



**HAL**  
open science

## La sédimentation actuelle au niveau du lac Afourgagh (Moyen Atlas, Maroc)

Issam Etebaai, Helene Miche, Hanane Reddad, Hafida Benhardouze, Ouafae Benhardouz, Brahim Damnati

► **To cite this version:**

Issam Etebaai, Helene Miche, Hanane Reddad, Hafida Benhardouze, Ouafae Benhardouz, et al.. La sédimentation actuelle au niveau du lac Afourgagh (Moyen Atlas, Maroc). Quatrième rencontre des quaternaristes marocains (rqm4), Nov 2007, Oujda, Maroc. pp.119-129. hal-03863844

**HAL Id: hal-03863844**

**<https://hal.science/hal-03863844>**

Submitted on 18 Jan 2023

**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.

La sédimentation actuelle au niveau du lac Afourgagh (Moyen Atlas, Maroc)

The modern sediments of lake Afourgagh (Middle Atlas, Morocco)

الترسبات الحالية في بحيرة أفوركاع (الأطلس المتوسط ، المغرب)

Issam ETEBAAI<sup>1</sup>, Hélène MICHE<sup>2</sup>, Hanane REDDAD<sup>1</sup>, Hafida BENHARDOUZE<sup>1</sup>, Ouafae BENHARDOUZ<sup>1</sup> & Brahim DAMNATI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire Environnement, Océanologie et Ressources naturelles, B.P 416 Tanger, Maroc.

E mail : b\_damnati@yahoo.fr

<sup>2</sup>CNRS, CEREGE, B.P. 80, 13545, Aix en Provence, France.

## Résumé

Une campagne de carottage des sédiments d'interface a été organisée dans le lac Afourgagh. C'est un lac d'origine tectono-karstique situé dans le Causse moyen-atlasique. La profondeur maximale du lac est actuellement de 1,5 m. Les eaux sont de types bicarbonatées chloro-sodiques magnésiennes. L'étude sédimentologique et géochimique des sédiments d'interface renseigne sur une sédimentation détritique dominée par la fraction silto-sableuse issue directement de l'érosion du bassin versant. La corrélation entre les sédiments de bordure et du centre a permis de mettre en évidence des fluctuations bathymétriques très récentes du lac. En effet, la prédominance des fractions grossières et des fortes teneurs en carbonates semblent caractériser les bas niveaux lacustres. Alors que la prédominance de la fraction fine reliée à des fortes teneurs en matière organique marque les hauts niveaux lacustres.

**Mots-clés** : Moyen Atlas, Lac Afourgagh, sédiments d'interface, sédimentologie, géochimie.

## Abstract

Two cores were collected in lake Afourgagh. It is a tectono-karstic lake origin located in the Middle Atlas. Actually, the maximal depth is 1,5 m. Sedimentological and geochemical study inform on the detritic sedimentation dominated by sandy-silt fraction boring directly from the drainage basin erosion. The correlation between sediments of border and the center allowed bringing to light the very recent bathymetric fluctuations in the lake. Indeed, the high percentage of the unrefined fractions and the strong contents in carbonates characterize the low lake levels. In contrary, the high percentage of the fine fraction connected with strong contents in organic matter mark the high lake levels.

**Key words :** Middle Atlas, Lake Afourgagh, interface sediment, sedimentology, geochemistry.

## ملخص

تم القيام برحلة استكشافية إلى بحيرة أفوركاع من أجل استخراج الترسبات السطحية. يرجع تكون هذه البحيرة المتواجدة بالأطلس المتوسط إلى مجموعة من الحركات التكتونية الأخيرة و المتزامنة مع العملية الكرسية. لا يتعدى منسوب مياه البحيرة حالياً متر و نصف حيث أن المياه تتميز بتركز العناصر التالية: ثاني الكربونات, الكلور, الصوديوم و المنيزيوم. من خلال الدراسة الرسوبية و الجيوكيميائية للترسبات السطحية يتبين أن الترسب في البحيرة ذو طبيعة حثائية و ينحدر مباشرة من التعرية التي يتعرض لها حوض البحيرة. إن مقارنة الترسبات السطحية في وسط و جوانب البحيرة تمكن من تحديد التغيرات الحديثة لمنسوب مياه البحيرة. حيث يمكن ربط ارتفاع نسبة كل من الحبيبات الكبيرة و الكربونات بانخفاض منسوب المياه في ظل ظروف مناخية جافة. و بالعكس فارتفاع نسبة كل من الحبيبات الدقيقة و المواد العضوية يسجلان ارتفاع منسوب المياه في ظل ظروف مناخية رطبة.

**الكلمات الدالة :** الأطلس المتوسط، بحيرة أفوركاع، الترسبات السطحية، الدراسة الرسوبية و الجيوكيميائية.

## 1. Introduction

Les lacs présentent une grande sensibilité aux interactions biotiques et abiotiques du milieu (Kelts et Talbot, 1990). Ce sont des milieux de sédimentation riches en marqueurs des variations de l'environnement (pollens, Diatomées, Ostracodes, pigments, minéraux détritiques ou authigènes, lamination...). Ce sont d'excellents enregistreurs des variations climatiques et anthropiques au cours du temps (Oldfeied, 1977 ; Battarbee, 2000 ; Damnati, 2000 ; Damnati et al., 2007a). Le message sédimentaire lacustre est révélé par les techniques paléolimnologiques qui font intervenir la stratigraphie, la sédimentologie, la géochimie, la minéralogie, la paléoécologie... (Lerman, 1978 ; Margraf et al, 1986 ; Gasse et al, 1987 ; De Dekker et Forestier, 1988 ; Damnati et al, 2007a).

