

Analyse d'un exemple de fossilisation d'une trace de pas de Dinosaur (Lias inférieur des Causses)

Pierre FREYTET

Abstract: A calcareous block made of algo-laminated (stromatolitic) material exhibits at its upper surface a foot print of a Dinosaurian. A vertical section (sawing) and a thin section allow to make detailed observations. The early diagenesis permits the preservation of the deformations caused by the foot print.

Mots clés : ichtnologie, dinosaures, sédiments algo-laminés, stromatolites, diagénèse.

Key words: ichtnology, dinosaurian, algo-laminated sediments, stromatolites, diagenesis.

AVERTISSEMENT

Ce texte ne correspond pas à la présentation orale, faite à Talmont-Saint-Hilaire le 28 mars 2002, qui était un survol de toutes les traces possibles dans l'actuel et l'ancien et de leur fossilisation. Nous avons préféré analyser un échantillon typique et poser les problèmes de diagénèse des tapis algo-laminés. De grands remerciements à Georges Gand, inventeur du bloc étudié.

INTRODUCTION

La diagénèse est l'ensemble des mécanismes physiques, chimiques et biologiques assurant la transformation des sédiments meubles en roches consolidées. Ces phénomènes ont particulièrement été étudiés par les géologues pétroliers, à la recherche d'une part de la transformation de la matière carbonée en produits pétroliers (diagénèse organique) et d'autre part des modifications de porosité/perméabilité permettant la migration et le piégeage de ces produits.

Les carbonates marins littoraux sont abondants dans les domaines intertropicaux [*cf.* par exemple PURSER (éd.) sur le golfe Persique, 1973 ; PURSER, 1980-1983]. Parmi ceux-ci, les dépôts des vasières en communication intermittente avec la mer (milieux restreints, milieux confinés) sont constitués de sédiments algo-laminés, assimilables à des stromatolites. Un voile algaire superficiel (constitué principalement de cyanobactéries) piège les particules détritiques apportées par les marées, les tempêtes et le vent, tandis qu'en profondeur, les eaux circu-

lantes permettent la précipitation de minéraux variés (aragonite, calcite, dolomite, etc.). Un bon exemple d'étude très complète est fourni par les "sebhas" d'Abu Dhabi [BALTZER *et al.*, 1994], dont la matière organique a été analysée en détail par KENIG [1991].

La littérature est abondante sur les stromatolites en général et sur les sédiments algo-laminés. Ces derniers en sont un cas particulier, en milieu intertidal et supratidal, sous tous les climats jusqu'au-delà du cercle polaire. Leur position à la limite du domaine marin et du domaine continental est particulièrement favorable à l'enregistrement de traces d'organismes terrestres, comme les Dinosaures. De plus, les phénomènes d'induration précoce affectant ces milieux permettent la fossilisation quasi instantanée de ces témoins très éphémères.

ANALYSE DE L'ÉCHANTILLON

À titre d'exemple, nous étudierons ici un bloc de calcaire récolté par G. Gand, faisant partie des nombreux échantillons étudiés dans la synthèse des traces provenant du Lias inférieur des Grands Causses [DEMATHEU *et al.*, 2002].

La principale difficulté est d'obtenir d'un paléontologiste le sacrifice d'une empreinte, même choisie parmi les moins spectaculaires. Mais les observations que l'on peut faire et les conclusions que l'on peut en tirer sont d'un tel intérêt qu'il faudrait systématiquement exiger de toute publication sur ce sujet une étude en lame mince d'un échantillon sur cinq au moins.

