

## Journée thématique

DIM Matériaux anciens et patrimoniaux



# Développements méthodologiques en taphonomie

10 octobre 2018

Muséum national d'histoire naturelle

<https://dev-metho-tapho.sciencesconf.org>

# PROGRAMME & RÉSUMÉS



# PROGRAMME

09:15 – 10:00 > **Accueil café des participants**

10:00 – 10:10 > **Ouverture**

::: Gaëlle Rivière (Dir. de la Recherche et des Transferts de Technologie, Région Île-de-France)

::: Loïc Bertrand (IPANEMA, porteur du DIM Matériaux anciens et patrimoniaux)

10:10 – 10:20 > **Objectifs de la rencontre**

::: Christiane Denys (ISYEB)

::: Loïc Bertrand (IPANEMA)

10:20 – 10:40 > **Conférence inaugurale**

::: Des TaphonomieS : approches pluridisciplinaires et intégratives

Jean Philip Brugal (AMU UMR LAMPEA)

10:40 – 12:20 > **Nouveaux usages et nouvelles méthodes de la taphonomie**

\*\*\* *Communications orales (10 min + 5 min de questions)* \*\*\*

::: **SYNANTHROPES\*** -- The taphonomic history of synanthropic small mammals from Greek archaeological sites (Katerina Papayianni, Zoï Tsirtsoni, Thomas Cucchi)

::: Du microscope à la modélisation géochimique pour l'étude de la fossilisation : crustacés exceptionnellement préservés du Jurassique de La Voulte-sur-Rhône

(Clément Jauvion, Sylvain Bernard, Pierre Gueriau, Sylvain Charbonnier)

::: Taphonomie à l'échelle infra-micrométrique : Implications méthodologiques des données récentes relatives aux processus de biominéralisation (Jean Pierre Cuif et Yannicke Dauphin)

::: Identifying cut marks and trampling marks: a quantitative study of their microtopography through geometric morphometrics

(Alexandre Napias, Frédéric Santos, Ronan Ledevin, Anaïs Canevet, Daniel Cusimano, Jennifer Parkinson, Lee Rozada, David Cochard, Antoine Souron)

::: Quantifier la qualité de rétro-déformation par la méthode des thin plate-splines sur des objets asymétriques : Simulation de dégradations taphonomiques et application sur un échantillon de dinosaures sauropodomorphes (Romain Pintore)

::: Taphonomie de l'ADN et d'autres macromolécules biologiques (Eva-Maria Geigl)

\*\*\* *Communications flash (3 min)* \*\*\*

::: Une nouvelle préparation d'échantillons pour les microscopies en transmission

(Pierre Jacquemot, Jean-Christophe Viennet, Corentin Le Guillou, Anne-Marie Blanchenet, Maguy Jaber, Sylvain Bernard)

::: **LAPTOP\*** -- Isolement de biomarqueurs lipidiques par chromatographie liquide semi-préparative. Vers un nouvel outil de paléoclimatologie isotopique pour les tourbières est-africaines ?

(Louis Rouyer, Thanh Thuy Nguyen Tu, Christelle Anquetil, Fabrice Alliot, Mercedes Mendez-Millan, Arnaud Huguet)

::: **AGROFER\*** -- Test d'un marqueur inédit de l'amendement des sols aux laminaires : mesure et cartographie des teneurs en arsenic sur grains de céréales archéologiques carbonisés

(Sammy Ben Makhad, Véronique Zech-Matterne, Henri Gandois, François Malrain, Marie Balasse)

::: **DILUVIAN\*** -- Deciphering hidden Information with Luminescence of Vetigastropoda using new Imaging Analytical methods (Laurine Moreuil, Didier Merle, Mathieu Thoury)

12:30 – 13:00 > **Table ronde : Développements méthodologiques en taphonomie, apports des plateformes du DIM**

- ::: Loïc Bertrand (IPANEMA)
- ::: Pierre Gueriau (IPANEMA)
- ::: Dominique Blamart (LSCE)
- ::: Sylvain Bernard (IMPMC)
- ::: Philippe Dillman (LAPA-IRAMAT/NIMBE CEA/CNRS)
- ::: Julien Gargani (GEOPS)

13:00 – 14:30 > **Pause déjeuner libre**

14:30 – 16:00 > **Nécessité et développement des protocoles expérimentaux nouveaux à toutes les échelles**

\*\*\* *Communications orales (10 min + 5 min de questions)* \*\*\*

- ::: **FOSSILEX\* 1** -- Fossilisation expérimentale : interactions minéral-organique (Pierre Jacquemot, Sylvain Bernard, Thomas Georgelin, Jean-Christophe Viennet, Maguy Jaber)
- ::: **FOSSILEX\* 2** -- Hydrothermalisme expérimental d'assemblages organo-minéralogiques (Jean-Christophe Viennet, Pierre Jacquemot, Sylvain Bernard, Maguy Jaber)
- ::: Roches de haute technologie et rivières : une expérience de transport d'objets à l'aide d'étiquettes RFID (Wei Chu et Robert Hosfield)
- ::: Experimental taphonomy with microbial communities: where are we and future perspectives (Miguel Iniesto, Karim Benzerara, Ana Isabel Lopez-Archilla)
- ::: Taphonomie expérimentale : application aux mammifères (Yannicke Dauphin et Christiane Denys)
- ::: Expérimentation sur l'impact du piétinement sur la fracturation des éléments squelettiques de micromammifères (Loïc Lebreton)

16:00 – 16:30 > **Pause-café**

16:30 – 16:40 > \*\*\* *Communications flash (3 min)* \*\*\*

- ::: **PYREX\*** -- Pyritisation Expérimentale d'animaux marins: étude des processus organiques et inorganiques, et comparaison avec le registre fossile (Giliane Odin, Thanh Thuy Nguyen-Tu, Sylvie Derenne, Sylvain Charbonnier)
- ::: **AMIDON\*** -- Analyses Microbotaniques Interdisciplinaires sur Objets Néolithiques (Clarissa Cagnato, Caroline Hamon, Michelle Elliott, Aurélie Salavert)

16:40 – 17:30 > **Table ronde : Développements et perspectives en taphonomie expérimentale pour les matériaux anciens et le patrimoine**

- ::: Sylvain Charbonnier (CR2P)
- ::: Isabelle Rouget (CR2P)
- ::: Emmanuelle Stoetzel (HNHP)
- ::: Jean-Philip Brugal (AMU UMR Lampea)
- ::: Margareta Tenberg-Mongnel (AASPE-MNHN)

17:30 – 17:45 > **Conclusions de la journée et perspectives**

- ::: Loïc Bertrand (IPANEMA), co-porteur du DIM
- ::: Margareta Tengberg-Mongne (AASPE-MNHN), coporteuse du DIM

**Fin de la réunion : 18:00**

(\* Projets soutenus par le DIM Matériaux anciens et patrimoniaux)

# RÉSUMÉS

Conférence inaugurale

## Des TaphonomieS : approches pluridisciplinaires et intégratives

Jean-Philip Brugal<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> UMR 7269 LAMPEA, CNRS, Aix Marseille Université, Ministère de la Culture, Aix-en-Provence.

\* contact : [brugal@msh.univ-aix.fr](mailto:brugal@msh.univ-aix.fr)

Depuis une dizaine d'années, plusieurs grands programmes scientifiques ont vu le jour en France et en Europe dans le champ de la Taphonomie (RTP, GDR en France). Il en est de même en Afrique qui a vu un développement premier et primordial dans ce domaine. Il s'agit d'approches originales sur des objets *s.l.* et ensembles du Passé, très actives en particulier pour la période Quaternaire (les derniers 2.6 Ma), contemporaine d'importants changements climatiques (glaciations en Hémisphère Nord) et de l'apparition, évolution et dispersion de la lignée humaine. La Taphonomie recouvre un panel d'études, analyses et problématiques particulièrement large qui concerne de grands champs disciplinaires depuis les Sciences des Matériaux, les Sciences de la Terre et de la Vie et les Sciences Humaines et Sociales. En cela, elle désignerait une 'science' nouvelle (*Taphologie*), originale et plurielle, présentant un grand pouvoir fédérateur et intégratif. Elle est à la fois pluri-, trans- et inter-disciplinaire. Elle n'est pas, par essence, unique car très diversifié dans ses enjeux et nous parlerons des *TaphonomieS* [1]. Elle permet en particulier de relier des Environnements à des Comportements spécifiques, humain et animal, du Présent au Passé, envisagés dans des contextes géosédimentaires et des tendances climatiques variés, intégrant ainsi une dimension écosystémique. Elle fait également largement référence au principe de l'actualisme, et les expérimentations, tant *in vivo* qu'*in vitro*, sont déterminantes pour préciser des processus et des agents bien typés (biochimique, géologique, climatique, biologique...). De nombreux modèles, concepts et paradigmes, sont impliqués dans ces analyses depuis la notion de réseau trophique et d'éco-éthologie, des démarches écométriques et de biodiversité jusqu'à par exemple des modèles d'ethnoarchéologie ou d'exemples ethnographiques. La pluralité des approches en Taphonomie fera l'objet de cette courte présentation, ainsi qu'une information sur la récente mise en place d'un *International Research Network in Taphonomy* (TaphEN : *Taphonomy European Network*) créé par le CNRS-INEE, regroupant notamment l'Italie, Le Portugal, l'Espagne, l'Angleterre et l'Allemagne.

