lac Fitri, avec son caractère sahélien fortement marqué, est un lac terminal qui constitue un enregistreur sensible et privilégié de la variabilité de la mousson et de son impact sur les paysages et les écosystèmes passés. Malgré cet intérêt majeur pour la recherche scientifique, les archives sédimentaires du lac Fitri et de son bassin n'ont fait pour le moment l'objet que de rares études (*e.g.* LEMOALLE, 1987 ; MOUPENG, 2006). Pour exemple, il aura fallu attendre 2016 pour que, grâce au programme Gelt, soient prélevés les premiers échantillons de sédiments des fonds du lac (bennes et carottes) et qu'une première caractérisation de sa bathymétrie soit entreprise.

La présente contribution est à considérer comme une première étape d'identification des principaux environnements et processus de dépôts présents dans le bassin. Réalisée principalement à partir de l'interprétation géomorphologique sur images stellitaires, cette étude a pu être complétée par des reconnaissances ponctuelles sur le terrain. Les grands types d'environnements sédimentaires (fluviaux, deltaïques, lacustres et éoliens) reflètent des conditions de mise en place différentes souvent liées au forçage par le climat, tandis que leurs relations spatiales (emboîtement, superposition, érosion, remaniement) traduisent une chronologie relative de mise en place. Ainsi, un premier scénario

d'évolution des environnements et du climat dans cette région peut être proposé. Dans un futur proche, celui-ci pourra être nettement amélioré, évidemment par une étude du même type plus approfondie incluant un effort important de datations absolues, mais aussi en intégrant les données d'études complémentaires initiées dans le cadre du programme Gelt (*i.e.* étude de la variabilité spatiale du lac pour la période observée par l'imagerie aérienne et satellite, analyse des archives lacustres prélevées par carottage et possiblement données de l'imagerie sismique des fonds du lac).

Méthodologie

L'approche retenue ici est simple puisqu'elle repose principalement sur la photointerprétation des grandes structures morphosédimentaires caractéristiques des environnements de dépôts à partir de l'observation d'images satellitaires selon une méthode éprouvée (SCHUSTER *et al.*, 2005 et 2014 ; PAILLOU *et al.*, 2009 ; NUTZ et SCHUSTER, 2016 ; SCHUSTER et NUTZ, 2018). La principale source d'images est Google Earth Pro (pour des raisons pratiques et économiques) dont la pertinence pour la recherche scientifique et notamment les géosciences n'est plus à démontrer (SCHEFFERS *et al.*, 2012). Dans la région du lac Fitri, le faible couvert végétal et la bonne préservation des structures morphosédimentaires s'avèrent un atout pour appliquer ce type d'approche.

La chronologie relative retenue permettra ensuite d'orienter les futures actions visant à apporter des datations absolues. Elle est basée sur les principes simples, mais robustes, de la stratigraphie qui permet de définir les relations temporelles entre des couches géologiques, notamment le principe de recoupement (*i.e.* les couches sont plus anciennes que les structures ou les roches qui les recourent). Deux jalons temporels sont apportés par deux événements climatiques majeurs marqués par des changements environnementaux drastiques, à savoir :

– l'épisode de très forte aridité de la fin du dernier maximum glaciaire (DMG) qui a favorisé une forte expansion du désert du Sahara comme en témoignent des systèmes de dunes et d'ergs dunaires fossiles qui se sont développés loin vers le sud, bien au-delà des lacs Tchad et Fitri ;

– l'épisode de très forte humidité de l'Holocène dit de la « période humide africaine » ou du « Sahara vert » (*ca.* 11 500-5 000 ans BP), qui s'accompagne à l'échelle du Sahara de la réactivation des réseaux hydrographiques, du développement de lacs, de l'installation d'une végétation et d'une faune de savane et de l'occupation humaine (*e.g.* DE MENOCA et TIERNEY, 2012 ; BARD, 2013) et qui se traduit au Tchad notamment par l'installation du Mégalac Tchad (SCHUSTER, 2002 ; SCHUSTER *et al.*, 2014).

Résultats préliminaires

Les principaux environnements de dépôts silicoclastiques identifiés dans le bassin du lac Fitri à partir de la reconnaissance géomorphologique sur images satellitaires sont les systèmes éoliens, fluviaux au sens large et lacustres (principalement littoraux).