Le bloc calcaire portait en surface des traces

de doigts enfoncés dans le sédiment. Sur un sciage passant à travers les empreintes (fig. 1), on constate d'abord la superposition de plusieurs ensembles de laminations, peu différentes à l'in-

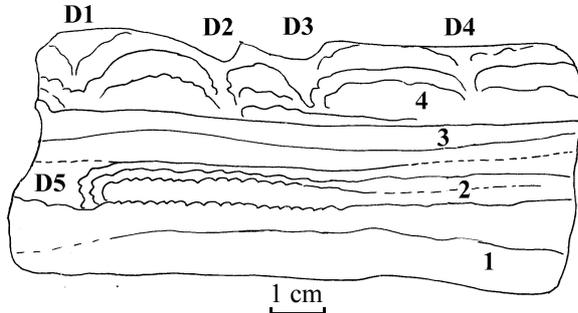


Fig. 1 – dessin d'un sciage passant à travers la trace de doigts ayant déformé le sédiment. D1 à D5 : traces de doigts. 1 à 4 : ensembles de couches algolaminées de même type (à bords parallèles ou formées de la juxtaposition de petits dômes). Dessin d'après FREYTET, in DEMATHIEU *et al.*, 2000, fig. 61, redessiné et réinterprété.

térieur d'un ensemble, mais différentes à très différentes d'un ensemble à l'autre. Une première conclusion apparaît : la sédimentation est continue pendant une certaine durée, puis à la suite d'un changement (climatique, topographique, géographique ou hydrologique ?), les conditions de croissance du tapis algair sont modifiées, ce qui se manifeste par une morphologie interne différente, les laminations planes ou faiblement onduleuses sont remplacées par des laminations faites de la juxtaposition de petits dômes ou hémisphères. Cela peut rappeler les observations de BLACK [1933] dans les tapis algaires aux îles Bahamas. En milieu d'eau douce, ce mode de croissance hétérogène des stromatolites (tufs et travertins) est la règle [FREYTET & VERRECCHIA, 1998 ; FREYTET, 2000 ; FREYTET *et al.*, 1999, 2000, 2001].

À ces perturbations liées à la croissance algair, s'ajoutent de temps en temps des déformations importantes liées au piétinement animal qui peut plisser et briser tout un paquet de laminations. Ici, le paquet 2 a été déformé par le doigt noté D5 et le paquet 4 a été déformé par les doigts notés D1 à D4. Il est clair que si on pouvait disposer de très nombreuses sections (sciages de grandes plaques dans les carrières), on serait certainement surpris par le nombre de ces déformations, donc de ces pistes et donc de l'importance des migrations animales. De telles observations sont théoriquement possibles sur un front de taille de carrière, mais beaucoup moins aisées.

À l'échelle de la lame mince (fig. 2), observations et interprétations sont bien différentes.

Le détail de bouquets de filaments et la constitution des laminations (micrite claire, micrite sombre à grumeaux, micrite claire à pellets, microsparite claire) ne sont pas figurés [DEMATHIEU *et al.*, 2002, fig. 61]. La schématisation des laminations par une ligne noire sur fond blanc montre bien que leur succession n'est pas uniforme, laminations à grandes ondulations et laminations à petits dômes juxtaposés peuvent se succéder aléatoirement. Les variations des conditions de milieu évoquées plus haut pour les paquets de laminations s'exerçaient aussi à l'échelle de la lamination individuelle. On peut donc nuancer l'interprétation en tenant compte de modifications très locales pour un même site. Par exemple, on peut passer d'une périodicité journalière (milieu intertidal) à une périodicité mensuelle (marées de vives eaux) voire saisonnières ("grandes marées d'équinoxe") et même à des événements irréguliers (tempête).

Le passage de l'animal s'est fait sur un tapis algair mou, facilement déformable (doigts notés D1 et D2). Les doigts se sont enfoncés de 2 cm environ, en cassant net le voile (doigt D2) ou en le plissant avant cassure (doigt D1). Lors du

