



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 335 (2003) 479–485



Géosciences de surface / Paléoenvironnement

Indices de confinement dans les dépôts lacustres holocènes de Sarliève (Limagne, France)

Jean-Gabriel Bréhéret^{a,*}, Jean-Jacques Macaire^a, Amélie Fleury^b, Agathe Fourmont^a, Ingeborg Soulié-Märsche^c

^a Laboratoire GÉEAC, UPRES EA 2100, Faculté des sciences et techniques, université François-Rabelais, parc Grandmont, 37200 Tours, France

^b Laboratoire de géologie de la matière organique, ISTO, UMR 6113 CNRS, bât. Géosciences, université d'Orléans, BP 6759, 45067 Orléans cedex 2, France

^c Laboratoire de paléobotanique, UMR 5554, université Montpellier-2, Cc 062, 34095 Montpellier cedex 5, France

Reçu le 27 mai 2002 ; accepté le 17 février 2003

Présenté par Georges Pedro

Résumé

Les carbonates magnésiens autochtones et le gypse présents dans les sédiments holocènes lacustres du marais de Sarliève (Puy-de-Dôme, France) dénotent une composition alcaline, magnésienne et sulfatée des eaux qu'expliquent les flux dissous issus du substratum oligocène du bassin versant, ainsi qu'un confinement morphologique sous déficit hydrique, ce dont témoignent les flores algaires micro- et macrophytes. Un déconfinement intervient au cours de la période historique lié à l'évolution naturelle et anthropique du lac. *Pour citer cet article : J.-G. Bréhéret et al., C. R. Geoscience 335 (2003).*

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Holocene lacustrine deposits at the 'Marais de Sarliève' (Puy-de-Dôme, France), as evidence of a restricted environment. The autochthonous magnesian carbonates and the gypsum depicted in the Holocene deposits from the 'Marais de Sarliève' (Limagne, France) result from an alkaline, magnesium and sulphated composition of waters. This is also recorded by the composition of algal micro- and macrophytes. This may be explained by the dissolved fluxes from the Oligocene catchment and from a restriction. During the historical period, the lake evolved towards a lesser restriction. *To cite this article: J.-G. Bréhéret et al., C. R. Geoscience 335 (2003).*

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : sédiment lacustre ; Holocène ; bio-induction ; calcite magnésienne ; dolomite ; confinement ; algues ; Limagne ; France

Keywords : lacustrine deposits; Holocene; bio-induction; magnesian calcite; dolomite; restriction; algae; Limagne; France

Abridged English version

The so-called 'Marais de Sarliève' is a lacustrine basin of Late-Glacial–Holocene age, now totally dried

up, which is located in the Limagne plain, south of Clermont-Ferrand, France (Fig. 1). The watershed (28 km²) is mainly composed of Oligocene marls and limestones [1]. The aim of this work, undertaken along with archaeological studies, is to characterize the evolution of the environment and to detect the possible anthropic impact considering the sed-

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : breheret@univ-tours.fr (J.-G. Bréhéret).

imentary archives of lacustrine ‘Holocene clays’ [4,9]. The core SARL.2 (northern part of the lake), which reaches 5.30 m, is studied in this respect. The lithology is composed of four units with, upwards: (1) a bedrock of Oligocene marls; (2) blue–grey dolomitic silt (0.75 m); (3) laminites, made of decimetric sequences with chalky laminae or maculae interbedded with greenish grey marls more or less bioturbated (2 m); (4) the top of the section, below the present soil, homogeneous and bioturbated greenish grey marls (1.60 m) with the *couche noire* (‘black bed’), a dark decimetric layer.

The *couche noire* is dated to 45 AC, and sediments from 3.35 m depth are dated to 5828 BC (calibrated data, CDR–CNRS, University Lyon-1). On another core, SARL 1 (south of the Sarliève Lake), with comparable lithology (but with a bad recovery), the dating of a laminated layer located towards the top of unit 3 gave 4940 BC. These data, although sketchy, lead to conclude to a sedimentation rate somewhat higher for unit 3 than for unit 4, which is contemporaneous of human colonization of the watershed.