Hormis des pointements de roches du socle (granitoïdes), le paysage est très fortement dominé par d'anciens champs de dunes attribués au dernier maximum glaciaire. Les dunes éoliennes présentent diverses morphologies (transverses, linéaires, barchanoïdes) et dimensions (longueur, largeur, hauteur et longueur d'onde) (fig. 3). Cette diversité traduit des conditions d'écoulement des vents contrastées bien que les directions soient assez constantes (du NE vers le SO) suggérant des phases de mise en place différentes. Ces dunes sont antérieures aux autres milieux de dépôts identifiés comme en témoignent des incisions fluviales, des remaniements partiels par la dynamique littorale lacustre, le remplissage de dépressions interdunaires par des dépôts lacustres et palustres, et l'envasement partiel de dunes par les eaux du lac Fitri. Il convient de noter que la morphologie ainsi que l'organisation spatiale de certaines dunes diffèrent des modèles classiques ; il pourrait s'agir d'accumulations sableuses sous-aquatiques liées à l'hydrodynamique dans le Mégalac Tchad (*e.g.* barres d'avant-côte).

Le principal système fluvial est représenté par le Batha dont le cours est, selon les endroits, soit à faible sinuosité (rivière en tresses à barres longitudinales et transverses) soit à forte sinuosité (rivière en méandres à barres d'accrétion latérales ou *point bars*) (fig. 4 et 6). Dans sa partie distale, il s'étale en plusieurs branches pour former un delta de type *fluvial fan* (STANISTREET et MCCARTHY, 1993) ou *distributary fluvial system* (HARTLEY *et al.*, 2010) pouvant rappeler le delta de l'Okavango (Botswana) (fig. 2 et 4). De nombreuses portions de chenaux à méandres abandonnés peuvent aussi être identifiées dans la région, notamment en relation avec des systèmes dunaires, et témoignent d'anciens réseaux hydrographiques qui restent à caractériser. Le cours actuel du Batha incise très fortement le cordon littoral du Mégalac Tchad (à l'est du Fitri, en aval de Ati), tandis que vers le sud, le cordon littoral du Mégalac Tchad est également affecté par des incisions fluviales plus discrètes (fig. 5).

Le pourtour du Mégalac Tchad (fig. 1) est marqué à l'échelle de tout le bassin par un cordon sableux qui montre des grandes structures littorales typiques (*e.g.* crêtes de plages, flèches sableuses, deltas) permettant de définir l'ancienne ligne de rivage de cet immense paléolac (SCHUSTER *et al.*, 2005). Au sud-est du Fitri, de grandes rides arquées et organisées concentriquement depuis le rivage du Mégalac Tchad jusqu'au rivage du lac Fitri (fig. 5) marquent également d'anciens rivages intermédiaires et enregistrent la formation du proto-lac Fitri, initiée à la fin de l'optimum climatique de l'Holocène.