L'atlas marocain recèle plusieurs petites retenues d'eau permanentes (lacs ou Dayates) (Flower & Foster, 1992 ; Damnati & Taieb, 2003). Ces hydrosystèmes occupent des fonctions socio-économiques et écologiques très importantes à l'échelle du pays (Chillasse et Dakki, 2004). La majorité de ces lacs présentent l'avantage de n'avoir aucun exutoire de surface et peuvent être considérés comme de gigantesques pluviomètres naturels (Benkaddour, 1993, Damnati, 1997). Des études paléolimnologiques réalisées sur de longues séquences lacustres prélevées dans quelques sites du Moyen Atlas ont permis de caractériser les variations hydroclimatiques survenues au cours du Quaternaire récent (Lamb et al, 1989 ; Maxted, 1989 ; El Hamouti et al, 1991 ; Cheddadi et al, 2004 ; Damnati et al, 2007b, Rhoujjati, 2007). Des carottes de sédiments de 'interface ont fait l'objet également des études paléolimnologiques afin de caractériser la variabilité climatique actuelle et repérer l'influence anthropique sur le fonctionnement de ces hydrosystèmes (Flower et al, 1989 ; Flower et Foster, 1992 ; Damnati et Taieb, 2003 ; Etebaai et al, soumis).

Le but de ce travail est de caractériser la sédimentation actuelle dans le lac Afourgagh. L'étude est basée sur des analyses sédimentologiques et géochimiques de deux carottes des sédiments d'interface prélevés dans ce lac.

## **2. Site d'étude**

Le lac Afourgagh (33°36'N ; 04°54'W) se trouve dans le Causse moyen atlasique à une altitude de 1400 m. C'est un lac d'origine tectono-karstique (Hinaje & Ait Brahim, 2002). Le Causse moyen atlasique est caractérisé par une structure en plate-forme tabulaire plus faillée que plissée. La lithologie de ce domaine est formée essentiellement de Dolomie et de calcaire dolomitique Liasique reposant en concordance probable sur des formations tendres (argilites) du Trias (Colo, 1961). Le moyen Atlas est caractérisé généralement par un climat humide et froid classé comme un climat méditerranéen de montagne (Martin, 1981). Le lac Afourgagh se trouve dans une région relativement bien arrosée du Causse moyen atlasique. La pluviométrie dans le site d'étude s'approche de 900 mm. La saison des pluies s'étend de novembre à avril. La température moyenne varie de 3 à 16°C. Les températures minimales sont enregistrées de septembre à juin (Martin, 1981). Le couvert végétal est fonction de la topographie (figure 1) (Benabid, 1982 ; Lecompte, 1986). Il est dominé par le chêne vert associé à des formations de pin d'Alep et quelques pieds de genévrier oxycèdre fortement perturbés par l'action anthropique. Une activité agricole est présente aux alentours du lac et particulièrement du côté Nord-Est.

Le lac Afourgagh a actuellement une profondeur de 1,5 m et un volume d'eau de  $4 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ . Sa superficie est de 4 Ha environ. Le niveau d'eau du lac a diminué de 12 m au cours des deux dernières décennies d'après la bathymétrie réalisée par Flower et al (1989) en 1984. Cette diminution très importante du niveau d'eau est liée probablement à des phases d'assèchement d'une part et à la forte rétention karstique d'autre part.

## **3. Matériel et méthodes**

Une campagne de carottage de sédiments d'interface et de prélèvement d'eau a été organisée en décembre 2006 dans le lac Afourgagh. Deux carottes ont été prélevées : la première en bordure (carotte 1), et la deuxième au centre du lac (carotte 2). Il s'agit de petites carottes de 32 cm de longueur. Le carottier Kajack gravitaire maintenu par câble a été utilisé. L'analyse granulométrique des sédiments a été faite par diffraction laser. Les fractions granulométriques et certains paramètres (moyenne granulométrique, sorting, skewness et kurtosis) ont été calculés selon la méthode de Folk et Ward (1957) à l'aide du logiciel GRADISTAT Version 4.0 (Blott, 2000). Des graphes de distribution granulométriques, de fréquence cumulée et des diagrammes ternaires (sable-silt-argile) ont été également

faits. Les analyses de la matière organique et les carbonates ont été faites par perte au feu (Dean, 1974). La susceptibilité magnétique a été mesurée par un susceptibilimètre Barlington sur des échantillons préalablement séchés et pesés.

Les analyses physico-chimiques des eaux du lac ont été faites par électrophorèse capillaire pour les anions, ICP-AES pour les cations et le phosphore total. Le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique et la turbidité ont été mesurés *in situ*.

## **4. Résultats et discussion**

### **4.1. Physico-chimie des eaux**

Les eaux du lac Afourgagh sont très minéralisées à cause du déficit hydrique. Elles sont bicarbonatées chloro-sodiques magnésiennes, généralement oxygénées et turbides. L'analyse chimique montre des teneurs très élevées en chlorure, en bicarbonates, en sodium et en magnésium et des teneurs moins élevées en potassium, en sulfates et en calcium. Le nitrate et le phosphore total présentent des concentrations faibles (tableau 1).

### **4.2. Sédimentologie et géochimie des sédiments d'interface**

Généralement les sédiments d'interface du lac Afourgagh sont de type silto-sableux (figure 2). La distribution granulométrique des sédiments est de type bimodal (figure 3). Les sédiments sont relativement riches en carbonates (21 % à 28,5%) et en matière organique (11,2 % à 14,4%).

#### **a) Carotte 1**

La lithologie de cette carotte est caractérisée par l'alternance du sable et du silt brun parfois foncé avec souvent des débris végétaux et/ou coquilles.

Quatre phases de sédimentation ont été mises en évidence (figures 4 et 5) :

\*La phase 1 (unité comprise entre 32-25 cm), marquée par la prédominance de la fraction fine (argile et silt) et la diminution de la fraction sableuse. La moyenne granulométrique diminue. La diminution du Sorting et l'augmentation du Skewness indiquent que le sédiment a tendance à être classé et asymétrique vers les fractions fines. La susceptibilité magnétique et les teneurs en matière organique augmentent alors que les teneurs en carbonates diminuent.

