

Volume 8 - 2021

CARNETS NATURES



Carnetsnatures.fr

CARNETS NATURES

Carnets natures.fr

Les **Carnets natures** (ISSN 2427-6111) sont destinés à constituer un vecteur nouveau et rapide de diffusion d'articles traitant de sujets naturalistes à connotations locales, dans tous les domaines des sciences de la Nature, botanique, lichénologie, entomologie, géologie, paléontologie, minéralogie, histoire des sciences,...

Les **Carnets natures** sont une revue purement numérique, entièrement gratuite.

L'accès aux publications est intégralement libre de droit et de téléchargement.

Les **Carnets natures** n'accueillent que des travaux originaux, en français ou en anglais, excluant toute compilation ou revue bibliographique.

Son format électronique lui permet de publier sans contrainte de taille des notes brèves ou de petites monographies, des inventaires de biodiversité actuelle ou fossile,...

Comité éditorial

Clother Coste

Abdellatif Chemssedhoa

Laurent Cournault

Philippe Fauré

André Laforgue

Jacques Magontier

Daniel Martin

Informations et soumission de manuscrits

Philippe Fauré

1 Avenue de Lavour

81100, Castres

France

Email : contact@carnetsnatures.fr

<http://carnetsnatures.fr>

Éditeur :

ASNAT Amis des Sciences de la Nature, Muséum d'Histoire naturelle de Gaillac, Tarn, France

Photo de couverture : *Trichia decipiens*, Myxomycète récolté en Aveyron

CARNETS NATURES

- Hua Stéphane et Pennetier Elisabeth & Gérard.** A juvenile *Steneosaurus* in the Callovian of Normandy (France); a genus too hastily consigned to the wastebasket?
Carnets natures, 2021, vol. 8 1-8
- Turin Guy.** Les ammonites du « Lias calcaire » (Jurassique inférieur) des chaînes subalpines méridionales de la Durance aux environs de La Saulce (Hautes-Alpes, France).
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 9-25
- Bertrand Jean et Ector Luc.** Étude préliminaire des diatomées des Cistudes d'Europe (*Emys orbicularis* Linnaeus, 1758) des Étangs de La Brenne, France.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 27-39
- Buffetaut Eric, Angst Delphine, Claude Julien, Tong Haiyan, Amoros André, Boschetto Damien, Chenet Jean-Pierre, Clavel Didier, Maggia Bruno, Roques Thomas et Sèbe Stéphane.** Les niveaux à vertébrés fossiles du Crétacé supérieur de Castigno et Combeville (Villespassans, Hérault) : historique et nouvelles découvertes.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 41-55
- Tschocke Christian et Boulet Laurent.** Suivi de la date de première apparition d'*Ophrys occidentalis* (Scappaticci) Scappaticci et Demange.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 57-60
- Chaix Xavier et Plicot Jérôme.** Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Quatrième étude.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 61-73
- Cazabonne Jonathan, Ferrieres Michel et Menos Jean-Louis.** A First Contribution to the knowledge of Mycetozoa from Aveyron (France).
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 75-89
- Fauré Philippe.** Les conglomérats tertiaires (Éocène, Oligocène) du Tarn dans le contexte de l'avant-pays des Pyrénées. Historique, contexte géodynamique.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 91-101
- Fauré Philippe et Guibert Bernard.** Le Jurassique inférieur (Pliensbachien, Toarcien) des environs de Boussagues, dans le bassin mésozoïque de Bédarieux (Hérault, France). Aperçu stratigraphique.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 103-110
- Chaix Xavier et Plicot Jérôme.** Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Cinquième étude.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 111-122

A juvenile *Steneosaurus* in the Callovian of Normandy (France); a genus too hastily consigned to the wastebasket?

Stéphane Hua¹ et Elisabeth & Gérard Pennetier²

Abstract

This paper describes a fragment of a sub-adult specimen of *Steneosaurus* cf. *heberti* (Crocodylia, Thalattosuchia, Teleosauridae) found in the Callovian of the “Vaches Noires” (Normandy, France). The small size of the specimen makes it particularly interesting, as few Teleosauridae of this size have been found in the Callovian in Europe. A recent revision, based solely on the existing material of the genus *Steneosaurus*, proposes that the genus be abandoned for ten other monospecific genera. We intend to show that in addition to this being a misinterpretation, it also skews diagnoses, such as the one presented here. A reassessment of the paleoecology of Teleosauridae is also provided.

Keywords: Teleosauridae, *Steneosaurus*, Juvenile, Callovian, ICZN, systematic, palaeoecology.

Résumé

Un juvénile de *Steneosaurus* dans le Callovien de Normandie (France) ; un genre trop vite mis à la poubelle ?

Il est décrit ici un fragment de spécimen subadulte de *Steneosaurus* cf. *heberti* (Crocodylia, Thalattosuchia, Teleosauridae) trouvé dans le Callovien des Vaches Noires (Normandie, France). L'intérêt de ce spécimen réside dans sa petite taille car peu de Teleosauridae de cette dimension ont été trouvés dans le Callovien en Europe. Récemment une révision basée uniquement sur le matériel existant du genre *Steneosaurus*, propose son abandon pur et simple pour dix autres genres monospécifiques. Cette proposition repose sur une interprétation incomplète du code de nomenclature et provoque une instabilité de ce genre créé il y a deux siècles. Une réinterprétation de la paléoécologie des Teleosauridae est aussi proposée.

Mots-clés : Teleosauridae, *Steneosaurus*, Juvénile, Callovien, CINZ, systématique, paléoécologie.

Introduction

Teleosauridae are Jurassic marine crocodylians of longirostrine type which have been discovered in numerous deposits in Europe and the rest of the world (e.g. Buffetaut 1982 ; Vignaud 1995 ; Mueller-Töwe 2006). They are particularly abundant in certain levels of the Lower to Middle Jurassic of Europe, to the extent that statistical approaches can be implemented: as in the Toarcian of Holzmaden (e.g. Westphal 1962 ; Mueller-Töwe 2005), and Belgium-Luxembourg (Godefroit 1994) in the Callovian of

the Oxford Clay (Martill *et al.* 1994)) and of Poitou (Vignaud 1995). Unfortunately, the unique Norman collections of Le Havre and Caen (described by J.A. Eudes-Deslongchamps 1869) have disappeared. Alongside these particularly rich sites, there are numerous deposits throughout the world covering the entire Jurassic period. These deposits range from fluvial to decidedly marine, but none has yielded juvenile or small Teleosauridae with the exception of one example from Holzmaden. The discovery of this Norman specimen changes the situation.

1. Paléospace, 5 Avenue Jean Moulin, 14640, Villers-sur-Mer. Huasteph@aol.com

2. Paléospace, 5 Avenue Jean Moulin, 14640, Villers-sur-Mer. g.pennetier@orange.fr.

Location and level of deposit

This specimen (**Pl. 1**) was discovered by two of the authors (E.P. & G. P) in March 1989 within the “Marnes de Dives” Formation at Villers-sur-Mer, which belongs to the Upper Callovian, Lamberti Zone H2 H3 (Lebrun & Couville 2013). The specimen is housed at the Villers-sur-Mer Paleospace Museum (Calvados, France) under the number MPV 2021.1.1. These levels have already yielded a significant number of marine vertebrate fossils, including numerous metriorhynchid and teleosaurid marine crocodylians: *Steneosaurus heberti* Morel de Glasville, 1876, *S. edwardsi* (Eudes-Deslongchamps, 1869) and *Lemnisuchus obtusidens* (Andrews, 1909) (cf. synthesis by Vignaud 1995). The Callovian “Marnes de Dives” (Dives marls) correspond to a shallow epicontinental sea with rapid burial of remains due to the supply of fine terrigenous material (Lebrun & Courville 2013).

Description of the specimen

The specimen is a small piece of mandibular symphysis, 9 cm long, with an ovoid section (**Pl. 1.4**) (posterior section $l = 1.2 \text{ cm} \times H = 1.2 \text{ cm}$), which bears 7 dental alveoli, spaced about 1 cm apart, on each sides (**Pl. 1.1, 2, 3**). Four of these alveoli still bear a tooth root with fluted ornamentation (**Pl. 1.6**). The regular aspect of the alveoli and the straightness of the jaw are typical features of purely ichthyophagous, longirostrine crocodylians. The diameter of the alveoli is constant, always around 5 mm. The alveolar edges are well outlined, and the two rows are 1.5 cm apart. This dental morphology, combined with a mandible featuring evenly spaced alveoli and an ovoid cross section, are typical of the Teleosauridae, a family of marine mesosuchian crocodylians of gavialoid appearance. The anterior width of 1.8 cm versus the posterior width of 2.3 cm means that this piece is from the anterior 1/3 of the jaw. If we refer to the more complete jaws of animals like the type of *S. heberti* Morel de Glasville, 1876, which was retrieved from the same stratigraphic level and geographical locality, a section with 7 alveoli represents a length of 20 cm which means that our skull would have been about half the size, i.e. around 60 cm long. This skull length corresponds to a young adult, which explains the appearance of the medial sutures of the mandible (corresponding to dentarues) which are not open like those of juveniles but are still sufficiently marked. The ornamentation of the bones, with slight longitudinal grooves, seems to corroborate the hypothesis that this

is a young adult. We did not use *S. leedsi* Andrews, 1913 for our comparisons because the latter has a very particular ultralongirostrine rostrum (length of the rostrum $> 66\%$ of the length of the skull, Hua, 1997) in which the alveoli are small, very close-set and have unraised or slightly raised edges, which is not the case here. The edges of the crowns are in every way typical of the type described by Morel de Glasville (1876) and visible at the Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN 13.1890). Leaving aside its size, the shape of the mandible, the alveolar margins and the dental ornamentation all correspond to the type; in addition, the stratigraphic level of the finds further connects our specimen to this species.

There are 3 unhealed bite marks, possibly *post mortem*, on each side of the front of the jaw; one of these marks is deeper on the tooth socket on the left side (**Pl. 1.5**). Another point to note, and one which is quite remarkable for the “Marnes de Dives” context, is the absence of serpulids on the fossil. This fact and the presence of replacement teeth still in place within the sockets suggest rapid burial.

Systematic. The genus *Steneosaurus* in the “wastebasket”?

Order Crocodylia Owen, 1842
Suborder Thalattosuchia Fraas, 1901
Family Teleosauridae Geoffroy, 1831
Genus *Steneosaurus* Geoffroy, 1825

Steneosaurus cf. heberti Morel de Glasville 1876

This specimen is related to *S. cf. heberti* by virtue of the configuration of its mandible and teeth and the fact that it was found in the type locality and type level.

The genus *Steneosaurus*, initially described by Geoffroy Saint-Hilaire in 1825, has been discussed many times because it has been found in all of the European deposits (Andrews 1913 ; Kalin 1955 ; Steel 1973, cf. synthesis *in* Buffetaut 1982). More recently, it has been described within the abundant fauna from Holzmaden, where more than 80 specimens have been recorded (Westphal 1962 ; Mueller-Töwe 2006), and in several other accounts (Buffetaut 1982 ; Godefroit, 1994 ; Godefroit *et al.* 1995 ; Vignaud 1995). These studies, which apply either classic, statistical or cladistic approaches, all converge on the same result, i.e. the justification and redefinition of the genus *Steneosaurus* through species that have been correctly redefined since the first descriptions, even

in the absence of a designated holotype, the original specimens having been destroyed.