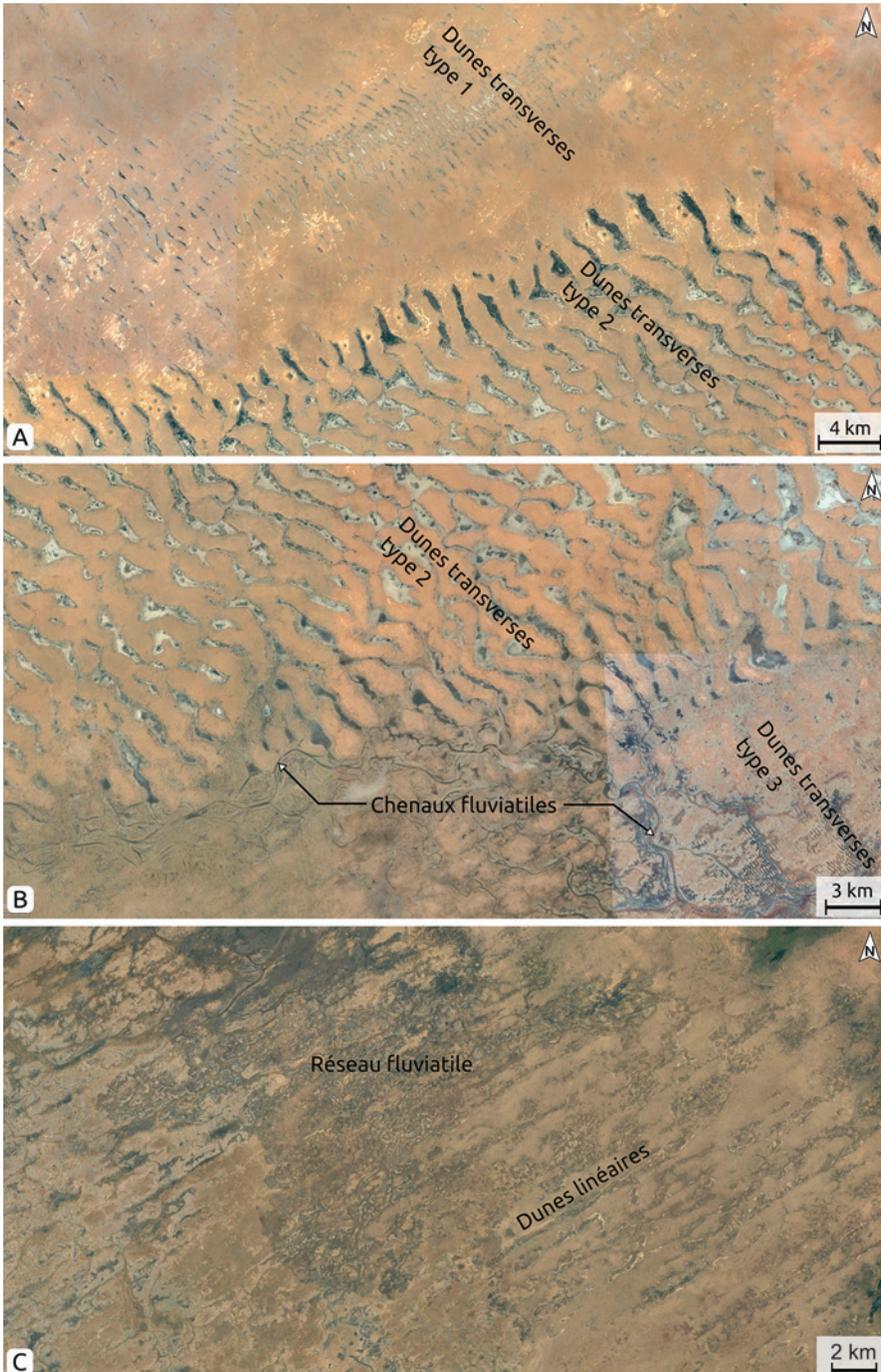


Figure 3

Vues satellite montrant certaines morphostructures éoliennes présentant diverses interactions avec des réseaux fluviatiles, voire avec des milieux lacustres et palustres au sein des dépressions interdunaires. Les divers types de dunes témoignent de directions de vents issus du NE-ENE.

A et B : Trois types de dunes transverses présentant trois longueurs d'onde distinctes.

C : Dunes linéaires partiellement altérées par un réseau hydrographique postérieur à leur mise en place.

Source : Google Earth Pro.

