



HAL
open science

Apport de la matière organique dans l'étude de la dynamique sédimentaire lacustre en zone sahélienne (exemples de deux complexes limniques, SW Niger)

R. Mabicka Obame, Yoann Copard, David Sebag, Mohammed Boussafir, V. Bichet, Z. Garba, Christophe Petit, J.L. Rajot, Christian Di Giovanni, Elisabeth Lallier-Vergès, et al.

► To cite this version:

R. Mabicka Obame, Yoann Copard, David Sebag, Mohammed Boussafir, V. Bichet, et al.. Apport de la matière organique dans l'étude de la dynamique sédimentaire lacustre en zone sahélienne (exemples de deux complexes limniques, SW Niger). Pangea infos, 2010, 47-48, pp.47-52. hal-00925350

HAL Id: hal-00925350

<https://hal.science/hal-00925350>

Submitted on 31 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



ISSN 0760-1751

PANGAEA

N° 47/48 – Juin/Décembre 2010

CENTRE INTERNATIONAL POUR LA FORMATION ET LES ECHANGES EN GEOSCIENCES

INTERNATIONAL CENTER FOR TRAINING AND EXCHANGES IN THE GEOSCIENCES

Volume spécial :

Géosciences & Développement

IMPACTS DE L'HOMME ET DU CLIMAT SUR LES MILIEUX SAHELIENS

Editeurs scientifiques : Zibo GARBA, Benjamin NGOUNOU NGATCHA, David SEBAG, Alain DURAND

APPORT DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE LACUSTRE EN ZONE SAHELIENNE (EXEMPLE DE DEUX COMPLEXES LIMNIQUES, SW NIGER)

Rolf MABICKA OBAME¹, Yoann COPARD¹, David SEBAG¹, Mohammed BOUSSAFIR², Vincent BICHET³, Zibo GARBA⁴, Christophe PETIT⁵, Jean-Louis RAJOT⁶, Christian DI-GIOVANNI², Elisabeth LALLIER-VERGES², Alain DURAND¹

1- Université de Rouen, Laboratoire M2C, UMR 6143 CNRS, 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France

2- Université d'Orléans, Laboratoire ISTO, UMR 6113 CNRS, 45000 Orléans, Cedex, France

3- Université de Franche-Comté, Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS, Besançon, France

4- Université Abdou Moumouni, Département des Sciences de la Terre, Niamey, Niger

5- Université de Bourgogne, Laboratoire ARTeHis, UMR 5594 CNRS, Dijon, France

6- IRD, Laboratoire BIOEMCO, UMR 211, Niamey, Niger

correspondant : rolf.mabickaobame@etu.univ-rouen.fr

RESUME

Le remplissage sédimentaire des mares de Bangou-Bi et de Tankalawal (SW Niger) a fait l'objet d'une étude de son contenu organique qui fournit des informations sur l'origine et les conditions de dépôt du matériel sédimentaire. Deux carottes mesurant respectivement 140 cm (carotte BB2) et 60 cm (carotte TK1) ont été étudiées. Les échantillons ont été soumis à une pyrolyse Rock-Eval 6 renseignant sur la géochimie globale de la Matière Organique (MO) et le signal S2 de la pyrolyse a été exploité afin de mieux préciser la nature de ces MO. Le niveau argilo-limoneux de la carotte BB2 contient une MO aquatique et terrestre dont la composition en composés hydrocarbonés se répartit entre les biopolymères (F1+F2), et les géopolymères matures (F3) et immatures (F4). Cette MO serait déposée dans un environnement calme. En revanche le niveau inférieur sableux renferme une MO terrestre très altérée et enrichie en géopolymères matures qui serait amenée par des pulses détritiques grossiers (colluvionnement) issus du bassin versant. Les valeurs des paramètres géochimiques et leur évolution avec la profondeur indiquent que la MO de la carotte TK1 est aquatique et a enregistré une dégradation en milieu anoxique. Cette MO contenant majoritairement des géopolymères matures (F4) riches en lipides se révèle étonnamment plus résistante face à l'altération que celle présente dans la carotte BB2.

MOTS-CLES : Sahel ; Niger ; matière organique ; sédiment ; pyrolyse RE6 ; dynamique sédimentaire récente.