The sediment is dominated by a fine silty fraction and is mainly composed of carbonates, mainly low-Mg calcite and dolomite according to XRD and EDS analyses (Fig. 2). However, high-Mg calcite is also present in various proportions in several samples, in particular in the chalky laminae. Dolomite dominates in unit 2, but its proportion decreases upwards in units 3 and 4, low-Mg calcite taking advantage. If a part of low-Mg calcite is obviously detrital (or bioclastic), an important part is endogenous either as euhedral microcrystals (0.5–10 µm), sometimes associated in aggregates denoting an algal bio-induction as a consequence of photosynthesis (Fig. 3a), or as nanocrystals (some tens to hundreds nanometres), resulting probably from a microbial bio-induction (Fig. 3b and c). Dolomite is composed of two phases. One, formed by rhombs more or less worn out or broken (10–50 µm), is clearly detrital (Fig. 3c): it is either scattered in the marl or composes laminae. The other is formed by small stepped crystals (0.5 µm) and is obviously authigenous (Fig. 3d).

The abundance of autochthonous magnesian carbonates in the sediments of Sarliève is the consequence of an alkaline composition of waters characterized by a high Mg/Ca ratio, which may be comprised between 2 and 12 following works of Müller

et al. [10]; in such a case, it would be comparable to the present waters of Lake Balaton [11], where high-Mg dolomite is precipitating, induced by diatomaceous photosynthesis. However, autochthonous dolomite (now known in many continental occurrences [8,15]) would result from more drastic conditions, which may have occurred as a consequence of sulphate-reducing conditions in a restricted (evaporitic) environment. The example of the Lagoa Vermelha (Brazil) [12] shows that early diagenetic dolomite may be microbially mediated in shallow anoxic mud. Such an explanation has also been proposed [5] for the genesis of massive dolomite from the Pliocene sediments of the La Roda Lake (Spain), whose microfacies is quite close to that of Sarliève.

In the case of Sarliève, the precipitation of magnesian carbonate is the consequence of a morphological restriction – due to the dam effect of deposits of the Artière alluvial fan [4] – accompanied by an excess of evaporation. The early lake, endorheic, was thus able to concentrate solutes from the watershed, a situation accentuated by any negative hydric balance. In this respect, most laminae of unit 3 may be interpreted as microbial mats that have developed in such an environment. On the contrary, the decrease of dolomite upwards would express an opening of the basin. The presence of both pyrite and gypsum is linked to the concentration of sulphate ions in the lake water, which would be a prerequisite for the dolomite precipitation by the way of sulphate reduction [2].

Among the biogenous components, diatom populations [3], although scarce due to solution, are mainly composed of very shallow species that are alkaliphilous and oligo- to mesohalobe [6]. In the lower part of the core (dolomitic), populations are quasi monospecific with *Campylodiscus clypeus*, a mesohalobe species [7]. Moreover, oospores of Characeae are frequent and are characteristic of briny and very shallow environments, particularly with *Chara* cf. *canescens* Loiseleur [13]. These data confirm the interpretation drawn from the carbonate phases.

The origin of the solutes is linked to the leaching of Oligocene marls and limestones of the watershed. The maximum concentration was probably reached as a result of (1) the morphologic restriction of the lake by the dam disposition of Artière alluvial fan hence the absence of outlet, and (2) a negative balance of precipitation/evaporation ratio.

The opening of the basin evidenced in the upper third of the core SARL 2 may be linked to the progressive filling of the lacustrine basin, but also to the anthropic activity concerning the management of the water in a halieutic scope. The decrease of the sedimentation rate may be explained by the export of dissolved matter and the widening of the depositional area.