\*La phase 2 (unité comprise entre 25-19 cm), marquée par la diminution de la fraction fine et l'apparition d'un pic de sable grossier. La taille moyenne des grains augmente. L'augmentation du Sorting d'une part et la diminution du Skewness d'autre part montrent que le sédiment devient très mal classé et a tendance à être asymétrique vers les fractions

grossières (Skewness négatif). La susceptibilité magnétique et les teneurs en matière organique diminuent fortement alors que les teneurs en carbonates augmentent.

\*Dans la phase 3 (unité comprise entre 19-11 cm), le pourcentage des fractions fines (argile et silt) augmente tandis que celui du sable diminue. La tendance des paramètres granulométriques indiquent une sédimentation relativement fine (diminution de la moyenne granulométrique), modérément classé (diminution du Sorting) et asymétrique vers les fractions fines (augmentation du Skewness). La diminution du Kurtosis montre que la distribution granulométrique devient relativement aplatie. La susceptibilité magnétique augmente alors que les teneurs en carbonates diminuent. Les teneurs en matière organique augmentent un peu puis se stabilisent.

\*Dans la phase 4 (unité comprise entre 11-0 cm), la fraction fine diminue alors que la fraction sableuse augmente. La sédimentation est généralement détritique, asymétrique vers les fractions fines et très mal classée. La susceptibilité magnétique diminue puis se stabilise vers la surface alors que les teneurs en matière organique et en carbonates restent généralement invariables.

#### ***b) Carotte 2***

La carotte du centre ne présente pas de différenciation lithologique bien distincte. Sa lithologie est dominée par du silt-sableux brun foncé avec la présence des débris de coquilles et de bois. Trois unités ont été distinguées (figures 6 et 7) :

\*La première unité (32-23 cm) est marquée par la diminution relative de la fraction fine et l'augmentation de la fraction grossière. L'augmentation parallèle du Skewness et du Sorting indique que la sédimentation dans cette unité a une tendance à être plus asymétrique vers les fractions fines et très mal classée. La susceptibilité magnétique diminue généralement tandis que les teneurs en carbonates augmentent. Les teneurs en matière organique augmentent puis diminuent.

\*La deuxième unité (23-11 cm) est marquée par de faibles variations des indices et des fractions granulométriques. La susceptibilité magnétique et les teneurs en matière organique et en carbonates sont généralement peu variables.

\*La troisième unité (11-0 cm) est marquée par une augmentation de la fraction argileuse et du sorting alors que le kurtosis diminue. La susceptibilité magnétique et les teneurs en matière organique et en carbonates sont variables.

#### **4.3. Discussion**

Les courbes de fréquence cumulées (figure 3) montrent que le transport se fait principalement par suspension et saltation. Les valeurs du Sorting et du Skewness montrent

respectivement que les sédiments du lac Afourgagh sont généralement très mal classés et asymétriques vers les fractions fines ce qui traduit un milieu de dépôt relativement calme. Les sédiments de bordure (carotte 1) enregistrent quatre phases de fluctuations bathymétriques récentes du lac Afourgagh. La première phase correspond à un niveau lacustre relativement haut. Les paramètres sédimentologiques montrent que la sédimentation se fait dans un milieu calme. La deuxième phase correspond à un bas niveau lacustre. Elle est marquée par une sédimentation détritique grossière. La troisième phase marque le retour d'une phase humide et l'augmentation du niveau lacustre. Elle est traduite par une sédimentation relativement fine. La quatrième phase marque le bas niveau que connaît actuellement le lac.

Les sédiments du centre (carotte 2) ne reflètent pas une sédimentation détritique épisodique comme le cas des sédiments de bordures. Il s'agit d'une sédimentation détritique continue, dans un milieu relativement calme avec une vitesse plus lente. La faible variabilité du pourcentage des fractions granulométriques est en relation avec les courants d'eau qui dominant dans le lac et qui sont en fonction directe avec les variations bathymétriques.

Dans la première unité, la sédimentation détritique est relativement fine. Elle est contrôlée par l'hydrologie du lac. Les variations de la stratification thermique de la colonne d'eau provoque parfois des courants de fonds (courants turbides) chargés en éléments détritiques qui atteignent le centre du lac (Sturm et Matter, 1978). L'érosion éolienne participe aussi d'une façon importante à la décantation de ces éléments détritiques surtout que le lac se trouve dans une dépression riche en dolomie sableuse résultant du broyage tectonique (Martin, 1981). Le niveau lacustre à cet épisode est relativement élevé mais la sédimentation est fortement influencée par l'érosion mécanique du bassin versant. Dans la deuxième unité, la sédimentation renseigne sur un niveau lacustre relativement stable traduisant des conditions hydroclimatiques également stables.

Dans la troisième unité, la corrélation entre les deux carottes, en prenant compte la différence de vitesse de sédimentation entre le centre et les bordures du lac, montre que les sédiments de cette unité correspondent à ceux de la première carotte. En effet, la variabilité de cette unité traduit les fluctuations bathymétriques très récentes du lac enregistrées par la carotte de bordure.

La répartition des teneurs en matière organique et en carbonates est contrôlée par le mode de sédimentation et la productivité autochtone du lac. Les teneurs assez élevées des carbonates au niveau des bordures sont d'origine détritique, issues directement de l'érosion du sol du bassin versant.

Alors que celles du centre sont en grande partie d'origine authigénique issue de la précipitation de la calcite par sursaturation des carbonates de calcium au niveau de la

colonne d'eau. Les carbonates bio-induites par les Mollusques et les concrétions végétales participent également à ces teneurs que ce soit au niveau des bordures qu'au centre du lac. La répartition de la matière organique est fonction de la granulométrie et de l'état d'oxygénation des sédiments.

