



Lagerstätten français et fossiles à conservation exceptionnelle



French Lagerstätten and exquisitely preserved fossils

Avant-propos

En 1998, Graham Shields publiait un court article intitulé « *What are Lagerstätten?* », dans lequel il discutait la véritable signification du terme Lagerstätte. Il rappelait que ce terme devrait être utilisé dans son sens étymologique comme un lieu d'enfouissement ou de dépôt, tout en y ajoutant d'autres qualificatifs pour former des mots composés. En effet, à l'origine, en 1970, Adolf Seilacher utilisa le terme composé Fossil-Lagerstätten en distinguant deux catégories : les Konzentrat-Lagerstätten qui sont des gisements remarquables présentant une concentration exceptionnelle de restes fossiles, notamment des parties dures (coquilles, os...), tels que des *bone beds*, et les Konservat-Lagerstätten, qui font référence à des cas particuliers de fossilisation où les parties molles sont notamment préservées. Graham Shields concluait que les traductions appropriées de ces termes en anglais devaient être respectivement *fossil concentration Lagerstätten* et *fossil conservation Lagerstätten*. Cependant, le temps et la littérature scientifique ne lui ont pas totalement donné raison. Aujourd'hui, la plupart des paléontologues publiant dans des revues en anglais sur des fossiles à préservation exceptionnelle intitulent leurs articles avec le simple terme Lagerstätte à la place des probablement trop longues expressions « Fossil Konservat-Lagerstätte » et « Fossil Konzentrat-Lagerstätte ». Si la signification du terme n'a pas changé, son utilisation devient plus (trop ?) fréquente. De nos jours, le terme Lagerstätte est attractif et désigne des cas de préservation spéciale ou exceptionnelle. Finalement, l'utilisation du seul mot Lagerstätte désigne le plus souvent un Fossil Konservat-Lagerstätte et de moins en moins un Fossil Konzentrat-Lagerstätte.

Dans ce volume thématique sont rassemblés des articles synthétiques sur des Lagerstätten français, avec quelques contributions ciblées sur des fossiles présentant une préservation exceptionnelle, étudiés par des techniques d'imagerie

Foreword

In 1998, Graham Shields published a short note entitled “*What are Lagerstätten?*”, in which he discussed the meaning of the word Lagerstätte. He reminded us that the word Lagerstätte should be used in its normal sense as a resting place or deposit, while at the same time adding one or more qualifying terms to form composite nouns. Indeed, in 1970, Adolf Seilacher originally introduced the composite term Fossil-Lagerstätten with two categories: Konzentrat-Lagerstätten, which, as the name implies, are deposits where a particular concentration of disarticulated, organic hard parts, such as bone beds, has been found, and Konservat-Lagerstätten, which refers to the special cases where impressions of the soft parts of fossils have been preserved. Graham Shields concluded that appropriate translations into English ought to have been fossil concentration Lagerstätten and fossil conservation Lagerstätten, respectively. However, the time and the scientific literature did not really agree with him. Today, most palaeontologists publishing in English-speaking journals about exceptionally preserved fossils title their paper with the word Lagerstätte instead of the terms Fossil Konservat-Lagerstätte and Fossil Konzentrat-Lagerstätte, which are probably too long. Although the concept of the term did not change, its use became more (too?) general. Nowadays, the term Lagerstätte is attractive and supposes examples of special or exceptional preservation. In conclusion, the single word Lagerstätte generally means Fossil Konservat-Lagerstätte, and more rarely Fossil Konzentrat-Lagerstätte.

In this thematic issue, we propose an overview of some famous French Lagerstätten and of some fossil deposits yielding exceptionally preserved fossils. Are they all Lagerstätten? Where is the distinction between Konservat-Lagerstätten and Konzentrat-Lagerstätten? These questions are always on the agenda!

particulières. Tous ces gisements méritent-ils véritablement le qualificatif de Lagerstätten ? Quelles sont les limites entre Konservat-Lagerstätten et Konzentrat-Lagerstätten ? Ces questions sont toujours d'actualité !