### Références :

[1] Brugal J.P. (dir.), 2017. *TaphonomieS*. Paris : Edition des Archives Contemporaines, Coll. Sciences Archéologiques, 536p. [ouvrage du GDR 'Taphonomie, Environnement et Archéologie', CNRS-INEE].

## Synanthropes: the taphonomic history of synanthropic small mammals from Greek archaeological sites

Katerina Papayianni <sup>1\*</sup>, Zoi Tsirtsoni <sup>2</sup>, Thomas Cucchi <sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 7209 AASPE, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 7041 ArScAN, CNRS, Univ. Paris I Panthéon Sorbonne, Univ. Paris Nanterre, Ministère de la Culture, Paris.

\* contact : katerina.papayiannis@mnhn.fr

Research on synanthropic small mammals has so far focused on specific genera (*Mus*, *Apodemus* and *Crocidura*) and their biogeographic histories in relation to human sedentism and migration or in response to climatic fluctuations [1-3]. The relation of a small mammal biocommunity with humans has not been analysed in depth nor has the taphonomy of their remains been extensively studied. With the project *Synanthropes* we attempt to compare the taxonomy of these three genera and its fluctuations from a number of Neolithic and Bronze Age sites in Greece and restore their taphonomic histories. For the ‘Journée du DIM: Développements méthodologiques en taphonomie’ we will focus on the latter, presenting our preliminary results. Different factors of taphonomic deposition and preservation will be presented, distinguished as anthropogenic (carbonization/calcination, burning, trampling, disposal) and natural (predation, soil erosion, transportation by water and/or wind). We will discuss if both factor categories seem to have affected the skeletal remains and to what extent (equifinality). Our aim is to compare the taphonomic histories of small mammal skeletal material from different sedentary human sites (settlements and caves) and validate the synanthropic status of such small mammal biocommunities or document intrusive episodes. For this approach we will combine methodological tools already utilized by paleontologists and zooarchaeologists in small mammal taphonomic studies [4-6].

### References :

- [1] Cucchi, T., Auffray, J.-C., Vigne, J.-D., 2012. On the origin of the house mouse synanthropy and dispersal in the Near East and Europe: zooarchaeological review and perspectives, in Macholán, M., Baird, S. J. E., Munclinger, P., Piálek, J. (eds.) *Evolution of the house mouse*, Cambridge studies in morphology and molecules, new paradigms in evolutionary biology, Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Kerr, E., Cornette, R., Gomes Rodrigues, H., Renaud S., Chevret, P., Tresset, A., Herrel, A., 2017. Can functional traits help explain the coexistence of two species of *Apodemus*? *Biological Journal of the Linnean Society* 122, 883–896.
- [3] Rofes, J., Cucchi, T., Hanot, P., Herman, J., Stephan, P., Cersoy, S., Horáček, I., Kerr E., Allberry, K., Valenzuela, S., Zazzo, A., Cornette, R., Tresset A., 2018. Postglacial recolonization and Holocene diversification of *Crocidura suaveolens* (Mammalia, Soricidae) on the north-western fringe of the European continent. *Quaternary Science Reviews* 190, pp. 1-10.
- [4] Andrews, P., 1990. *Owls, caves and fossils*, The University of Chicago press, Chicago.
- [5] Weissbrod, L., Bar-OZ, G., Cucchi, T., Finkelstein, I., 2013. The urban ecology of Iron Age Tel Megiddo: using microvertebrate remains as ancient bio-indicators, *Journal of Archaeological Science* 40, pp. 257-267.
- [6] Fernández-Jalvo, Y., Andrews, P., Denys, C., Sesé, C., Stoetzel, E., Marin-Monfort, D., Pesquero, D., 2016. Taphonomy for taxonomists: implications of predation in small mammal studies. *Quaternary Science Reviews* 139, 138-157.

# Du microscope à la modélisation géochimique pour l'étude de la fossilisation : crustacés exceptionnellement préservés du Jurassique de La Voulte-sur-Rhône

Clément Jauvion <sup>1\*</sup>, Sylvain Bernard <sup>1</sup>, Pierre Gueriau <sup>2</sup>, Sylvain Charbonnier <sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR 7590 IMPMC, CNRS, MNHN, IRD, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> USR 3461 IPANEMA, CNRS, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Ministère de la Culture, site du Synchrotron SOLEIL (Paris-Saclay), Gif-sur-Yvette.

<sup>3</sup> UMR 7207 CR2P, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : [clement.jauvion@mnhn.fr](mailto:clement.jauvion@mnhn.fr)

Les *Konservat-Lagerstätten* sont des sites fossilifères livrant des spécimens dits à « préservation exceptionnelle ». Bien que ces sites constituent la source la plus fiable d'informations paléobiologiques, pour un temps et un lieu donné, les processus produisant ces fossiles demeurent mal contraints. Nous avons caractérisé une sélection de crustacés fossiles provenant du *Konservat-Lagerstätte* jurassique de La Voulte (Ardèche, France), à l'aide d'outils de pointe de la minéralogie : microscopies électroniques, diffraction et spectroscopies par rayonnement synchrotron.

La combinaison de ces techniques nous a permis d'identifier les phases minérales composant les fossiles. Les fossiles préservés en 3D sont composés d'une variété de minéraux (phosphates de calcium, sulfures de fer, de zinc et de plomb, sulfates de magnésium, oxydes de fer et carbonates de calcium et de magnésium) présentant des relations texturales complexes. Les fossiles préservés en 2D sont composés de phosphates de calcium associés à des sulfures de fer.

Les phosphates et les sulfures ont précipité en premier, assurant ainsi la préservation *a minima* morphologique de structures organiques délicates. Un ciment composé de calcite magnésienne a ensuite consolidé ces structures, assurant la pérennité de la préservation des détails morphologiques fins et labiles. La modélisation thermo-chimique d'une telle séquence nous renseigne sur l'évolution des conditions physico-chimiques (pH, pE, concentrations en ions) du site de La Voulte au début de la fossilisation des spécimens étudiés. La dégradation des différents tissus a produit différents microenvironnements physico-chimiques. Ces observations nous permettent de discuter des potentiels biais taphonomiques (quels tissus / organismes ne sont pas préservés et pourquoi) du gisement de La Voulte, et donc de la qualité de cet enregistrement fossile exceptionnel.

# Taphonomie à l'échelle infra-micrométrique : implications méthodologiques des données récentes relatives aux processus de biominéralisation

Jean Pierre Cuif<sup>1\*</sup>, Yannicke Dauphin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 7207 CR2P, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 7205 ISYEB, CNRS, MNHN, UPMC, EPHE, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : jean-pierre.cuif@orange.fr

La première utilisation des fossiles comme archives environnementales par la mesure de propriétés géochimiques est parfaitement bien datée : l'étude par Urey et al. des variations de la teneur en <sup>18</sup>O dans une bélemnite du Jurassique de l'île de Skye [1]. La description minutieuse de la microstructure de ce fossile (probablement réalisée par H. Lowenstam, le paléontologiste du groupe), néglige une information dont l'importance ne pouvait alors être soupçonnée. Les grands prismes radiaires porteurs de l'information isotopique ont très certainement subi une diagenèse, comme tous les rostrés de bélemnites (à de rarissimes exceptions près).

Soixante-dix ans plus tard, dans une étude qui affiche pourtant une volonté de rigueur méthodologique [2], les bélemnites sont encore utilisées comme indicateurs thermiques sans porter attention à leur état diagénétique. Il est vrai qu'une publication récente dans une revue qui fait également autorité [3] justifie cette démarche : les cristaux calcaires d'origine biologique seraient des « mésocristaux », matériaux dont les constituants élémentaires seraient eux-mêmes pourvus de faces cristallines par lesquelles ils s'associeraient pour constituer les unités microstructurales. Dans cette conception, les faces rhomboédriques de la calcite des rostrés pourraient donc être originelles.