La variation de la susceptibilité magnétique en fonction de la profondeur est corrélée avec les pourcentages des fractions fines. Cette magnétisation est due à la concentration des minéraux ferromagnétiques secondaires (magnétite) associés aux fractions très fines (argile et silt) et qui sont formés par des processus de pédogénèse au niveau du sol du bassin versant (Mullins, 1977 ; Dearing et al, 1985). L'augmentation de la concentration de la susceptibilité magnétique est en relation avec l'augmentation de l'érosion du bassin versant (Flower et al, 1989) qui devrait être principalement une érosion d'origine éolienne. Dans le lac Iffer (non loin du lac Afourgagh), l'étude de quelques paramètres magnétiques (Maxted, 1989 ; Lamb et al, 1991) a montré des fortes concentrations en minéraux magnétiques (oxydes de fer magnétiques) d'origine détritiques dans les sédiments d'interface. Damnati et Taieb (2003), ont confirmé le même constat en étudiant quelques signaux géochimiques (Al et Fe) des sédiments d'interface du lac Iffer. Les faibles valeurs de la susceptibilité magnétique enregistrées au niveau des sédiments de bordures sont dues à la dilution des minéraux magnétiques par les teneurs assez élevées en carbonates d'origine détritiques.

## **5. Conclusion**

L'étude paléolimnologique entreprise sur les sédiments d'interface nous a permis de caractériser les fluctuations bathymétriques très récentes du lac Afourgagh. Les variations de la granulométrie des sédiments d'interface d'une part, des teneurs en matière organique et en carbonates ainsi que de la susceptibilité magnétique d'autre part sont en relation directe avec les apports détritiques externes issus de l'érosion du sol du bassin versant. Les perturbations d'origine climatique et anthropique, manifestés par la succession des sécheresses et l'occupation du sol, sont à l'origine de la régression actuelle du niveau d'eau et du comblement du lac Afourgagh. Une gestion plus adaptée de ce bassin lacustre mérite d'être mise en œuvre pour sa préservation.

## **Remerciements**

Ce travail entre dans le cadre des projets PICS 05 et PROTARS III. Nous remercions le CNRST Rabat-Maroc, le CNRS-Aix-en-Provence-France pour leur aide financière, le CEREGE (Aix-en-Provence, France) et le Laboratoire Environnement, Océanologie et Ressources Naturelles (FST Tanger-Maroc) pour leur soutien.

## Bibliographie

BATTARBEE, R. W., 2000. Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews* **19**, 107-124. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00057-8](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00057-8)

BENABID, A., 1982. Bref aperçu sur la zonation altitudinale de la végétation climacique du Maroc. *Ecologia mediterranea*, **tome VIII**, Faec 1/2, 301-315. <https://doi.org/10.3406/ecmed.1982.1956>

BENKADDOUR, A., 1993. *Changements hydrologiques et climatiques dans le Moyen-Atlas marocain : chronologie, minéralogie, géochimie isotopique et élémentaire des sédiments lacustres de Tigalmamine*. Thèse de Doctorat, Université de Paris XI, 156p.

BLOTT, S., 2000. GRADISTAT Version 4.0, A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer. University of London, Royal Holloway, Surface Processes and Modern Environments Research Group, Department of Geology.

CHEDDADI, R., TAIEB, M., DAMNATI, B., ORTU, E., GUIOT, J., & LAMB, H., 2004. Climate changes since the last glacial maximum in Morocco and predicted impact on the Mediterranean ecosystems. "Rapid and catastrophic environmental changes in the Holocene and human response" first joint meeting of IGCP 490 and ICSU Environmental catastrophes in Mauritania, the desert and the coast. Atar, Mauritania 39-43.

CHILLASSE, L., & DAKKI, M., 2004. Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. *Sécheresse*, **15**, 4, 337-45.

COLO, G., 1961. Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional. Notes et M. Serv. Géol. Maroc. **139**, 226p.

DAMNATI, B., 1997. Les variations paléoclimatiques et environnementales en Afrique depuis 30 000 ans B.P. Thèse d'habilitation à diriger des recherches, Université d'Aix Marseille II, France, volume 1: 304p; volume 2: annexes 2 : 144p.

DAMNATI, B., 2000. Holocene lake records in northern Hemisphere of Africa. *J. of African Earth Sciences*, **31**, 2, 253-262.

DAMNATI, B., & TAIEB, M., 2003. La sédimentation sub-actuelle dans le lac Iffir (Moyen-Atlas, Maroc): Résultats préliminaires. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. **452**, 301-306.

DAMNATI, B., ICOLE, M., TAIEB, M., & WILLIAMSON, D., 2007. The application of organic carbon and carbonate stratigraphy to the reconstruction of lacustrine palaeoenvironments from Lake Magadi, Kenya. *Pleoecology of Africa*, **28**: 155-168.

DAMNATI, B., RHOJJATI, A., ETEBAAI, I., BENHARDOUZE, H., REDDAD, H., ARNAUD, D., DECOBERT, M., MARAIS, A., & TAIEB, M., 2007b. Histoire hydrologique et climatique du lac Ifrah (moyen-atlas, Maroc) depuis le dernier maximum glaciaire jusqu'à maintenant.

4èmes Journées Internationales des Géosciences de l'Environnement. Tétouan 8, 9 et 10 juin 2007. Volume des résumés, 161-162.

DE DECKKER, P., & FORESTER, R.M., 1988. The use of ostracods to reconstruct continental palaeoenvironmental records. In: P. De Deckker et al. Eds. Ostracods in the earth sciences. Elsevier, Amsterdam, 175-198.

DEAN, W.E.J., 1974. Determination of carbonates and matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss-on-ignition: comparison with other methods. *Journal of sedimentary petrology*, **44**, 1, 242-248.

DEARING, J.D., MAHER, B.A., & OLDFIELD, F., 1985. Geomorphological linkages between soils and sediments: the role of magnetic measurements. In: *Geomorphology of Soils*. 245-266. (eds) RICHARDS, K.S., ARNET, R.R., and ELLIS, S., George Allen and Unwin, London.

EL HAMOUTI, N., LAMB, H.F., FONTES, J.C., & GASSE, F., 1991. Changements hydrologiques abrupts dans le Moyen Atlas marocain depuis le dernier maximum glaciaire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Séries II*, **313**, 259-265.