Comme beaucoup d'autres, les Konservat-Lagerstätten sont fondamentaux pour documenter les moments cruciaux de l'histoire et de l'évolution de la vie. C'est le cas du Lagerstätte carbonifère de Montceau-les-Mines, qui est l'équivalent européen du fameux Lagerstätte nord-américain de Mazon Creek (Illinois). Le biota continental de Montceau a été préservé dans des nodules de sidérite, contenant une faune riche et diversifiée de bivalves, d'annélides, de crustacés, de myriapodes, d'insectes, de chélicérates, de myxinoïdes, d'actinoptérygiens, de sarcoptérygiens et de tétrapodes (Perrier et Charbonnier, 2014). À la limite Paléozoïque-Mésozoïque, les biocénoses de la formation des « grès à Voltzia », dans l'Est de la France, consistaient en survivants paléozoïques (crustacés, amphibiens, insectes, plantes), en taxons qui annonçaient les faunes modernes (crustacés, araignées, scorpions, insectes), mais aussi en espèces pionnières qui envahirent rapidement les écospaces perturbés. Ces biocénoses exceptionnellement préservées représentent un modèle du type d'environnement qui a pu jouer un rôle de refuge pour les communautés terrestres durant l'extinction de masse de la fin du Permien et le renouvellement triasique (Gall et Grauvogel-Stamm, 2005).

Les Konservat-Lagerstätten jurassiques sont représentés par les gisements de La Voulte-sur-Rhône, de Cerin, et de Canjuers. Le biota de La Voulte est remarquable par ses organismes à corps mou tels que les octopodes, les céphalopodes coléoïdes, les calmars « vampires des profondeurs », les vers marins et les pycnogonides. L'ensemble de la faune présente les caractéristiques d'une faune bathyale actuelle (Charbonnier et al., 2014). Les calcaires lithographiques du Jurassique supérieur des Lagerstätten de Cerin et Canjuers représentent des environnements marins peu profonds. Le Lagerstätte de Cerin correspond à une lagune s'étendant sur un récif corallien érodé et précédemment immergé. La préservation à la fois d'organismes marins et d'organismes terrestres a été favorisée par la présence de mattes microbiennes générant des conditions anoxygènes et protégeant les cadavres de la décomposition (Bernier et al., 2014). Le Lagerstätte de Canjuers est célèbre pour son squelette quasi-complet du dinosaure coelurosaurien *Compsognathus longipes* (Peyer et al., 2014).

Un cas de Konzentrat-Lagerstätte jurassique est illustré par le site Tithonien de Chassiron (île d'Oléron, Charentes, France) (Vullo et al., 2014). Dans un contexte de bas niveau marin, associé à la régression fini-jurassique, un milieu de dépôt paralytique à forte influence continentale a accumulé, dans une vasière d'eau douce à saumâtre, un riche assemblage de vertébrés divers, représentés par des dents, des ossements, des carapaces et des écailles, associés à des micro- (spores), méso- (cuticules, cônes) et mégarestes (troncs, branches) végétaux. Cet assemblage est non seulement remarquable par la densité des restes de vertébrés dans le *bone bed*, mais aussi par la qualité de préservation des restes végétaux et par la représentation exceptionnelle

Like many others, French Konservat-Lagerstätten are crucial in providing insight into important moments in the history and evolution of life. This is the case for the Carboniferous Montceau-les-Mines Lagerstätte, which is the European counterpart of the famous Mazon Creek Lagerstätte (USA, Illinois). The continental biota of Montceau preserves in sideritic nodules a rich and diverse fauna composed of bivalves, annelids, crustaceans, myriapods, insects, chelicerates, myxinoïds, actinopterygians, sarcopterygians, and tetrapods (Perrier and Charbonnier, 2014). At the Palaeozoic–Mesozoic boundary, the biocoenoses from the “Grès à Voltzia” Formation of eastern France consist of Palaeozoic survivors (crustaceans, amphibians, insects, plants), taxa that announce the modern faunas (crustaceans, spiders, scorpions, insects), as well as pioneering species that rapidly invaded disturbed ecospace. These exceptionally preserved biocoenoses represent a model of the type of environment that may have acted as a refugium for terrestrial communities during the end-Permian mass extinction and its Triassic aftermath (Gall and Grauvogel-Stamm, 2005).

Jurassic Konservat-Lagerstätten are represented by the localities of La Voulte-sur-Rhône, Cerin, and Canjuers. The La Voulte biota is remarkable for its soft-bodied organisms such as octopods, coleoid cephalopods, vampire squids, marine worms, and sea spiders. The fauna as a whole bears the characteristic features of a present-day bathyal fauna (Charbonnier et al., 2014). The Late Jurassic lithographic limestones of the Cerin and Canjuers Lagerstätten represent shallow water environments. The Cerin Lagerstätte represents a lagoon overlying a previously emergent and eroded coral reef. The preservation of both marine and terrestrial organisms was favoured by the presence of microbial mats providing superficial anoxic conditions and protecting them from decaying (Bernier et al., 2014). The Canjuers Lagerstätte is celebrated for its almost complete coelurosaurian dinosaur *Compsognathus longipes* (Peyer et al., 2014).