Il est cependant établi [4] que les unités microstructurales décrites comme cristaux individuels au microscope optique sont, à l'échelle infra-micrométrique, constituées de corpuscules dépourvus d'apparence cristalline (Fig. 1d). De ce fait, jamais un biocrystal calcitique dans son état initial ne présente de fractures rhomboédriques comme celles de la figure 1c. Les faces cristallines résultent donc d'évolutions diagénétiques dont il importe de comprendre le déroulement et les conséquences pour valider les signaux isotopiques et chimiques qu'on peut en extraire. Cette démarche est d'autant plus nécessaire que, dans un même organisme, les processus de biominéralisation produisent des microstructures différentes, différant par la composition de leurs phases biochimiques et porteuses de signaux propres qui subissent évidemment les conséquences de processus diagénétiques distincts.

## References :

[1] Urey HC., Lowenstam HA., Epstein S., McKinney CR., 1951. Geol. Soc. Am. Bull. 62: 399–426.

[2] Vollstaedt H., Eisenhauer A., Wallmann K. et al., 2014. G.C.A., 128.10.1016/j.gca.2013.10.006.

[3] De Yoreo JJ., Gilbert P., Sommerdijk N.A. et al., 2015. Science 349 (6247):aaa6760. doi: 10.1126/science.aaa6760.

[4] Cuif JP., Dauphin Y., Sorauf JE., 2011. Biominerals and Fossils through Time. Camb. Univ. Press, 490 p.

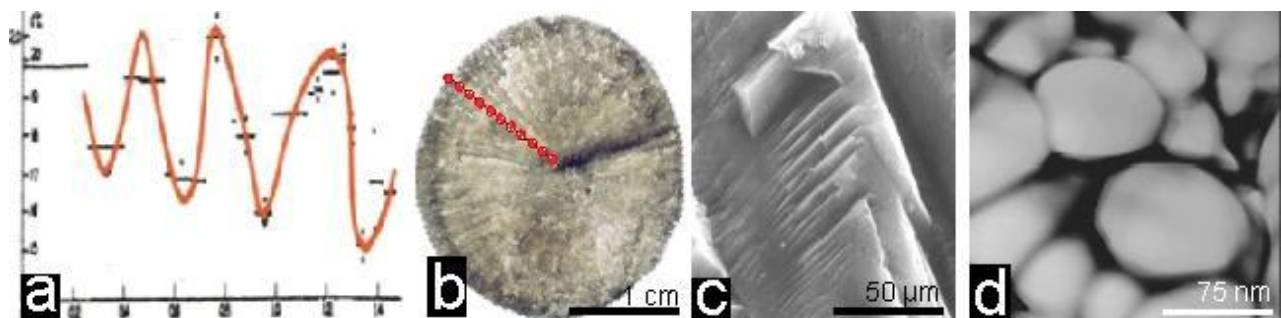


Fig.1. (a-b) : La première courbe de variation thermique d'une mer ancienne; (c) : Fracture rhomboédrique d'un rostre ; (d) : Structure infra-micrométrique de biocrystal calcaire (prisme calcitique de *Pinctada*).

# Identifying cut marks and trampling marks: a quantitative study of their microtopography through geometric morphometrics

Alexandre Napias<sup>1</sup>, Frédéric Santos<sup>1</sup>, Ronan Ledevin<sup>1</sup>, Anaïs Canevet<sup>1</sup>, Daniel Cusimano<sup>2</sup>, Jennifer Parkinson<sup>2</sup>, Lee Rozada<sup>3</sup>, David Cochard<sup>1</sup>, Antoine Souron<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> UMR 1599 PACEA, CNRS, Université de Bordeaux, Ministère de la Culture, Bordeaux.

<sup>2</sup> Dept. Anthropology, Univ. San Diego & California State University..

<sup>3</sup> UMR 7207 CR2P, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : antoine.souron@u-bordeaux.fr

Bone modifications are windows on the taphonomic history of bone assemblages. In archaeological contexts, they allow the identification of butchery sites, dispersal ways of humans and other animals, and predator-prey relationships. Currently, the identification of the agents responsible for leaving these types of marks relies predominantly on qualitative characterizations of whole assemblages combined with contextual data. When dealing with isolated marks, identifying the agents is complex. Marks found on Pliocene bones at Dikika (Ethiopia) are for instance interpreted by different authors as cut marks, trampling marks, or crocodile bite marks. In order to overcome this apparent equifinality, methods based on quantitative analyses of the microtopography of bone modifications were recently developed to discriminate anthropic and non-anthropic marks. In order to test the potential of those approaches to discriminate trampling marks and cut marks, we studied five experimental series. We built high-resolution tridimensional topographic models of those marks using confocal microscopy. We then conducted shape analyses using geometric morphometrics (Procrustes superimposition of landmarks) on cross-section profiles extracted from those models. Preliminary results of multivariate analyses indicate a significant difference between trampling marks and cut marks with a very small overlap both in terms of shape and size.



# Quantifier la qualité de rétro-déformation par la méthode des thin plate-splines sur des objets asymétriques : simulation de dégradations taphonomiques et application sur un échantillon de dinosaures sauropodomorphes

Romain Pintore<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> UMR 7179 MECADEV, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : romain.pintore@gmail.com

Les fossiles sont souvent découverts déformés ou cassés, provoquant ainsi l'altération de l'information biologique. Avec l'utilisation croissante des analyses de forme en paléontologie, il est essentiel de comprendre les dégradations taphonomiques afin de les minimiser. Dans cette étude expérimentale, nous proposons de : (1) quantifier l'efficacité de la méthode des *Thin-plate splines* (TPS) pour rétro-déformer des objets asymétriques ; pour cela, des dégradations taphonomiques ont été simulées sur un fémur de cheval en appliquant quatre types de déformations fréquemment rencontrés : courbures, torsions, aplatissements et étirements ; (2) appliquer cette méthode sur un échantillon réel. Celui-ci consiste en 31 fémurs de Plateosauridae, des dinosaures sauropodomorphes. Les résultats de la partie expérimentale montrent que les déformations affines - aplatissements et étirements de tout l'os - sont les mieux gérées et que les torsions provoquent un aplatissement de la diaphyse. Ces résultats ont alors été utilisés pour dresser un diagnostic taphonomique de l'échantillon permettant ainsi d'écarter les spécimens présentant les dégradations les moins bien gérées par la rétro-déformation. Ensuite, les 4 os les mieux préservés ont été sélectionnés afin de construire une forme moyenne au travers d'une analyse procruste généralisée (GPA). Cette forme moyenne a donc été utilisée comme jeu de *landmarks* de référence pour la rétro-déformation des os qui présentent les dégradations les mieux gérées. L'application sur l'échantillon fossile a été concluante malgré certains cas isolés. En conclusion, les résultats montrent que l'utilisation des TPS constitue une méthode efficace de rétro-déformation pour les objets biologiques asymétriques, en particulier pour ceux portant des déformations affines. Les torsions sont des dégradations taphonomiques fréquemment observées sur les fossiles et nous suggérons d'étudier ce type de déformation avec précaution.

# Taphonomie de l'ADN et d'autres macromolécules biologiques

Eva-Maria Geigl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Jacques Monod, CNRS, Université Paris Diderot, Paris.

\* contact : [eva-maria.geigl@ijm.fr](mailto:eva-maria.geigl@ijm.fr)

Les premières cibles de la transition biosphère-lithosphère sont les macromolécules biologiques telles que l'ADN, les protéines, les lipides et les carbohydrates. Elles sont dégradées et subissent au cours de l'enfouissement des transformations chimiques résultant de l'action d'agents chimiques et enzymatiques. Ces transformations sont régies par les conditions physico-chimiques et biologiques. Ainsi il s'est avéré que l'ADN est préservé de manière variable dans différentes parties du squelette des mammifères en fonction de la densité du tissu, de son irrigation sanguine et des remodelages qui se produisent *ante mortem*. Ces facteurs impactent sur l'accessibilité de l'ADN aux bactéries et aux enzymes qui le dégrade, et donc sur sa préservation lors de l'enfouissement. Un autre facteur est le traitement subi par les parties squelettes avant l'enfouissement et en particulier l'enlèvement plus ou moins rapide de la chair autour des os (par les humains ou par les prédateurs) et le traitement à la chaleur (cuisson), traitements qui réduiraient l'activité bactérienne et qui contribueraient ainsi à la préservation de l'ADN. Le troisième facteur identifié contrôlant la préservation de l'ADN est la température. D'autres facteurs comme le pH du sol de l'enfouissement jouent également un rôle ainsi que d'autres, pas encore clairement établis.

