Chapitre 2

Paléoenvironnements et variations paléohydrologiques du lac Tchad au cours des 12 000 dernières années

Florence Sylvestre, Pierre Deschamps, Adoum Bari Sinine, Remadji Rirongarti, Jean-Charles Mazur, Nicolas Waldmann, Paula do Amaral, Camille Bouchez, Jean-Claude Doumnang

Introduction

L'Afrique subsaharienne, au cours des 20 000 dernières années, a connu une évolution du climat sensiblement différente de celle qu'elle connaît aujourd'hui. En effet, après des conditions extrêmement arides au cours du dernier maximum glaciaire (DMG) il y a 20 000 ans, des conditions plus humides et plus chaudes se sont mises en place pendant la phase de déglaciation et l'Holocène moyen, permettant l'extension des nappes d'eau et de la végétation (Gasse, 2000 ; Hoelzmann *et al.*, 2004). Entre environ 11 000 et 5 000 ans, les sociétés néolithiques évoluent dans un Sahara verdoyant, alimenté par des cours d'eau et des lacs permanents, accompagné par une recharge des aquifères (Kuper et Kröpelin, 2006).

Ces conditions climatiques ont été possibles grâce à une configuration orbitale optimale qui a favorisé la migration vers le nord de la zone de convergence intertropicale, entraînant le front de mousson jusqu'aux latitudes sahariennes (Braconnot *et al.*, 2000). Cette circulation de mousson est renforcée par

l'augmentation de l'insolation d'été sur l'hémisphère Nord, induite par le cycle orbital de précession (Berger et Loutre, 1991).

Toutefois les modèles climatiques montrent que des rétroactions positives sont nécessaires pour rendre compte de l'amplitude des changements observés et notamment de la rapidité du retour aux conditions arides (Claussen *et al.*, 1999). En effet, malgré ce consensus sur la description de l'évolution paléoclimatique au cours de cette période, de nombreuses questions restent encore débattues. La durée, l'intensité et la transition entre ces phases climatiques associées à la réponse des écosystèmes sont très discutées (Bard, 2013). Par exemple, la fin de la période humide et le retour aux conditions arides actuelles il y a 5 000 ans font l'objet de nombreux débats car certains enregistrements montrent une transition extrêmement abrupte (De Menocal *et al.*, 2000), alors que d'autres montrent un passage progressif des conditions humides à la phase aride (Kröpelin *et al.*, 2008). Ces transitions sont d'autant plus discutées qu'elles nous renseignent sur la réponse des écosystèmes aux modifications du climat, notamment dans un contexte de changements des paramètres globaux : l'insolation qui, en Afrique subsaharienne, détermine la position de la zone de convergence intertropicale et du front de mousson, et par conséquent des précipitations.

Dans ce contexte de changements climatiques, le lac Tchad offre l'opportunité de reconstituer l'évolution des paléoenvironnements et du climat. Dans ce lac, ont été obtenues des archives sédimentaires continues couvrant la période humide holocène et la transition vers la période aride actuelle.

Dans cette présentation, nous allons décrire les reconstitutions des paléo-environnements à partir de l'analyse des assemblages de diatomées fossiles. En effet, les diatomées sont reconnues comme d'excellents bio-indicateurs de la variabilité des milieux aquatiques (Battarbee *et al.*, 2001). Elles renseignent sur la variabilité des niveaux lacustres ainsi que sur la chimie de l'eau (*e.g.* salinité) dans laquelle elles se développent. Constituées d'un squelette siliceux, elles se préservent particulièrement bien dans les sédiments, et leur ubiquité à l'échelle de la planète permet de connaître avec précision leurs affinités écologiques. En outre, dans le lac Tchad elles sont reconnues comme le groupe du phytoplancton le plus développé (Lemoalle, 1979).