The studies by Johnson *et al* 2020a and 2020b, which are based on existing material with no unpublished specimens, uses the cladistic approach. Curiously, this paper ignores recent studies, whether cladistic or not, carried out on rich bodies of material (Westphal 1962 ; Buffetaut 1982 ; Vignaud 1995 ; Mueller-Töwe 2006). As Johnson *et al.* (2020b, p. 435) state: "Curiously, while there has been little discussion on what the type species of *Steneosaurus* is since the 1860s, the genus *Steneosaurus* has become widely accepted and the most predominately used generic name when establishing new teleosauroid species". Each of these previously cited studies (Westphal 1962 ; Buffetaut 1982 ; Vignaud 1995 ; Mueller-Töwe 2006) were nevertheless carried out each time on new material and they take into account the entire bibliography, correcting it using all possible approaches be they statistical, sedimentological and/or cladistic. Johnson *et al.* 2020b only includes recent articles, often co-written by the same authors and using the same approaches: "In addition, multiple recent phylogenetic studies on, or including, teleosauroids (e.g. Wilberg 2015a ; Foffa *et al.* 2019 ; Johnson *et al.* 2020a, 2020b ; Martin *et al.* 2019 ; Sachs *et al.* 2019) have recovered various *Steneosaurus* species as either polyphyletic or paraphyletic, further adding to its taxonomic instability". This borders on circular reasoning : on the basis of this biased bibliographical base, lacking any new material, the authors propose a polyphyletic *Steneosaurus* genus and break it down into ten distinct genera, all of which are almost monospecific, and they literally "trash" the genus *Steneosaurus* (Johnson *et al.* 2020a, 2020b). This is a rigorous approach to the ICZN code from the point of view of 'rationalising' the genera, but it ignores the other requirement of the ICZN, namely an obligation of stability.

The revision of a two-hundred year old genus such as this generates great instability within the classification and, under the Nomenclature Code, can only be carried out by presenting the case to the Commission (Article 65.2). This article of the code states that when a genus has been incorrectly identified (Article 65.2.3), i.e. when the *de jure* species differs from the *de facto* species, the case must be referred to the Commission for a ruling. The authors must choose a more clearly defined type species (Article 70.3), while still keeping the genus for stability purposes; this must always occur following presentation of the case to the Nomenclature Commission (Article 13).

Although the goal of the ICZN is to clearly define species, it also aims to promote taxonomic and nomenclatural stability: this was the reason why Vignaud (1995) opted not to create "taxonomic chaos".

The ideal candidate for designating the type species of the genus *Steneosaurus* would be *Steneosaurus megistorhynchus* (Geoffroy, 1831), the earliest still existing species to be well described and figured (Eudes-Deslongchamps 1866). The type figured by Cuvier in 1824 was lost during the bombing of Caen in 1944, as were many Thalattosuchian specimens. The specimen had been discovered in the Calcaire de Caen Formation belonging to the Lower and Middle Bathonian in the village of Quilly in Calvados (Normandy). Although it has disappeared, it has a well-defined type locality and E. Eudes-Deslongchamps (1869) provided a sufficiently detailed diagnosis of the species. This diagnosis was subsequently amended by Vignaud (1995) who already considered the specimen a perfect candidate as a type species of the genus:

"A very elongated and slender snout, representing on average more than 70% of the total length of the skull. The anterior-orbital width of the base of the snout represents about 30% of its length measured in front of the orbits. The maximum width of the skull, measured between the external angles of the articular processes of the quadrates is 28% on average of the total length of the skull. The premaxillae are greatly enlarged. The orbits are elliptical in shape, elongated anteriorly and posteriorly. The frontal is relatively wide and short. The supratemporal fossae are quadrangular in shape and are proportionally short (the length represents only 12 to 15% of the total length of the skull); the anterior and posterior angles are rounded. The ornamentation is essentially marked on the frontal. The mandible is very compressed dorso-ventrally. The symphysis is long, it represents between 52 and 57% of the total length of the mandible. The anterior mandibular plate is very elongated and generally raised. The teeth are long, curved in a conical shape, regularly and finely striated and slightly carinated. The premaxilla bears 4 pairs of teeth, the maxilla between 30 and 34 pairs and the mandible between 37 and 40".

This amended diagnosis provided by Vignaud (1995) is accompanied by the designation of the original specimens described by Cuvier (1824) as syntypes, pl.7, figs. 6, 8, 9, 11 to 13, in the absence of an explicit holotype.

This author completes his diagnosis by attaching existing specimens which could very well be designated as neotypes (such as the most complete

MMT P28 1) and paraneotypes in the case of others:

- MMT P28 1 (skull, mandible + post cranial elements, Godefroit *et al.* 1995) - Musée municipal de Toul,
- OUM J 1414 (mandible, Phillips, 1871) - Oxford University Museum,
- OUM J 1415 (fragmentary skull, Vignaud 1995),
- LPP T1 (mandible, Mazin *et al.* 1995) - Poitiers Paleontology Laboratory.

This gives the species the following geographical and stratigraphic distribution: Lower and Middle Bathonian of Normandy, Middle Bathonian of Poitou, Middle and Upper Bathonian of Oxfordshire and Gloucestershire and Upper Bathonian of Lorraine.

This species of the genus *Steneosaurus* is considered as a *nomen dubium* by Johnson *et al.* (2020a & b) but curiously it appears in the phylogenetic analyses of these authors. They consider the species to be valid but refuse to amend the genus *Steneosaurus*, and instead create an umpteenth monospecific genus of Teleosauridae. Their interest in the MMT P28 1 specimen is noteworthy, since they use it as a neotype of their new genus, while still keeping the old species.

Although these authors are of the opinion that the use of "*Steneosaurus*" risks causing confusion, under article 13 and especially 70.3, they must present their case to the commission - which has not yet been done - and they should not create new taxa which risk creating confusion or chaos.

Pending this presentation to the commission and its outcome, we will therefore not take their classification into account. For the moment, in order to maintain a semblance of objectivity, we will retain a more "classic" and "stable" systematic through new discoveries.

Clearly this position is subject to change with the addition of new material, and not just a revision of existing material, as has already been done in the past (Westphal 1965 ; Buffetaut 1982 ; Martill *et al.* 1985 ; Godefroit 1994 ; Vignaud 1995). Here our specimen shows the potential limits of this proposed classification: according to the Johnson

et al. classification, 2020a, our specimen would be classed as a Teleosaurini indet, whereas the hitherto valid classic classification (pending redefinition), which is not perfect but is at least stable, proposes a *Steneosaurus cf. heberti*.

These authors (as contributors in Kean *et al.* 2020) seem to be aware of the limits of their classification and the instability it creates. In describing a specimen from the Isle of Skye, they acknowledge that it is probably a *Steneosaurus bollensis* alias "*Macrospondylus*". However, using their own taxonomic revision, they cannot go below the super family Teleosauroidea, thus showing the weakness of their own revision!

Once again, the description of new specimens, in this case this small *Steneosaurus cf. heberti*, allows us to clarify the debate and to assess whether a new hypothesis is objectively pertinent or not, or, in this case, whether it is constructive in the sense of being stable or not. In the case of the Teleosauridae, rediscovery, such as that of *M. mosae* (Hua 1999), has led to a clear definition of the genus (Young *et al.* 2006) through the designation of a new neotype. The example of *Steneosaurus megistorhynchus* described by Godefroit *et al.* (1995) has thus led to a better understanding of this species and will perhaps contribute to a better definition of the future neotype of the type species of the genus as part of a forthcoming study.

For the time being, this specimen and the one from the Isle of Skye (Kean *et al.* 2020) do not seem to argue for the redesignation of *Steneosaurus* as presented by Johnson *et al.* 2020a & b. We therefore prefer not to take these conclusions into account pending a detailed study in progress which will take into account all of the ICZN recommendations, including those established to avoid confusion within this genus and its historically related species.

Palaeoecology

Since the first published work of J.A. Eudes-Deslongchamps (1869) the palaeoecology of Teleosauridae has been approached on the basis of dental morphofunctionality; it was with the work of

Plate 1 - Portion of *Steneosaurus cf. heberti* mandible (MPV 2021.1.1) (vertical bar = 1 cm)

1. Dorsal view
2. Left side view
3. Ventral view
4. Anterior view showing the ovoid section
5. Detail of the jaw showing bite marks
6. Detail of the dental alveoli and the ornamentation at the base of the crowns



Westphal (1965) and Buffetaut & Thierry (1977) that the sedimentological dimension was added in order to identify the palaeoecological framework. Vignaud (1997) specified the major dental categories associated with the degree of longirostria within the Teleosauridae. However, as Mueller-Töwe (2005) reminds us, the palaeoecological interpretation based solely on dental morphology and longirostria of an animal whose diet varies according to age, and which in the wild proves opportunistic, should not be pushed too far. As proof, we refer the reader to this video ([Video: A shark and Crocodylus share a dead whale | National Geographic](#)) where a Tiger shark and a *Crocodylus porosus* share a carcass, and yet both have a very different dental morphology and skull shape. Similarly, *C. porosus* when young is rather ichthyophagous in a broad sense (including insects and amphibians) before becoming macrophagous and eventually, as an adult in the marine environment, eating whatever it finds as a downright opportunist (Allen 1974). The tooth morphology remains the same but the diet does not. Here again, actualism shows us that we must be very careful and not push interpretation too far. Massare (1987), Vignaud (1997) and Hua (1997, 1999) did not link the palaeodiet to the paleoenvironment on this basis alone because they are two quite distinct things. For example, the Ganges gaviol strongly resembles *Steneosaurus leedsi* in that they are both longirostrine with pointed teeth, and yet one is fluvial and the other marine. Curiously, however, Johnson *et al* (2020b) propose a palaeoecological reconstruction based solely on dental and cranial morphology, without any other form of verification such as, for example, sedimentological or geochemical criteria.

As this specimen shows, we can only make a decision on the paleoecology of a given species when we know all of the stages of growth, thus avoiding any biased vision skewed by environments that are more fossiliferous than others.

In the absence of arguments other than the shape of the skull and teeth, the conclusions of Johnson *et al.* 2020b cannot therefore be used.

Conclusion

Because of its size, this specimen is rare in the context of Callovian deposits. It had a skull about 60 centimetres long, similar to the young specimens of *Steneosaurus bollensis* described by Westphal (1962) and Mueller-Töwe (2005). The Toarcian levels of Holzmaden correspond to a shallow sea. The Callovian environment of the “Vaches Noires” cliffs corresponds to an epicontinental sea close to the

continent. Mueller-Töwe (2005) considers that this is the size limit for young adults of this type and rightly asks where are the smaller individuals and the egg-laying areas? Particularly since we know that in living crocodylians, such as the Nile Crocodile (Cott 1961), distribution is a function of age group and size. In the Indo-Pacific crocodile (Grigg *et al.* 1980), juveniles are found upstream and large adults are found in estuaries and in the open sea. Given the total absence of juveniles in the European marine Jurassic levels, it is therefore reasonable to think that we are dealing with a similar situation and that the spawning areas must have been further upstream and, hence, that we have not yet found the correct continental Jurassic deposits. Martin *et al* (2019) describe fluvial Teleosauridae in Thailand (on a sedimentological basis and not just on dental evidence): since the first juveniles, with a skull length of less than 60 cm, are found in these deposits, then we can be reasonably hopeful that we are close to the spawning areas. We will only have a good understanding of, and be able to reconstruct, the palaeoecology of the Teleosauridae when we have an overview of the populations and their entire growth cycle. For the moment, the presence of only adults or young adults in marine levels suggests that we have a biased view of their palaeoecology. We must therefore remain cautious and not push a palaeoecological interpretation based on a single criterion until we have a more global vision of the Teleosauridae populations and, in particular, before we have found the juveniles.