Un deuxième niveau important pour l'analyse des macromolécules biologiques dans les échantillons anciens est la diffusion des macromolécules provenant de l'environnement à l'intérieur des échantillons. Cette diffusion peut diluer considérablement les molécules endogènes, faussant les analyses ou les rendant beaucoup plus complexes. Cette contamination environnementale peut parfois nous renseigner sur les processus taphonomiques qui ont eu lieu juste après la mort, mais elle est surtout très variable selon l'environnement et les conditions physicochimiques qui se sont exercés sur toute la période post-mortem, mais aussi selon les propriétés physicochimiques de l'os.

J'illustrerai ces différents principes généraux par des exemples et des résultats obtenus lors de nos analyses de l'ADN préservé dans les échantillons anciens ainsi que lors d'expériences de taphonomie expérimentale.

## Une nouvelle préparation d'échantillons pour les microscopies en transmission

Pierre Jacquemot <sup>1,2\*</sup>, Jean-Christophe Viennet <sup>1,2</sup>, Corentin Le Guillou <sup>3</sup>,  
Anne-Marie Blanchenet <sup>3</sup>, Maguy Jaber <sup>1</sup>, Sylvain Bernard <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 8220 LAMS, CNRS, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 7590 IMPMC, CNRS, MNHN, IRD, Sorbonne Université, Paris.

<sup>3</sup> UMR 8207 UMET, CNRS, Université de Lille, ENSC, INRA, Villeneuve-d'Ascq.

\* contact : pierre.jacquemot@mhnh.fr

La recherche de biosignatures organiques dans l'enregistrement fossile ancien est difficile [1–3]. Cette matière organique étant toujours associée à des minéraux hôtes, il est crucial de comprendre l'influence de ces minéraux sur la dégradation des molécules organiques d'origine biologique. La fossilisation expérimentale de différents assemblages minéral-biomolécules est une des stratégies permettant de mieux contraindre ces processus.

L'analyse de la structure et de la composition chimique de ces résidus expérimentaux pose des difficultés comparables à l'étude de fossiles naturels. En effet, il s'agit de documenter à toutes les échelles la minéralogie de l'échantillon sans détruire l'information organique ni les relations spatiales qui existent entre matière organique et matrice minérale. L'utilisation combinée d'outils de microscopie très résolus spatialement (microscopie électronique en transmission (MET) et microscopie à rayons X en rayonnement synchrotron (STXM)) est donc requise [4]. Ces outils qui tendent à se démocratiser auprès des paléontologues du précambrien ont déjà permis d'apporter des éclairages nouveaux sur plusieurs microfossiles de l'archéen dont la biogénicité est controversée [5–7].

En pratique, l'utilisation de ces techniques nécessite des échantillons suffisamment fins (<100 nm d'épaisseur). Dans ce but, l'utilisation d'un faisceau d'ions focalisés (FIB) présente des avantages, mais ne permet de prélever qu'une toute petite quantité d'échantillon. L'ultramicrotomie permet en revanche d'obtenir en quelques minutes un très grand nombre de coupes d'épaisseur inférieure à 100 nm. Afin de ne pas polluer l'échantillon avec les résines organiques habituellement utilisées, nous avons opté pour la cryo-ultramicrotomie, la découpe des échantillons se faisant alors dans une bille de glace à -170°C.

Les analyses réalisées en MET et STXM sur des coupes cryo-ultramicrotome de résidus d'ARN fossilisé dans des argiles offrent des informations à la fois sur la structure des minéraux et sur la nature chimique de la matière organique associée.

### References :

- [1] Briggs, D. E. G. & Summons, R. E., 2014. Ancient biomolecules: Their origins, fossilization, and role in revealing the history of life. *BioEssays* 36, 482–490.
- [2] Bernard, S. & Papineau, D., 2014. Graphitic Carbons and Biosignatures. *Elements* 10, 435–440.
- [3] Knoll, A. H. 2015. Paleobiological Perspectives on Early Microbial Evolution. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 7.
- [4] Alleon, J. *et al.*, 2016. Molecular preservation of 1.88 Ga Gunflint organic microfossils as a function of temperature and mineralogy. *Nat. Commun.* 7, 11977.
- [5] Wacey, D., Saunders, M., Kong, C., Brasier, A. & Brasier, M., 2016. 3.46 Ga Apex chert 'microfossils' reinterpreted as mineral artefacts produced during phyllosilicate exfoliation. *Gondwana Res.* 36, 296–313.
- [6] Brasier, M. D., Antcliffe, J., Saunders, M. & Wacey, D., 2015. Changing the picture of Earth's earliest fossils (3.5-1.9 Ga) with new approaches and new discoveries. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 112, 4859–4864.
- [7] Alleon, J. *et al.*, 2018. Chemical nature of the 3.4 Ga Strelley Pool microfossils. *Geochem. Perspect. Lett.* 37–42. doi:10.7185/geochemlet.1817.

## **Isolement de biomarqueurs lipidiques par chromatographie liquide semi-préparative. Vers un nouvel outil de paléoclimatologie isotopique pour les tourbières est-africaines ?**

Louis Rouyer <sup>1\*</sup>, Thanh Thuy Nguyen Tu <sup>1</sup>, Christelle Anquetil <sup>1</sup>,  
Fabrice Alliot <sup>1</sup>, Mercedes Mendez-Millan <sup>2</sup>, Arnaud Huguet <sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 7619 METIS, CNRS, EPHE, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 7159 LOCEAN, CNRS, MNHN, IRD, Sorbonne Université, Bondy.

\* contact : [arnaud.huguet@sorbonne-universite.fr](mailto:arnaud.huguet@sorbonne-universite.fr)

Les teneurs en isotopes stables (D/H, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C, ...) de la matière organique (MO) naturellement présente dans les environnements actuels et passés peuvent aider à reconstituer ses processus de transformation, sa dynamique ou encore les variations environnementales passées. Par ailleurs, il est établi que la structure moléculaire de la MO joue un rôle fondamental sur ses transformations dans l'environnement. Ainsi, les sucres sont réputés plus facilement dégradables que les lipides qui présentent un potentiel de préservation relativement élevé. Toutefois, la dynamique des différentes familles moléculaires constituant la MO est encore mal connue, car l'analyse isotopique spécifique de nombreuses familles moléculaires demeure un défi analytique. En effet, de telles analyses requièrent de disposer de fractions purifiées ou de molécules isolées.

Ce projet a donc consisté à développer une nouvelle méthode d'isolement de lipides légèrement polaires par chromatographie liquide préparative (LCprep.) en vue de leur analyse isotopique spécifique. Cette nouvelle méthode a été appliquée à des 5-*n*-alkylrésorcinol, biomarqueurs de plantes aquatiques de la famille des Cypéracées dans les tourbières est-africaines. Cette séparation a permis de déterminer la teneur en <sup>13</sup>C de ces composés spécifiques sur les 4 000 ans d'enregistrement de la tourbière de Kyambangunguru en Tanzanie. Ces mesures ont été réalisées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse de rapports isotopiques (GC-C-IRMS). Elles ont montré que selon la longueur de leur chaîne alkyle, les 5-*n*-alkylrésorcinol étaient produits par des Cypéracées utilisant différentes voies photosynthétiques : en C<sub>3</sub> pour les chaînes à 27 atomes de carbone ou plus, tandis que les chaînes plus courtes pouvaient être également produites par les Cypéracées en C<sub>4</sub>. De plus, la composition isotopique de ces 5-*n*-alkylrésorcinol spécifiques montre des variations en accord avec les variations paléoenvironnementales déjà documentées par d'autres méthodes (palynologie, sédimentologie, géochimie organique) sur les derniers 4 000 ans dans la région de Kyambangunguru : succession de phases lac (1800 ans), tourbière (1000 ans) puis alternances saisonnières lac-tourbière (derniers 1400 ans) [1].

Cette nouvelle approche combinant isolement de biomarqueur par LC-prep. et leur analyse par GC-C-IRMS s'avère donc prometteuse pour aider à reconstituer les variations paléoclimatiques à partir d'analyses spécifiques de constituants de la matière organique.

### **References :**

[1] Coffinet S., Huguet A., Bergonizini L., Pedentchouk N., Williamson D., Anquetil A., Galka M., Kolaczek P., Karpinska-Kolaczek P., Majule A., Laggoun-Défarage F., Wagner T., Derenne S., 2018. Impact of climate change on the ecology of the Kyambangunguru crater marsh in southwestern Tanzania during the Late Holocene. *Quaternary Science Reviews* 196, 100-117.