Organic matter contribution for the study of the lacustrine sedimentary dynamics in the Sahelian zone (example of two limnic complexes, SW Niger)

ABSTRACT

Sedimentary Organic Matter in Bangou-Bi and Tankalawal permanent pools (SW Niger) was examined in order to precise the origin and the environment deposits of sedimentary filling. Two cores measuring respectively 140cm (core BB2) and 60cm (core TK1) were studied and samples were analysed by Rock-Eval 6 pyrolysis. This analysis provides the bulk geochemical composition of OM and we particularly focus on the S2 signal delivered during pyrolysis stage with the aim to precise the nature of OM. OM from the loamy-clayey unit of BB2 core is inherited from aquatic and terrestrial sources and would deposit in a calm environment and is constituted of biopolymers (F1+F2) and immature (F3) and mature (F4) geopolymers. OM from the sandy unit is rather strongly weathered, rich in mature geopolymers, and would be carried by detrital pulses (colluvion) from the catchment. RE6 pyrolysis values and their evolution with depth indicate that the OM from TK1 is mainly aquatic and was subjected to an anoxic degradation. However, and due to a significant contribution of mature geopolymers to the S2 signal, this lipid-rich OM is surprisingly more resistant towards weathering than that of BB2.

KEY-WORDS : Sahel ; Niger ; organic matter ; RE6 pyrolysis; recent lacustrine sedimentary dynamics

Introduction

En Afrique de l'Ouest, et en particulier en zone sahélienne, les modifications des propriétés des sols induites par le Changement Global et la pression anthropique ont provoqué notamment (1) une modification du bilan hydrique et la formation de mares pérennes dans les bas-fonds (Favereau *et al.*, 2000) et (2) une intensification des processus érosifs liés à la dynamique éolienne (Hassane *et al.*, ce volume) et au ruissellement. La combinaison de ces phénomènes a conduit au comblement progressif des plans d'eau nouvellement formés et à la formation d'enregistrements sédimentaires plus ou moins continus (Guillon *et al.*, 2008 ; Abdourhamane Touré *et al.*, 2009). Or, dans la perspective d'un Changement Global qui tend à s'amplifier, analyser la vulnérabilité de ces environnements face aux fluctuations climatiques et aux activités humaines est devenu un enjeu majeur.

Dans la région de Niamey (SW Niger), plusieurs complexes limniques ainsi formés font l'objet d'une étude pluridisciplinaire (programme CORUS-2 6116) dans le but d'analyser la réponse des bassins versants face aux changements environnementaux qui ont marqué les paysages sahéliens au cours des 50 dernières années. Si l'étude de la fraction minérale permet d'analyser et de quantifier les flux détritiques (Abdourhamane Touré *et al.*, ce volume), celle de la fraction organique peut permettre d'appréhender l'impact des changements environnementaux sur la MO lacustre (productivité aquatique, Meyers et Lallier-Verges, 1999 ; Noël *et al.*, 2001), sur la MO terrestre (flux terrigènes ; Di Giovanni *et al.*, 1999a) et sur la diagenèse de la MO sédimentaire (évolution des conditions hydrologiques ; Sifeddine *et al.*, 1994 ; Sebag *et al.*, 2006a). Dans cette étude préliminaire nous proposons d'utiliser la MO comme marqueur des changements environnementaux ayant affecté les complexes limniques de Saga Gourou et de Tankalawal. Les résultats concernant l'origine et la qualité de la matière organique sont discutés en termes de source et de processus de dégradation.

1. SITES ETUDIÉS ET MATERIEL

Les sites d'étude (fig. 1) situés au SW du Niger appartiennent à la zone climatique BSh (climat semi-désertique chaud ; Peel *et al.*, 2007) ou zone climatique sahélienne. La pluviométrie enregistrée à la station proche de Niamey (fig. 1) est passée d'une moyenne de 652 mm.an⁻¹ entre 1950 et 1969

à une moyenne de 518 mm.an⁻¹ entre 1970 et 2008. Les bassins versants étudiés se composent de vastes plateaux latéritiques, de vallées ensablées et de zones de bas-fonds qui drainent les réseaux d'écoulement temporaires ("koris"). Ces dépressions sont donc périodiquement inondées et sont parfois occupées par des mares pérennes. Le substrat géologique est formé de roches filoniennes et de formations volcano-sédimentaires précambriennes recouvertes de formations détritiques tertiaires. Sur les plateaux, les sols sont des lithosols recouverts d'une couverture sableuse souvent cultivée. Les talus et les vallées sèches abritent des sols ferrugineux peu lessivés, voire des cuirasses ferrugineuses, tandis que les dépressions inondées abritent des vertisols et des sols hydromorphes (Gavaud, 1977). Les formations végétales sont définies en fonction de leur position topographique ou de leur affinité hydro-pédologique.