Acknowledgements: The authors would like to thank E. Buffetaut for his review and like as usual his precious comments. We would like also to thank Jérémy Martin and Jocelyn Falconnet for their great discussions around ICZN.

References

- Allen G.R. (1974) - The marine crocodile *Crocodylus porosus* from Ponape, Eastern Caroline islands, with notes on the food habits of crocodiles from the Palau Archipelago. *Copeia*, Lawrence. 553 p.
- Andrews C.W. (1909) - On some new Steneosaurs from the Oxford Clay of Peterborough. *Annals of the Magazine of Natural History*, London, 3(15) : 299-308.
- Andrews C.W. (1913) - A descriptive catalogue of the marine reptiles of the Oxford Clay. Part II. *British Museum (Natural History)*, London. 206 p.

- Buffetaut E. & Thierry J. (1977) - Les crocodiliens fossiles du Jurassique moyen et supérieur de Bourgogne. *Geobios*, Lyon, 10 (2) : 151-194.
- Buffetaut E. (1982) - Radiation évolutive, paléoécologie et biogéographie des crocodiliens méso-suchiens. *Mémoire de la Société Géologique de France*. Paris. 142. 88 p.
- Cott H.B. (1961) - Scientific results of an inquiry into the ecology and economic status of the Nile Crocodile (*Crocodylus niloticus*) in Uganda and Northern Rhodesia. *Transactions of the Zoological Society of London*, London, 29 (4) : 211-357.
- Cuvier G. (1824) - Sur les ossements fossiles de Crocodiles. In *Recherches sur les ossements fossiles*, 1ère éd., Deterville (éd.), Paris, 5 (3) : 1-38.
- Eudes-Deslongchamps E. (1869) - Mémoire sur les Téléosauriens de la Normandie. *Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, Caen (année 1868), 2 (3) : 124-221.
- Eudes-Deslongchamps J.A. (1866) - Sur la découverte d'un mâchoire inférieure entière de *Teleosaurus megistorhynchus* (Geoffroy) trouvé à Allemagne et comparaison avec le *Teleosaurus larteti* (Deslongchamps). *Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, Caen (années 1864-1865), 10 : 80-85.
- Foffa D, Johnson M.M., Young M.T., Steel L. & Brusatte S.L. (2019) - Revision of the Late Jurassic deep-water teleosauroid crocodylomorph *Teleosaurus megarhinus* Hulke, 1871, and evidence of pelagic adaptations in Teleosauroidea. *PeerJ* 7:e6646 <https://doi.org/10.7717/peerj.6646>
- Geoffroy Saint-Hilaire E. (1825) - Recherches sur l'organisation des gavials, sur leurs affinités naturelles desquelles résulte la nécessité d'une autre distribution générique : *Gavialis*, *Teleosaurus*, *Steneosaurus* ; et sur cette question, si les gavials (*Gavialis*), aujourd'hui répandus dans les parties orientales de l'Asie, descendent, par voie non interrompue de génération, des gavials antédiluviens, soit des gavials fossiles, dits crocodiles de Caen (*Teleosaurus*), soit des gavials fossiles du Havre et de Honfleur (*Steneosaurus*). *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris*, Paris, 12 : 97-155.
- Geoffroy Saint-Hilaire E. (1831) - Recherches sur les grands sauriens trouvés à l'état fossile aux confins maritimes de la Basse Normandie, attribués d'abord au Crocodile, puis déterminés sous les noms de *Teleosaurus* et *Steneosaurus*. *Mémoire de l'académie des sciences de Paris*, Paris, 12 : 1-138.
- Godefroit P. (1994) - Les reptiles marins du Toarcien (Jurassique inférieur) belgo-luxembourgeois. *Mémoire pour Servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique*, Bruxelles, 39. 98 p.
- Godefroit P., Vignaud P. & Lierger A. (1995) - Un Teleosauridae (Reptilia, Mesosuchia) du Bathonien supérieur lorrain, France). *Bulletin de la Société Géologique de Belgique*, Bruxelles, 104 (1-2) : 91-107.
- Hua S. (1997) - Adaptations des crocodiliens méso-suchiens au milieu marin. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6. 211 p.
- Hua S. (1999) - Le Crocodilien *Machimosaurus mosae* (Thalattosuchia, Teleosauridae) du Kimméridgien du Boulonnais (Pas-de-Calais, France). *Palaeontographica*, Stuttgart, A, 252 : 141-170.
- Johnson M.M., Young M.T. & Brusatte S.L. (2020a) - Emptying the wastebasket: a historical and taxonomic revision of the Jurassic crocodylomorph *Steneosaurus*. *Zoological Journal of the Linnean Society* 189(2): 428-448, <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlaa027>
- Johnson M.M., Young M.T. & Brusatte S.L. (2020b) - The phylogenetics of Teleosauroidea (Crocodylomorpha, Thalattosuchia) and implications for their ecology and Evolution. *PeerJ* 8:e9808 <https://doi.org/10.7717/peerj.9808>
- Kalin J. (1955) - Crocodilia. In *Traité de Paléontologie* : J. Piveteau (éd.), Masson, Paris, 5 : 695-784.
- Kean J., Foffa D., Johnson M. M. & Young M., Greitens G. & Brusatte S.L. (2020) - First and most northern occurrence of a thalattosuchian crocodylomorph from the Jurassic of the Isle of Skye, Scotland, *Scottish Journal of Geology*, 57 (1): sjg2020-013.
- Lebrun P. & Courville P. (2013) - Le jurassique des falaises des Vaches-Noires. *Fossiles, Revue française de paléontologie*, Hors série, Paris :16-28.
- Martill D. M. ; Taylor, M.A. Duff K.L. Riding J.B. & Bown P.R., 1994 - The trophic structure structure of the biota of Peterborough Member, Oxford Clay Formation (Jurassic), UK, *Journal of the Geological Society of London*, London, 151 : 173-194.
- Martin J.E., Suteethorn S., Lauprasert K., Tong H., Buffetaut E., Liard R., Salaviale C., Deesri

- U., Suteethorn V. & Claude J. (2019) - A new freshwater Teleosaurid from the Jurassic of northeastern Thailand. *Journal of Vertebrate Paleontology*, Oklahoma, 38(6): e1549059.
- Massare J.A. (1987) - Tooth morphology and prey preference of Mesozoic marine reptiles. *Journal of Vertebrate Paleontology*, Oklahoma, 7: 121-137.
- Mazin J.M., Bardet N., Vignaud P. & Hua S. (1995) - Marine reptiles faunas from the Middle and Upper Jurassic of Western Europe. 6. *Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Treleu : 35-36.
- Morel de Glasville M. (1876) - Sur la cavité crânienne et la position du trou optique dans le *Steneosaurus heberti*. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, 3(4) : 342-348.
- Mueller-Töwe I.J. (2006) - Anatomy, phylogeny, and palaeoecology of the basal thalattosuchians (Mesoeucrocodylia) from the Liassic of Central Europe. Am Fachbereich 09 Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz. 369 p.
- Phillips J. (1871) - Geology of Oxford and the valley of the Thames. Clarendon Press, Oxford. 523 p.
- Sachs S., Johnson M.M., Young M.T. & Abel P. (2019) - The mystery of *Mystriosaurus* Kaup, 1834: redescribing the poorly known Early Jurassic teleosauroid thalattosuchians *Mystriosaurus laurillardi* Kaup, 1834 and *Steneosaurus brevior* Blake, 1876. *Acta Palaeontologica Polonica*, Varsovie 64 : 565-579.
- Steel R. (1973) - Crocodiles: Christopher Helm, London. 198 p.
- National Geographic (2020) : Vidéo : un requin et un crocodile se partagent une baleine morte | National Geographic. <https://www.nationalgeographic.fr/video/tv/video-un-requin-et-un-crocodile-se-partagent-une-baleinemorte?fbclid=IwAR1ZrWB8rKmMelCLa5emoUW9rflK1sGILr8c7HA9q4twRZYY SopYwgcZCws>
- Vignaud P. (1993) - Thalattosuchians from the Callovian of Poitou (Vienne, France). *Revue de Paléobiologie*, Genève, 7 : 251-261.
- Vignaud P. (1995) - Les Thalattosuchia, crocodiles marins du Mésozoïque: Systématique phylogénétique, paléoécologie, biochronologie et implications paléogéographiques. Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, France. 271 p.
- Vignaud, P. (1997) - La morphologie dentaire des Thalattosuchia (Crocodylia, Mesosuchia). *Palaeovertebrata*, Montpellier, 26 (1-4) : 35-59.
- Westphal F. (1962) - Die Krokodilier des deutschen und englischen oberen Lias. *Palaeontographica*, Stuttgart 116 : 23-118.
- Wilberg E.W. (2015) - What's in an outgroup? The impact of outgroup choice on the phylogenetic position of Thalattosuchia (Crocodylomorpha) and the origin of Crocodyliformes. *Systematic Biology* 64(4) : 621-637 <https://doi.org/10.1093/sysbio/syv020>

Soumis le 6 février 2021

Accepté le 8 février 2021

Publié en ligne (pdf) le 20 février 2021

Les ammonites du « Lias calcaire » (Jurassique inférieur) des chaînes subalpines méridionales de la Durance aux environs de La Saulce (Hautes-Alpes, France)

Guy Turin ¹

Résumé

Le Jurassique inférieur (« Lias calcaire ») des Chaînes subalpines de la Durance (Alpes externes) est pour la première fois étalonné par une vingtaine de taxons d'ammonites (Ammonitina) dont les âges s'échelonnent de la chronozone à Angulata (Hettangien supérieur), à la chronozone à Ibex (Plienbachien inférieur). Le Sinémurien y est particulièrement bien représenté par des ammonites appartenant aux chronozones à Bucklandi, Semicostatum et Raricostatum. Ces faunes n'ont jamais fait l'objet d'une étude paléontologique. Elles sont ici décrites et illustrées pour la première fois. Dans l'ensemble, les faunes d'ammonites sont peu diversifiées et appartiennent à la Province nord-ouest européenne, à l'exception des formes rattachées aux genres *Schlotheimia*, *Coroniceras*, *Arnioceras*, *Lytoceras* et *Tropidoceras* dont la répartition, plus large, peut s'étendre à tout ou partie du Domaine téthysien.

Mots clés : Ammonites, Jurassique inférieur, Alpes externes, Biostratigraphie.

Abstract

The Lower Jurassic (« Lias calcaire ») of the subalpine Durance Ranges (Outer Alps) is for the first time calibrated by around twenty taxa of ammonites (Ammonitina) whose ages range from Angulata chronozone (Upper Hettangian) to the Ibex chronozone (Lower Pliensbachian). The Sinemurian is particularly well represented by ammonites belonging to the Bucklandi, Semicostatum and Raricostatum chronozones. These fauna have never previously been the subject of a paleontological study. Several taxa are identified for the first time in the Hautes-Alpes department. Overall, these fauna are poorly diversified and belong to the North-Western European Province, with the exception of forms attached to the genera *Schlotheimia*, *Coroniceras*, *Arnioceras*, *Lytoceras* and *Tropidoceras* whose wider distribution can extend to all or part of the Tethyan Realm.

Keywords : Ammonites, Early Jurassic, Outer Alps, Biostratigraphy.

Introduction

Le secteur de La Saulce, étudié dans le présent travail, appartient aux chaînes alpines méridionales qui font partie du domaine externe des Alpes occidentales. Il est limité au Nord et au Sud par la plaine alluviale de la Durance et s'appuie contre

l'éperon rocheux qui, au niveau de la commune de La Saulce, ferme le sillon de Gap du côté méridional (**Fig. 1**).