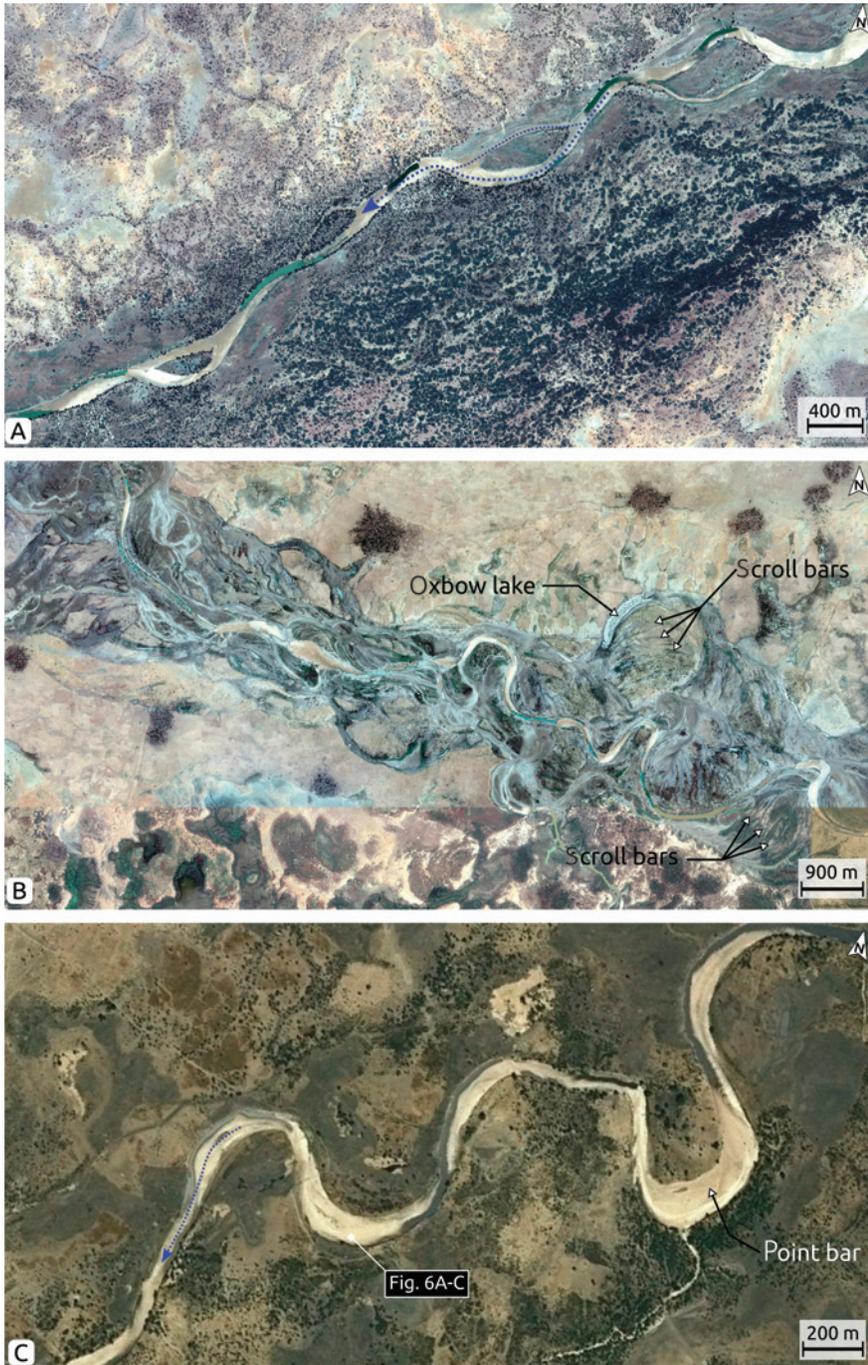


Figure 4

Vues satellite montrant certaines morphostructures fluviales associées à la rivière Batha.

A : Portion à faible sinuosité (aval d'Ati) montrant des barres fluviales longitudinales végétalisées et transverses dans le chenal. **B** : Portion à forte sinuosité (amont d'Ati) montrant des boucles de méandres abandonnées (oxbow lakes) et de grandes rides arquées (scroll bars) témoignant de la migration des méandres par accrétion latérale. **C** : Série de boucles de méandres dans le delta du Batha, montrant la zone en accrétion (accumulation de sable sous forme de mégarides point bars sur la berge convexe) et la zone en érosion (berge concave).

Source : Google Earth Pro.