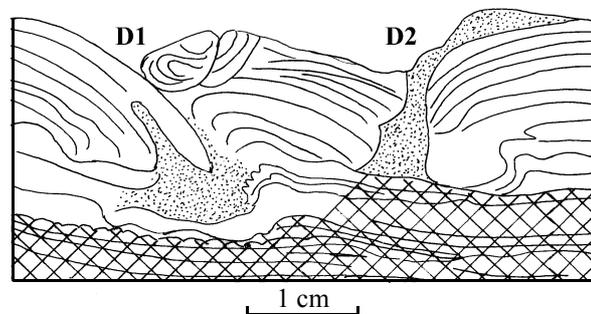


Fig. 2 – dessin de lame mince. D1 et D2 : traces de doigts. En blanc : sédiments algolaminés, avec matérialisation des laminations planes, onduleuses ou très déformées. Pointillés : micrite claire. Croisillons : zone indurée précocement ayant résisté au poids des animaux. Dessin d'après FREYTET, in DEMATHIEU *et al.*, 2000, fig. 61, redessiné et réinterprété.

retrait des doigts, la cassure provoquée par D2 est restée béante, tandis que pour D1, les deux lèvres de l'ouverture se sont rapprochées et ont refermé la fissure vers le haut, tandis que deux petits blocs, à contenu très plissé, sont restés à la surface près de la fermeture. Ce sont peut être des blocs (millimétriques !) détachés par la pression du doigt, restés fixés sur celui-ci et tombés au sol immédiatement après son retrait.

Le figuré en pointillés est une micrite claire, homogène, dépourvue de filaments algaires. On peut y voir un remplissage de cavités par de la boue de liquéfaction du sédiment sous la pression, un peu à la manière des sables mouvants. Pour le doigt D2, le produit de liquéfaction a rempli la cavité créée par l'enfoncement du doigt immédiatement après son retrait. Il manque malheureusement 1 cm de sédiment à la partie supérieure pour expliquer la forme curieuse du remplissage. Pour le doigt D1, l'enfoncement s'est fait selon une ligne courbe, tandis que le sédiment liquéfié giclait vers la gauche, s'introduisant en force entre deux laminations. Le retrait du doigt s'est accompagné d'un rapprochement des deux lèvres de la fissure, mais un peu de sédiment liquéfié a pu s'injecter dans la cicatrice.

Le figuré en croisillons marque la zone dans laquelle les laminations ne sont pas déformées, c'est-à-dire que le tapis algaire avait déjà subi une induration précoce lui assurant une solidité suffisante pour supporter le poids de l'animal. Le doigt D2 est venu s'appuyer directement sur la zone indurée dont les laminations ne sont pas déformées et le contact avec le sédiment liquéfié est net. Le doigt D1 est descendu plus bas de 5 mm environ. Entre la zone indurée non déformée (croisillons) et le sédiment liquéfié (pointillés) se place une lamination un peu déformée. Donc au moment du passage de l'animal, le sommet de la zone indurée n'était pas plan et parallèle à une lamination. D'autre part, les laminations non indurées ont deux types de comportement : les plus rigides sont cassantes, les plus souples sont déformables. On peut en conclure que les processus d'induration (diagenèse précoce) ne se font pas sentir parallèlement à la surface du sol, mais selon des taches irrégulièrement réparties, aussi bien verticalement que latéralement.

Il serait encore plus intéressant d'étudier les déformations de détail laissées par des animaux de poids différents (jeunes et adultes, ou adultes de plusieurs espèces) ayant piétiné la même surface au même moment. Il n'y a pas de fentes de dessiccation, verticales ou horizontales, associées aux pistes. On pourrait alors tenter de voir s'il y a une corrélation entre induration et proximité de ces fentes, c'est-à-dire déterminer le rôle de l'évaporation et du dégazage.

CONCLUSION

La fossilisation des empreintes de pas de Dinosaures et autres animaux est largement favorisée par les phénomènes de diagenèse précoce qui

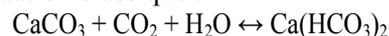
affectent le voile algaire superficiel, que celui-ci soit mince (sur sables : grès à empreintes de pattes), ou épais en milieu carbonaté (sédiments algo-laminés intersupratidaux). L'étude détaillée de certaines lames minces, particulièrement favorables, permet de constater que l'induration précoce est irrégulière.