Au plan structural, cet éperon rocheux est constitué de couches redressées du Jurassique inférieur et moyen, qui se placent dans la continuité méridionale du Dôme de Remollon, à la partie frontale de la

1. Adresse mail : turin.guy77@orange.fr

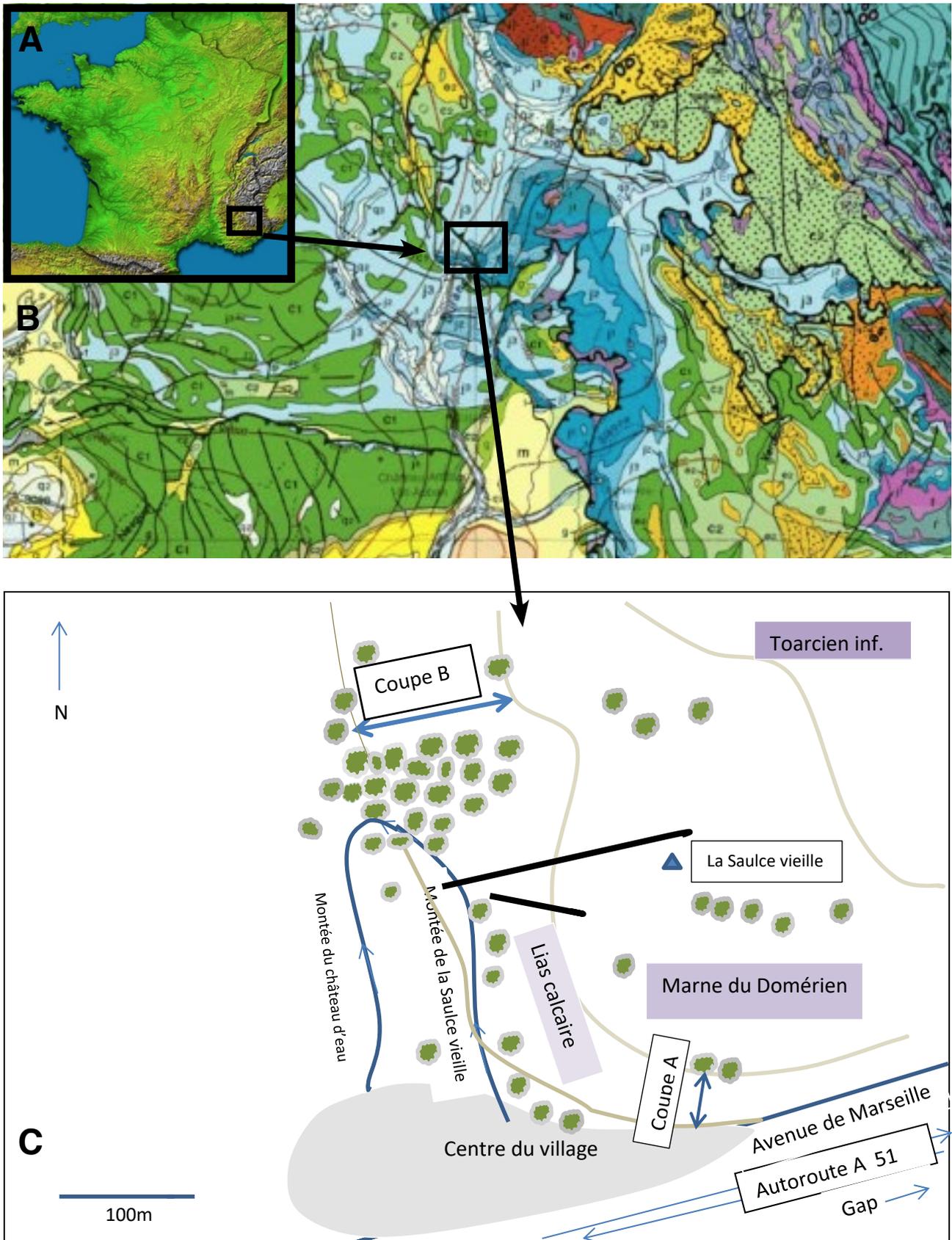


Fig. 1 - A. Localisation géographique ; B. Carte géologique de la région étudiée (données Geoportail) ; C. La Saulce et emplacement des coupes A et B étudiées.

Log stratigraphique N° des bancs		Étages et lithologie	Ammonites	Autres espèces de fossiles dans l'étage	
A 186	Zone à Ibex	Plienbachien inférieur 12 m. Calcaire noir à patine rouille en bancs décimétriques à demi-métriques en alternance avec des lits marneux	<i>A170 Tropidoceras</i> aff. <i>zitteli</i> <i>A170 Lytoceras fimbriatum</i> <i>A166 Acanthopleuroceras alisiense</i>	<i>Passaloteuthis elongatus</i> <i>Passaloteuthis paxillosus</i> <i>Hastites umbilicatus</i> <i>Inoceramus</i> cf. <i>ventricosus</i> 5 m
A 180					
A 170					
A 160					
A 150					
A 140					
A 130					
A 125					
.....					
A 110					
A 100					
A 90					
A 80					
A 70					
A 60	Zone à Raricostatium	Sinémurien inférieur 10,5 m. Calcaire noduleux gris intercalé de lits marneux	<i>Ptycharietites</i> sp. (hors place) <i>Asteroceras</i> cf. <i>meridionalis</i> (hors place)	<i>Nannobelus acutus</i> <i>Pentacrinus tuberculatus</i> <i>Calcirhynchia calcaria</i> <i>Ptychomphalus</i> sp.
A 50					
A 40					
A 30					
A 20					
A 10	Zone à Turneri		<i>Pararnioceras</i> sp. (hors place) <i>Arnioceras</i> sp. (hors place)	
.....					
.....	Zone à Semicostatium				« Lias calcaire » (épaisseur totale : 33,5 m)
.....		↓			

Fig. 2 - Log stratigraphique, lithologie et répartition des fossiles du « Lias calcaire » de la **coupe A**, à La Saulce (Hautes-Alpes).

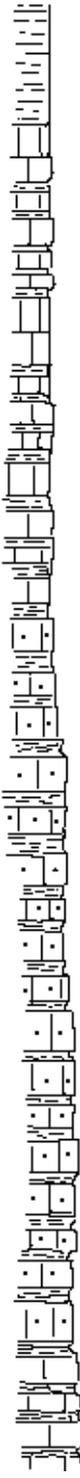
Log stratigraphique N° de bancs		Etages et lithologie	Ammonites	Autres espèces de fossiles	
		Pliensbachien supérieur Marnes noires			5m
	B 240		<i>Lytoceras fimbriatum</i> (hors place)	<i>Passaloteuthis paxillosus</i> <i>Hastites umbilicatus</i>	
	B 230	Pliensbachien inférieur			
	B 220	9,5 m. Calcaire massif en gros banc			
	B 210		B210 <i>Liparoceras</i> gr. <i>kilsbiense</i>		
	B 205				
	B 200				<i>Nannobelus</i> sp.
	B 190	Sinémurien supérieur		B196 <i>Paltechioceras tardecrescens</i> <i>Leptechioceras</i> sp. (hors place)	
	B 180	10,5 m. Calcaire massif à patine rouille avec interlits marneux			
	B 170				
	B 160				<i>Nannobelus acutus</i> <i>Furcirhynchia</i> cf. <i>furcillata</i> <i>Pecten</i> sp.
	B 150	Sinémurien inférieur			
	B 140	30 m. Calcaire noduleux intercalé de lits argileux			
	B 130				
	B 120				
	B 110				
	B 100				
	B 90				
	B 80			B72 <i>Coroniceras multicostatum</i>	
	B 70			<i>Arietites</i> cf. <i>bucklandi</i> (hors place) <i>Coroniceras</i> sp. (hors place)	
B 60					
B 50			B42 <i>Metophioceras</i> sp.		
B 40					
B 30			B30 <i>Schlotheimia</i> sp.		
B 20	Hettangien supérieur 5 m. Calcaire légèrement bleuté intercalé de lits argileux			<i>Microschiza philenor</i> , <i>Liostrea</i> <i>sublamellosa</i> , <i>Cardinia</i> cf. <i>oblonga</i> , <i>Cardinia</i> cf. <i>sulcata</i> , <i>Cardinia</i> <i>concinna</i> , <i>Modiolus</i> sp. <i>Arcomya</i> cf. <i>acuta</i> , <i>Plagiostoma valoniense</i> .	
					« Lias calcaire » (épaisseur totale: 55 m)

Fig. 3 - Log stratigraphique, lithologie et répartition des fossiles du « Lias calcaire » de la **coupe B**, à La Saulce (Hautes-Alpes).

nappe de Digne, en amont immédiat de son front de chevauchement vers le Sud (chevauchement de Céüse). La vallée de la Durance, qui le recoupe à la hauteur de La Saulce, permet l'étude d'un Jurassique inférieur (Lias) d'épaisseur relativement réduite, mais dont le faciès d'alternances marne - calcaire marneux de type hémipélagique, dit « faciès dauphinois », est très représentatif de l'ensemble paléogéographique delphinohelvétique. À dominante tout d'abord carbonatée jusqu'au Pliensbachien inférieur (« Lias calcaire » des auteurs), les dépôts deviennent franchement marneux au Pliensbachien supérieur et au Toarcien (« Lias schisteux »).

Le Jurassique des Chaînes subalpines n'a, depuis la thèse de Haug (1891), fait l'objet que de rares études stratigraphiques. Dans l'ensemble carbonaté inférieur, qui sera seul abordé dans le présent travail, l'Hettangien, le Sinémurien et le Pliensbachien inférieur avaient été identifiés aux environs de Serre-Ponçon par Mouterde (1956), Mouterde *et al.* (1961), Turin *et al.* (1985) et Dommergues & Meister (2008), mais seul le dernier de ces travaux a aussi donné lieu à la figuration des ammonites.

Les « Calcaires de La Saulce » n'ont jamais été étudiés et les seules informations biostratigraphiques dont on dispose à ce jour se résument à de simples listes de faunes données dans la notice de la carte géologique de Laragne (Gidon *et al.*, 1991). Ces listes de fossiles sont difficilement exploitables dans les synthèses biostratigraphiques et paléobiogéographiques.

L'étude stratigraphique et paléontologique des ammonites des « Calcaires de La Saulce », que nous présentons ici, vise à combler ce manque d'information pour la période de l'Hettangien supérieur jusqu'au sommet du Pliensbachien inférieur. L'étude des ammonites du Pliensbachien supérieur et du Toarcien sera abordée ultérieurement.

Deux coupes, notées A (**Fig. 2**) et B (**Fig. 3**), ont pu être levées avec suffisamment de précision pour permettre de reconnaître les principales zones d'ammonites standards connues en Europe occidentale (Mouterde, 1971 ; Cariou & Hantzpergue, 1997). Les spécimens récoltés sont des moules internes plus ou moins écrasés et souvent déformés par la tectonique. Les sutures sont rarement préservées et il est souvent impossible de localiser la fin du phragmocône. Dans ce contexte, les déterminations sont souvent difficiles. Les ammonites sont illustrées par trois planches.