1. Introduction

Le marais de Sarliève, dépression lacustre de 6 km², au fonctionnement Tardiglaciaire–Holocène, comblée depuis le XIX^e siècle, est situé en Limagne, au sud de Clermont-Ferrand, en contrebas du plateau de Gergovie (Fig. 1). De nombreux vestiges de l'âge du fer et de la période gallo-romaine trouvés sur ses bordures, et à l'intérieur des limites d'extension maximale de l'ancien lac, témoignent de larges fluctuations du niveau de l'eau. Mené conjointement à des études archéologiques, le présent travail a pour but de retracer l'évolution du milieu lacustre et de mesurer l'éventuel impact anthropique (aménagements hydrauliques, défrichements sur les versants) grâce aux archives sédimentaires. Les premiers résultats dont nous faisons état s'appuient sur les données acquises sur deux forages exploratoires : SARL 1 (partie sud) et SARL 2 (partie nord), ce dernier présentant un meilleur taux de récupération.

2. Présentation générale

Le bassin versant, d'une surface d'environ 28 km², situé entre 340 et 720 m d'altitude, présente des affleurements du substratum surtout formé de marno-calcaires oligocènes, avec des pointements de pépérites, de quelques dépôts argilo-sableux miocènes ainsi que des basanites à analcime, formant le plateau de Gergovie [1]. Les formations superficielles comprennent des alluvions, des éboulis basaltiques et des colluvions marneuses de versant, ainsi que les « argiles holocènes » [4,9], comblant le marais.

L'épaisseur totale des dépôts traversés par SARL 2 atteint 5,30 m, dont 4,35 m de sédiments lacustres (Fig. 2). La succession (étroitement comparable à SARL 1) est la suivante, de bas en haut. Unité 1 : substratum oligocène de marno-calcaires bioturbés ver-

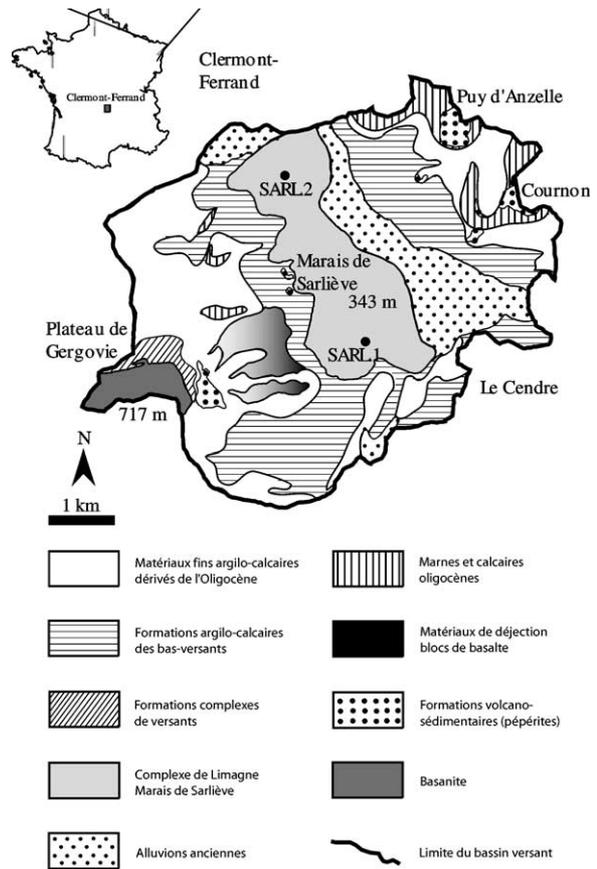


Fig. 1. Localisation du marais de Sarliève dans son contexte géologique.

Fig. 1. Location map of the 'Marais de Sarliève' and geological context.

dâtres ; unité 2 : 0,75 m de limons gris-bleuâtre grumeleux ; unité 3 : environ 2 m de laminites composées d'un empilement de séquences décimétriques où alternent deux faciès, (a) des marnes gris beige assez sombres homogènes, vaguement laminées et comportant des macules crayeuses, ou encore bioturbées, (b) des faisceaux de lamines crayeuses millimétriques ou infra-millimétriques, parfois associées à des restes de végétaux (tiges, graines, oospores) ; unité 4 : au sommet, sous le sol actuel, des marnes gris beige verdâtre homogènes ou franchement bioturbées sur environ 1,50 m, admettant une passée gris sombre décimétrique (« couche noire ») à la profondeur de 0,50 m.