Sites d'étude

Le lac Tchad est une très vaste étendue d'eau douce, située à la limite entre Sahara et Sahel entre 12° 20'-14° 20' N et 13-15° 20' E à 280 m d'altitude au-dessus du niveau de la mer (fig. 1). Il est constitué de deux cuvettes, l'une au nord, l'autre au sud, séparées par une zone de hauts fonds appelée « la grande

barrière ». Une troisième zone située à l'est, appelée « archipels » correspond à une zone de dunes plus ou moins ennoyées saisonnièrement en fonction des apports en eau reçus par le lac. Reconnu comme le quatrième lac du continent africain, le lac Tchad connaît une très forte variabilité à différentes échelles de temps, saisonnière, annuelle, pluridécennale à millénaire. En effet, au cours des quarante dernières années, il est passé de 25 000 km^2 dans les années 1950-1960 à moins de 2 500 km^2 à la fin des années 1980 pour revenir à une superficie de plus de 10 000 km^2 depuis le début des années 2000 (Lemoalle et Magrin, 2014).

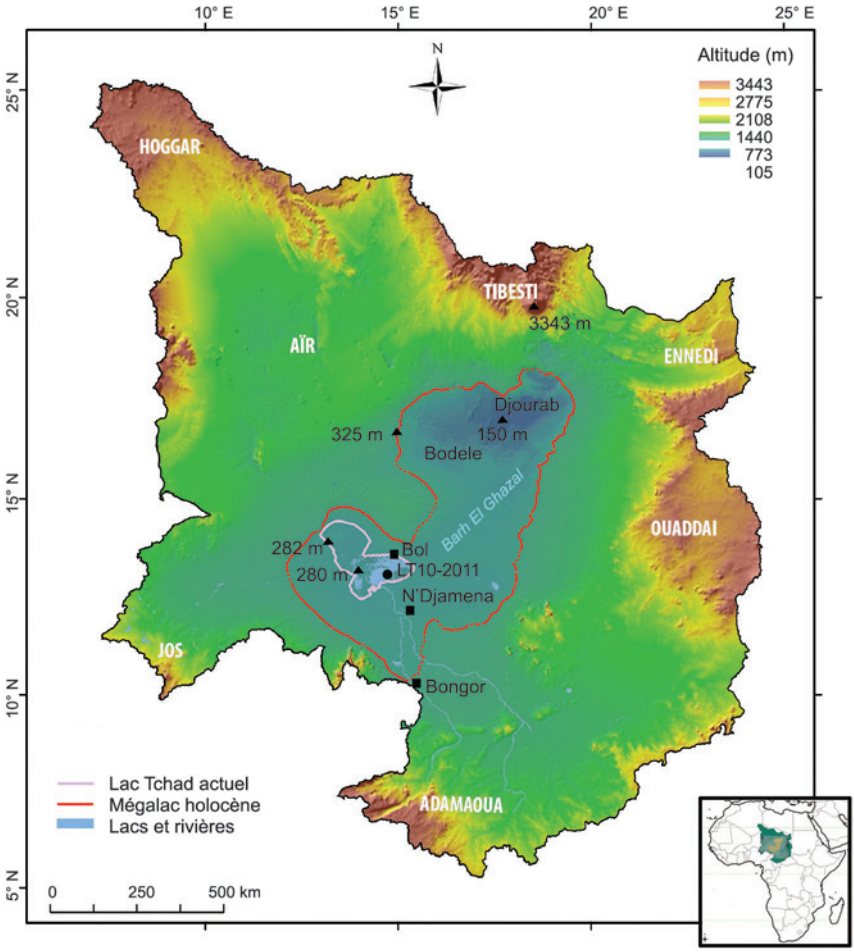

Figure 1

Bassin versant du lac Tchad et localisation de la carotte LT10-2011.
Le trait rouge correspond à l'extension maximale du lac Tchad pendant l'Holocène moyen ;
le trait rose délimite la position moyenne du lac Tchad actuel.

Source : USGS. Figure réalisée avec la MNT GTopo 3 et les données Hydro1k.