Il serait souhaitable d'étudier minutieusement la pétrographie du matériel du site du Veillon, à Talmont-Saint-Hilaire, afin de voir si les mécanismes de la fossilisation des empreintes de pattes sont analogues ou plus ou moins différents. Cela pourrait conduire à une technique de recherche du niveau à pistes sur des sections verticales (falaises et fronts de taille de carrière).

ANNEXE I

À propos de la précipitation des carbonates [FREYTET, 1999] (traduction de l'anglais)

L'équation classique :



est particulièrement simpliste du point de vue naturaliste. En fait, cette équation ne permet de prévoir ni la minéralogie (calcite, calcite hydratée, aragonite, oxalates), ni la forme des cristaux (micrite, aiguilles, sparite, etc.), ni leur localisation. De plus, le minéral CaCO_3 pur n'existe pas : l'aragonite contient un peu de Sr, les calcites sont toujours soit fortement magnésiennes (jusqu'à 10% de Mg) soit faiblement magnésiennes (moins de 5% de Mg) et plus ou moins ferrifères (ce qui donne de très spectaculaires figures de cathodoluminescence).

En tenant compte de la très abondante littérature sur le sujet (résumée dans FREYTET & VERRECCHIA, 1998, p. 358-359), nous préférons remplacer cette équation trop drastique par le lemme suivant :

"Dans un environnement contenant divers ions minéraux et des molécules organiques, quand, pour plusieurs causes globales, les conditions générales de la précipitation sont réalisées, il apparaît, dans des microniches* particulières, des cristaux dont le nombre (abondance de germes), la minéralogie (aragonite, diverses calcites, calcite hydratée, magnésite, dolomite, phosphates, etc.), l'abondance des "impuretés" (Mg, Sr, Fe, etc.), la forme primaire (micrite, divers habitus de la sparite, aiguilles, dendrites, texture box-work, entonnoirs, etc.) et le contenu isotopique (de C et de O) dépendent uniquement des

conditions microlocales non prévisibles :

- sécrétions externes des algues, de leurs épiphytes et des organismes voisins libres ;
- produits d'altération des gaines, des membranes cellulaires, de la partie interne des cellules et filaments, ainsi que de tous les autres organismes de la biocénose (bactéries, champignons, animaux) ;
- substances intracellulaires libérées dans le milieu par le broutage des animaux. "

* au sens de PENTECOST [1995].

ANNEXE II

À propos des stromatolites

Définition de KALKOWSKY E. [1908]

Der Name Stromatolith soll im Gegensatz Kalkmassen bezeichnen, die eine feine, mehr oder minder ebene Lagenstruktur besitzen im Gegensatz zu der zentralen Struktur der Oolithkörner.

[Le terme de stromatolite désigne, par opposition à celui d'oolithe, une masse calcaire qui possède une structure en couches plus ou moins planes, et qui s'oppose ainsi à la structure concentrique des oolithes.]

Définition de AWRAMIK S.M. & MARGULIS L. [1974]

Stromatolites are organosedimentary structures produced by sediment trapping, binding and/or precipitation as a result of the growth and metabolic activity of microorganisms, principally cyanophytes.

[Les stromatolites sont des structures organosédimentaires produites par le piégeage, l'agglutination des sédiments et/ou la précipitation [de minéraux] résultant de la croissance et de l'activité métabolique de microorganismes, principalement des cyanophytes.]

Définition de FREYTET P. [1999] (traduction de l'anglais)

Les stromatolites sont des roches laminées, résultant de l'induration de feutres biologiques piégeant et agglutinant des particules et précipitant des minéraux. Un feutre biologique est une