Deux datations au radiocarbone ont été obtenues à partir de particules organiques sur ce forage (âges ca-

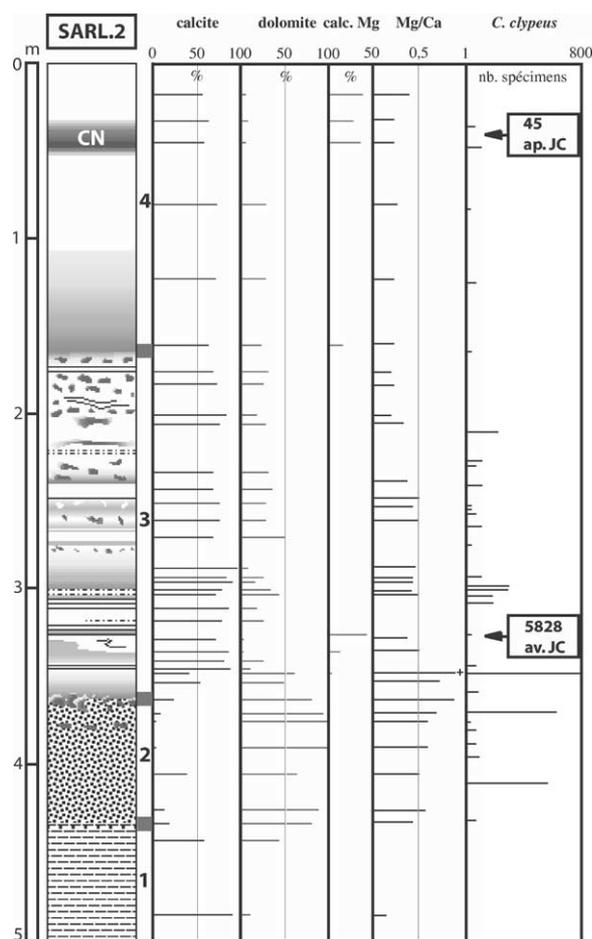


Fig. 2. Forage SARL 2 (marais de Sarliève). Lithologie, 1 : marnes du substratum oligocène, 2 : dolomie, 3 : marnes à passées laminées, 4 : marnes homogènes (CN : couche noire); composantes carbonatées : % calcite, dolomite, calcite magnésienne (XRD), rapport Mg/Ca (EDS), fréquence de frustules de la diatomée *Campylo discus clypeus* par lames.

Fig. 2. Core SARL 2 ('Marais de Sarliève'). Lithology, 1: Oligocene marly bedrock, 2: dolomite bed, 3: marls with laminated bundles, 4: homogeneous marls (CN: black layer), carbonate mineralogy: low-Mg calcite, dolomite, high-Mg calcite (XRD), Mg/Ca ratio (EDS), number of frustules of the diatom *Campylo discus clypeus*.

librés, analyses CDR-CNRS, université Lyon-1). La première (LY-9813) place la couche noire entre -49 et 81 av./apr. J.-C. (probabilité maximum : 45 apr. J.-C.); la seconde (LY-1236.OXA) confère aux sédiments situés à 3,35 m, vers la base de l'unité 3, un âge entre 5984 et 5716 av. J.-C. (probabilité maximum 5828). Le forage SARL 1, de lithologie comparable, assez per-

turbé par l'outil, n'a pas été analysé en détail, mais la datation d'une passée située vers le sommet de l'unité 3 (LY-1235.OXA), attribue un âge entre 5188 et 4804 av. J.-C. (maximum de probabilité : 4940). Bien que ces données soient encore fragmentaires, elles laissent suspecter un taux de dépôt nettement plus élevé pour l'unité 3 que pour l'unité 4, contemporaine d'une pression anthropique accrue dans le bassin versant, comme l'attestent les vestiges archéologiques [14].

Afin de caractériser le sédiment, les moyens techniques mis en œuvre ont été la granulométrie par tamisage, la microgranulométrie laser (Cilas 920), la diffraction des rayons X (Rigaku, anticathode Cu), la microscopie électronique à balayage (LEO, Gemini, Zeiss DSM 982) couplée au système EDS (Idfix, Fondis). Des données ont également été acquises sur les phases biogènes : characées et diatomées. Pour ces dernières, la préparation a été réalisée selon la technique standard avec attaque par HCl et H₂O₂.