Systématique

Classe : Cephalopoda Cuvier, 1778

Sous-classe : Ammonoidea Zittel, 1884

Ordre : Phylloceratida Arkell, 1950

Sous-ordre : Phylloceratina Arkell, 1950

Superfamille : Phylloceratoidea Zittel, 1884

Famille : Juraphyllitidae Arkell, 1950

Genre : *Tragophylloceras* Hyatt, 1900

**Espèce type : *Ammonites numismalis*
Quenstedt, 1845**

***Tragophylloceras cf. undulatum* (Smith, 1817)**

Pl. 2, Fig. 1

cf. 1817. *Ammonites undulatus* Smith, p. 114.

cf. 1862. *Ammonites wechsleri* Opper, pl. 43, fig. 1.

cf. 1964. *Tragophylloceras undulatum* (Smith).
Howarth & Donovan, pl. 48, fig. 6-7, pl. 49,
fig. 1.

cf. 1986. *Tragophylloceras undulatum* (Smith).
Meister, pl. 2, fig. 2, 3, 4.

cf. 2000. *Tragophylloceras undulatum* (Smith). Joly,
pl. 3, fig. 2-4, avec la synonymie.

cf. 2008. *Tragophylloceras cf. undulatum* (Smith).
Dommergues & Meister, fig. 6(1).

cf. 2008b. *Tragophylloceras undulatum* (Smith).
Dommergues *et al.*, pl. I, fig. 6.

Matériel : 1 ex., coupe A, niv. A150.

Description :

Ce fragment d'ammonite mal conservé est attribué à un *Tragophylloceras* en raison la géométrie de la coquille. Sa costulation, flexueuse sur les flancs, s'épaissit en direction de l'aire ventrale et la traverse, en l'absence de carène, en formant des bourrelets saillants.

Notre spécimen est rapproché de *T. undulatum* en raison de la densité de son ornementation, intermédiaire entre celle de *Tragophylloceras numismale* (Quenstedt) finement orné, et celle de *T. ibex* (Quenstedt.) à la costulation nettement grossière (Dommergues *et al.*, 2008b).

Âge et répartition : Il est récolté en association avec *Tropidoceras* aff. *zitteli* (Fucini), qui le place dans la partie supérieure de la sous-chronozone à Valdani (chronozone à Ibex). *T. undulatum* est une forme strictement nord-ouest européenne, connue en France, Allemagne et Angleterre où sa répartition stratigraphique large recouvre les sous-chronozones à

Jamesoni et à Valdani, période pendant laquelle elle est la plus abondante.

Ordre : Psiloceratida Housa, 1965
Sous-ordre : Psiloceratina Housa, 1965
Superfamille : Lytoceratoidea Neumayr, 1875
Famille : Lytoceratidae Neumayr, 1875

Genre : *Lytoceras* Suess, 1865
Espèce type : *Ammonites fimbriatus*
J. Sowerby, 1817

***Lytoceras fimbriatum* (J. Sowerby, 1817)**
Pl. 3, Fig. 1

1817. *Ammonites fimbriatus* J. Sowerby, pl. 164.
2008. *Lytoceras fimbriatum* (J. Sowerby). Dommergues & Meister, fig. 6 (2).
2008a. *Lytoceras fimbriatum* (J. Sowerby). Dommergues *et al.*, pl. 1, fig. 7.
2017. *Lytoceras fimbriatum* (J. Sowerby). Fauré & Bohain, pl. 2, fig. 5, pl. 3, fig. 1 ; pl. 4, fig. 1 ; pl. 5, fig. 11, avec la synonymie.

Matériel : 2 ex., coupe A, niv. A170 ; coupe B (hors place dans la sous-chronozone à Valdani).

Description : *Lytoceras fimbriatum* est une ammonite classique du Pliensbachien européen, souvent citée dans les listes de faune, mais plus rarement figurée ou étudiée en détail, car elle est considérée comme peu informative en biostratigraphie. C'est une forme évolutive dont la section est subcirculaire, avec un accroissement rapide des tours. La costulation, très dense, est formée de fines côtes simples, serrées et proverses auxquelles s'ajoutent un certain nombre de constrictions. Ce *Lytoceras* peut atteindre de très grandes tailles (jusqu'à 40 cm de diamètre) pour la forme décrite.

Remarque : *Lytoceras fimbriatum* est une espèce dimorphe avec des macroconques correspondant aux spécimens de grande taille proche de la forme décrite, et des microconques qui sont décrits par les auteurs sous le taxon de *Derolytoceras tortum* (Quenstedt). Cette hypothèse est discutée par Meister (1986) et Dommergues (2002).

Âge et répartition : Nos deux spécimens des Hautes-Alpes proviennent de la sous-chronozone à Valdani. *Lytoceras fimbriatum* est une espèce ubiquiste, connue à la fois dans les régions nord-ouest européennes et méditerranéennes dont la position stratigraphique,

particulièrement large, s'étend de la sous-chronozone à Valdani (chronozone à Ibex) à la sous-chronozone à Stokesi (chronozone à Margaritatus).

Superfamille : Psiloceratoidea Hyatt, 1867
Famille : Schlotheimiidae Spath, 1923

Genre : *Schlotheimia* Bayle, 1878
Espèce type : *Ammonites angulatus*
Schlotheim, 1820

***Schlotheimia* sp.**
Pl 2, fig. 2a-b

Matériel : 1 ex., coupe B, niv. B30.

Description : Ce fragment d'ammonite montre une morphologie platycône, évolutive, avec une section comprimée, des côtes simples, assez grossières, qui s'infléchissent vers l'avant sur l'aire ventrale et sont brusquement interrompues sur la région siphonale en regard de laquelle elles dessinent un chevron très caractéristique du genre. La ligne de suture est symétrique et fortement découpée (Dommergues *et al.* 2008b). Il est, par contre, difficile de préciser sa détermination au niveau spécifique.

Âge et répartition : les *Schlotheimia* du groupe de *S. angulata* caractérisent l'Hettangien supérieur (chronozone à Angulata). C'est l'âge que nous avons retenu pour notre spécimen de La Saulce. D'autres fragments de *Schlotheimia* ont encore été récoltés dans les Hautes-Alpes, à l'ouest de la commune de Remollon et d'Espinasse et à l'entrée des gorges de la Blanche (Mouterde, 1956).

Les *Schlotheimia* du groupe de *S. angulata* sont des ammonites ubiquistes connues à la fois sur les plates-formes nord-ouest européennes et la Téthys occidentale où leur présence n'est toutefois pas fréquente (Dommergues *et al.*, 2008a).

Superfamille : Arietitoidea Hyatt, 1875
Famille : Arietidae Hyatt, 1875

Genre : *Coroniceras* Hyatt, 1867
Espèce type : *Ammonites kridion* Zieten, 1830

Coroniceras multicostratum
(J. de C. Sowerby, 1824)
Pl. 1, Fig. 2a-b

1824. *Ammonites multicostrata* J. de C. Sowerby, pl. 1824.
1844. *Ammonites bisulcatus* (Bruguière). Dumortier, pl. 2. ; pl. 3, fig. 1-3.

1879. *Ammonites Vercingetorix* Reynès, pl. 20, fig. 8-9 ; pl. 26, fig. 1-4.
1966. *Arietites multicostratum* (J. de C. Sowerby). Guérin-Franiette, pl. 29-32, avec synonymie.
1990. *Coroniceras multicostratum* (J. de C. Sowerby). Corna *et al.*, pl. 3, fig. 1.
1997. *Coroniceras* cf. *multicostratum* (J. de C. Sowerby). Corna *et al.*, pl. 5, fig. 8-9.
2011. *Coroniceras* (?) *multicostratum* (J. de C. Sowerby). Dommergues & Guiomar, pl. 1, fig. 1-2 ; pl. 2, fig. 1-4 ; pl. 3, fig. 1-2 ; pl. 4, fig. 1-3 ; pl. 5, fig. 1, 2, 3-6 ; pl. 6, 1-6, avec la synonymie.

Matériel : 1 ex., coupe B, niv. B72.

Description : *Coroniceras multicostratum* est l'espèce la plus emblématique de la dalle de Digne. C'est une forme de grande taille dont le diamètre adulte peut dépasser 50 cm. La coquille est évolutive, subplatycône et sa section est plutôt subquadratique. Le recouvrement des tours reste faible. L'ombilic assez profond est largement ouvert, et l'aire ombilicale arrondie passe progressivement aux flancs. Le rebord ventro-latéral est particulièrement bien marqué par un épaulement des côtes renforcé par un tubercule. La carène, toujours bien individualisée, est bordée par deux sillons étroits et profonds qui confèrent à l'aire ventrale une allure tricarénée, bisulquée. La costulation est en général assez dense. Elle est constituée de côtes saillantes d'allure souvent un peu pincée, rétroverses sur les flancs qui, au-delà du tubercule ventro-latéral, se projettent brusquement vers l'avant en dessinant un segment cintré (Dommergues & Guiomar, 2011).

Rapports et différences : Certains variants, à costulation dense et rétroverse, peuvent être rapprochés de *Coroniceras vercingetorix* (Reynès), mais cette espèce est souvent considérée par les auteurs comme synonyme de *C. multicostratum* (Guerin-Franiette, 1966). Des confusions sont aussi possibles avec les formes mal définies du groupe de *C. (Arietites) bisulcatus* (Bruguière), espèce qui se différencierait de *C. multicostratum* par l'absence de tubercule au niveau de l'angulosité ventro-latérale de la côte. En dehors de ce caractère ornemental, ces deux taxons pourraient être identiques (Dommergues & Guiomar, 2011).

Âge et répartition : L'espèce marque la zonule à *Multicostratum* située au sommet de la chronozone, sous-chronozone à *Bucklandi*. Ce taxon nord-ouest européen est très abondant dans les Alpes-de-Haute-Provence, en Bourgogne et dans l'Est de la France. Il est aussi identifié sur la marge nord du Domaine téthysien, en Italie et dans les Alpes autrichiennes.

Sous-genre *Arietites* Waagen, 1869

Coroniceras (Arietites) cf. *bucklandi* (J. Sowerby, 1816)

Pl. 1, Fig. 3

- cf. 1816. *Ammonites bucklandi* J. Sowerby, pl. 130.
- cf. 1966. *Arietites bucklandi* (J. Sowerby). Guérin-Franiette, pl. 1, 2, 3, avec la synonymie.
- cf. 2011. *Coroniceras (Arietites)* sp. Dommergues & Guiomar, pl. 5, fig. 8.

Matériel : 1 ex., secteur La Cascade (hors place).

Description : Nous rapprochons de *C. (Arietites) bucklandi* ce phragmocône dépourvu de ses tours internes, d'un diamètre de 32 cm, récoltée au pied de La Cascade de La Saulce. Cette coquille est caractérisée par sa section sub-quadrangulaire, comprimée, tricarénée et bisulquée, et son enroulement évolutive, avec un faible recouvrement des tours. Les côtes sont bien marquées. Très rigides dans les deux tiers des flancs, elles s'infléchissent brutalement vers l'avant à l'approche de l'aire ventrale, sans tuberculation au point d'inflexion. Les cloisons latérales sont découpées de chaque côté en trois lobes et trois selles.

Rapports et différences : L'espèce *C. (Arietites) bucklandi* se distingue de tous les autres *Coroniceras* par sa costulation plus grossière et plus massive. On retrouve les mêmes caractères chez une espèce voisine, *C. (Arietites) solarium* (Quenstedt), à la section plus anguleuse, même aux grandes tailles, à son ventre plus plat ou légèrement concave et à ses côtes plus rigides et plus épaisses.

Âge et répartition : Cette espèce présente une répartition particulièrement large. En France, elle est courante en Bourgogne, dans l'Est de la France, dans les Hautes-Alpes et les Alpes-de-Haute-Provence où elle caractérise partout le sommet de la chronozone, sous-chronozone à *Bucklandi* du Sinémurien inférieur.