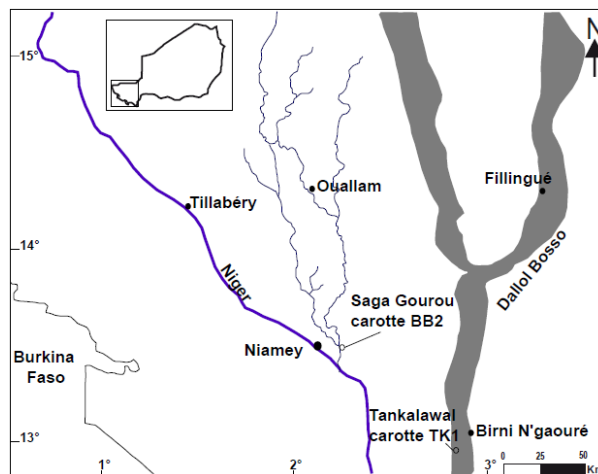


Figure 1 : situation géographique des deux sites étudiés (d'après Guillon *et al.*, 2008, modifié).

1.1. COMPLEXE LIMNIQUE DE SAGA GOUROU, LA MARE DE BANGOU-BI

Le complexe de Saga Gourou est situé à 5 km à l'Est de Niamey. Il regroupe plusieurs mares actuelles et quelques mares fossiles situées dans un réseau de koris (fig. 1). La mare de Bangou-Bi (N13°30'31'' - E2°12'30'') est la plus grande des mares actuelles et est alimentée par deux koris drainant un bassin versant d'une superficie de 25 km². L'épaisseur de la tranche d'eau, varie entre 1 et 2m en fonction des fluctuations saisonnières du niveau piézométrique (Favereau *et al.*, 2000). Une carotte (BB2) longue de 140 cm, prélevée au centre de la mare en janvier 2008, a été stockée dans un premier temps à Niamey à une température ambiante (20-25°C) avant d'être expédiée à l'université de Besançon. Du sommet à la base, les

faciès sont d'abord limoneux (00-25 cm) puis argileux (25-65 cm) et enfin sableux (65-140 cm). Les niveaux sableux et argileux montrent des laminations très fines (fig. 2). L'échantillonnage a été réalisé tous les 10 cm.

1.2. COMPLEXE LIMNIQUE DU DALLOL BOSSO, LA MARE DE TANKALAWAL

Le Dallol Bosso est une large vallée considérée comme un affluent fossile du Niger (fig. 1). Dans cette vallée ensablée, un bassin versant d'une superficie de 20 km² alimente la mare permanente de Tankalawal (N13°03'19,3'' - E2°51'46,1'') colmatée par de l'argile (Favreau *et al.*, 2000). L'épaisseur de la tranche d'eau, varie entre 3 et 5 m entre l'étiage et la crue. Une carotte (TK1) longue de 45 cm a été conservée dans les mêmes conditions que la carotte BB2. Elle est essentiellement constituée d'argile très sombre et l'échantillonnage été réalisé tous les 5 cm.

2. LA PYROLYSE ROCK-EVAL 6

Initialement développée pour la prospection pétrolière (Espitalié *et al.*, 1985), la pyrolyse Rock Eval (Py RE) est désormais souvent utilisée pour l'étude de la MO des sédiments, des sols et des matières en suspension (Di-Giovanni *et al.*, 1999b ; Disnar *et al.*, 2003 ; Copard *et al.*, 2006 ;

Sebag *et al.*, 2006b). Cette technique délivre des paramètres géochimiques globaux (Lafargue *et al.*, 1998) comme le Carbone Organique Total (COT, % poids) ; le S₂ (mg d'hydrocarbures /g roche) correspondant à la quantité de composés hydrocarbonés (HC) libérés au cours de la pyrolyse; l'Indice d'Hydrogène (IH, mg d'hydrocarbures /g COT), et l'Indice d'Oxygène (IO, mg O₂ /g COT) représentant la quantité d'oxygène libérée au cours de la pyrolyse. Ces deux derniers paramètres renseignent respectivement sur le degré d'hydrogénation et d'oxygénation de la MO et peuvent être comparés aux rapports atomiques H/C et O/C. Enfin, le Tmax (°C) correspond à la température de pyrolyse à laquelle est libérée la quantité maximale de composés hydrocarbonés.