3. La fraction minérale

La granularité des sédiments (sédiment total) est très fine dans l'ensemble; les limons fins dominent (60%) par rapport aux limons grossiers (20%). La fraction argileuse avoisine 20%. De rares passées contiennent une phase sableuse, essentiellement bioclastique : mollusques, ostracodes, graines, oospores. Les dépôts de SARL 2 présentent une composition marneuse (30–70% de carbonates); l'unité 2 est la plus carbonatée (Fig. 2).

Les carbonates sont formés essentiellement de calcite et de dolomite, auxquelles s'adjoint sporadiquement la calcite magnésienne, ainsi que l'attestent les diffractogrammes et les analyses EDS (les proportions des différents minéraux ont été établies grâce au rapport des surfaces de pics d'intensité 100, soit d_{104}). Les analyses EDS ponctuelles effectuées sur la calcite magnésienne montrent une teneur variée en magnésium, les diffractogrammes ne montrant qu'une large réflexion au voisinage de $30^\circ 2\theta$, caractéristiques d'un minéral désordonné, non stœchiométrique. Ce minéral est principalement identifié au sein de lamines ou de petites macules crayeuses (unité 3), mais est également présent dans les marnes homogènes (données MEB et EDS). La dolomite constitue la quasi-totalité des carbonates présents dans l'unité 2. Sa proportion

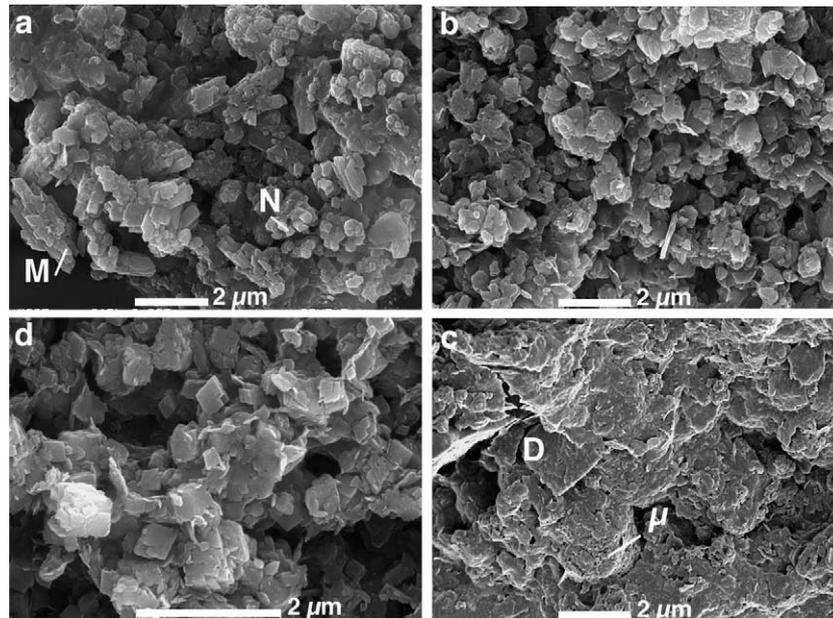


Fig. 3. (a) Microcristaux automorphes et agrégats polycristallins de calcite magnésienne. (b) Ensemble de nanocristaux de calcite magnésienne. (c) Nanocristaux groupés en microsphères ; la dolomite détritique est présente (D). (d) Nanorhombôdres de dolomite (M : microcristaux, N : nanocristaux, D : dolomite, μ : microsphères ; a, b, c : unité 3 ; d : unité 2).

Fig. 3. (a) Euhedral microcrystals and polycrystalline aggregates of high-Mg calcite. (b) Bulk of nanocrystals of high-Mg calcite. (c) Nanocrystals clustered in microspheres; detrital dolomite is present as a worn out rhomb. (d) Nanorhombs of dolomite. (M: microcrystals, N: nanocrystals, D: dolomite, μ : microspheres; a, b, c: unit 3; d: unit 2).

diminue beaucoup dans les unités 3 et 4, au profit de la calcite. Cette évolution est corroborée par les teneurs en Ca et Mg mesurées par EDS (Fig. 2).