Son bassin versant couvre une superficie de 2 400 000 km^2, représentant 8 % du continent africain. Les parties hydrologiques actives aujourd'hui sont, au sud, le bassin du Chari (610 000 km^2) avec son affluent principal le Logone, à l'ouest le bassin de la Komadougou Yobé (174 000 km^2), auxquels s'ajoutent les petits bassins de l'El Beïd, du Yedseram et Ngadda au Nigeria (environ 30 000 km^2). L'alimentation en eau de surface est assurée à 85 % par le fleuve Chari, le reste des apports provenant des tributaires secondaires et des précipitations reçues directement à la surface du lac (Olivry *et al.*, 1996). Sa superficie et son niveau résultent principalement de la pluie sur le bassin du Chari. Lorsque la pluie diminue de 10 % sur ce bassin, le débit du fleuve varie de 30 %, ce qui induit une variation proportionnelle de la superficie du lac (Lemoalle *et al.*, 2012). Les pertes en eau du lac se font essentiellement par évaporation, estimée en moyenne à 2 m par an et par infiltration estimée à 300 mm par an (Bouchez *et al.*, 2016).

Matériel

Une carotte sédimentaire a été réalisée dans le lac Tchad en 2011 à l'aide d'un carottier Wright installé sur une barge ancrée sur deux bateaux (photo 1). La carotte LT10-2011 a été prélevée dans la cuvette sud du lac (fig. 1). Elle mesure 5,81 m de long et présente une lithologie relativement homogène composée d'argiles et de limons sur la totalité de sa longueur, à l'exception de sa base qui est constituée de sables fins. En effet, cette carotte atteint un niveau de sables correspondant à un ancien champ de dunes recouvert par les sédiments lacustres holocène, identifiés grâce à une campagne d'acquisition sismique opérée en même temps que le prélèvement de la carotte LT10-2011.

Méthodes

L'enregistrement sédimentaire obtenu a fait l'objet de datations par le radiocarbone pour établir sa chronologie absolue. Treize datations sur matière organique totale ont été réalisées sur la carotte LT10-2011. Seule une datation à la base du sondage a été réalisée sur des microcharbons extraits à partir du sédiment.

Toutes les datations sont exprimées en âge calendaire (ans cal BP), converti *via* le logiciel *Calib 6.0* (Reimer *et al.*, 2004). Le modèle d'âge à partir d'interpolation linéaire a été réalisé à l'aide du logiciel *R*.

Photo 1
Photographie illustrant l'opération de carottage de LT10-2011 dans le lac Tchad en 2011.
© Camille Bouchez.

La carotte LT10-2011 a fait l'objet de nombreuses analyses sédimentologiques, géochimiques, palynologiques (Amaral *et al.*, 2013). Nous présentons ici uniquement les résultats obtenus à partir de l'étude des diatomées fossiles contenues dans les sédiments.

Les diatomées fossiles ont été analysées dans 36 échantillons à partir de 0,5 à 1 gr de sédiment. L'extraction des diatomées a été réalisée avec la méthode classiquement utilisée qui consiste à extraire uniquement le contenu siliceux du sédiment par des traitements chimiques (30 % H_2O_2, 10 % HCl) et physiques (séparation des phases sédimentaires par décantation en colonne) (Battarbee *et al.*, 2001). À partir du résidu siliceux contenant les diatomées, un montage entre lame et lamelle est réalisé pour son observation en microscopie optique photonique (Nikon Eclipse *80i*, grossissement 1 000 x avec interférentiel Nomarski, n.a. = 1,32). L'unité de comptage étant la valve de diatomées, un minimum de 500 valves est déterminé par échantillon. Les déterminations taxonomiques sont réalisées à partir d'un grand nombre d'ouvrages, dont les plus consultés sont Servant-Vildary (1978) et Gasse (1986). La systématique utilisée repose sur celle établie par Krammer et Lange-Bertalot (1986, 1988, 1989, 1991). Toutefois des synonymies ont été introduites sur la base de la révision de la taxonomie introduite par Round *et al*. (1990).

L'interprétation écologique des diatomées est basée d'une part sur la connaissance de l'autoécologie de chaque espèce à partir de la littérature, et d'autre part sur un référentiel actuel composé d'observations réalisées sur les lacs tchadiens (Rirongarti et Sylvestre, données non publiées ; Rirongarti, 2014) et africains (Gasse *et al.*, 1995).