Sous-genre : *Pararnioceras* Spath, 1922

Coroniceras (Pararnioceras) sp.

Pl. 1, Fig. 1

Matériel : 1 ex., coupe A, hors place.

Description : Nous plaçons cette ammonite entièrement cloisonnée dans le genre *Pararnioceras* qui se distingue du genre *Coroniceras* par une section des tours légèrement plus haute, des flancs moins plats et par un arrondi latéro-ventral moins marqué

au niveau du passage des tubercules ventro-latéraux (Corna *et al.* 1990). Notre spécimen présente bien ces caractères : tours internes de type *Coroniceras* présentant une section subquadratique ; tours externes plus comprimés ; section plus haute que large ; flancs presque plats ; aire ventrale bisulquée et tricarénée, avec une carène émoussée dans les tours internes, qui devient par la suite aussi haute que les carènes latérales. Les côtes sont fortes, rétroverses sur la partie inférieure des tours, puis radiales sur les flancs, avant de s'infléchir vers l'avant à partir d'un tubercule ventro-latéral.

Âge et répartition : le genre *Pararnioceras* se place stratigraphiquement dans la chronozone à *Semicostatum*, sous-chronozone à *Lyra* et à *Scipionianum* du Sinémurien inférieur. C'est l'âge que nous donnons à notre spécimen. Il est aussi répertorié sur le site des Isnards, à Digne (Dommergues & Guiomar, 2011). Il est présent également en Bourgogne et en Franche-Comté.

Genre : *Arnioceras* Hyatt, 1867

Espèce type : *Ammonites semicostatum* Hyatt, 1867

Arnioceras sp.

Pl. 2, Fig. 3

Matériel : 1 ex., coupe A, niv. A30.

Description : Ce taxon regroupe de petits *Arietitinae* dont le stade juvénile est lisse avant l'apparition d'une costulation saillante et médiane. La détermination spécifique de ces formes est délicate et demande un matériel bien conservé et stratigraphiquement bien repéré. Ces conditions ne sont malheureusement pas réunies dans le secteur étudié.

Ce spécimen, de taille inférieure à 10 cm présente bien ces caractéristiques, avec sa coquille évoluée, ses tours internes complètement lisses jusqu'au diamètre de 1 cm environ, et sa costulation devenant ensuite franchement saillantes sur les flancs où le profil des côtes est presque tranchant. Au-delà du rebord latéro-ventral, elles se projettent vers l'avant et disparaissent

en atteignant la bordure des sillons qui bordent la carène.

Âge et répartition : Ce genre à la répartition géographique et stratigraphique particulièrement larges, est aussi bien représenté dans le Domaine téthysien qu'en Europe occidentale. Il est, notamment, présent en Angleterre et en Allemagne où il caractérise la chronozone à *Semicostatum* du Sinémurien inférieur. Dans les Hautes-Alpes, il a été reconnu par Mouterde (1956) dans le secteur de Serre-Ponçon.

Famille : *Echioceratidae* Buckman, 1913

Genre : *Echioceras* Bayle, 1878

Espèce type : *Ammonites raricostatum* Zieten, 1878

Echioceras raricostatoides Vadasz, 1908

Pl. 2, Fig. 5 et 6

1844. *Ammonites raricostatus* Zieten. D'Orbigny, pl. 54, fig. 1-4.

1908. *Echioceras raricostatoides* Vadasz, p. 373.

1973. *Echioceras raricostatoides* Vadasz. Getty, pl. 1, fig. 12 (néotype).

1993. *Echioceras raricostatoides* Vadasz. Dommergues, pl. VII, fig. 2, avec la synonymie.

Matériel : 2 ex., coupe A, niv. A110 et niv. A114.

Description : Cette espèce évoluée et serpenticône, présente une ornementation très caractéristique, avec ses côtes particulièrement saillantes, tendues, dont la densité décroît rapidement au cours de la croissance. L'aire ventrale, qui porte une carène faible, est dépourvue de méplats périsiphonaux.

Rapports et différences : La distinction des deux espèces morphologiquement identiques, *Echioceras raricostatoides* et *E. raricostatum* (Zieten), est justifiée surtout par la taille, le premier correspondant à des formes de taille dépassant fréquemment 70 mm de diamètre et le second, à des coquilles de plus petite dimension, environ 30 à 40 mm (Dommergues, 1993).

Planche 1

Fig. 1 - *Coroniceras* (*Pararnioceras*) sp. La Saulce, coupe A, hors place. Sinémurien inférieur, chronozone à *Semicostatum*, sous-chronozone à *Lyra* à sous-chronozone à *Scipionium*.

Fig. 2a, b - *Coroniceras multicostatum* (J. de C. Sowerby). La Saulce, coupe B, niv. B72. Sinémurien inférieur, chronozone et sous-chronozone à *Bucklandi*, zonule à *Multicostatum*.

Fig. 3 - *Coroniceras* (*Arietites*) cf. *bucklandi* (J. Sowerby). La Saulce, La Cascade, hors place. Sinémurien inférieur, chronozone et sous-zone à *Bucklandi*.



Il s'agit vraisemblablement de l'expression de deux morphotypes d'une même espèce.

Âge et répartition : Cette espèce typiquement nord-ouest européenne est fréquente en Bourgogne et en Angleterre où elle caractérise la chronozone, sous-chronozone à *Raricostatum*, du Sinémurien supérieur.

Genre : *Plesechioceras* Trueman & Williams (1925)

Espèce type : *Ammonites tardecrescens*
Hauer in Dumortier (1867)

Plesechioceras delicatum (Buckman, 1914)

Pl. 2, Fig. 4

1867. *Ammonites tardecrescens* Hauer in Dumortier, pl. 31, fig. 3-5.
1914. *Echioceras delicatum* Buckman, p. 96.
1973. *Paltechioceras delicatum* (Buckman). Getty, pl. 2, fig. 5.
1982. *Plesechioceras delicatum* (Buckman). Dommergues, pl. 1, fig. 1-4.
1993. *Plesechioceras delicatum* (Buckman). Dommergues, pl. VI, fig. 4-5.
2005. *Plesechioceras delicatum* (Buckman). Dommergues *et al.*, pl. 3, fig. 4-8 ; pl. 4, fig. 1-4, avec la synonymie.

Matériel : 1 ex. coupe A, niv. A95.

Description : Cet Echioceratidae possède une ornementation très dense, fine et proverse tout au long de la croissance. L'aire ventrale porte une carène basse, rarement bordée de faibles méplats (Dommergues, 1993).

Rapports et différences : Le genre *Plesechioceras* regroupe tous les Echioceratidae primitifs à

section plus ou moins comprimée. *Plesechioceras delicatum* (Buckman) ne peut se confondre qu'avec *P. platypleura* (Dommergues) dont la taille adulte est assez faible, la section arrondie moins comprimée, et la costulation moins dense et moins cintrée.

Âge et répartition : Cet Echioceratidae est particulièrement abondant en Bourgogne mais rare dans les Chaînes subalpines où sa présence marque l'extrême base de la chronozone à *Raricostatum*.

Superfamille : Eoderoceratoidea Spath, 1929

Famille : Tropidoceratidae Hyatt, 1900

Genre : *Tropidoceras* Hyatt, 1867

Espèce type : *Ammonites masseanus* d'Orb, 1844

Tropidoceras aff. *zitteli* Fucini, 1899

Pl. 3, Fig. 3

- aff. 1899. *Tropidoceras zitteli* Fucini, pl. 22, fig. 3.
aff. 1985. *Tropidoceras zitteli* Fucini. Braga & Rivas, p. 580, pl. 3, fig. 5, 6 ; pl. 4, fig. 1-5.
aff. 2002. *Tropidoceras zitteli* Fucini. Rakus & Guex, pl. 30, fig. 6, 9, avec la synonymie.
aff. 2008a. *Tropidoceras zitteli* Fucini. Dommergues *et al.*, fig. 9B.
aff. 2017. *Tropidoceras zitteli* Fucini. Dommergues & Meister, fig. 152, avec la synonymie.

Matériel : 1 ex., coupe A, niv. A170.

Description : Nous rapprochons de *Tropidoceras zitteli* ce spécimen pratiquement complet, à la coquille évolutive, platycône et l'ombilic largement ouvert. Les côtes sont fortes et rigides, nettement rétroversées dans les tours internes et légèrement sigmoïdes dans les tours externes où elles sont tendues entre un

Planche 2

- Fig. 1** - *Tragophylloceras* cf. *undulatum* (Smith). La Saulce, coupe A, niv. A150. Pliensbachien inférieur, chronozone à *Ibex*, sous-chronozone à *Valdani*.
Fig. 2a-b - *Schlotheimia* sp. La Saulce, coupe B, niv. B30. Hettangien supérieur, chronozone à *Angulata*.
Fig. 3 - *Arnioceras* sp. La Saulce, coupe A, niv. A30. Sinémurien inférieur, chronozone à *Semicostatum*.
Fig. 4 - *Plesechioceras delicatum* (Buckman). La Saulce, coupe A, niv. A95. Sinémurien supérieur, chronozone, sous-chronozone à *Raricostatum*.
Fig. 5 - *Echioceras raricostatoïdes* (Vadasz). La Saulce, coupe A, niveau A110. Sinémurien supérieur, chronozone, sous-chronozone à *Raricostatum*.
Fig. 6 - *Echioceras raricostatoïdes* (Vadasz). La Saulce, coupe A, niveau A114. Sinémurien supérieur, chronozone, sous-chronozone à *Raricostatum*.
Fig. 7 - *Liparoceras* gr. *kilbiense* Spath. La Saulce, coupe B, niv. B210. Pliensbachien inférieur, chronozone à *Ibex*, sous-chronozone à *Luridum* probable.



bourrelet ventro-latéral et un épaulement situé sur le bord ventral de la coquille. Il existe une carène bien individualisée qui confirme son appartenance au genre *Tropidoceras*.

Rapports et différences : *T. stalhi* (Oppel) est une forme proche qui s'en distingue cependant par une coquille plus épaisse, une aire ventrale plus large portant une carène mieux individualisée, et des tubercules ventro-latéraux plus marqués. *Acanthopleuroceras arietiforme* s'en rapproche également par le style de la costulation, mais cette forme de passage entre les genres *Tropidoceras* et *Acanthopleuroceras* s'en distingue par son aire ventrale plus large, non franchement carénée. De plus, le premier lobe latéral de sa ligne de suture est bifide, tandis que chez *T. zitteli* il est trifide (Rakus & Guex, 2002).

Âge et répartition : Notre spécimen provient de la partie supérieure de la sous-chronozone à Valdani (chronozone à Ibex). L'affinité paléobiogéographique de ce *Tropidoceras* est difficile à préciser. L'espèce nominale *T. zitteli* est une forme téthysienne, abondante dans les Apennins, l'Austroalpin autrichien et hongrois, également fréquente en Algérie, au Maroc et en Tunisie, qui n'a jamais été identifiée dans les chaînes subalpines françaises, ainsi que sur les plates-formes ouest-européennes. *T. zitteli* est le dernier représentant téthysien du genre *Tropidoceras* dans la partie supérieure de la chronozone à Demonense. Il est vraisemblable que cette espèce et le *T. aff. zitteli* subalpin figuré ici présentent sensiblement le même âge.