De récents développements basés sur l'analyse approfondie des signaux S2 ont permis d'identifier plusieurs pools de constituants organiques dont les contributions diffèrent à l'échelle des profils : "biopolymères" dans les litières et les organismes, "géopolymères" dans les couches humifères et les tourbes, "MO réfractaires" dans les couches minérales, les altérites et les sédiments. Dans cette étude, la méthode de déconvolution réalisée sous PeakFit des signaux a été empruntée à Sebag *et al.*, (2006b).

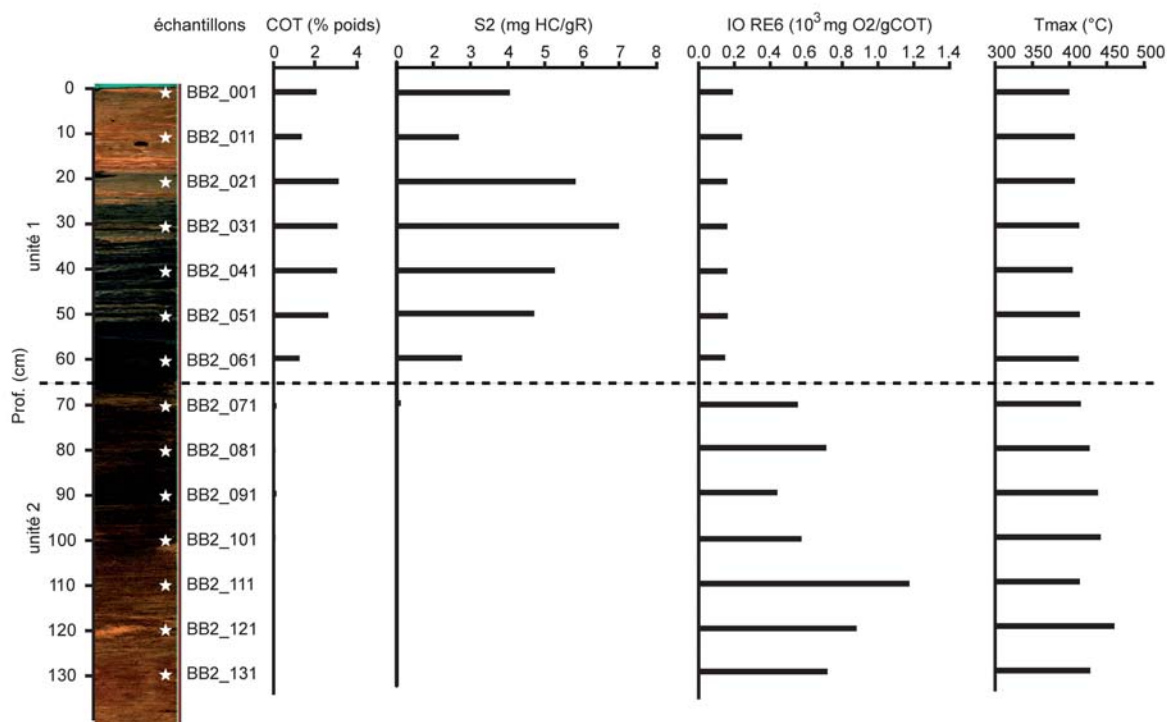


Figure 2 : carotte BB2 : variations des paramètres usuels de la pyrolyse Rock-Eval 6 avec la profondeur.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'analyse par pyrolyse Rock-Eval révèlent que la MO sédimentaire est différente selon les mares : très hétérogène dans la carotte BB2, elle demeure homogène dans la carotte TK1.