Une partie de la calcite est manifestement détritique : cristaux ou amas polycristallins à cassures et traces d'usure ; une autre est bioclastique, surtout vers le sommet de la carotte. Enfin, la calcite – notamment la calcite magnésienne – se présente également sous forme de microcristaux automorphes de 0,5 à 10 μm (Fig. 3a), portant souvent des gradins d'accrétion, ainsi que de nanocristaux de quelques dizaines à centaines de nanomètres (Fig. 3b), parfois associés en microsphères (Fig. 3c), particulièrement dans les lamines crayeuses. Précisons que la calcite magnésienne est absente des marno-calcaires du substrat oligocène du bassin versant (présent travail et [1]), contrairement à la calcite non magnésienne. L'habitus de ces minéraux permet de penser qu'ils représentent des phases endogènes : bio-induction algale pour les microcristaux, bio-induction microbienne pour les nano-

cristaux. Quant à la dolomite, présente à tous les niveaux, elle est dispersée dans les sédiments, ou disposée selon des lamines, sous forme de cristaux rhomboédriques d'une taille entre 10 et 50 μm et qui montrent des traces d'usure ou des cassures (Fig. 3c), attestant une origine détritique depuis l'Oligocène du bassin versant [1]. Toutefois, les sédiments de l'unité 2 sont essentiellement composés de cristaux de dolomite de l'ordre de 0,5 μm , à gradins d'accrétion, manifestement authigènes (Fig. 3d). L'évolution des carbonates du sédiment lacustre est donc la suivante. La dolomite détritique est présente dans les trois unités. La dolomite authigène, très abondante dans l'unité 2, disparaît pratiquement dans l'unité 3. La calcite magnésienne, rare dans l'unité 2, est sporadique dans les unités 3 et 4, étant identifiée surtout dans les lamines et macules crayeuses. La calcite, peu fréquente dans l'unité 2, devient abondante dans les unités 3 et 4.

L'abondance de carbonates magnésiens autochtones dans les sédiments du lac de Sarliève montre

que les eaux de composition alcaline ont présenté, au moins sporadiquement, un rapport Mg/Ca élevé : compris entre 2 et 12 pour la calcite magnésienne seule (cf. [10]); dans ce cas, le contexte serait comparable aux eaux du lac Balaton [11], où ce minéral précipite dans les eaux de surface en conséquence de la photosynthèse des diatomées. Mais la présence de dolomite autochtone pourrait indiquer des conditions plus drastiques, primaires ou diagénétiques. En effet, les dolomites lacustres récentes et actuelles, assez répandues sur les continents [8], correspondent presque toujours à des dépôts en contextes évaporitiques [8,15], avec médiation microbienne. Par exemple, la genèse actuelle de dolomite dans la lagune brésilienne schizohaline de Vermelha [12] représente un sous-produit de l'importante activité microbienne sulfato-réductrice qui règne dans les vases anoxiques peu profondes (<1,7 m), la dolomite acquérant un meilleur ordonnancement sous une petite épaisseur de sédiment (12 cm) par diagenèse. Nous pouvons proposer que l'abondance de dolomite authigène dans l'unité 2 de Sarliève résulterait de la transformation diagénétique d'une calcite magnésienne, voire d'une dolomite désordonnée, formée par bio-induction microbienne dans un milieu nettement confiné, à l'instar du modèle proposé pour la dolomite du lac pliocène de La Roda [5].

La formation de carbonates magnésiens à Sarliève a nécessité un confinement morphologique accompagné d'un excès d'évaporation. Dans ses stades précoces, avant remplissage, le réceptacle lacustre devait présenter une morphologie assez creuse. De plus, l'existence du cône détritique de l'Artière [4] privait le lac d'exutoire au nord. Sarliève, étant ainsi endoréique, pouvait concentrer les solutés issus du bassin versant, situation accentuée par tout épisode à déficit hydrique. Les lamines de l'unité 3 constituent pro parte les résidus de tapis microbiens développés dans cet environnement. La diminution de la dolomite authigène et la disparition de la lamination dans l'unité 4 traduiraient un déconfinement.