Les résultats des comptages sont exprimés en abondance relative (% du total de valves comptées). Une extraction des espèces dominantes composant les assemblages a été réalisée à partir d'analyses statistiques multivariées (analyse factorielle par correspondance, classification hiérarchique) à l'aide du logiciel *XLStat 2012*.

Résultats

Les 13 datations par radiocarbone obtenues sur la carotte LT10-2011 montrent une cohérence stratigraphique de la base jusqu'à 236 cm. Les âges obtenus sur les premiers 236 cm indiquent une remobilisation des sédiments. Ces phénomènes syn- ou post-sédimentaires s'observent très fréquemment dans les grands lacs lorsqu'ils atteignent une profondeur relativement faible et sont soumis à un régime de vent fréquent (Verschuren, 1999), comme c'est le cas pour le lac Tchad (Olivry *et al.*, 1996). De plus, après 5 000 ans cal BP, le lac Tchad a connu de nombreuses phases d'assèchement (Servant et Servant-Vildary, 1980), ce qui a pu également conduire à des hiatus dans la sédimentation. Par conséquent, nous présentons les résultats entre 236 cm – datés à 4 700 ans cal BP – et la base de la carotte datée à 11 900 ans cal BP.

Cinquante espèces de diatomées réparties en 23 genres ont été identifiées dans la carotte. Les assemblages de diatomées sont caractérisés par des espèces benthiques indicatrices de bas niveaux lacustres, des espèces planctoniques caractérisant à l'inverse de hauts niveaux du lac et/ou des surfaces d'eau libres, et des formes tychoplanctoniques qui vont marquer des phases de plus grande variabilité du niveau lacustre, notamment pendant des phases de transgression et/ou de régression. De plus, la détermination des espèces de diatomées dans la carotte LT10-2011 montre une remarquable stabilité au niveau des conditions de salinité du lac. Toutes les espèces sont indicatrices de milieu d'eau douce.

La figure 2 montre la succession des diatomées fossiles dominantes en fonction du temps. La base de l'enregistrement est dominée par des espèces benthiques. Très rapidement, elles sont remplacées par des espèces tychoplanctoniques, dominées par *Fragilaria construens* à 90 %. À partir de 10 800 ans cal BP, ces espèces sont remplacées par des formes planctoniques du genre *Aulacoseira* qui domine les assemblages jusqu'à 5 000 ans cal BP. Toutefois à partir de 8 000 ans cal BP, on observe une augmentation de l'espèce *Pantoscekiella ocellata* jusqu'à