3.1. CAROTTE BB2

Pour les échantillons provenant de la carotte BB2, les analyses géochimiques globales mettent en évidence deux unités distinctes qui diffèrent par la qualité et la quantité de MO (fig. 2). Ainsi, la MO de l'unité 1 est peu abondante ($1,0 < \text{COT} < 3,6\%$), pauvre en composés hydrogénés (S2 entre 1 et 4,83 mg HC/g roche) et riche en composés oxygénés (IO entre 190 et 500 mg O₂/g COT). Avec un COT systématiquement inférieur à 0,5%, l'unité 2 est quasi-dépourvue de MO et l'exploitation de ses paramètres doit être sujet à caution. Cette MO est toutefois caractérisée par de très faibles valeurs du S2 (<0,2 mg HC/g roche) mais aussi, et surtout, par de très forts IO (jusqu'à 720 mg O₂/g COT). Dans l'ensemble, l'évolution de ces paramètres avec la profondeur montre une diminution du COT et de l'IH et une augmentation de l'IO et du Tmax. D'après la figure 3 renseignant sur l'origine de la MO (Espitalié *et al.*, 1985), la MO présente dans l'unité 1 se positionne entre le type II (aquatique) et III (terrestre) ce qui s'explique par une origine mixte terrestre et aquatique (Noël *et al.*, 2001). En revanche, pour les échantillons appartenant à l'unité 2, les très faibles valeurs de COT et d'IH accompagnées par des IO très élevées soulignent une MO fortement dégradée d'origine terrestre de type III à type IV (MO terrestre altérée, fig. 3).

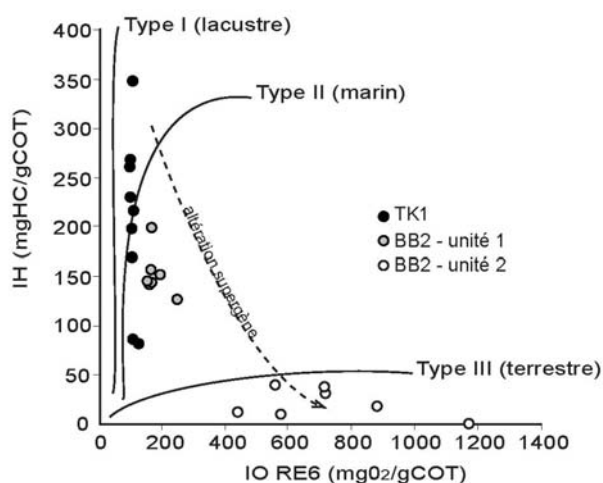


Figure 3 : diagramme IH vs IO des échantillons (pseudo-diagramme de Van Krevelen).

Les résultats de la décomposition des pics S2 confirment cette distinction (fig. 4). L'unité 1 contient un mélange de biopolymères (F1+F2 : 30% environ), de géopolymères mature (F3 : 30% environ) et immatures (F4 : 40% environ) tandis que la MO de l'unité 2 est légèrement enrichie en géopolymères immatures. Une diminution des biopolymères et une augmentation des géopolymères est observée avec la profondeur. Ces résultats suggèrent la contribution de deux sources distinctes de MO pour chacune de ces unités.

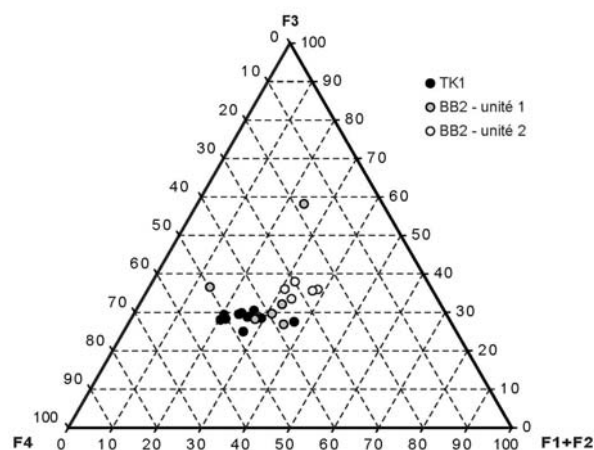


Figure 4 : diagramme ternaire représentant les contributions relatives des signaux F1+F2, F3 et F4 des MO des deux sites.