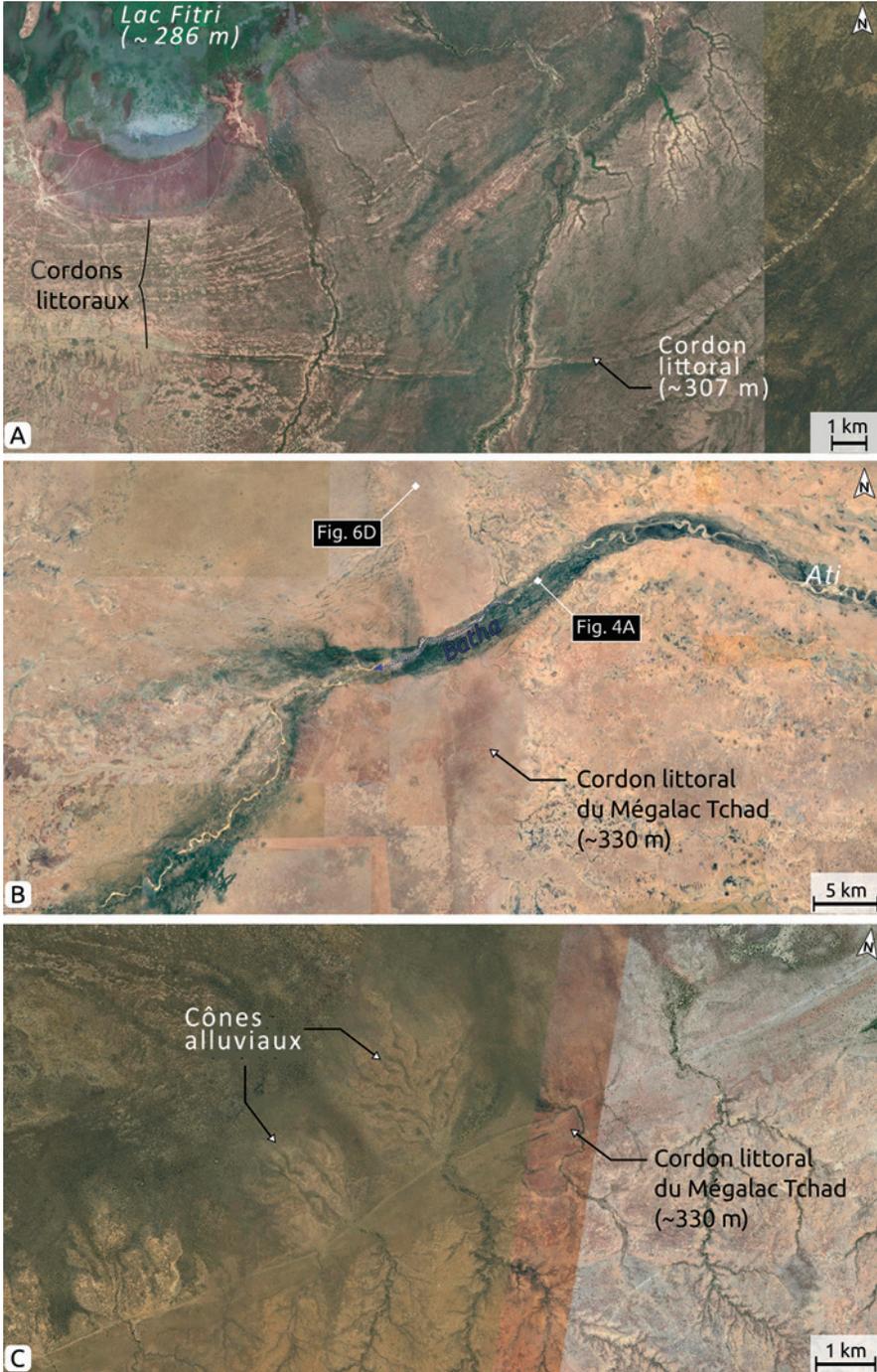


Figure 5

Vues satellite montrant certaines morphostructures littorales des anciens rivages du Mégalac Tchad et du proto-lac Fitri. **A** : Séquence de crêtes de plages intermédiaires entre le haut niveau du Mégalac et le niveau actuel du lac Fitri. **B** : Cordon littoral du Mégalac Tchad fortement incisé par la rivière Batha. À noter le chenal actif, les terrasses fluviales associées et les traces d'anciens chenaux. **C** : Cordon littoral du Mégalac Tchad vers le sud, affecté par l'érosion alluviale post-régression.

Source : Google Earth Pro.