# Test d'un marqueur inédit de l'amendement des sols aux laminaires : mesure et cartographie des teneurs en arsenic sur grains de céréales archéologiques carbonisés

Sammy Ben Makhad<sup>1</sup>, Véronique Zech-Matterne<sup>1</sup>, Henri Gandois<sup>2</sup>,  
François Malrain<sup>2</sup>, Marie Balasse<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> UMR 7209 AASPE, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 8215 Trajectoires, CNRS, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, Paris.

\* contact : marie.balasse@mnhn.fr

Le second âge du Fer (V<sup>e</sup> s. - fin du I<sup>er</sup> s. av. n. è.) est une étape charnière dans l'évolution des sociétés agricoles. Une nouvelle forme d'exploitation, la « ferme à enclos », se développe alors sur la majeure partie du territoire celtique [1,2]. Ces unités s'inscrivent dans des rythmes d'occupation du sol qui varient considérablement d'une région à l'autre en France septentrionale. Or ces variations n'ont pas encore été interprétées en interaction avec les stratégies agricoles. Ce thème constitue le cœur d'une thèse sur la *Gestion du potentiel agronomique des sols et les rythmes d'occupation au second âge du Fer en France septentrionale*. Elle explorera les pratiques d'amendement par la biogéochimie des restes céréaliers, afin de voir dans quelle mesure les modes de fertilisation dépendent de ou influent sur la longévité des habitats et des réseaux.

Un volet de cette recherche concerne plus particulièrement la mise en valeur agricole des cordons littoraux, à partir des II<sup>e</sup>-I<sup>er</sup> s. Ceux-ci offrent un potentiel agronomique *a priori* peu propice aux blés. La question d'une valorisation de ces terres sablonneuses par l'emploi des algues marines se pose pour les sites implantés sur la façade atlantique et au sud de la Manche. Traditionnellement, en Bretagne comme en Grande Bretagne, les algues utilisées en amendement sont les laminaires, qui contiennent des taux d'arsenic naturellement exceptionnellement élevés. L'arsenic accumulé dans le sol est transmis aux plantes suivant un taux d'absorption qui diffère selon la plante [3,4]. L'objectif est de déterminer dans quelle mesure il est possible de tracer cette pratique par l'analyse de la teneur en arsenic des grains de céréales archéologiques. Ces derniers sont le plus souvent retrouvés sous forme carbonisée.

L'expérimentation comprendra plusieurs volets :

1- définir le taux d'absorption de l'arsenic par les variétés d'orge et de blé « anciennes » par la mise en place d'une céréaliculture expérimentale sur sol amendé aux laminaires ; 2- définir les effets de la carbonisation sur la préservation du signal par la mise en place d'une carbonisation contrôlée à 220-240 °C [5] et la mesure des teneurs globales (par ICP-Q-MS) et une cartographie (par NanoSIMS [6]) avant et après carbonisation ; 3 - sur les assemblages archéologiques ayant livré une teneur globale en As élevée, les grains à la structure interne relativement préservée (analyse par MEB) seront cartographiés afin de valider un signal biogénique (suivant un schéma anatomique : [6]) par opposition à une contamination du sol.

## References :

- [1] Malrain F., 2018. L'organisation économique des campagnes du nord de la Gaule à la Tène finale. In : Reddé M. (dir) *Gallia Rustica II, Les campagnes du nord-est de la Gaule, de la fin de l'Âge du fer à l'Antiquité tardive, T2 : Synthèse finale*. Ed. Ausonius, Bordeaux, chap. 8.
- [2] Zech-Matterne V., Malrain F., Bossard S., Lorho T., Derreumaux M., Neveu E., Toulemonde F., à paraître. Formes, durabilités et productions des fermes à l'âge du Fer : divergences et convergences, In : Annual conference of the Iron Age Study Group (AG Eisenzeit), 18th–21st September 2016, Münster, Allemagne.
- [3] Castlehouse H., C. Smith, A. Raab, C. Deacon, A.A. Meharg, J. Feldmann, 2003. Biotransformation and Accumulation of Arsenic in Soil Amended with Seaweed. *Environmental Science & Technology* 37, 951-957.
- [4] Bhattacharya P., A. C. Samal, J. Majumdar, 2010. Arsenic Contamination in Rice, Wheat, Pulses, and Vegetables: A Study in an Arsenic Affected Area of West Bengal, India. *Water Air Soil Pollution* 213, 3-13.
- [5] Charles M., E. Forster, M. Wallace, G. Jones, 2015. Nor ever lightning char thy grain: establishing archaeologically relevant charring conditions and their effect on glume wheat grain morphology. *Science & Technology of Archaeological Research* 1 (1), DOI:10.1179/2054892315Y.0000000008.
- [6] Moore K.L., M. Schröder, E. Lombi, F.-J. Zhao, S. P. McGrath, M.J. Hawkesford, P. R. Shewry, C. R. M. Grovenor, 2010. NanoSIMS analysis of arsenic and selenium in cereal grain. *New Phytologist* 185, 434-445.

# **DILUVIAN project: deciphering hidden Information with LUminescence of Vetigastropoda using new Imaging ANalytical methods**

Laurine Moreuil <sup>1,2\*</sup>, Didier Merle <sup>1</sup>, Mathieu Thoury <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 7207 CR2P, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> USR 3461 IPANEMA, CNRS, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Ministère de la Culture, site du Synchrotron SOLEIL (Paris-Saclay), Gif-sur-Yvette.

\* contact : laurine.moreuil@edu.mnhn.fr

Le projet DILUVIAN (Deciphering hidden Information with LUminescence of Vetigastropoda using new Imaging ANalytical methods) (axe principal DIM : Fossiles et témoins de vie ancienne) s'intègre dans une thématique émergente visant à comprendre l'évolution de l'effet vital des pigment/couleur/vision dans le monde vivant. Il se concentre sur le clade Vetigastropoda qui, en associant une extraordinaire diversité d'espèces et une inférence de bio-chromes résiduels à l'état fossile suffisamment importante, offre une opportunité tout à fait unique pour étudier leur évolution et leur conservation au cours du temps. L'objectif de ce projet est de caractériser la composition chimique des bio-chromes résiduels de type porphyrinique, dominants chez les Vetigastropoda post-paléozoïques pour permettre un meilleur accès aux processus évolutifs associés à la production des couleurs. Une approche innovante pour comprendre l'évolution de ces bio-chromes est proposée. Elle repose principalement sur l'utilisation et le développement méthodologique de nouvelles techniques d'imagerie spectrale à multi-échelle de photoluminescence. Deux axes de recherche sont approfondis : 1°) Caractériser la diversité des compositions chimiques des bio-chromes à partir d'un corpus de spécimens actuels et leurs correspondants fossiles pour obtenir des trajectoires de transformation. 2°) Contraindre ces trajectoires afin de déconvoluer l'effet vital sur les bio-chromes (différents taxons versus même contexte sédimentaire) de l'effet diagénétique (mêmes taxons versus différents contextes sédimentaires). Les avancées majeures attendues seront la constitution d'une première cartographie des trajectoires actuels/fossiles des composés porphyriniques et l'établissement d'une première chronologie d'apparition des différentes porphyrines identifiées chez les Vetigastropoda.

## Fossilisation expérimentale : interactions minéral-organique

Pierre Jacquemot <sup>1\*</sup>, Sylvain Bernard <sup>2</sup>, Thomas Georgelin <sup>3</sup>,  
Jean-Christophe Viennet <sup>1</sup>, Maguy Jaber <sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 8220 LAMS, CNRS, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 7590 IMPMC, CNRS, MNHN, IRD, Sorbonne Université, Paris.

<sup>3</sup> UPR 4301 Centre de Biophysique Moléculaire, CNRS, Orléans.

\* contact : pierre.jacquemot@mnhn.fr

Les fossiles fournissent depuis plusieurs siècles une source inestimable d'informations sur l'histoire de la vie. Néanmoins, ces objets patrimoniaux ont subi d'importantes altérations chimiques, structurales et isotopiques à l'échelle des temps géologiques. L'importance de ces dégradations reste mal connue, limitant de fait les reconstructions moléculaires de la vie ancienne. Une approche expérimentale rigoureuse apparaît donc essentielle pour mieux contraindre ces processus au cours de la diagénèse thermique. A ce jour, très peu d'études de ce genre ont été menées. Le travail présenté se focalise sur la dégradation de l'ARN, molécule commune à tous les êtres vivants dans l'hypothèse dite « du monde ARN ». Une série d'expériences en conditions hydrothermales de mélanges de gel de composition argileuse-ARN a été réalisée (figure 1). Une approche rassemblant différentes techniques de caractérisation spectroscopiques telles que la RMN et le XANES et microscopiques va nous permettre d'acquérir un ensemble de données expérimentales, aboutissant à une méthodologie permettant de mettre en place une base de données sur les différentes biosignatures.