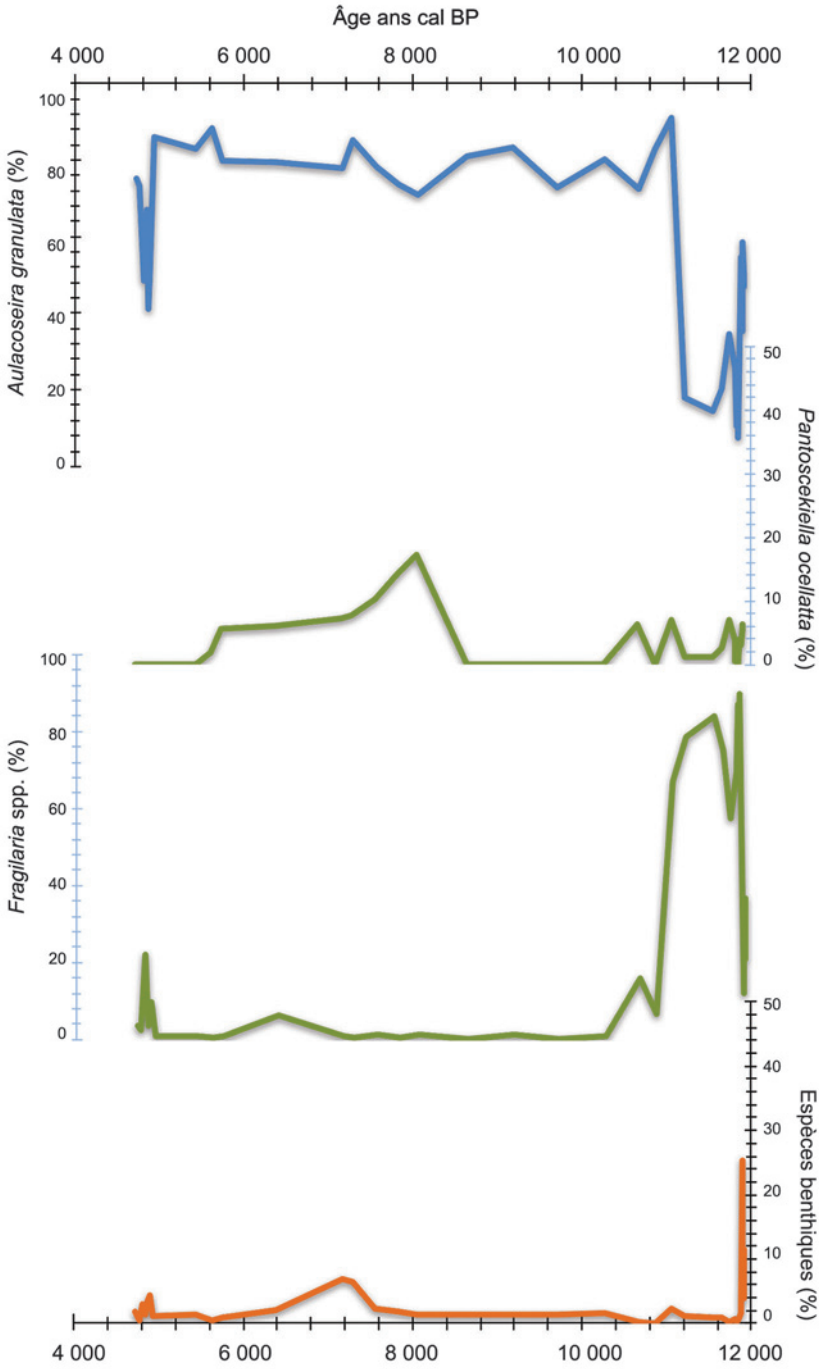

Figure 2

Abondance relative (%) des espèces dominantes de diatomées composant les assemblages fossiles dans le lac Tchad.

5 700 ans cal BP associée à des formes benthiques. À partir de 4 800 ans cal BP, les espèces du genre *Aulacoseira* diminuent et sont associées à des espèces benthiques et tychoplanctoniques.

Reconstitution des paléoenvironnements lacustres

Après une phase extrêmement aride enregistrée au cours du DMG et de la dernière déglaciation, la carotte LT10-2011 montre que le lac Tchad s'est remis en eau à partir de 11 900 ans cal BP. Les assemblages de diatomées, dominés par des espèces benthiques indiquent une phase de bas niveau à la base de la carotte correspondant à la remise en eau du lac. Très rapidement, les apports en eau se sont intensifiés, indiqués par la dominance d'espèces tychoplanctoniques d'eau douce suggérant une reprise des apports en provenance du Chari-Logone. Ces apports se sont poursuivis jusqu'à 10 800 ans cal BP, date à partir de laquelle les assemblages de diatomées montrent que le lac a dû atteindre un stade de haut niveau lacustre relativement stable, permettant ainsi le développement des espèces planctoniques du genre *Aulacoseira*. Toutefois, à partir de 8 000 ans cal BP, *Pantoscekiella ocellata*, indicatrice d'une plus forte variabilité du plan d'eau et de faible profondeur, souvent associée à de la végétation (*e.g.* phragmites ; Servant-Vildary, 1978) apparaît dans les assemblages. Elle est suivie par une augmentation des espèces benthiques à 7 000 ans cal BP et de la présence des diatomées tychoplanctoniques à 6 300 ans cal BP. À partir de 5 700 ans cal BP, un plan d'eau relativement stable s'est à nouveau installé, avant de connaître une diminution plus marquée à partir de 4 800 ans cal BP.