FLOWER, R.J., & FOSTER, D.L., 1992. Climatic implication of recent changes in lake level at lac Azigza (Morocco). *Bull. Soc. Géol France* **163**, 1, 91-96.

ETEBAAI, I., DAMNATI, B., BENHARDOUZE, H., BENHARDOUZE, O., REDDAD, H., MAATOUK, M. et TAIEB, M. L'environnement du lac Ifrah (Moyen Atlas, Maroc) : physico-chimie des eaux et sédimentation actuelle. *Africa Geosciences Review*, sous-presse.

FLOWER, R.J., STEVENSON, A.C., DEARING, J.A., FOSTER, I.D.L., AIREY, A., RIPPEY, B., WILSON, J.P.F., & APPLEBY, P.G., 1989. Catchment disturbance inferred from paleolimnological studies of three contrasted sub-humid environments in Morocco. *J. Paleolimnology*. **1**, 293-322.

FOLK, R.L., & WARD, W.C., 1957. Brazos riverbar ; A study in the signification of grain size parameters. *J. Sedimentology, Petrology*, **27**, 514-529.

GASSE, F., FONTES, J.C., PLAZIAT, J.C., CARBONEL, P., KACZMARSKA, I., DE DECKKER P., SOULE-MARSCHE, I., CALLOT Y. & DUPEUBLE, P.A., 1987. Biological remains, geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene lakes from North Sahara. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **60**, 1-46.

HINAJE, S., & AIT BRAHIM, L., 2002. Les bassins lacustres du Moyen Atlas (Maroc) : exemple d'activité tectonique polyphasée associée à des structures d'effondrement. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, **89**, 283-294.

KELTS, K., & TALBOT, M., 1990. Lacustrine carbonates as geochemical archives of environmental change and biotic/abiotic interactions. In: Large Lakes: Ecological structure and function. 288-315, edited by TILZER, M.M. & SERRUYA, C. Springer-Verlag, Berlin.

LAMB, H.F., EICHER, U., & SWITSUR, V.R., 1989. An 18,000-year of vegetation, lake-level and climatic change from Tighmamine, Middle Atlas, Morocco. *J. of Biogeography*, **16**, 65-74.

LAMB, H.F., DAMBLON, F., & MAXTED, R.W., 1991. Human impact on the vegetation of the Middle Atlas Morocco, during the last 5000 years. *J. of biogeography*, **18**, 519-532.

LECOMPTE, M., 1986. Biogéographie de la montagne marocaine : le Moyen Atlas central. CNRS (éd).

LERMAN A. 1978. Lake: chemistry, geology, physics. New York: Spinger. **1**, 363 p.

MARGRAF, V., BRADBURY, J.P., & BUSBY, J.R., 1986. Paleoclimates in southwestern Tasmania during the last 13 000 years. *Paleobios*, **5**, 368-380.

MARTIN, J., 1981. Le Moyen-Atlas Central : étude géomorphologique. Notes et mémoires du Service Géologique du Maroc, **258** bis, 445p.

MAXTED, R.W., 1989. Magnetic mineralogy and sediment yield of lake catchments in the middle Atlas morocco. Ph. D. thesis, University of Wales at Aberystwyth, 266 p.

MULLINS, C., 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: a review. *Journal. Soil. Science*, **28**, 223-246.

RHOJJATI, A., 2007. Les variations paléoclimatiques et paléoenvironnementales depuis 21.000 ans BP. Jusqu'à présent dans le Moyen Atlas marocain : cas des lacs Ifrah et Iffer (région d'Ifrane). *Thèse de Doctorat d'Etat, Univ Chouaib Doukkali, F Sc El Jadida*. 186 p.

Article accepté pour publication après avis du Pr. M. Aberkan, FS, Rabat (Comité de Lecture, RQM4).

## Tableau et figures

Tableau 1 : Physico-chimie des eaux du lac Afourgagh

Paramètres physico-chimiques	Valeurs moyennes pour l'année 2006
pH	8,8
O <sub>2</sub> (mg/l)	6,4
CE (ms/cm)	7,3
Turb (NTU)	27,3
MES (mg/l)	733,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1493,1 ± 72,3
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	1742 ± 94,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	66,4 ± 3,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	5,3 ± 0,3
P <sup>-</sup> (μg/l)	294,3
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	15,4 ± 0,6
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	658,1 ± 13,8
K <sup>+</sup> (mg/l)	127,7 ± 7
Na <sup>+</sup> (mg/l)	1254,7 ± 46