A case of Jurassic Konzentrat-Lagerstätte is illustrated by the Tithonian deposit of Chassiron (Oléron Island, Charentes, western France) (Vullo et al., 2014). In a shallow marine context, occurring during the final Jurassic regression, a paralic deposit environment with hard terrestrial inputs accumulated in a freshwater-to-brackish mudflat a rich vertebrate assemblage including teeth, bones, shells and scales, associated with micro- (spores), meso- (cuticles, cones) and mega- (tree trunks, branches) plant remains. It constitutes an outstanding assemblage as regards both the density of vertebrate remains and the preservation quality of plant remains, as well as the exceptional occurrence of mammals and amphibians.

Cretaceous Konservat-Lagerstätten are represented by the localities of Jaunay-Clan, La Garnache and Archingeay–Les Nouillers. The roadwork outcrop of Jaunay-Clan (Vienne, centre of France) represents a brackish to estuarine mudflat, with deposits of lignitic laminated clay (Valentin et al., 2014). The clayey laminations have finely preserved the detailed structures of leaves, fructifications, inflorescences or ramifications of diverse plants, such as conifers, ferns or angiosperms, including one of the

de groupes mal connus au Jurassique final, tels que les mammifères ou les amphibiens.

Les Konservat-Lagerstätten crétacés sont représentés par les gisements de Jaunay-Clan, de La Garnache et d'Archingeay–Les Nouillers. Le gisement de Jaunay-Clan (Vienne, centre de la France) correspond à une vasière littorale, saumâtre à marine, dans laquelle se sont déposées des argiles ligniteuses laminées (Valentin et al., 2014). Ces argiles ont finement préservé les structures détaillées de feuilles, de fructifications, d'inflorescences ou de rameaux de plantes diverses, telles que des conifères, des fougères ou des angiospermes, y compris parmi les plus anciens nénuphars connus. S'y sont également fossilisés, dans la vase anoxique à grain très fin, des structures aussi délicates que des ailes d'insectes (coléoptères, odonates) ou des plumes de dinosaures aviens. Les travaux routiers de La Garnache (Vendée, Ouest de la France) ont fourni l'un des ambres crétacés les plus fossilifères de France. Au cours des 15 dernières années, une douzaine de gisements d'ambre crétacé ont été découverts dans l'Ouest de la France, datés soit de l'Albien terminal (Néraudeau et al., 2002), soit du Cénomaniens inférieur (Néraudeau et al., 2009), mais le site de La Garnache constitue l'un des rares ambres crétacés fossilifères plus récents. Les inclusions y sont nombreuses, finement préservées, et constituent un assemblage fossile inhabituel rassemblant insectes et crustacés marins, algues et fragments de toile d'araignée. Saint Martin et al. (2014) présentent une analyse 3D originale des toiles d'araignée contenues dans cet ambre, utilisant la microscopie confocale pour décrire l'architecture de la toile et la structure des fils. La carrière d'Archingeay–Les Nouillers est le plus fameux gisement d'ambre crétacé de France. Découvert en 1999, il a fourni plus de 1500 arthropodes (Perrichot et al., 2010) et des milliers d'inclusions de microorganismes (algues, amibes, cyanobactéries, foraminifères, mycélium de champignon, radiolaires. . .) (Girard, 2010). L'ambre y est concentré dans des argiles et sables ligniteux, l'argile contenant également des cuticules végétales exceptionnellement bien préservées (Gomez et al., 2008). Récemment, il a été démontré que la partie sommitale de la carrière témoignait de deux épisodes de préservation exceptionnelle (Moreau et al., 2014) : à la fine préservation syngénétique des cuticules végétales dans les argiles anoxiques crétacées s'ajoute, au Paléogène, une silicification qui a transformé les argiles cénomaniennes à restes végétaux en une croûte silicifiée, où les fossiles de plantes sont finement préservés en 3D jusqu'à l'échelle cellulaire. Moreau et al. (2014) présentent une application des micro- et nanotomographies RX synchrotron à l'imagerie 3D de ces inhabituels fossiles en silex.