Implications paléoclimatiques

Cette reconstruction montre une remise en eau du lac dès la fin de la dernière déglaciation, immédiatement après l'épisode froid du Younger Dryas (12 500-11 900 ans cal BP), qui semble être caractérisé en Afrique subsaharienne par une période de sécheresse (Gasse, 2000). D'après cet enregistrement, il ne semble pas que le lac ait enregistré une remise en eau antérieure, par exemple au cours du Bölling-Alleröd (14 700-12 700 ans cal BP), comme cela est observé dans d'autres sites (De Menocal *et al.*, 2000 ; Gasse, 2000 ; Lézine *et al.*, 2011). Cet enregistrement montre également que les apports en eau ont été très importants entre 12 000 et 10 800 ans cal BP. Il est généralement admis que le

développement des conditions humides au début de l'Holocène en Afrique subsaharienne a été possible grâce à une configuration orbitale optimale dès la fin de la dernière déglaciation (Braconnot *et al.*, 2007). Ces conditions ont permis une augmentation des températures sur les latitudes tropicales, favorisant une progression vers le nord de la zone de convergence intertropicale sur le continent, entraînant ainsi une pénétration de la mousson. De plus, cette progression de la mousson a été favorisée par un gradient de température entre le continent et l'océan et des effets rétroactifs entre l'état de surface continentale et l'atmosphère (Claussen *et al.*, 2006). Ces conditions optimales se sont traduites par une augmentation des précipitations à l'échelle de l'Afrique subsaharienne qui ont conduit à une élévation des nappes d'eau comme l'atteste l'enregistrement sédimentaire du lac Tchad à partir de 11 900 ans cal BP. La phase de plus hauts niveaux lacustres semble atteinte à partir de 10 800 ans cal BP et serait restée stable jusqu'à 5 000 ans cal BP, en accord avec les données sur la partie Nord du bassin du lac Tchad (Armitage *et al.*, 2015) et de l'ensemble de l'Afrique subsaharienne (Lézine *et al.*, 2011). Pendant cette phase, le lac Tchad aurait atteint sa phase d'extension maximale, appelé ainsi « Mégalac » avec une superficie de 350 000 km^2 (Schuster *et al.*, 2005).

Toutefois, il semblerait que la fin de la période humide holocène dans le lac Tchad ait débuté plus tôt que généralement admis. En effet, on date la fin de cette période vers 5 000 ans cal BP (De Menocal *et al.*, 2000) alors que le lac semble amorcer une diminution de son niveau dès 8 000 ans cal BP, indiquée par la présence d'espèces benthiques et tychoplanctoniques. Cette phase de diminution des niveaux lacustres s'accélère dès 4 900 ans cal BP. Une diminution progressive du niveau du lac Tchad a déjà été mise en évidence par des données polliniques réalisées sur un carottage voisin de celui présenté dans cette étude (Amaral *et al.*, 2013). Les grains de pollen ainsi qu'une reconstitution des précipitations à partir de ces données ont montré qu'une mise en place progressive des conditions arides a débuté dès 6 700 ans cal BP.

Conclusion

Les diatomées fossiles préservées dans les sédiments du lac Tchad mettent en évidence les grandes phases de l'histoire hydrologique de l'Afrique subsaharienne à partir de la dernière déglaciation et jusqu'à l'Holocène moyen. Ces données originales contribuent à préciser leur chronologie, en mettant notamment en évidence que la fin de la période humide en Afrique subsaharienne a certainement été amorcée plus précocement vers 8 000 ans cal BP et de manière progressive. Après 5 000 ans cal BP, les environnements lacustres semblent avoir évolué plus rapidement vers des conditions de plus forte aridité.

Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre des accords de coopération entre l'université de N'Djamena, Aix-Marseille Université et l'IRD et de la convention de recherche entre le Centre national de recherche et de développement tchadien (CNRD) et l'IRD. Nous remercions l'IRD pour son soutien dans le cadre du projet « Lac Tchad ». Nous remercions le CNRD et l'université de N'Djamena pour leur aide logistique au cours des missions de terrain sur le lac Tchad. Nous remercions également le Cerege pour son appui pour la partie analytique.