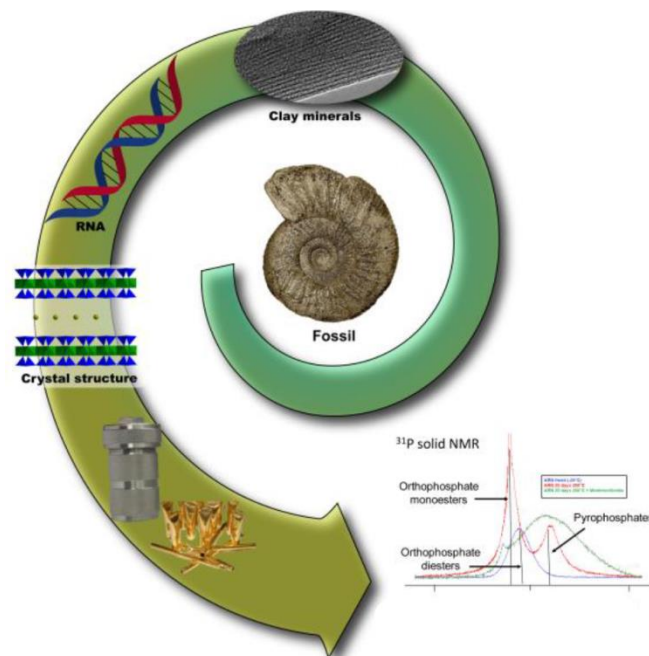


Fig. 1. Approche expérimentale de la fossilisation

# Hydrothermalisme expérimental d'assemblages organo-minéralogiques

Viennet Jean-Christophe <sup>1,2\*</sup>, Jacquemot Pierre <sup>1,2</sup>, Bernard Sylvain <sup>2</sup>, Jaber Maguy <sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 8220 LAMS, CNRS, Sorbonne Université, Paris.

<sup>2</sup> UMR 7590 IMPMC, CNRS, MNHN, IRD, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : [jean.christophe.viennet25@gmail.com](mailto:jean.christophe.viennet25@gmail.com)

L'enregistrement fossile est loin d'être parfait. Les signatures chimiques, structurales et isotopiques des biomolécules et des biominéraux sont inévitablement altérées au cours des processus de fossilisation [1-3]. Mieux contraindre ces processus nécessite une approche expérimentale.

Nous avons mené une série d'expériences de 7 jours en conditions hydrothermales sous atmosphère terrestre actuelle (air) et passée (CO<sub>2</sub>) en système fermé à 100 et 200°C sous pression autogène afin d'évaluer les effets de température et d'atmosphère sur l'évolution d'assemblages organo-minéralogiques en contexte hydrothermal.

Le minéral modèle de départ est une argile riche en magnésium présente sur terre depuis plus de 4 milliards d'années. La matière organique modèle de départ est un acide ribonucléique (ARN) qui est une molécule constitutive de l'ensemble des êtres vivants. Les résidus expérimentaux ont été caractérisés à l'aide d'outils de pointe de la minéralogie et de la géochimie organique (diffraction des rayons X et spectroscopies infrarouge, Raman, RMN et XANES).

En présence de minéral, les influences de la température et de la composition de l'atmosphère deviennent secondaires. En effet, les composés organiques en interactions fortes avec la phase minérale argileuse sont les mêmes quelque soient la température et la composition de l'atmosphère, ce qui n'est pas le cas pour les composés organiques non associés aux phases minérales.

En parallèle, des phosphates de magnésium et d'aluminium et des carbonates se forment, sans incorporer de molécules organiques. Ces résultats expérimentaux suggèrent que certains assemblages minéralogiques pourraient être considérés comme des bio-signatures potentielles.

## References :

[1] Eglinton G. and G. A. Logan, 1991. Molecular preservation, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 333, 315-328.

[2] Briggs D. E. G. and R. E. Summons, 2014. Ancient biomolecules: Their origins, fossilization, and role in revealing the history of life, *Bioessays* 36: 482–490.

[3] Briggs D. E. G. and S. McMahon, 2016. The role of experiments in investigating the taphonomy of exceptional preservation, *Palaeontology*, 59-1, 1–11.



## **Roches de haute technologie et rivières : une expérience de transport d'objets à l'aide d'étiquettes RFID**

Wei Chu <sup>1\*</sup>, Robert Hosfield <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Universität zu Köln, Allemagne.*

<sup>2</sup> *University of Reading, UK.*

\* *contact : wchu@uni-koeln.de*

Les sédiments des cours d'eau sont des archives archéologiques précieuses et fréquentes, bien que les processus fluviaux associés modifient inévitablement l'intégrité spatiale et morphologique des sites archéologiques et des objets, en particulier dans les conditions périglaciaires du Pléistocène. Cependant, les spécificités des mécanismes de modification sous-jacents ne sont que partiellement comprises. Un précédent travail archéologique expérimental sur les modifications d'artefacts lithiques a mis l'accent sur les cours d'eau éphémères dans des conditions semi-arides, les rivières tressées tempérées, et sur des simulations en laboratoire. Il reste cependant difficile de savoir si les objets archéologiques sont soumis à l'aval de collage [1,2]. On ne sait pas non plus comment les artefacts sont modifiés morphologiquement au cours de leur entraînement. La raison principale de ceci est que les méthodes reposent sur le dépôt puis la capture de ces artefacts. Ces méthodes limitent donc les types de rivières qui peuvent être examinés et les taux de récupération. Ces méthodes biaisent aussi le taux de récupération des assemblages et ne permettent pas l'analyse tracéologique.

Pour rectifier cela, nous avons mené une expérience dans le monde réel pour déterminer comment l'entraînement fluvial affecte les assemblages d'artefacts en utilisant la méthodologie d'étiquetage par RFID. Cette méthode comprend la découpe au jet d'eau de répliques d'artefacts lithiques de diverses matières premières d'Europe centrale et leur étiquetage avec des transpondeurs intégrés passifs. Ces assemblages de répliques ont ensuite été libérés dans une rivière du Pays de Galles - (Royaume Uni) possédant un lit de gravier fluide où ils étaient déposés puis relocalisés sept mois plus tard avec un lecteur d'étiquettes RFID équipé d'un GPS. Neuf artefacts de réplique ont ainsi été récupérés à la fin de l'expérience et analysés pour des traces tracéologiques.

Nous avons ensuite relié les attributs de ces artefacts et les régimes fluviaux aux distances de transport afin de déterminer les schémas de dispersion et les facteurs primaires de l'entraînement et de la distance de transport des artefacts.

Les deux résultats notables de cette expérience sont : premièrement, nous démontrons que la RFID est une technique efficace pour les investigations taphonomiques expérimentales ; et deuxièmement nous mettons en évidence que les modèles d'entraînement des assemblages fluviaux d'artefact dans le gravier des rivières ne suivent pas les conclusions d'études antérieures, et peut générer des signes de micro-usure caractéristique. Les travaux futurs comprennent l'étude des échelles de temps d'entraînement et des distances de transport pour les artefacts et les différences dans les modèles d'entraînement entre les matériaux lithiques et osseux.

### **References :**

- [1] Petraglia, M., Nash, D., 1987. The impact of fluvial processes on experimental sites. In: Nash, D. (éd.), Petraglia, M. (éd.), *Natural Formation Processes and the Archaeological Record*, BAR International Series. British Archaeological Reports, Oxford, pp. 108-130.
- [2] Schick, K.D., 1986. Stone age sites in the making: experiments in the formation and transformation of archaeological occurrences, BAR International Series. British Archaeological Reports, Oxford.

# Experimental taphonomy with microbial communities: where are we and future perspectives

Miguel Iniesto <sup>1\*</sup>, Karim Benzerara <sup>2</sup>, Ana Isabel Lopez-Archilla <sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR 8079 ESE, CNRS, Université Paris-Sud, AgroParisTech, Orsay.

<sup>2</sup> UMR 7590 IMPMC, CNRS, MNHN, IRD, Sorbonne Université, Paris.

<sup>3</sup> Departamento Ecología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Espagne.