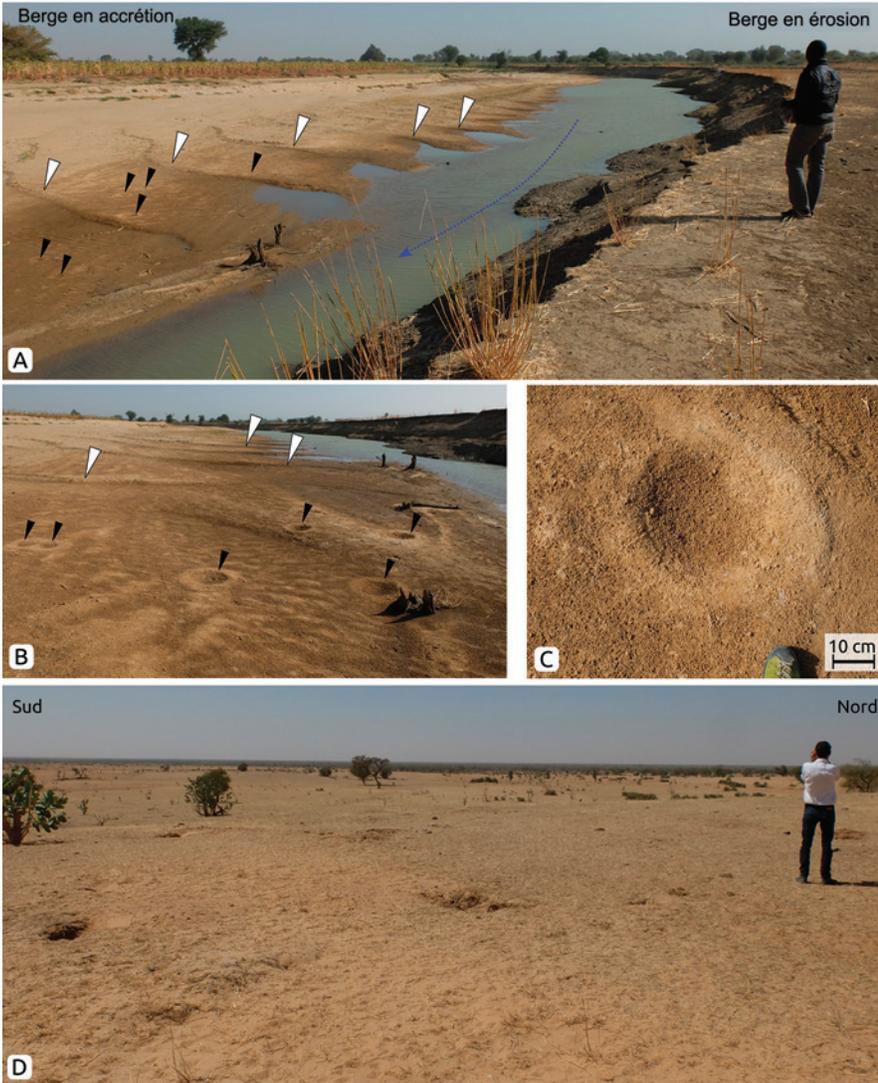


Figure 6

*Illustrations de terrain, janvier 2016. A, B et C : Barre de méandre (point bar) en cours de formation dans le Batha. Cette barre composite est constituée de mégarides amalgamées (flèches blanches : crêtes des mégarides) dont la forte asymétrie résulte du transport du sable par le courant d'eau qui les a générées. La surface des mégarides est affectée par des structures biosédimentaires (*Piscichnus*) en forme de cratère (flèches noires) interprétées comme des nids de poissons (*Tilapia*). D : Vue plongeante depuis le sommet du cordon littoral principal du Mégalac Tchad (ouest d'Ati) ; l'arrière-plan correspond au fond du paléolac et était, dans le passé, totalement inondé.*

Se dégage alors un premier scénario de mise en place des paysages sédimentaires dans la région du Fitri (fig. 7). À l'Holocène inférieur, les ergs dunaires mis en place au Pléistocène et notamment à la fin du dernier maximum glaciaire sont ennoyés et se développe le Mégalac Tchad dans le contexte de l'optimum climatique de la période humide africaine. Le contour de l'actuel Fitri est inclus dans celui du Mégalac Tchad. Suite à la péjoration climatique, le Mégalac Tchad

est en phase régressive (*i.e.* migration de la ligne de rivage vers le centre du bassin, diminution de la superficie et de la profondeur du lac) et apparaît un proto-lac Fitri (à l'instar du lac Tchad et d'un éphémère lac dans la dépression du Bodélé) qui s'individualise pour progressivement acquérir sa configuration actuelle.

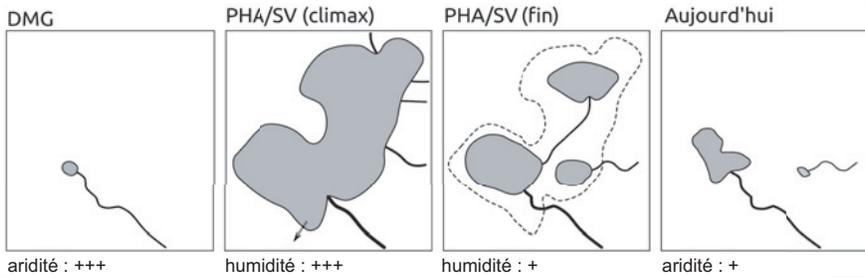


Figure 7

Modèle simplifié d'évolution des environnements lacustres dans le bassin du Tchad depuis la fin du dernier maximum glaciaire (DMG) jusqu'à aujourd'hui, en passant par la période humide africaine ou l'épisode dit du « Sahara vert » (PHA/SV).