Ce contraste de la nature et de l'état de préservation de la MO est cohérent avec les données faciologiques. Limons et argiles de l'unité 1 correspondent à une fraction fine souvent associée à la MO (Drouin, 2007) et déposée dans un milieu où règne un faible hydrodynamisme. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la présence de cette MO sédimentaire mixte associée à cette fraction minérale. D'abord, cette association organo-minérale facilite la préservation ou du moins limite la dégradation de la MO pendant le transport jusqu'au réceptacle lacustre (Wackham *et al.*, 1984). Ensuite, le faible hydrodynamisme (*i.e.* absence d'oxygénation forte, Boussafir et Lallier-Verges, 1997) ainsi que des taux de sédimentation élevés expliqueraient également la préservation de la MO (Menzel, 1974). Cette MO terrigène se mélange alors pendant la sédimentation avec la production primaire lacustre expliquant ainsi cette signature mixte terrestre / aquatique souvent rencontrées dans les lacs (Noël *et al.*, 2001). Des pulses détritiques plus grossiers provenant du bassin versant peuvent expliquer la présence de sable et l'absence de MO dans l'unité 2. En effet, la MO est rarement associée à la fraction grossière (Feller *et al.*, 1983) et les condi-

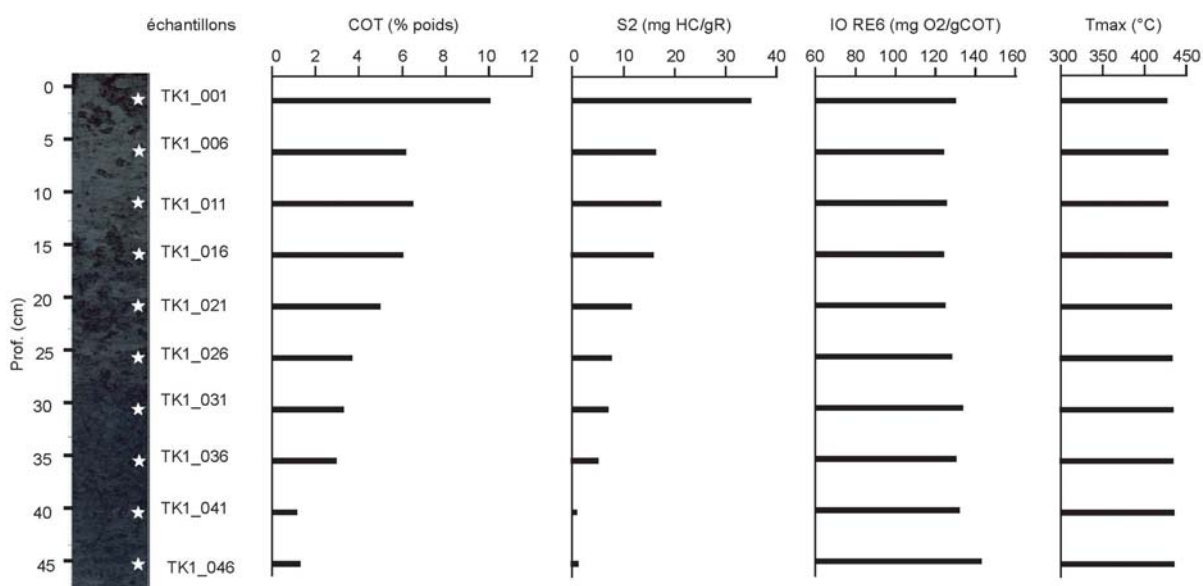


Figure 5 : carotte TK1 : variations des paramètres usuels de la pyrolyse Rock-Eval 6 avec la profondeur.

tions hydrodynamiques font que sa dégradation est nécessairement plus élevée d'où son fort degré d'oxygénation et son très faible degré d'hydrogénation. Une autre hypothèse serait que l'unité 2 corresponde à un "paléosol" sableux et que le remplissage de la mare a fonctionné à partir de l'unité 1 seulement. Quelle que soit l'hypothèse retenue, ce changement de faciès témoignerait d'un changement environnemental majeur dans le bassin versant. Des datations et d'autres analyses du contenu organique particulière (palynofaciès) couplées à une analyse du mode d'occupation des sols du bassin versant permettront de confirmer l'une ou l'autre de ces hypothèses.

3.2. CAROTTE TK1

Les échantillons prélevés dans la carotte TK1 montrent des valeurs de COT relativement élevées (entre 1,3 et 10,1%) et des S2 (entre 1 et 35 mg HC/g roche) qui pourraient être associées à une MO d'origine aquatique disséminée dans un matériel sédimentaire fin (fig. 5). La diminution du COT et de l'IIH avec la profondeur reflètent une dégradation progressive du matériel organique dans la colonne sédimentaire. Comme pour la carotte BB2, une diminution du COT et du S2 est observée avec la profondeur. Les faibles variations de Tmax et d'IO semblent indiquer que la MO est de nature globalement homogène et subit une dégradation précoce par les microorganismes sous conditions plutôt anoxiques.