\* contact : miguel.iniesto@u-psud.fr

The study of the fossil record, especially of fossils from Konservat-Lagerstätten, has been the classic way to understand fossilization. However, field observations and detailed analyses of fossils should be complemented by experimental taphonomy investigations. In fact, experimental taphonomy is an increasingly important field, essential to get further insight on the actual processes occurring during fossilization. Reproducing the whole fossilization is unaffordable, but taphonomic experiments can access the early stages of the process. Here, I will review some of the work we have performed recently in the laboratory by incubating dead animals and plant tissues within microbial biofilms over several years. I will show that the decay is significantly delayed in both animals and plants in the presence of a microbial veil compared to its absence after the formation of a protective sarcophagus [1,2]. This sarcophagus favours the formation of impressions and replicas at the carcass-mat interface [3]. Fossilization by microbial mats also includes the authigenic formation of two different mineral phases in relation to the decay of carcasses: 1) a poorly crystalline Mg-silicate phase substituting calcium phosphate in fish bones [4] and 2) the occurrence of calcium carbonate in brain tissues in frogs [5]. Although mineralization does not occur rapidly, the delay in decay promoted by the sarcophagus allowed the exceptional preservation of tissues up to several years. However, there are still several aspects that have to be unveiled. For instance, a better comprehension of the biogeochemical flux of elements such as carbon and nitrogen within the microbial sarcophagus would explain the outstanding preservation of soft-tissues despite the presence of bacterial populations potential that are potential decayers. For this purpose, we need to perform more experiments to further characterize the relationships existing between the metabolic activity of the microbial community and early diagenesis and to create some kind of a new interdisciplinary field combining microbial ecology, biogeochemistry and taphonomy.

## References :

[1] Iniesto *et al.* *Palaios* 2013, 28, 56–66.

[2] Iniesto *et al.* *Palaios* 2015, 30, 792–801.

[3] Iniesto *et al.* *Sci. Rep.* 2016, 6, 1–12.

[4] Iniesto *et al.* *Front. Earth Sci.* 2015, 3.

[5] Iniesto *et al.* *Sci. Rep.* 2017, 7, 45160, doi:10.1038/srep45160.

## Taphonomie expérimentale : application aux mammifères

Yannicke DAUPHIN <sup>1\*</sup>, Christiane DENYS <sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 7205 ISYEB, CNRS, MNHN, UPMC, EPHE, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : yannicke.dauphin@upmc.fr

Les petits vertébrés, et les rongeurs en particulier, sont les proies favorites de prédateurs tels que les mammifères carnivores et de nombreux oiseaux. La capture et le passage dans le système digestif laissent des traces sur les éléments non détruits. La plupart des articles consacrés à l'étude des fèces ou des pelotes de régurgitation repose sur l'analyse des proportions des types d'os et de dents, leur état (fragmentation, forme de cassure...). Tous ces critères traduisent l'état de surface des restes osseux et dentaires, et leur comparaison a permis d'établir une échelle du degré d'altération en fonction du type de prédateur [1].

D'autre part, des analyses chimiques localisées à la microsonde électronique ou en spectrométrie infrarouge d'os et dents actuels ont mis en évidence des modifications variables en relation avec le type de prédateur. Ces altérations chimiques ne modifient pas obligatoirement de façon visible la structure ou la minéralogie des tissus minéralisés [2-7]. Le comportement pendant et après l'enfouissement des os et dents ainsi modifiés sera différent de celui d'animaux n'ayant pas été digérés.

Cependant, ces études demeurent largement descriptives, et l'importance relative des nombreux facteurs responsables de ces modifications n'est pas connue. Les facteurs internes dépendant de la proie (âge, taille et forme, structure et composition initiale) sont associés aux facteurs externes (absence/présence de prédation, prédateur, nature du sédiment, etc.).

Des expériences *in vitro* permettent de préciser l'influence des facteurs externes. Les conditions physico-chimiques des tubes digestifs des prédateurs pendant la digestion ne sont pas bien connues, mais certaines enzymes et des acides ont été identifiés. Utilisés ensemble ou séparément en conditions contrôlées, ces produits ont provoqué sur des os de rongeurs des figures similaires à celles de certains rapaces [8]. La composition des sols sur lesquels les restes sont abandonnés, puis enfouis, est très variable d'un site à l'autre, et dans un site donné elle varie au cours des saisons. Une autre expérience a mis en évidence l'influence de certains composants, ensemble ou isolés, d'un sol forestier. L'observation des fragments de dents soumis à ces produits a montré que certains acides étaient plus "corrosifs" que d'autres. Les fragments de dents n'étant pas protégés par l'os de la mâchoire, la dentine a été plus altérée que l'émail [9].

Jusqu'à présent, sur les restes fossiles, une relation directe entre l'aspect externe de l'échantillon et des modifications internes n'est pas établie.

### References :

- [1] Andrews P., 1990. Owls, caves and fossils. Nat. Hist. Mus. Pub.
- [2] Dauphin Y., Denys C., Denis A., 1989. Bull. Mus. natn. hist. nat., Paris, sect. A, zool, 4è sér., 11, 1 : 253-269.
- [3] Dauphin Y., 1993. Palaont. Z., 67, 3/4 : 377-395.
- [4] Denys C., Fernandez-Jalvo Y., Dauphin Y., 1995. C. R. Acad. Sci. Paris, sér. Ila, 321 : 803-809.
- [5] Denys C., Williams C.T., Dauphin Y., Andrews P. Fernandez-Jalvo Y., 1996. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 126 : 121-134.
- [6] Dauphin Y., Denis A., Denys C., 1999. Kaupia, 9 : 35-51.
- [7] Dauphin Y., Williams C.T., 2004. C.R. PALEVOL, 3, 583-590.
- [8] Dauphin Y., Denis A., 2017. In : TaphonomieS, J.P. Brugal éd., Arch. Contemp., 24-43.
- [9] Massard P., Dauphin Y., 2017. In : TaphonomieS, J.P. Brugal éd., Archives Contemp., 89-106.

## Expérimentation sur l'impact du piétinement sur la fracturation des éléments squelettiques de micromammifères

Loïc Lebreton <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> UMR 7194 HNHP, CNRS, MNHN, UPVD, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : loicleb@hotmail.com

La comparaison de la représentation squelettique d'un assemblage fossile avec les référentiels actuels de prédateurs ne montre généralement que la préservation des éléments les plus solides/denses. Ce profil de représentation est dû aux différents processus post-dépositionnels (piétinement, compaction des sédiments, racines, chutes de bloc) [1,2]. Nous nous intéressons à l'impact du piétinement car il est le plus simple à mettre en place dans une expérimentation. Andrews [3] a observé la fracturation préférentielle des os en les piétinant dans un sac plastique. Cependant, on est loin des conditions retrouvées sur un site archéologique. Aussi, l'objectif de cette expérimentation est de tester l'impact du piétinement sur un assemblage osseux de micromammifères avec des paramètres plus proches de ceux d'un site archéologique. L'intérêt est porté sur les modalités de fracturation ainsi que sur le taux d'isolement des dents. Trois taxons sont pris en compte : Murinae, Arvicolinae et Soricidae.

On observe, pour les crânes et pour les mandibules, une fracturation dépendante du taxon. Les mandibules d'Arvicolinae ont un taux de fracturation plus élevé. Il en est de même du taux d'isolement des incisives qui est plus dépendant du taxon que de la fracturation. Pour le post-crânien, des différences sont observées avec ce qui est rapporté par Andrews [3], notamment avec des fractures médianes sur certains ossements (humérus, ulna, tibio-fibula). Ainsi, pour avoir un décompte précis du nombre de restes sur un site archéologique, il convient d'avoir des divisions fragmentaires plus précises. La simple délimitation épiphyse/diaphyse atteint ses limites lorsque des phénomènes post-dépositionnels augmentant la fracturation sont présents. Des lignes de division des fragments des ossements plus précises sont nécessaires pour l'étude taphonomique des sites archéologiques.

### References :

[1] Stoetzel, E., 2009. *Les microvertébrés du site d'occupation humaine d'El Harhoura 2 (Pléistocène supérieur – Holocène, Maroc): Systématique, évolution, taphonomie et paléoécologie*. Thèse de doctorat en Biologie des Organismes. Paris: Muséum National d'Histoire Naturelle, 432 p.

[2] Denys, C., 2011. Des référentiels en taphonomie des petits vertébrés: bilan et perspectives. In *Taphonomie des petits vertébrés: référentiels et transferts aux fossiles*. Ed. Laroulandie, V., Mallye J. B. & Denys, C., BAR International Series, British Archaeological Reports, 194 p.

[3] Andrews, P., 1990. *Owls, cave and fossils: Predation, preservation, and accumulation of small mammal bones in caves, with an analysis of the Pleistocene cave faunas from Westbury-sub-Mendip*. Somerset, UK: University of Chicago Press, 231 p.