Perspectives

Cette étude préliminaire souligne un solide potentiel de recherche (et de formation) en sédimentologie et en géomorphologie qui présente des implications académiques et appliquées fortes : restitution des paléoenvironnements et paléoclimats, systèmes sédimentaires analogues actuels pour décrypter des séries géologiques anciennes notamment du Tchad (*i.e.* paléoenvironnements de Toumaï), évaluation du potentiel réservoir (eau et hydrocarbures) de grands corps sédimentaires silicoclastiques, ou encore pour la typologie des stocks de sables. Par exemple, pour ce qui concerne la sédimentologie de faciès, le bassin du lac Fitri offre une remarquable diversité d'environnements sédimentaires continentaux actuels et subactuels facilement observables ; il constitue à ce titre un cas d'étude exemplaire pour comprendre les interactions entre les milieux et processus de dépôts éoliens, fluviaux, deltaïques et lacustres, tout en intégrant l'impact de la pédogénèse et de la bioturbation sur les dépôts primaires.

Les deux efforts majeurs à fournir dans le domaine de la restitution de l'évolution des paysages successifs au Fitri pour les années à venir concerneront d'une part la cartographie géomorphologique et la caractérisation sédimentologique (*i.e.* faciès sédimentaires, structures internes et architecture stratigraphique) détaillée des formations de surface à partir de l'imagerie satellite, à partir de l'observation directe sur le terrain et de la prospection géophysique de proche surface (*Ground Penetrating Radar*, résonance magnétique protonique), et d'autre part

l'établissement d'un calendrier précis de mise en place des différents systèmes morphosédimentaires par des méthodes de datations absolues, en particulier la méthode par OSL (*Optically Stimulated Luminescence* ; PREUSSER *et al.*, 2008) parfaitement adaptée à ce contexte (*e.g.* datation des divers types de dunes, des cordons littoraux, des terrasses lacustres).

Les défis à relever seront d'arriver à collaborer avec les autres disciplines qui étudient le lac Fitri afin d'intégrer les diverses échelles spatiales et temporelles d'observation (*i.e.* carottages et imagerie sismique des fonds du lac, variabilité du lac par imagerie satellite), d'aboutir à une étude comparée de l'évolution des lacs Tchad et Fitri afin de mettre en avant les caractéristiques communes et identifier les différences, pour arriver à déconvoluer les forçages liés au climat et ceux liés aux particularités physiographiques des deux bassins. Enfin, une approche multidisciplinaire permettrait de contribuer au développement par une valorisation des connaissances acquises avec un transfert vers des domaines plus applicatifs comme la gestion des ressources en eau (*e.g.* cartographie hydrogéologique).

Cette étude permet de caractériser comment et à quelle vitesse réagissent les systèmes sédimentaires éolofluviolacustres, voire les écosystèmes associés, face aux forçages par le climat, avec des amplitudes et des durées variables. Cette question est fondamentale pour toute étude des environnements et climats du passé. Aujourd'hui, dans le contexte du défi global que représente le changement climatique, elle révèle toute sa modernité et son adéquation avec des questions sociétales. En effet, elle est essentielle pour anticiper le devenir des écosystèmes (*i.e.* résilience et adaptation) les plus sensibles à la variabilité du climat, tels que les zones humides du Sahel, où la pression anthropique va vraisemblablement continuer de s'accroître.

Remerciements

Nous remercions très chaleureusement le programme pluridisciplinaire Gelt, et à travers lui toutes les personnes et organismes tchadiens et français qui l'ont imaginé, qui lui ont donné vie, qui l'ont rendu possible et qui ont contribué à son bon déroulement, depuis les missions sur le terrain jusqu'au colloque de restitution. Nous remercions deux reviewers anonymes pour leur relecture pertinente de ce travail. Mathieu Schuster remercie Jean-François Ghienne et Claude Roquin pour les discussions sans fin. Cet article est une contribution à l'initiative MALaBaR : *Modern and Ancient Lake Basins Research*.

Bibliographie

BARD E., 2013

Out of the African Humid Period. *Science*, 342 : 808-809.

BOUCHETTE F., SCHUSTER M., GHIENNE J.-F., DENAMIEL C., ROQUIN C., MOUSSA A., DURINGER P., 2010

Hydrodynamics in the Holocene Lake Mega-Chad. *Quaternary Research*, 73 : 226-236.

DE MENOAL P. B., TIERNEY J. J., 2012

Green Sahara: African Humid Periods Paced by Earth's Orbital Changes. *Nature Education Knowledge*, 3 (10) : 12.

HARTLEY A. J., WEISSMANN G. S., NICHOLS G. J., WARWICK G. L., 2010

Large Distributive Fluvial Systems: Characteristics, Distribution, and Controls on Development. *Journal of Sedimentary Research*, 80 : 167-183.