Finalement, ce volume thématique montre que de nombreux gisements fossilifères particuliers existent en France, avec des cas divers de préservation exceptionnelle. Les articles successifs illustrent différents modes et contextes de fossilisation remarquable, tels des nodules sidéritiques, des calcaires lithographiques, des *bone beds*, des argiles laminées ligniteuses, des galets d'ambre ou des nodules de silex. Les exemples sélectionnés concernent le Paléozoïque supérieur, le Jurassique, le Crétacé, et d'une certaine manière le Paléogène. D'autres exemples pourraient

oldest known water lilies. The fine anoxic clay has also preserved the very delicate animal structures that include insect wings (beetles, odonates) and avian dinosaur feathers. The roadwork outcrops of La Garnache (Vendée, western France) have yielded one of the most fossiliferous Late Cretaceous amber deposits from France. In the last 15 years, a dozen such Cretaceous amber deposits have been found in western France, ranging from the Late Albian (Néraudeau et al., 2002) to the Early Cenomanian (Néraudeau et al., 2009), but the La Garnache locality provides one of the rare post-Early Cenomanian fossiliferous ambers. Amber inclusions are numerous, exquisitely preserved, and constitute an original fossil assemblage gathering insects and marine crustaceans, marine algae and spider web fragments. Saint Martin et al. (2014) present an original 3D analysis and imaging of spider web inclusions in the La Garnache amber, using confocal microscopy, to describe the web architecture and the thread structure. The quarry of Archingeay–Les Nouillers is the most famous French Cretaceous amber deposit. Discovered in 1999, it has provided more than 1500 arthropods (Perrichot et al., 2010), and thousands of microorganism inclusions (algae, amoebae, cyanobacteria, foraminifers, fungus mycelia, radiolarians, etc.) (Girard, 2010). Amber is concentrated in lignitic clay and sand, the clay containing exceptionally preserved plant cuticles too (Gomez et al., 2008). Recently, it has been demonstrated that the upper part of the quarry was affected by two episodes of exceptional preservation (Moreau et al., 2014): at the fine exquisite syngénétique preservation of plant cuticles in the Cretaceous anoxic clay a Palaeogene silicification that transformed the Cenomanian lignitic clay is combined with plant remains in an uncommon flint duricrust where the plant fossils are silicified and finely preserved in 3D at the cell scale. Moreau et al. (2014) present the use of synchrotron X-ray micro- and nanotomographies to obtain 3D images of these unusual silicified fossils.

Finally, this thematic issue shows that numerous special fossil deposits, with cases of exceptional preservation, are known in France. The successive papers illustrate diverse ways and sedimentary contexts of outstanding fossilization, such as sideritic nodules, lithographic limestones, bone beds, lignitic laminated clay, amber drops, or silicified nodules. The selected examples concern the Late Palaeozoic, the Jurassic, the Cretaceous, and in one respect the Palaeogene. Other examples are found in French Cenozoic deposits, such as the layered limestones from Céreste (Gaudant, 2013; Sauvage, 1880), the diatomites from the Coiron mountain (Mein et al., 1984) or the rich-shell deposits from Grignon (Caze et al., 2010; Huyghe et al., 2012). It is enough to make a second volume. . .

être illustrés par des gisements cénozoïques, tels que les calcaires de Céreste (Gaudant, 2013 ; Sauvage, 1880), les diatomites du Coiron (Mein et al., 1984) ou les accumulations coquillières de Grignon (Caze et al., 2010 ; Huyghe et al., 2012). De quoi faire un second volume. . .