## **PyrEx - Pyritisation Expérimentale d'animaux marins : étude des processus organiques et inorganiques, et comparaison avec le registre fossile**

Giliane P. Odin <sup>1,2\*</sup>, Thanh Thuy Nguyen Tu <sup>2</sup>, Sylvie Derenne <sup>2</sup>, Sylvain Charbonnier <sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR 7207 CR2P, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris

<sup>2</sup>UMR7619 METIS, CNRS, EPHE, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : [giliane.odin@ucc.ie](mailto:giliane.odin@ucc.ie)

Les fossiles constituent des témoins privilégiés des organismes et écosystèmes anciens, ouvrant des perspectives sur la diversité et l'évolution de la vie ancienne sur Terre. L'épigénie des organismes par la pyrite, appelée pyritisation, est un processus commun de préservation par minéralisation qui, dans certains cas dits à « préservation exceptionnelle », peut substituer des tissus mous usuellement perdus lors des premières étapes de dégradation (diagenèse) [1,2]. En parallèle, la matière organique (MO) constitutive des organismes joue un rôle sur leur fossilisation [3,4] : sa dégradation est par exemple étroitement liée à la pyritisation [5]. Pourtant, malgré l'existence de nombreux taxons pyritisés provenant d'importants sites fossilifères disséminés autour du globe [6], les mécanismes à l'œuvre ne sont pas précisément documentés.

L'objectif de ce projet est donc d'étudier les processus diagénétiques intervenant lors de la pyritisation de crustacés marins (crevettes), en réalisant d'une part des répliques expérimentales et d'autre part en caractérisant des fossiles de crevettes, afin de mieux comprendre les réactions compétitives, organiques et inorganiques, associées à ce mode de fossilisation. Les expériences de taphonomie expérimentale seront menées en microcosmes afin de tester les influences relatives des conditions physico-chimiques de l'environnement, de l'anatomie des organismes et de leur état de dégradation. Les modifications moléculaires affectant la MO seront documentées en parallèle de la minéralisation des tissus, notamment la texture et l'habitus des cristaux de pyrite. Ces expériences nous permettront notamment d'explicitier les processus de minéralisation et d'estimer le potentiel relatif des tissus, mous ou durs, des crustacés marins à être pyritisés. Les résultats obtenus expérimentalement seront ensuite confrontés aux compositions tant organiques que minéralogiques de fossiles du même groupe, via analyse élémentaire, organique et minéralogique.

### **References :**

- [1] Briggs, D.E., Bottrell, S.H. & Raiswell, R., 1991. Pyritization of soft-bodied fossils: Beecher's Trilobite Bed, Upper Ordovician, New York State Geology, 19, 1221-1224.
- [2] Rickard, D., Grimes, S.T., Butler, I., Oldroyd, A. & Davies, K.L., 2007. Botanical constraints on pyrite formation Chemical Geology, 236, 228-246.
- [3] Stankiewicz, B., Briggs, D., Michels, R., Collinson, M., Flannery, M. & Evershed, R., 2000. Alternative origin of aliphatic polymer in kerogen Geology, 28, 559.
- [4] Gupta, N.S., Michels, R., Briggs, D.E., Evershed, R.P. & Pancost, R.D., 2006. The organic preservation of fossil arthropods: an experimental study Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, The Royal Society, 273, 2777-2783.
- [5] Allison, P.A., 1990. Chapter 3: Taphonomy, Palaeobiology: a synthesis, pp 212-303.
- [6] Grimes, S.T., Brock, F., Rickard, D., Davies, K.L., Edwards, D., Briggs, D.E. & Parkes, R.J., 2001. Understanding fossilization: Experimental pyritization of plants Geology, 29, 123-126.

# Analyses Microbotaniques Interdisciplinaires sur Objets Néolithiques (AMIDON)

Clarissa Cagnato <sup>1\*</sup>, Caroline Hamon <sup>2</sup>, Michelle Elliott <sup>3</sup>, Aurélie Salavert <sup>4</sup>

<sup>1</sup> UMR 8096 ArchAm, CNRS, Université Paris I Panthéon Sorbonne, Paris.

<sup>2</sup> UMR 8215 Trajectoires, CNRS, Université Paris I Panthéon Sorbonne, Paris.

<sup>3</sup> UMR 7041 ArScAN, CNRS, Univ. Paris I Panthéon Sorbonne, Univ. Paris Nanterre, Ministère de la Culture, Paris.

<sup>4</sup> UMR 7209 AASPE, CNRS, MNHN, Sorbonne Université, Paris.

\* contact : clarissa.cagnato@mae.u-paris10.fr

Les grains d'amidon sont déjà bien utilisés en archéologie pour répondre à des problématiques liées à l'exploitation de plantes et de l'alimentation dans le passé, et cela dès le Paléolithique supérieur [1-4]. Cependant, la majorité des études pionnières sur les grains d'amidons concernent des sites situés en zone intertropicale [5-7].

A travers le projet AMIDON, le laboratoire Trajectoires (UMR 8215), le laboratoire Archéozoologie, Archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements (UMR 7029 : CNRS-MNHN) et le laboratoire des Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn, UMR 7041), développent conjointement cette méthode, pour la première fois, en France métropolitaine. Cette étude abordera la question de la transformation et de la préparation alimentaire végétale durant le Néolithique ancien en Europe nord-occidentale (environ 5200-4700 av. J.C.), à travers l'analyse d'une série de sites localisés dans le Bassin parisien.

L'étude nous permettra de répondre non seulement aux problématiques liées à l'alimentation (exploitation de plantes sauvages et cultivées) mais aussi à la fonction de différents outils comme des meules, ou contenants notamment céramiques. En travaillant en synergie avec d'autres disciplines comme la carpologie, la tracéologie, et éventuellement les analyses chimiques de résidus dans des vases, les données obtenues par notre étude des amidons pourraient compléter, voir même modifier la vision que nous avons actuellement sur l'alimentation des premières populations agricoles en Europe du nord-ouest [8,9].

Dans cette communication, nous présenterons le projet en lui-même, et détaillerons les expériences taphonomiques que nous allons réaliser tout au long du projet pour mieux comprendre la dégradation des amidons dans le temps et à travers différentes techniques de broyage. La compréhension de la taphonomie des grains d'amidon sur les matériaux anciens du Néolithique sera déterminante pour évaluer le potentiel des futurs projets dans la même région.

## References :

- [1] Henry, Amanda G., Alison S. Brooks, et Dolores R. Piperno, 2011. Microfossils in Calculus Demonstrate Consumption of Plants and Cooked Foods in Neanderthal Diets (Shanidar III, Iraq; Spy I and II, Belgium). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(2):486-491.
- [2] Loy, Thomas H., Matthew Spriggs, et Stephen Wickler, 1992. Direct Evidence for Human Use of Plants 28,000 Years Ago: Starch Residues on Stone Artefacts from the Northern Solomon Islands. *Antiquity* 66(253):898-912.
- [3] Piperno, Dolores R., Ehud Weiss, Irene Holst, et Dani Nadel 2004 Processing of wild cereal grains in the Upper Palaeolithic revealed by starch grain analysis. *Nature* 430 :670-673.
- [4] Revedin, A., Aranguren, B., Becattini, R., Longo, L., Marconi, E., Lippi, M.M., Skakun, N., Sinitsyn, A., Spiridonova, E. et Svoboda, J., 2010. Thirty thousand-year-old evidence of plant food processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(44):18815-18819.
- [5] Barton, Huw, Robin Torrence, et Richard Fullagar, 1998. Clues to Stone Tool Function Re-Examined: Comparing Starch Grain Frequencies on Used and Unused Obsidian Artefacts. *Journal of Archaeological Science* 25(12):1231-1238.
- [6] Fullagar, R., Loy, T., et S. Cox, 1998. Starch grains, sediments and stone tool function: archaeological evidence for plant foods from Bitokara, Papua New Guinea. En *A Closer Look: Recent Australian Studies of Stone Tool*, édité par R. Fullagar, pp. 49-60. University of Sydney, Australia.
- [7] Therin, M., R. Fullagar, et Robin Torrence, 1999. Starch in Sediments: A New Approach to the Study of Subsistence and Land Use in Papua New Guinea. En *Change in Subsistence Systems*, édité par C. Gosden and Jon Hather, pp. 438-462. Routledge, London.
- [8] Bakels, C.C., 2014. The first farmers of the Northwest European Plain: some remarks on their crops, crop cultivation and impact on the environment. *Journal of Archaeological Science* 51: 94-97.
- [9] Salavert, A., 2011. Plant economy of the first farmers of central Belgium (Linearbandkeramik, 5200–5000 BC). *Veget Hist Archaeobot* 20: 321–332.