LEMOALLE J., 1987

« Lac Fitri ». In : Burgis M. J., Symoens J. J., éd. : *African Wetlands and Shallow Water Bodies. Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique*. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 221, 650 p.

MOUPENG B., 2006

Le lac Fitri : dynamique du système hydrographique quaternaire et actuel (Sahel tchadien). Thèse de doctorat, université de Provence, Avignon, 171 p.

NUTZ A., SCHUSTER M., 2016

Stepwise drying of Lake Turkana at the end of the African Humid Period: A forced regression modulated by solar activity variations? *Solid Earth*, 7 : 1609-1618.

NUTZ A., SCHUSTER M., GHIENNE J.-F., ROQUIN C., BOUCHETTE F., 2018

Wind-driven waterbodies: a new category of lake within an alternative sedimentologically-based lake classification. *Journal of Paleolimnology*, 59 : 189-199.

PAILLOU P., SCHUSTER M., FARR T., TOOTH S., ROSENQVIST A., LOPEZ S., 2009

Mapping of a Major Paleodrainage System in Eastern Libya using Orbital Imaging Radar: The Kufrah River. *Earth and Planetary Science Letters*, 277 : 327-333.

PREUSSER F., DEGERING D., FUCHS M., HILGERS A., KADERIT A., KLASSEN N., KRBETSCHKEK M., RICHTER D., SPENCER J., 2008

Luminescence dating: Basics, methods and applications. *E&G Quaternary Science Journal*, 57 : 95-149.

RAIMOND C., ZAKINET D., MUGELÉ R., KEMSOL NAGORNGAR A., MBAGOGO A., YALIKUN T., BRAHIM BÉCHIR A., MADJIGOTO R., SCHUSTER M., SYLVESTRE F., DESCHAMPS P., 2017

« Les nouveaux enjeux pour le lac Fitri, entre variabilité environnementale, croissance démographique et conflits d'usage ». In : *Livre des résumés étendus du colloque international Recherches croisées sur les écosystèmes lacustres tchadiens*, N'Djamena, Tchad, 25-27 avril 2017, 601 p.

SCHIEFFERS A. M., SCHIEFFERS S. R., KELLETAT D. H., 2012

The Coastlines of the World with Google Earth: Understanding our Environment. Coastal Research Library 2, Springer, Dordrecht, 293 p.

SCHUSTER M., 2002

Sédimentologie et paléocéologie des séries à vertébrés du paléolac Tchad depuis le Miocène supérieur. Thèse de doctorat, université Louis Pasteur de Strasbourg, 152 p.

SCHUSTER M., NUTZ A., 2018

Lacustrine wave-dominated clastic shorelines: modern to ancient littoral landforms and deposits from the Lake Turkana Basin (East African Rift System, Kenya). *Journal of Paleolimnology*, 59 : 221-243.

SCHUSTER M., ROQUIN C., DURAND A., MOUSSA A., GHIENNE J.-F., ALLENBACH B., DURINGER P., BOUCHETTE F., 2014

Shorelines of the Holocene Megalake Chad (Africa, Sahara) investigated with very high resolution satellite imagery (Pléiades): example of the Goz Kerki paleo-spit. *Revue française de photogrammétrie et télédétection*, 208 : 63-68.

SCHUSTER M., ROQUIN C., DURINGER P., BRUNET M., FONTUGNE M., MACKAYE H. T., VIGNAUD P., GHIENNE J.-F., 2005
Highlighting Holocene Lake Mega-Chad

paleoshorelines from space. *Quaternary Science Reviews*, 24 : 1821-1827.

STANISTREET I. G., MCCARTHY T. S., 1993
The Okavango Fan and the classification
of subaerial fan systems. *Sedimentary Geology*,
85 : 115-133.

**YALIKUN T., RAIMOND C.,
KEMSOL NAGORNGAR A., ZAKINET D.,
SCHUSTER M., SYLVESTRE F.**
« Variabilité des crues et des paysages du Fitri
depuis les grandes sécheresses des années 1970-
1980 ». Ce volume.

Schuster M., Sylvestre Florence, Raimond C., Moussa A., Abakar Y., Yalikun T.

Changements environnementaux et climatiques à la période humide africaine Holocène dans le bassin du lac Fitri (Tchad).

In : Raimond C. (ed.), Sylvestre Florence (ed.), Zakinet D. (ed.), Moussa A. (ed.). Le Tchad des lacs : les zones humides sahéliennes au défi du changement global. Marseille : IRD, 2019, p. 39-51.

(Synthèses). ISBN 978-2-7099-2715-4