biocénose complexe composée de bactéries, cyanobactéries, algues eucaryotes, champignons, petits animaux invertébrés (...). Dans un feutre biologique, une ou deux espèces peuvent prédominer, mais de très nombreuses autres espèces sont présentes en faible quantité et peuvent former localement d'importantes populations. La structure générale du feutre biologique est définie par la croissance irrégulière et saisonnière de l'espèce prédominante, et/ou la succession saisonnière de différentes biocénoses. Les minéralisations primaires (oxalates, micrite, divers types de sparite) sont liées aux organismes prédominants assurant la trame de l'édifice, au niveau générique ou spécifique, ou aux organismes épiphytes dont ils sont couverts. Les recristallisations en sparite de types bien précis sont le plus souvent caractéristiques de biocénoses particulières.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AWRAMIK S.M. & MARGULIS L., 1974. – What is a stromatolite? *Stromatolite Newsletter*, **2** (5).
- BALTZER F., KENIG F., BOISCHARD R., PLAZIAT J.-C. & PURSER B.H., 1994. – Organic matter distribution, water circulation and dolomitization beneath the Abu Dhabi Sabkha (United Arab Emirates). Springer, Berlin, *Spec. Publ. Intern. Ass. Sedim.*, **21** : 409-427.
- BLACK M., 1933. – The algal sediments of Andros Islands, Bahamas. London, *Philos. Trans.*, **222** : 165-192.
- DEMATHIEU G., GAND G., SCIAU J., FREYTET P. & GARRIC J., 2002. – Les traces de pas de Dinosaures et autres Archosaures du Lias inférieur des Grands Causses, Sud de la France. Montpellier, *Palaeovertebrata*, **31**, 1-4, 143 p., 20 pl., 30 tabl., 69 fig. + tabl. A-E.
- FREYTET P., 2000. – Distribution and paleoecology of non marine algae and stromatolites : II, the Limagne of Allier Oligo-Miocene lake (Central France). Elsevier, Paris, *Ann. Paléontologie*, **86**, 1 : 3-57.
- FREYTET P., BROUTIN J. & DURAND M., 2000. – Distribution and paleoecology of non marine algae and stromatolites : III, some new forms from the Carboniferous, Permian and Triassic of France and Spain. Elsevier, Paris, *Ann. Paléontologie*, **86**, 4 : 195-241.

- FREYTET P., DURINGER P., KOENIGUER J.-C., LABLANCHE G., LAURAIN M., PONS D., 2001. – Distribution and paleoecology of non marine algae and stromatolites : IV, some examples from the Tertiary of the Parisian Basin and the Alsace Graben. Elsevier, Paris, *Ann. Paléontologie*, **87**, 3 : 143-205.
- FREYTET P., TOUTIN-MORIN N., BROUTIN J., DEBRIETTE P., DURAND M., EL WARTITI M., GAND G., KERP H., ORSZAG F., PAQUETTE Y., RONCHI A. & SARFATI J., 1999. – Repartition and paleoecology of non marine algae and stromatolites : Permian of France and adjacent countries. Elsevier, Paris, *Ann. Paléontologie*, **85**, 2 : 97-149.
- FREYTET P. & VERRECHIA E.P., 1998. – Fresh-water organisms that built stromatolites: a synopsis of biocrystallizations by prokaryotic and eucaryotic algae. *Sedimentology*, **45** : 535-563.
- KALKOWSKY E., 1908. – Oolith und Stromatolith im norddeutschen Bundsandstein. Berlin, *Z. Deutsche geologische Gesellschaft*, **60** : 68-125.
- KENIG F., 1991. – *Sédimentation, distribution et diagenèse de la matière organique dans un environnement carbonaté hypersalin : le système lagune - sabkha d'Abu Dhabi*. Thèse Université Orléans, 311 p.
- PENTECOST A., 1995. – Significance of biomineralizing microniche in a *Lyngbya* (Cyanobacterium) travertine. *Geomicrobiology J.*, **13** : 213-222.
- PURSER B.H. (éd.), 1973. – *The Persian Gulf, Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*. Springer, Berlin, 471 p.
- PURSER B.H., 1980-1983. – *Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents*. Technip, Paris, Publication de l'Institut français du Pétrole, tome 1, 1980, 366 p. ; tome 2, 1983, 389 p.

Pierre FREYTET
41 rue des Vaux-Mourants
91370 VERRIÈRES-LE-BUISSON