La déconvolution des pics S2 montre une diminution des biopolymères labiles et résistants (F1+F2) et une augmentation des géopolymères matures

(F4) avec la profondeur. Cette augmentation de la contribution des constituants organiques les plus résistants vers la base de la carotte résulte d'une dégradation classique des constituants biologiques (Sebag *et al.*, 2006b). Toutefois, au sommet de la carotte, la contribution de la famille F4 est plus importante pour les MO de TK1 que pour celles de BB2. Ce différentiel pourrait être lié à la présence de constituants lipidiques de la MO aquatique, plus résistants à la biodégradation (Largeau *et al.*, 1986). La plus faible résistance des MO de BB2 résulterait alors d'un mélange entre une MO aquatique, de nature identique à celle de TK1, avec une MO terrestre constituée de géopolymères immatures (F3). D'autres analyses chimiques (infra-rouge, marqueurs moléculaires) et optiques (palynofaciès) et des comparaisons avec d'autres sites seraient cependant nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

CONCLUSIONS

Cette étude se fonde sur l'analyse géochimique du contenu organique de deux carottes prélevées dans des mares permanentes en milieu sahélien. Les résultats ont permis de préciser l'origine et la nature de la MO préservée dans ces enregistrements sédimentaires ainsi que leur mode de dégradation. Ils permettent aussi d'appréhender la dynamique de remplissage de ces deux mares. Ainsi pour le site de Bangou Bi, l'unité supérieure à matériel fin contient une MO dont l'origine est terrestre et/ou aquatique. En revanche l'unité inférieure plus grossière est très appauvrie en MO fortement oxydée qui serait amenée par des pulses