Bibliographie

Amaral P. G. C., Vincens A., Guiot J., Buchet G., Deschamps P., Doumnang J. C., Sylvestre F., 2013
Palynological evidence for gradual vegetation and climate changes during the African humid period termination at 13 degrees N from a Mega-Lake Chad sedimentary sequence. *Climate of the Past*, 9 : 223-241.

Armitage S., Bristow C., Drake N., 2015
West African monsoon dynamics inferred from abrupt fluctuations of Lake Mega-Chad. *PNAS* 112 : 8543-8548.

Battarbee R. W., Jones V. J., Flower R. J., Cameron N. G., Bennion H., 2001
« Diatoms ». *In* : Smol J. P. *et al.*, éd. : *Tracking Environmental Change using Lake Sediments*, The Netherlands, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers : 155-202.

Bard E., 2013
Out of the African Humid Period. *Science*, 342 : 808-809.

Berger A., Loutre M.-F., 1991
Insolation values for the climate of the last 10 millions of years. *Quaternary Science Reviews*, 10 : 297-317.

Bouchez C., Goncalves J., Deschamps P., Vallet-Coulomb C., Hamelin B., Doumnang J. C., Sylvestre F., 2016
Hydrological, Chemical, and Isotopic Budgets of Lake Chad: A Quantitative Assessment of Evaporation, Transpiration and Infiltration Fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences.* 20 (4) : 1599-1619. https://doi.org/10.5194/hess-20-1599-2016.

Braconnot P., Marti O., Joussaume S., Leclainche Y., 2000
Ocean Feedback in Response to 6 Kyr BP Insolation, *Journal of Climate*, 13 : 1537-1553.

Braconnot P., Otto-Bliesner B., Harrison S., Joussaume S., Peterchmitt J.-Y., Abe-Ouchi A., Crucifix M., Driesschaert E., Fichefet Th., Hewitt C. D., Kageyama M., Kitoh A., Loutre M.-F., Marti O., Merkel U., Ramstein G., Valdes P., Weber L., Yu Y., Zhao Y., 2007
Results of PMIP2 coupled simulations of the Mid-Holocene and Last Glacial Maximum. Part 1: experiments and large scale features. *Climate of the Past*, 3 : 261-277.

Claussen M., Kubatzki C., Brovkin V., Ganopolski A., Hoelzmann P., Pachur H. J., 1999
Simulation of an abrupt change in Saharan vegetation in the mid-Holocene. *Geophysical Research Letters*, 26 : 2037-2040.

Claussen M., Fohlmeister J., Ganopolski A., Brovkin V., 2006
Vegetation dynamics amplifies precessional forcing. *Geophysical Research Letters*, 33 : L09709, 1-4.

De Menocal P., Ortiz J., Guilderson T., Adkins J., Sarnthein M., Baker L., Yarusinsky M., 2000
Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews*, 19 : 347-36.

Gasse F., 1986
East African diatoms: taxonomy and ecological distribution. Bibliotheca Diatomologica, Band 11. Cramer, Stuttgart, 201 p.

Gasse F., 2000
Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19 : 189-211.

Gasse F., Juggins S., Ben Khelifa L., 1995
Diatom-based transfer functions for inferring past hydrochemical characteristics of African lakes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 117 : 31-54.

Hoelzmann P., Gasse F., Dupont L. M., Salzmann U., Staubwasser M., Leuchner D. C., Sirocko F., 2004
Palaeoenvironmental changes in the arid and subarid belt (Sahara-Sahel-Arabian Peninsula) from 150 ka to present. *In* : Battarbee R. W. *et al.*, éd. : *Past Climate through Europe and Africa*, Dordrecht, Springer, 219-256.