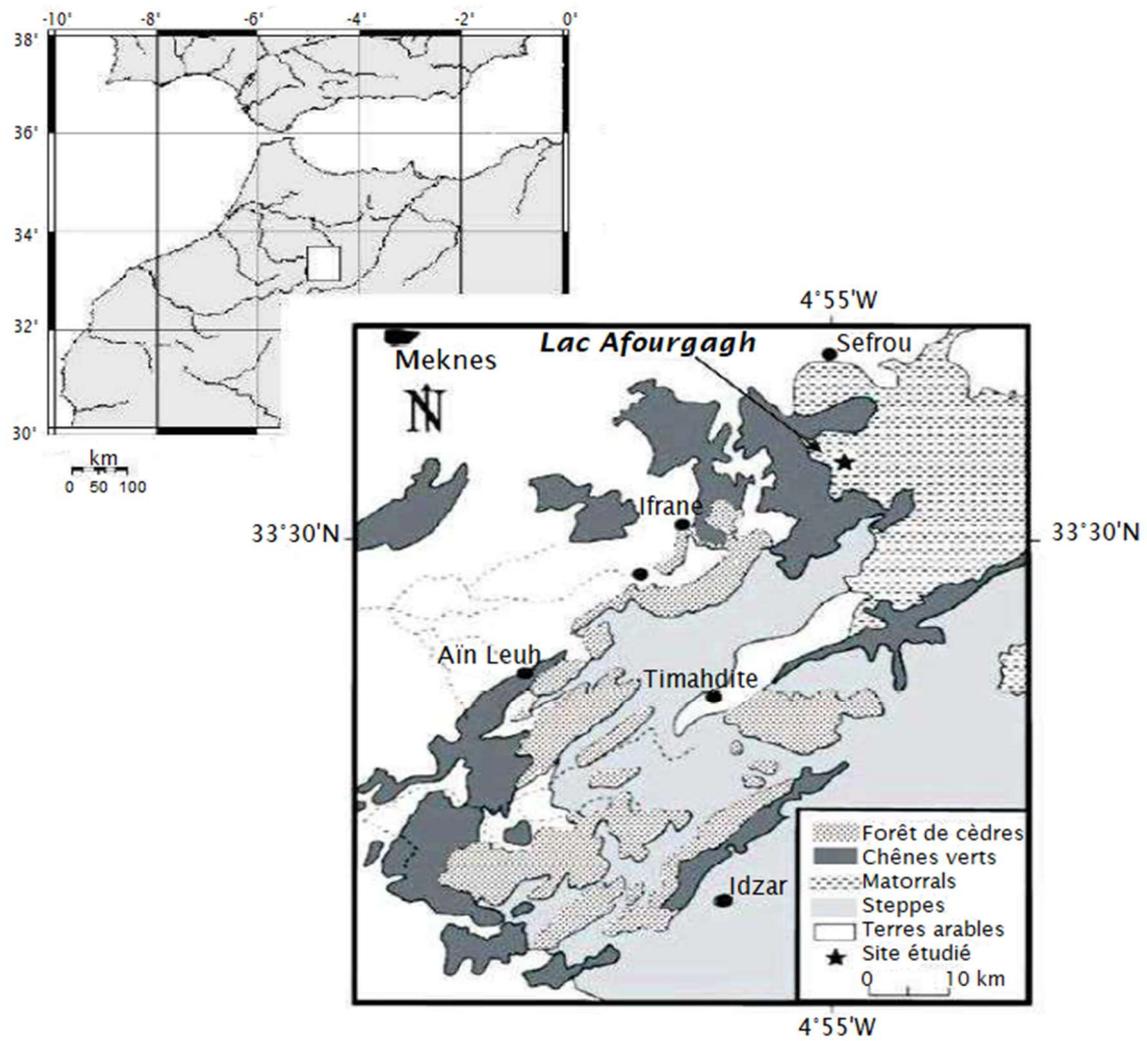


Fig. 1 : Les formations végétales du Moyen Atlas Central (Lecompte, 1986) et localisation du site d'étude

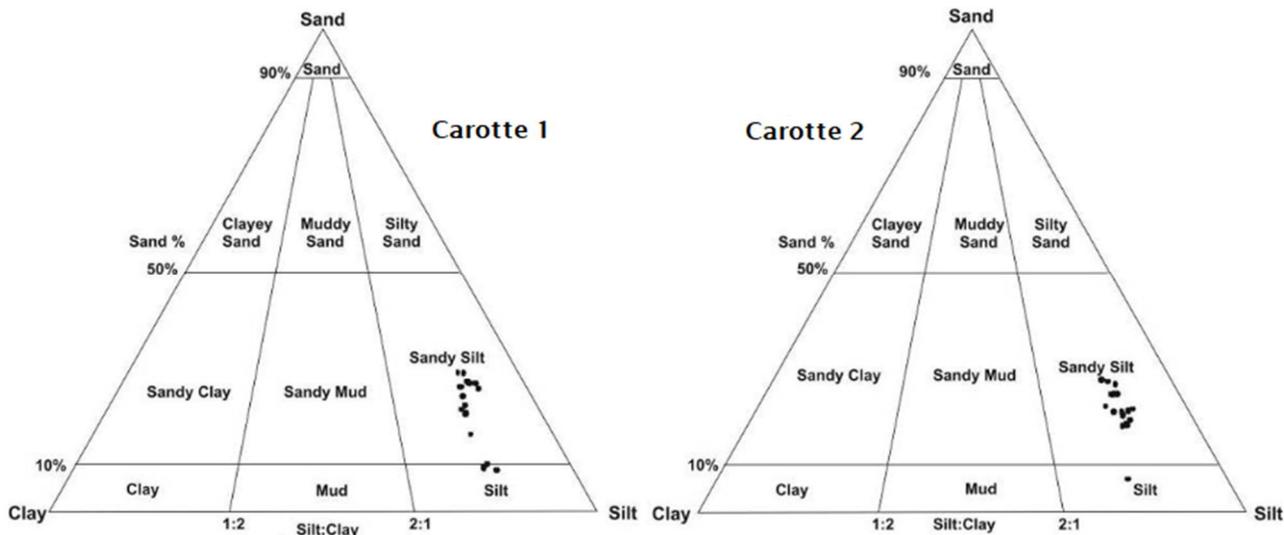


Fig. 2 : Diagrammes ternaires (sable-silt-argile) des sédiments d'interface du lac Afouragh.