détritiques grossiers. Le passage entre ces deux unités marque un changement environnemental majeur dans le paysage : la mare aurait fonctionné de manière temporaire (unité 2) puis permanente (unité 1). Pour le site de Tankanawal, la MO est essentiellement dominée par une origine aquatique et semblerait contenir des composés hydrocarbonés résistants. Pendant la diagenèse précoce, elle a subi une altération dans des conditions anoxiques. Toutefois, il n'est pas exclu qu'une fraction organique d'origine terrestre puisse être diluée dans cette MO. Pour confirmer ces hypothèses, il serait nécessaire d'effectuer des observations optiques (palynofacies) qui renseigneront sur l'origine de la MO et son état de dégradation. Des analyses moléculaires pourraient être également effectuées afin de préciser la nature des composés hydrocarbonés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdourhamane Touré A., Guillon R., Petit C., Bichet V., Rajot J.L., Sebag D., Durand A., Garba Z. (2009) - A detailed record of recent climatic changes in a laminated lake core in the Sahel. *3th International AMMA Conference*, Ouagadougou, Burkina Faso, 20-24 juillet 2009.
- Abdourhamane Touré A., Guillon R., Petit C., Rajot J.L., Garba Z., Bichet V., Durand A., Sebag D. (ce volume) - Les sédiments des lacs de la région de Niamey : mémoire de l'évolution récente (50 ans) du milieu sahélien ?
- Boussafir M. et Lallier-Vergès E. (1997) - Accumulation of organic matter in Kimmeridge clay formation (KCF): an update fossilisation model for marine petroleum source-rock. *Mar. Petr. Geol.*, 14, 75-83.
- Copard Y., Di-Giovanni Ch., Martaud T., Albéric P., Ollivier J.E. (2006) - Using Rock-Eval 6 pyrolysis for tracking fossil organic carbon in modern environments: implications for the roles of erosion and weathering. *Earth Surf. Proc. Land.*, 31, 135-153.
- Di-Giovanni Ch., Disnar J.R., Turpin S., Breheret J.G. (1999a) - Estimation de la contribution des matières organiques remaniées au stock organique des sols et sédiments lacustres (bassin lacustre des Peyssières, Hautes Alpes, France), résultats préliminaires. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 170, 2, 121-129.
- Di-Giovanni Ch., Disnar J.R., Campy M., Macaire J.J. (1999b) - Variability of the ancient organic matter supply in modern humus. *ANALUSIS*, 27 (5), 398-402.
- Disnar J.R., Guillet B., Keravis D., Di-Giovanni Ch., Sebag D. (2003) - Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: Scope and limitations. *Org. Geochem.*, 34, 327-343.
- Drouin S. (2007) - *Rôle des phyllosilicates dans la préservation et la fossilisation de la Matière Organique pétrologène*. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 216p.
- Espitalié J., Deroo G., Marquis F. (1985) - La pyrolyse Rock-Eval et ses applications, première partie. *Rev. Instit. Franç. Pétrol.*, 40, 563-579.
- Favreau G., Leduc C., Marlin C. (2000) - Représentativité de l'échantillonnage géochimique et hydrodynamique en nappe libre de milieu semi-aride. *J. Afr. Earth Sci.*, 31, 669-678.
- Feller C., Bernhardt-Reversat F., Garcia J.L., Pantier J.J., Roussos S., Van Vliet-Lanoë B. (1983) - Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 20, 3, 223-238.
- Gavaud M. (1977) - Les grands traits de la pédogénèse au Niger méridional. *Trav. doc. ORSTOM* 76, 102 p.
- Guillon R., Abdourhamane Touré A., Rajot J.L., Petit C., Bichet V., Idé Oumarou A., Garba Z. (2008) - Impact des activités anthropiques sur l'environnement sahélien au cours de l'Holocène. *1^{ères} Journées Scientifiques de l'Université Abdou Moumouni*, Niamey, Niger, 6-8 novembre 2008.
- Hassane B., Moussa A., Dieppois B., Garba Z., Sebag D., Ngounou Ngatcha B., Traoré A., Durand A. (ce volume) - Variabilité de la dynamique éolienne au Sahel : caractéristiques des vents et de la visibilité horizontale entre 1950 et 1989 à Maïné-Soroa (Niger oriental).
- Lafargue E., Marquis F., Pillot D. (1998) - Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production, and soils contamination studies. *Rev. Instit. Franç. Pétrole.*, 53, 421-437.
- Largeau C., Derenne S., Casadevall E., Kadouri A., Sellire N. (1986) - Pyrolysis of immature Torbanite and the resistant biopolymer (PRB A) isolated from extant alga *Botryococcus braunii*. Mechanism of the formation and structure of torbanite. In: D. Leythäuser and J. Rullkötter eds, *Adv. in Org. Geochem.* 1985, 10, 1023-1032.
- Menzel D.W. (1974) - Primary productivity, dissolved and particulate organic matter, and the sites of oxidation of organic matter. In: D. Goldberg ed, *The Sea*. Wiley: New-York-London-Toronto: *Marine Chemistry*, 5, 659-678.
- Meyers P.A., Lallier-Vergès E. (1999) - Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *J. Paleolimn.*, 21, 345-372.
- Noël H., Garbolino E., Brauer A., Lallier-Vergès E., de Beaulieu J.L., Disnar J.R. (2001) - Human impact and soil erosion since ca 5000 years attested by the study of the sedimentary organic content (Lac d'Annecy, The French Alps). *J. Paleolimn.*, 25, 229-244.
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. (2007) - Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633-1644.
- Sebag D., Di-Giovanni Ch., Ogier S., Mesnage V., Laggoun-Défarge F., Durand A. (2006a) - Inventory of sedimentary organic matter in modern wetland (Marais Vernier, Normandy, France) as source-indicative tools to study Holocene alluvial deposits (Lower Seine Valley, France). *Int. J. Coal Geol.*, 67, 1-16.
- Sebag D., Disnar J.R., Guillet B., Di-Giovanni Ch., Verrecchia E.P., Durand A. (2006b) - Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis': bulk characterization and quantification of degradation. *Eur. J. Soil Sci.*, 57, 344-356.
- Sifeddine A., Bertrand Ph., Fournier M., Martin L., Servant M., Suguio K., Turcq B. (1994) - La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Carajas, Amazonie orientale, Brésil) : relation avec les changements climatiques des 60000 dernières années. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 613-621.
- Wakeham S.G., Farrington J.W., Gagosian R.B. (1984) - Biogeochemistry of particulate organic matter in the oceans: results from sediment trap experiments. *Deep Sea Res.*, 31, 509-5