Genre : *Acanthopleuroceras* Hyatt, 1900

Espèce type : *Ammonites valdani* d'Orbigny, 1844

Acanthopleuroceras valdani (d'Orbigny, 1844)

Pl. 3, Fig. 4a-b

1844. *Ammonites valdani* d'Orbigny, pl. 71, fig. 1-3.

1862. *Ammonites binotatus* Oppel, p. 133.

2002. *Acanthopleuroceras valdani* (d'Orbigny). Fauré, pl. 5, fig. 8, 9.

2008b. *Acanthopleuroceras valdani* (d'Orbigny). Dommergues *et al.* pl.6, fig. 2 ; pl. 7, fig. 1, 2, 4, 9 ; pl. 8, fig. 1.

2017. *Acanthopleuroceras valdani* (d'Orbigny). Fauré & Bohain, pl. 42, fig. 3 ; pl. 43, fig. 1-6 ; pl. 44, fig. 1-2 ; pl. 45, fig. 1-7 ; pl. 46, fig. 1, avec la synonymie.

2019. *Acanthopleuroceras valdani* (d'Orbigny). Fauré & Teodori, pl. XXI, fig. 1-10.

Matériel : 1 ex., coupe A, **niv. A155**.

Description : Cet *Acanthopleuroceras*, présente une morphologie très caractéristique, avec sa forme platycône évolutive, sa section franchement comprimée, avec des flancs plats et une aire ventrale clairement tectiforme. L'ornementation est constituée de côtes rigides qui portent deux tubercules saillants, parfois épineux, l'un en position latéro-ombilicale, le second sur l'arrondi latéro-ventral. Sur l'aire ventrale, les côtes s'effacent progressivement vers une carène émoussée.

Rapports et différences : D'après Fauré & Bohain (2017), on peut distinguer trois types de morphes de l'espèce : des morphes à section comprimée, flancs plats et bi-tuberculation équilibrée, conformes au type de d'Orbigny ; des morphes à section subquadratique comportant une costulation légèrement rétroverse et portant une carène peu visible ; des morphes tardifs, à tubercules latéro-ventraux plus développés et beaucoup plus épineux, qui annoncent *A. alisiense*. Notre spécimen se rapporte au premier d'entre eux.

Âge et répartition : *Acanthopleuroceras valdani* est l'espèce index de la zonule à Valdani de la sous-chronozone à Valdani (chronozone à Ibex). Ce taxon strictement nord-ouest-européen est partout fréquent en France : Vendée, Causses, Calvados, Pyrénées ariégeoises (Fauré & Téodori, 2019). Dans les

Planche 3

Fig. 1 - *Lytoceras fimbriatum* (J. Sowerby). La Saulce, coupe A, niveau A170. Pliensbachien inférieur, chronozone à Ibex, sous-chronozone à Valdani.

Fig. 2 - *Acanthopleuroceras alisiense* (Reynès *in* Haug). La Saulce, coupe A, niv. A166. Pliensbachien inférieur, chronozone à Ibex, sous-chronozone à Valdani.

Fig. 3 - *Tropidoceras* aff. *zitteli* (Fucini). La Saulce, coupe A, niv. A170. Pliensbachien inférieur, chronozone à Ibex, sous-chronozone à Valdani.

Fig. 4a-b - *Acanthopleuroceras valdani* (d'Orbigny). La Saulce, coupe A, niv. A155. Pliensbachien inférieur, chronozone à Ibex, sous-chronozone à Valdani.



Hautes-Alpes, il est également présent dans la carrière du Plan-de-Vitrolles.

Acanthopleuroceras alisiense
(Reynès in Haug, 1884)
Pl. 3, fig. 2

1884. *Harpoceras alisiense* Reynès in Haug, p. 604.
1925. *Acanthopleuroceras lepidum* Tutcher & Trueman, pl. 40, fig. 1.
1978. *Acanthopleuroceras alisiense* (Reynès). Dommergues & Mouterde, pl. 3, fig. 9, 10.
2002. *Acanthopleuroceras alisiense* (Reynès in Haug). Fauré, pl. 6, fig. 1-3.
2008. *Acanthopleuroceras* (?) *alisiense* (Reynès in Haug). Dommergues & Meister, fig. 7(9) et 8(1, 2).
2008b. *Acanthopleuroceras alisiense* (Reynès in Haug). Dommergues *et al.* pl. 8, fig. 7.
2017. *Acanthopleuroceras alisiense* (Reynès in Haug). Fauré & Bohain, pl. 46, fig. 5-7 ; pl. 47, fig. 1-4, avec la synonymie.
2019. *Acanthopleuroceras alisiense* (Reynès in Haug). Fauré & Teodori, pl. XXI, fig. 11-12.

Matériel : 1 ex., coupe A, niv. A166.

Description : Cette ammonite peut atteindre une taille supérieure à 150 mm de diamètre. Sa coquille est évolutive, avec une section subrectangulaire et un ventre arrondi. La costulation, globalement radiale, est d'abord rétroverse dans la partie inférieure du flanc, puis s'infléchit vers l'avant au niveau de l'arrondi ventro-latéral au-delà duquel les côtes dessinent un chevron proverse au relief atténué au passage d'une carène basse et peu visible. La costulation, héritée de *A. actaeon* (d'Orbigny), qui le précède dans le temps, est dense dans les tours internes et beaucoup plus espacée et grossière sur la loge d'habitation (Fauré & Téodori, 2019).

Rapports et différences : Avec *Acanthopleuroceras actaeon* (d'Orbigny), *A. alisiense*, forment au sein des Tropicoceratidae, un groupe qui se distingue par des tours internes dont la costulation est particulièrement fine et dense. Les deux espèces sont néanmoins faciles à distinguer. La forme de Reynès présente, par rapport à celle de d'Orbigny, un taux d'accroissement des tours légèrement plus forts, une section nettement moins comprimée, une aire ventrale d'aspect moins pincé et une ligne de suture au tracé plus complexe et finement découpé, au lobe latéral trifide (Dommergues & Meister, 2008).

Âge et répartition : Cette espèce typiquement nord-ouest européenne marque le sommet de la sous-chronozone à Valdanin (zonule à Alisiense). Elle est partout présente en France (Fauré & Téodori, 2019). Dans les Hautes-Alpes, on la retrouve dans le Pliensbachien de la carrière de Plan-de-Vitrolles.

Famille Liparoceratidae Hyatt, 1867

Genre : Liparoceras Hyatt, 1867

Espèce type : *Liparoceras bronni* Spath, 1938

Liparoceras gr. kilsbiense Spath, 1938

Pl. 2, Fig. 7

1828. *Ammonites heptangularis* Young & Bird, pl. 14, fig. 1.
1938. *Liparoceras kilsbiense* Spath, p. 60, pl. 4, fig. 1, 2 ; pl. 7, fig. 2, avec la synonymie.
2017. *Liparoceras kilsbiense* Spath. Fauré & Bohain, pl. 48, fig. 3, 4 ; pl. 49, fig. 1, avec la synonymie.

Matériel : 1 ex., coupe B, niv. B210.

Description : Ce phragmocône, qui n'a pu être prélevé, possède une coquille involute, des tours épais et un enroulement rapide qui lui donnent une morphologie subsphaerocône. Son ornementation bituberculée est très caractéristique du genre *Liparoceras*, avec ses côtes primaires qui se divisent aux deux tiers supérieur du flanc en trois côtes secondaires au niveau d'un gros tubercule.

Âge : Par sa morphologie générale et sa faible densité de costulation, notre spécimen se rapproche de *Liparoceras kilsbiense*, espèce très variable dont les morphotypes sont présents de la sous-chronozone à Luridum (chronozone à Ibex) à la sous-chronozone à Maculatum (chronozone à Davoei). Dans les Hautes-Alpes, l'espèce est reconnue à Serre-Ponçon par Dommergues & Meister (2008) dans la sous-chronozone à Luridum sous le taxon synonyme de *L. heptangulare* (Fauré & Bohain, 2017). C'est très vraisemblablement l'âge de notre spécimen.

Répartition : *L. kilsbiense*, comme toutes les espèces du genre *Liparoceras* sont des formes dont la répartition est strictement nord-ouest européenne, très rarement signalées sur la marge nord-téthysienne, toujours absentes des régions méditerranéennes.

Conclusion

La « Lias calcaire » de La Saulce est pour la première fois daté par des ammonites échelonnées de

l'Hettangien supérieur au sommet du Pliensbachien inférieur qui permettent d'identifier les principales zones d'ammonites du standard européen (Mouterde, 1971 ; Cariou & Hantzpergues, 1997). Cette série carbonatée du domaine paléogéographique delphinohelvétique, présence des affinités avec le Jurassique inférieur de la région de Serre-Ponçon (Dommergues & Meister, 2008). La présence de l'espèce *Coroniceras multicoatum* se prête à une comparaison avec la dalle de Digne, toute proche (Dommergues & Guiomar, 2011).

Pour l'essentiel, les taxons d'ammonites présentent des affinités nord-ouest européennes accusées, comme, par exemple, les genres *Coroniceras*, *Echioceras* et *Plesechioceras* au Sinémurien et les genres *Acanthopleuroceras* et *Liparoceras* au Pliensbachien. *Tropidoceras* aff. *zitteli* (Fucini) pourrait faire figure d'exception avec ses affinités morphologiques avec un Tropidoceratidae tardif fréquent dans la chronozone à Demonense du Domaine téthysien (Apennins, Chaînes bétiques, Maghreb). Tandis que les genres *Schlotheimia* à l'Hettangien, *Coroniceras* et *Arnioceras*, au Sinémurien et *Lytoceras fimbriatum* au Pliensbachien, peuvent être considérés comme des taxons ubiquistes car fréquemment identifiés sur la marge nord-téthysienne et dans la région méditerranéenne.

Remerciements.

Je tiens à remercier René Mouterde et Jean-Louis Dommergues pour leur collaboration et leurs soutiens pour la détermination des ammonites. Philippe Fauré pour la mise en forme du manuscrit et Patrick Bohain pour sa lecture critique.