Kröpelin S., Verschuren D., Lézine A.-M., Eggermont H., Cocquyt C., Francus P., Cazet J.-P., Fagot M., Rumes B., Russell J. M., Conley D. J., Schuster M., Von Suchodoletz H., Engstrom D. R., 2008
Climate-driven ecosystem succession in the Sahara: the last 6 000 years. *Science*, 320 : 765-768.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1986
Susswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. Gustav Fischer Verlag, Jena. 876 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1988
Susswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer Verlag, Jena. 596 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1989
Achnanthes. Eine monographie der Gattung. Cramer J., Berlin-Stuttgart, 393 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991
Susswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer Verlag, Jena. 576 p.

Kuper R., Kröpelin S., 2006
Climate-Controlled Holocene Occupation in the Sahara: Motor of Africa's Evolution. *Science*, 313 : 803-807.

Lemoalle J., 1979
Biomasse et production phytoplanctoniques du lac Tchad (1968-1976). Relations avec les conditions de milieu. Thèse de doctorat, université Paris 6, 287 p.

Lemoalle J., Bader J.-C., Leblanc M., Sedick A., 2012
Recent changes in Lake Chad: Observations, simulations and management options (1973-2011). *Global and Planetary Change*, 80-81 : 247-254.

Lemoalle J., Magrin G., dir., 2014
Le développement du lac Tchad : situation actuelle et futurs possibles. CBLT, N'Djamena, Marseille, Expertise collégiale IRD, AFD-FFEM, rapport de synthèse, 67 p. + traduction anglaise et contributions intégrales des experts (CD, 20 chapitres, 620 p.).

Lézine A.-M., Hély C., Grenier C., Braconnot P., Krinner G., 2011
Sahara and Sahel vulnerability to climate changes, lessons from Holocene hydrological data. *Quaternary Science Review*, 30 : 3001-3012.

Olivry J.-C., Chouret A., Vuillaume G., Lemoalle J., Bricquet J.-P., 1996
Hydrologie du lac Tchad. Paris, Orstom éditions, 265 p.

Reimer P. J., Baillie M. G. L., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Bertrand C. J. H., Blackwell P. G., Buck C. E., Burr G. S., Cutler K. B., Damon P. E., Edwards R. L., Fairbanks R. G., Friedrich M., Guilderson T. P., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., McCormac G., Manning S., Ramsey C. B., Reimer R. W., Remmele S., Southon J. R., Stuiver M., Talamo S., Taylor F. W., Van Der Plicht J., Weyhenmeyer C. E., 2004
IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46 : 1029-1058.

Rirongarti R., 2014
Étude de la dynamique algaire dans le lac Tchad : le cas des diatomées. Mémoire de master 2, université de N'Gaoundéré, Cameroun, 30 p.

Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G., 1990
The Diatoms, Biology & Morphology of the genera. Cambridge University Press, 747 p.

Schuster M., Roquin C., Duringer P., Brunet M., Caugy M., Fontugne M., Mackaye Taïsso H., Vignaud P., Ghienne J. F., 2005
Holocene Lake Mega-Chad palaeoshorelines from space. *Quaternary Science Review*, 24 : 1821-1827.

Servant M., Servant-Vildary S., 1980
L'environnement quaternaire du bassin du Tchad. *In :* Williams M. A. J., Faure H., éd. : *The Sahara and the Nile. Quaternary Environments and prehistoric occupation in northern Africa*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, p. 113-162.

Servant-Vildary S., 1978
Étude des diatomées et paléolimnologie du bassin tchadien au Cénozoïque supérieur. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 84, 346 p.

Verschuren D., 1999
Sedimentation controls on the preservation and time resolution of climate-proxy records from shallow fluctuating lakes. *Quaternary Science Reviews*, 18 : 821-837.

Sylvestre Florence, Deschamps Pierre, Sinine A.B., Rirongarti R., Mazur J.C., Waldmann N., Do Amaral P., Bouchez C., Doumnang J.C.

Paléoenvironnements et variations paléohydrologiques du lac Tchad au cours des 12000 dernières années.

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. 53-64.

(Synthèses). ISBN 978-2-7099-2715-4