Le gypse, présent en petite quantité, provient en partie de l'altération de pyrite authigène, notamment dans l'unité 3, comme l'attestent les observations au MEB. La présence de ces deux minéraux est liée à une concentration substantielle des eaux lacustres en sulfates dissous. Celle-ci aurait permis la sulfato-

réduction microbienne nécessaire à la genèse de dolomite [2].

4. La fraction biogène

Les populations de Diatomophycées se révèlent appauvries par la dissolution. Cependant, la quasi-totalité des diatomées identifiées dans les assemblages [3] présente un mode de vie littoral, épiphyte, certaines étant aérophiles, d'autres tychoplanctoniques (par exemple, *Fragilaria*). Dans leur immense majorité, les espèces sont alcaliphiles à alcalibiontes (pH : 7,5–8,5 et au-dessus) [6], tandis que la plupart sont oligohalobes à mésosalobes (salinités : 0,5–5‰ et 5–20‰) [7]. Vers la base de SARL 2 (unité 2 ; cf. Fig. 2), les populations sont quasi monospécifiques en l'espèce *Campylodiscus clypeus* Ehrenberg, réputée mésosalobe [6]. Ces constatations permettent d'établir que le lac de Sarliève a été systématiquement caractérisé par des profondeurs très faibles (quelques mètres). Elles confirment l'alcalinité des eaux et leur tendance saumâtre, voire franchement salée dans les stades anciens de son évolution. Dans l'unité 4, correspondant à la période historique, la diminution de *C. clypeus* traduirait un moindre confinement du lac.

Les Characées distribuées dans l'unité 3 sont représentées uniquement par des oospores présentes au sein de lamines. Il s'agit de *Chara braunii* Gmelin, espèce d'eaux neutres à légèrement acides, compatible avec un milieu chargé en matières organiques et feuilles en décomposition. Mais une autre forme, particulièrement remarquable par son allongement exceptionnel, est rapportée à *Chara cf. canescens* Loiseleur, espèce typique d'eaux saumâtres, qui fut d'ailleurs signalée au début du XX^e siècle à l'état vivant près de sources salées voisines (Saint Nectaire). Ces deux espèces indiquent donc un environnement lacustre peu profond (<2 m) soumis à des influences salines [13]. La présence sporadique de *Ch. braunii*, plutôt acidophile, souligne des événements d'accumulations organiques (débris végétaux) dans un contexte plus généralement alcalin.

Les sédiments de SARL 2 livrent également des bioclastes de mollusques (lamellibranches et gastéropodes) et d'ostracodes, dont les proportions augmentent largement dans l'unité 4, en relation avec l'ouverture du milieu.

5. Conclusions

Les sédiments lacustres de Sarliève comportent une part substantielle de carbonates magnésiens autochtones – calcite magnésienne et dolomite – d'origine bio-induite, à la suite d'activités algaires et microbiennes. La présence de ces minéraux traduit un milieu alcalin, un rapport Mg/Ca > 2. La présence de gypse et de pyrite résulte d'une teneur importante des eaux en sulfates. L'origine des solutés est liée au lessivage des marno-calcaires oligocènes du substratum et du bassin versant. La concentration nécessaire à la précipitation est la conséquence d'un confinement lié à l'absence d'exutoire et à un déficit hydrique dans les premiers stades du lac. L'influence du confinement se répercute sur la flore diatomique et sur les Characées, dont les espèces présentes sont connues pour leur adaptation aux milieux saumâtres. Le déconfinement qui s'opère vers la base de l'unité 4 peut être lié à un débordement naturel des eaux lacustres, consécutif au comblement progressif de la cuvette, et/ou à une phase climatique plus humide. Il pourrait aussi être mis en relation avec l'action anthropique, par l'ouverture d'un exutoire destiné à contrôler la qualité et le niveau des eaux pour les activités halieutiques attestées par les découvertes archéologiques. Ce déconfinement aurait eu également pour conséquence l'exportation d'une partie des matières en suspension et des solutés, expliquant en partie la diminution du taux de sédimentation.