References

- Bernier, P., Barale, G., Bourseau, J.-P., Buffetaut, E., Gaillard, C., Gall, J.-C., Wenz, S., 2014. The lithographic limestones of Cerin (Southern Jura Mountains, France): a synthetic approach and environmental interpretation. *C. R. Palevol* (this issue).
- Caze, B., Merle, D., Pacaud, J.-M., Saint Martin, J.-P., 2010. First systematic study using the variability of the residual colour patterns: the case of the Paleogene Seraphsidae (Gastropoda, Stromboidea). *Geodiversitas* 32, 417–477.
- Charbonnier, S., Audo, D., Caze, B., Biot, V., 2014. The La Voulte-sur-Rhône Lagerstätte (Middle Jurassic, France). *C. R. Palevol* (this issue).
- Gall, J.-C., Grauvogel-Stamm, L., 2005. The early Middle Triassic 'Grès à Voltzia' Formation of eastern France: a model of environmental refugium. *C. R. Palevol* 4, 637–652.
- Gaudant, J., 2013. Présence d'un Osmeridae: *Enoplophthalmus schlumbergeri* Sauvage, 1880 dans l'Oligocène inférieur des environs de Céreste (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geodiversitas* 35, 345–357.
- Girard, V., 2010. Microcénoses des ambres médio-crétacés français. Taphonomie, systématique, paléoécologie et reconstitution du paléoenvironnement. *Mem. Geosci. Rennes* 134, 1–294.
- Gomez, B., Coiffard, C., Dépré, E., Daviero-Gomez, V., Néraudeau, D., 2008. Diversity and histology of plant litter bed from the Cenomanian of Archingeay-Les Nouillers (southwestern France). *C. R. Palevol* 7, 135–144.
- Huyghe, D., Merle, D., Lartaud, F., Cheype, E., Emmanuel, L., 2012. Middle Lutetian climate in the Paris Bassin: implications for the hotspot of biodiversity. *Facies* 58, 587–604.
- Mein, P., Méon, H., Romaggi, J.-P., Samuel, E., 1984. La vie en Ardèche au Miocène supérieur d'après les documents trouvés dans la carrière de la montagne d'Andance. *Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. Lyon* 21, 37–44.
- Moreau, J.D., Néraudeau, D., Gomez, B., Tafforeau, P., Dépré, E., 2014. Inclusions of conifers, echinoids, foraminifers and sponges in flints from the Cenomanian of Charente-Maritime (France): contribution of synchrotron microtomography. *C. R. Palevol* (this issue).
- Néraudeau, D., Perrichot, V., Dejax, J., Masure, E., Nel, A., Philippe, M., Moreau, P., Guillocheau, F., Guyot, T., 2002. Un nouveau gisement à ambre insectifère et à végétaux (Albien terminal probable): Archingeay (Charente-Maritime, France). *Geobios* 35, 233–240.
- Néraudeau, D., Vullo, R., Gomez, B., Girard, V., Lak, M., Videt, B., Dépré, E., Perrichot, V., 2009. Amber, plants and vertebrate fossils from the Lower Cenomanian paralic facies of Aix Island (Charente-Maritime, SW France). *Geodiversitas* 31, 13–27.
- Perrichot, V., Néraudeau, D., Tafforeau, P., 2010. Charentese amber. In: Penney, D. (Ed.), *Biodiversity of Fossils in Amber from the Major World Deposits*. Siri Scientific Press, Manchester, pp. 192–207.
- Perrier, V., Charbonnier, S., 2014. The Montceau-les-Mines Lagerstätte (Late Carboniferous, France). *C. R. Palevol* (this issue).
- Peyer, K., Charbonnier, S., Allain, R., Läng, E., Vacant, R., 2014. A new look at the Late Jurassic Canjuers conservation Lagerstätte (Tithonian, Var, France). *C. R. Palevol* (this issue).
- Saint Martin, J.-P., Saint Martin, S., Bolte, S., Néraudeau, D., 2014. Spider web in Upper Cretaceous French amber (Vendée): contribution of the 3D image microscopy. *C. R. Palevol* (this issue).
- Sauvage, H., 1880. Notice sur les poissons tertiaires de Céreste (Basses-Alpes). *Bull. Soc. geol. France* 8, 439–451.
- Seilacher, A., 1970. Begriff und Bedeutung der Fossil-Lagerstätten. *N. Jb. Geol. Paläontol. Mh* 1, 34–39.
- Shields, G., 1998. What are Lagerstätten? *Lethaia* 31, 124.
- Valentin, X., Gomez, B., Daviero-Gomez, V., Charbonnier, S., Ferchaud, P., Kirejtshuk, A.G., Licht, A., Néraudeau, D., Vullo, R., Garcia, G., 2014. Plant-dominated assemblage and invertebrates from the Lower Cenomanian of Jaunay-Clan, southwestern France. *C. R. Palevol* (this issue).
- Vullo, R., Abit, D., Ballèvre, M., Billon-Bruyat, J.-P., Bourgeois, R., Buffetaut, E., Daviero-Gomez, V., Garcia, G., Gomez, B., Mazin, J.-M., Morel, S., Néraudeau, D., Pouech, J., Rage, J.-C., Schnyder, J., Tong, H., 2014. Palaeontology of the Purbeck-type (Tithonian, Late Jurassic) bonebeds of Chassiron (Oléron Island, western France). *C. R. Palevol* (this issue).

Sylvain Charbonnier^b
Didier Néraudeau^{a,*}

^a UMR 6118, laboratoire de paléontologie, géosciences, campus de Beaulieu, université de Rennes-I, avenue du Général-Leclerc, 35042 Rennes cedex, France

^b UMR 7207 CNRS, Centre de recherche sur la paléobiodiversité et les paléoenvironnements, département Histoire de la Terre, Muséum national d'histoire naturelle, 8, rue Buffon, 75005 Paris, France

*Auteur correspondant.

Adresse e-mail :
didier.neraudeau@univ-rennes1.fr
(D. Néraudeau)

Disponible sur internet le 18 juin 2014