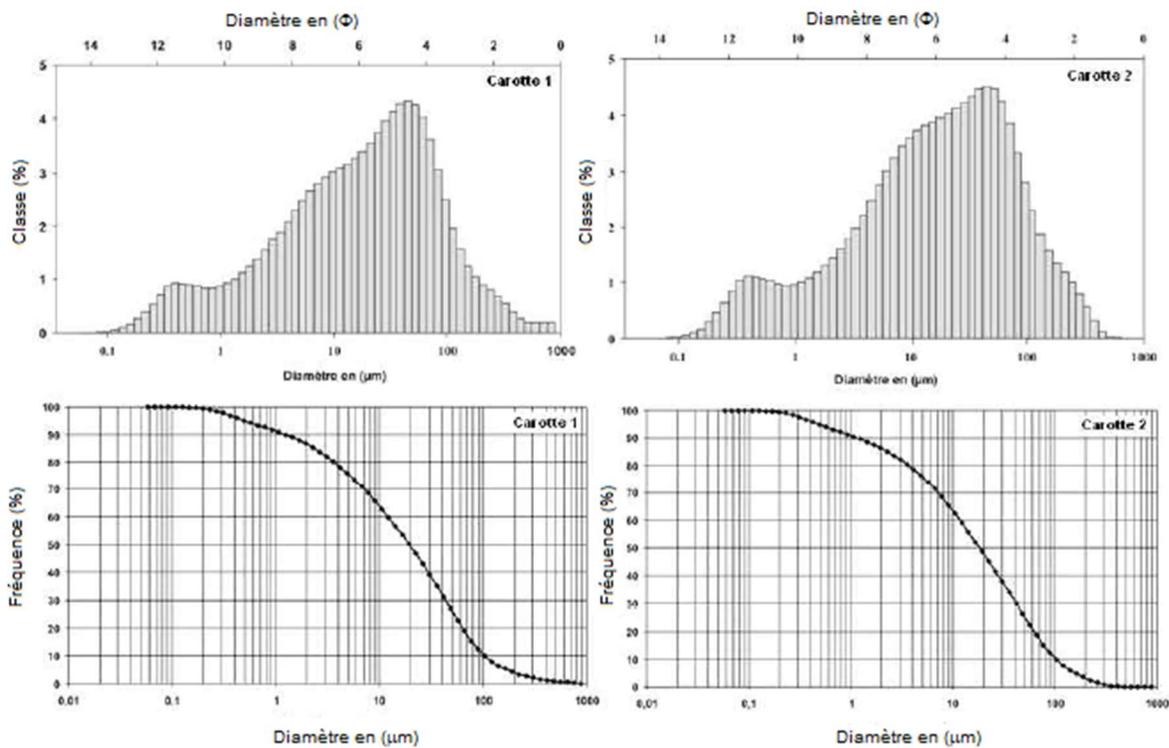


Fig. 3 : Distributions en histogrammes (au-dessus) et cumulées (au-dessous) des sédiments d'interface du lac Afouragh.

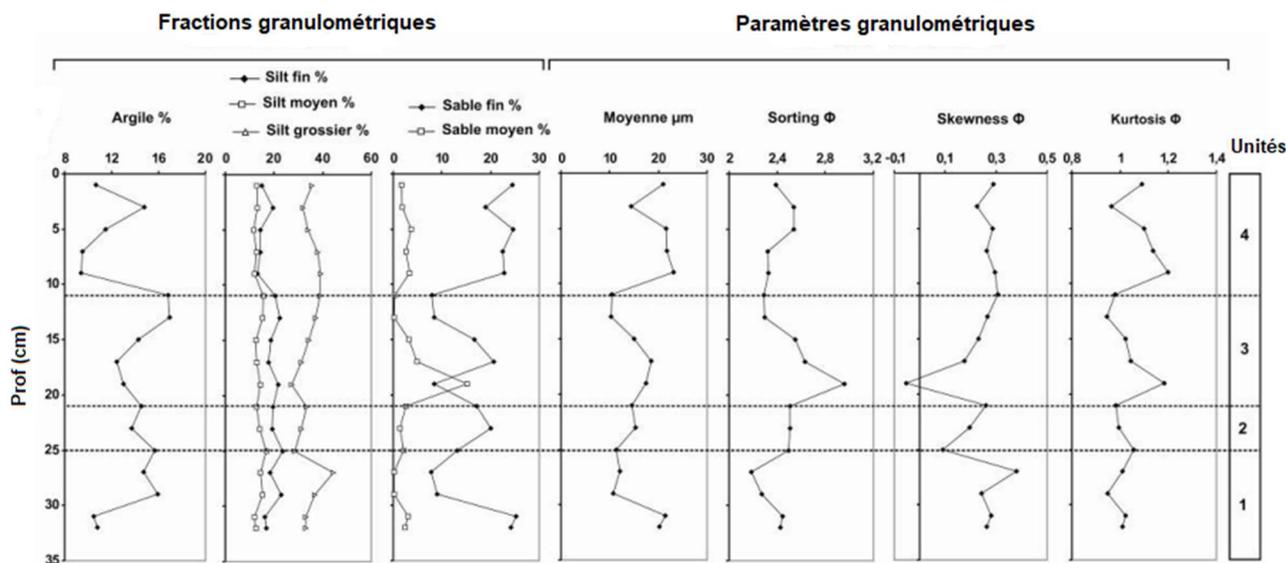


Fig. 4 : Distribution des fractions et des paramètres granulométriques en fonction de la profondeur de la carotte de bordure (carotte 1).