Remerciements

Le présent travail représente une contribution au programme PEVS/SEDD, *Interaction Société/Milieu dans le bassin versant de la Loire*, et au programme Eclipse. F. Gasse et un lecteur anonyme sont vivement remerciés pour leurs critiques constructives. L'aide de B. Arbeille, P.-Y. Sizaret et J.-P. Bakyono a été appréciée.

Références

- [1] M. Aubert, R. Bouiller, G. Camus, A. Cochet, D. D'Arcy, D. Giot, M. Jeambrun, A. Roche, N. Bonhomme, Clermont-Ferrand, Carte géologique de la France à 1/50.000, XXV-31, Bureau de Recherches géologiques et minières Service géologique national, 1973, 64 p.
- [2] S.J. Burns, J.A. McKenzie, C. Vasconcelos, Dolomite formation and biogeochemical cycles in the Phanerozoic, *Sedimentology* 47 (Suppl. 1) (2000) 49–61.
- [3] A. Fleury, Apport des diatomées à la caractérisation de l'environnement lacustre du marais de Sarliève (Puy-de-Dôme) au cours de l'Holocène et de la période historique, Mém. DEA, université d'Orléans-Tours, 2001, 40 p.
- [4] L. Gachon, Contribution à l'étude du Quaternaire récent de la Grande Limagne maître-cylindre : morphogenèse et pédogenèse, thèse, université de Clermont-Ferrand, Ann. Agron. 14 (h.s. 1) (1963) 1–191.
- [5] M.A. Garcia del Cura, J.P. Calvo, S. Ordonez, B.F. Jones, J.C. Canaveras, Petrographic and geochemical evidence for the formation of primary, bacterially induced lacustrine dolomite: La Roda 'white earth' (Pliocene, central Spain), *Sedimentology* 48 (2001) 897–915.
- [6] F. Gasse, Les diatomées lacustres plio-pléistocènes du Gadeb (Éthiopie). Systématique, Paléoécologie, Biostratigraphie, *Rev. Algol. (Mémoire hors série)* 3 (1980) 1–249.
- [7] H. Germain, Flore des diatomées, eaux douces et saumâtres, Boubée, Paris, 1981, 411 p.
- [8] W.M. Last, Lacustrine dolomite—an overview of modern, Holocene, and Pleistocene occurrences, *Earth-Sci. Rev.* 27 (1990) 221–263.
- [9] G. Lenselink, S.B. Kroonenberg, G. Loison, Pleniglacial to Holocene paleo-environments in the Artière basin, in the western Limagne rift valley, Massif Central, France, *Quaternaire* 2 (1990) 139–156.
- [10] G. Müller, G. Irion, U. Forstner, Formation and diagenesis of inorganic Ca–Mg carbonates in the lacustrine environment, *Naturwissenschaften* 59 (4) (1972) 158–164.
- [11] G. Müller, F. Wagner, Holocene carbonate evolution in Lake Balaton (Hungary): a response to climate and impact of man, *Spec. Publ. Int. Ass. Sedimentol.* 2 (1978) 57–81.
- [12] C. Vasconcelos, J.A. McKenzie, Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil), *J. Sediment. Res.* 67 (3) (1997) 378–390.
- [13] I. Soulié-Märsche, Étude comparée de gyrogonites de Charophytes actuelles et fossiles et phylogénie des genres actuels, Imprimerie des Tilleuls, Millau, France, 1989, 237 p.
- [14] F. Trément, C. Ballut, C. Mennessier-Jouannet, J. Argant, Mutations environnementales et systèmes socio-économiques en Grande Limagne (Massif central) de l'âge du Fer au Moyen Âge. Actes du colloque *Équilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires : durabilité et mutation*, Besançon, 18–22 septembre 2000, Ann. Univ. Franche-Comté, Besançon, France (sous presse).
- [15] J. Warren, Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations, *Earth-Sci. Rev.* 52 (2000) 1–81.

[1] M. Aubert, R. Bouiller, G. Camus, A. Cochet, D. D'Arcy, D. Giot, M. Jeambrun, A. Roche, N. Bonhomme, Clermont-