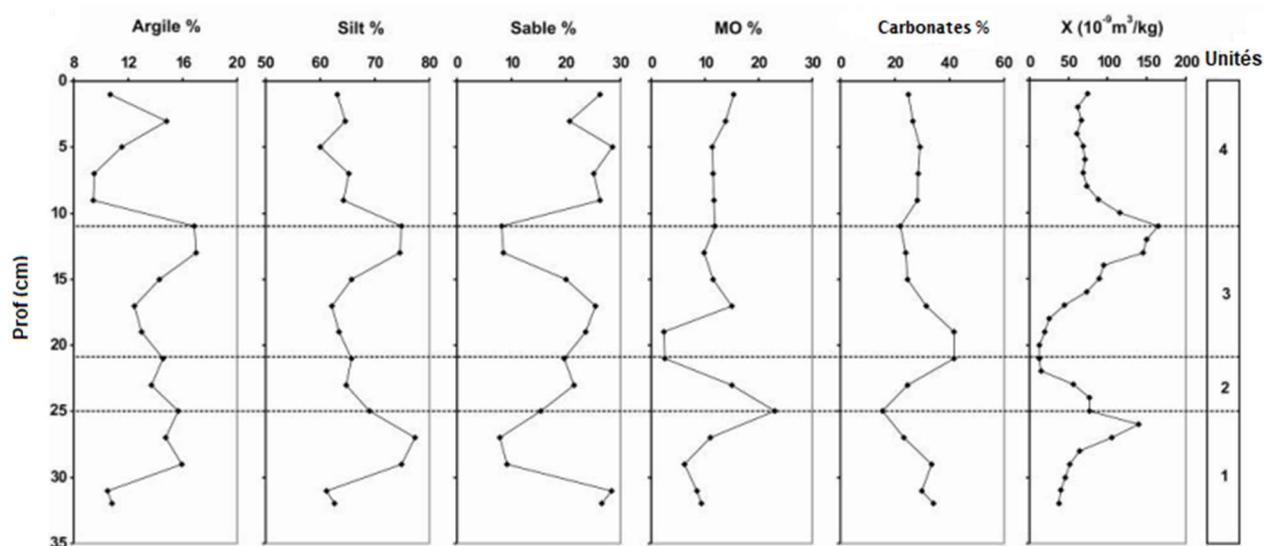


Fig. 5 : Distribution de quelques paramètres sédimentologiques et géochimiques en profondeur de la carotte de bordure (carotte 1).

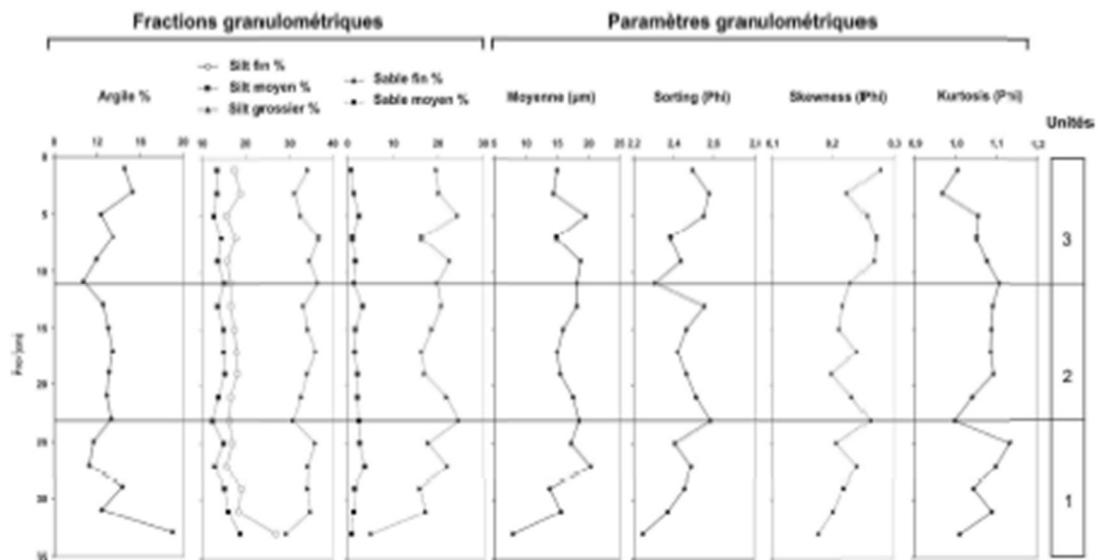


Fig. 6 : Distribution des fractions et des paramètres granulométriques en fonction de la profondeur de la carotte du centre (carotte 2).

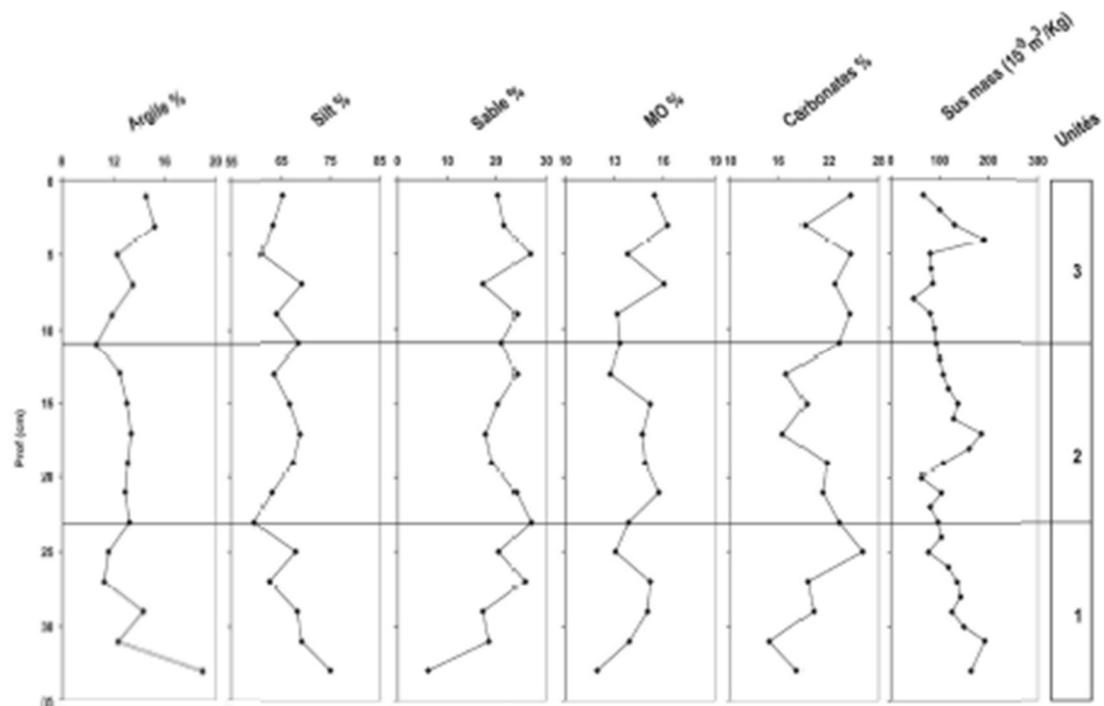


Fig. 7 : Distribution de quelques paramètres sédimentologiques et géochimiques en fonction de la profondeur de la carotte du centre (carotte 2).