Références

- Buckman S.S. (1909-1930) - Yorkshire Type Ammonites. *Welseyand Son ed.*, Londres, vol. I - II, p. i-xvi et 1 -121, pl.1 -130; suivi de Type Ammonites, *Weldon and Welsey ed.*, Londres, vol. III-VII.
- Braga J. & Rivas P. (1985) - The mediterranean *Tropidoceras* (*Ammonitina*) in the Betic Cordilleras. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 78, 3 : 567-605.
- Cariou E. & Hantzpergues P. (coord.) (1997) - Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles. Groupe français d'étude du Jurassique. *Bulletin des Centres de Recherche Elf Exploration-Production*, Pau, Mémoires, 17. 422 p.
- Corna M, Dommergues J.-L., Guiffroy A. & Bulot L. (1990) - Quelques points remarquables dans le Sinémurien des Alpes-de-Haute-Provence. *Géologie Méditerranéenne*. 17 : 3-37.
- Corna M, Dommergues J.-L., Meister C. & Page K. (1997) - Les faunes d'ammonites du Jurassique inférieur (Hettangien, Sinémurien et Pliensbachien) au nord du massif des Écrins (Oisans, Alpes occidentales françaises). *Revue de Paléobiologie*, 16(2) : 321-409.
- Dommergues J.-L. (1982) - Justification du genre *Plesechioceras* (Trueman & William, 1925) (*Ammonitina*, Lias). Implications biostratigraphique et paléontologiques. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7, 24 : 379-382.
- Dommergues J.-L. (1993) - Les ammonites du Sinémurien supérieur de Bourgogne (France) : biostratigraphie et remarques paléontologiques. *Revue de Paléobiologie*, 12 : 67-173.
- Dommergues J.-L. (2002) - Les premiers Lytoceratoidea du Nord-Ouest de l'Europe (*Ammonoidea*, Sinémurien inférieur, France). Exemple de convergence évolutive vers les morphologies « capricornes » *Revue de Paléobiologie*, 21 : 257-277.
- Dommergues J.-L. & Guiomar M. (2011) - La « Dalle à ammonites de Digne » (Réserve Naturelle géologique de Haute-Provence, France). Étude d'un site fossilifère d'importance patrimoniale. *Revue de Paléobiologie*, 30 : 261-293.
- Dommergues J.-L. & Meister C. (2008) - Les faunes d'ammonites du Pliensbachien inférieur des séries dauphinoises de la Durance (Jurassique inférieur, Barrage de Serre-Ponçon, Hautes-Alpes, France). *Geobios*, 41 : 205-225.
- Dommergues J.-L. & Meister C. (2017) - Les ammonites du Jurassique inférieur (Hettangien, Sinémurien, Pliensbachien, Toarcien) d'Afrique du nord (Algérie, Maroc et Tunisie). Atlas d'identification des espèces. *Revue de Paléobiologie*, 36(2) : 189-367.
- Dommergues J.-L. & Mouterde R. (1978) - Les faunes d'Ammonites du Carixien inférieur et moyen du gisement des Cottards (Cher). *Geobios*, 11, 3 : 345-365.
- Dommergues J.-L., Cattaneo G., Aïte R. & Gélard J.-P. (2008a) - Les ammonites de l'Hettangien,

- du Sinémurien et du Pliensbachien inférieur de la Dorsale de Grande Kabylie (Algérie). *Geodiversitas* 30, 3 : Fig. 9B.
- Dommergues J.-L., Forest-Bize N., Gely J.-P. & Loreau J.-P. (2005) - Les faunes d'ammonites du Sinémurien supérieur du Perron des Encombres (Alpes occidentales françaises, zone sub-briançonnaise entre Arc et Isère). *Revue de Paléobiologie*, 24 : 673-696.
- Dommergues J.-L., Dugue O., Gauthier H., Meister C., Neige P., Raynaud D., Savary X. & Trevisan M. (2008b) - Les ammonites du Pliensbachien et du Toarcien basal dans la carrière de la Roche Blain (Fresnay-le-Puceux, Calvados, Basse-Normandie, France). Taxonomie, implications stratigraphiques et paléobiogéographiques. *Revue de Paléobiologie*, 27, 1 : 265-329.
- Dumortier E. (1864 - 1874) - Études paléontologiques sur les dépôts jurassiques du bassin du Rhône. *Ed. Savy*, Paris, 4 volumes.
- Fauré Ph. (2002) - Le Lias des Pyrénées. *Strata*, Toulouse, séries 2, 39. 761 p.
- Fauré Ph. & Bohain P. (2017) - Les ammonites du Pliensbachien inférieur de la Vendée méridionale. Étude taxinomique. Implications stratigraphiques et paléogéographiques. *Strata*, série 2, 54. 147 p.
- Fauré Ph. & Téodori D. (2019) - Les ammonites du Pliensbachien des Pyrénées ariégeoises. Taxonomie, stratigraphie et implications paléogéographiques. *Revue de Paléobiologie*. 38 : 269-361.
- Fucini A. (1899) - Ammoniti del Lias medio dell'Appennino centrale esistenti nel Museo di Pisa. *Palaeontographia italica. Memorie di Palaeontologia*, Pisa, 5 : 15-185.
- Getty T.A. (1973) - A revision of the generic classification of the family *Echioceratidae* (Cephalopoda, Ammonoidea) (Lower Jurassic). *The University of Kansas. Paleontological Contributions*, 64. 32 p.
- Gidon M., Monjuvent G., Flandrin J., Moullade M., Durozoy G. & Damiani L. (1991) - Carte géologique et notice explicative de la feuille Laragne-Montéglin à 1/50000. *Edition du BRGM, Orléans*.
- Guerin-Franiatte (1966) - Ammonites du Lias inférieur de France. Psilocerataceae : Arietitidae. CNRS. 455 p.
- Haug E. (1884) - Notes sur quelques espèces d'Ammonites nouvelles ou peu connues du Lias supérieur. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3, 12 : 346-356.
- Haug E. (1891) - Les chaînes subalpines entre Gap et Digne. *Bulletin des Services de la Carte géologique de France*, 21, 3. 197 p.
- Howarth M.K. & Donovan D.T. (1964) - Ammonites of the liassic family Juraphyllitidae in Britain. *Palaeontology*, 7 : 286-305.
- Joly B. (2000) - Les Juraphyllitidae, Phylloceratidae, Neophylloceratidae (Pyllocerataceae, Phylloceratina, Ammonoidea) de France au Jurassique et au Crétacé. *Geobios*, mémoire 23 ou *Mémoire de la Société géologique de France*, nouvelle série, 174. 202 p.
- Meister C. (1986) - Les ammonites du Carixien des Causses (France). *Mémoire de Paléontologie suisse*, 109. 209 p.
- Mouterde R. (1956) - Le Lias inférieur de Serre-Ponçon (Hautes-et Basse-Alpes). *Compte-rendus sommaires des séances de la Société Géologique de France*, 5 : 78-80.
- Mouterde R. (1971) - Les zones du Jurassique en France. *Comptes-rendus sommaires des séances de la Société Géologique de France*, 6 : 1-27.
- Mouterde R., Petiteville P. & Rivoirard R. (1961) - Stratigraphie du Jurassique inférieur au sud de Gap. Les faciès dauphinois de la Durance et la série réduite de Turriers. Colloque sur le Lias français, Chambéry. *Mémoire du B.R.G.M.*, 4 : 709-713.
- Oppel A. (1862) - Über jurassische Cephalopoden. *Paläontologische Mitteilungen, Museum Königlich bayerischen staates*, 1 : 127-162.
- Orbigny A. d' (1842-1849) - Paléontologie française. Terrains jurassiques. *Masson* édit., Paris. t. I : Céphalopodes ; texte : 642 p., atlas : 234 pl.
- Rakus M. & Guex J. (2002) - Les ammonites du Jurassique inférieur et moyen de la dorsale tunisienne. *Mémoires de Géologie*, Lausanne, 39. 217 p.
- Reynès 1879 - Monographie des ammonites. Baillière & Camoin. 83 p.
- Smith W. (1817) - *Strata identified by Organized Fossils*. London. 32 p.
- Sowerby J. (1812-1822) - The Mineral Conchology of Great Britain; or coloured figures and descriptions of those remains of testaceous animals or shells, which have been preserved at various times and depths in the earth, 1-3, 4 pars : 1-383 pl.
- Sowerby J. de C. (1823-1846) - The Mineral

- Conchiology of Great Britain. 4 (fin) - 7 : 384-648 pl.
- Spath L.F. (1938) - A catalogue of the ammonites of the Liassic Family Liparoceratidae in the British Museum (Natural History). *British Museum (Natural History)*, London. 191 p.
- Turin G, Mouterde R. & Dommergues J.-L. (1985) - Précisions sur le Lias moyen de Serre-Ponçon (Hautes-Alpes, France). *Les Cahiers de l'Institut Catholique de Lyon*, 14 : 203-207.
- Tutcher J.W. & Trueman A.E. (1925) - The Liassic rocks of the Radstock district, Somerset. *Quarterly Journal of the geological Society of London*, 81 : 595-666.
- Vadasz M.E. (1908) - Die unterliassische Fauna von Alsorakos im Komitat Nagyküküllö. *Mitteilung der Jahrsbericht Königlich Ungarischen Geologische Reichsantalt*, Budapest, 16(5) : 309-406.
- Young G.M. & Bird J. (1828) - A geological survey of the Yorkshire Coast : describing the strata and fossils occurring between the Humber and the Tees, from the German Ocean to the Plain of York. 2nd edition enlarged, Whitby. 368 p.

Soumis le 18 janvier 2021

Accepté le 16 février 2021

Publié en ligne (pdf) le 15 mars 2021

Étude préliminaire des diatomées des Cistudes d'Europe (*Emys orbicularis* Linnaeus, 1758) des Étangs de La Brenne, France

Jean Bertrand¹ et Luc Ector²

Résumé

L'analyse préliminaire des diatomées colonisant deux des étangs de la Brenne et se fixant sur les tortues Cistudes (*Emys orbicularis* Linnaeus, 1758) a permis, par l'utilisation de deux indices diatomiques nouveaux, de tester la qualité de l'eau en relation avec celles prélevées sur les tortues. Les résultats montrent la mauvaise qualité des eaux, identiques à celles des Cistudes, mais celles-ci ont une plus grande richesse diatomique. Ces résultats confirment les analyses chimiques précédemment effectuées. Toutefois ces résultats sont en désaccord avec ceux effectués, également sur des Cistudes, du delta du Rhône (Camargue) par une équipe universitaire de Marseille utilisant le système de qualification de l'eau des rivières : IBD (Indice Biologique Diatomique), système non utilisable dans le cas des mares et des étangs.

Mots clés : Algues épizoïques, épibiontes, Tortue, Cistudes, *Emys orbicularis*, plastron, carapace, marais temporaires, Diatomophyceae, qualité des eaux.

Abstract

The preliminary analysis of the diatoms colonizing two of the Brenne ponds and attaching themselves to the European pond turtles (*Emys orbicularis* Linnaeus, 1758) made it possible, through the use of two new diatomic indices, to test the quality of the water in relation to those taken from turtles. The results show the poor quality of the water, identical to those of the European pond turtle though these have a greater diatomic variety. These results confirm the chemical analyses previously carried out. However, these results do not agree with those carried out, also on European pond Turtle, in the Rhône Delta (Camargue) by a university team from Marseille using the river water qualification system: DBI (Diatomite Biological Indice), a system which cannot be used in the case of wetland and ponds.

Keywords: Epizoic algae, epibionts, turtle, *Emys orbicularis*, plastron, carapace, temporary wetland, Diatomophyceae, water quality.

Introduction

Ce travail fait suite à la demande du Directeur de la réserve « Chérine » de La Brenne concernant la santé biologique des eaux des étangs dans lesquelles vivent les tortues Cistude. Le rapport de Fayolle Sanna (2016) sur les diatomées épizoïques des cistudes, la communication de Vassal *et al.* (2017) sur le même sujet, ainsi que les rapports ASCONIT (2015, 2017) sur la qualité des eaux, nous ont permis de situer le problème.

Il est remarquable que l'étude des chéloniens d'eau douce liée à la qualité de leur environnement n'ait fait l'objet d'articles important que récemment. Leur extinction rapide puisqu'il ne reste que trois foyers en France, l'Alsace, le delta du Rhône et la Brenne, est probablement la cause de l'intérêt soudain pour ces animaux. La colonisation plus ou moins envahissante des carapaces par de nombreux organismes aquatiques, algues épizoïques et micro-phytoplancton entre autres, ont conduit à soupçonner celles-ci d'être les auteurs ou tout au moins les

1. 42 rue de Malvoisine, 45800 Saint Jean de Braye, France. j.r.bertrand@orange.fr

2. Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) Environmental Research and Innovation Department (ERIN), 41 rue du Brill, L-4422 Belvaux, Grand-Duché de Luxembourg.

indicateurs de l'anthropisation des étangs et des lacs et conduisant à l'extinction des tortues.

Ottonello *et al.* (2005) donnent un aperçu des colonies de classes diverses d'organismes colonisant les carapaces des tortues. Plus précisément Soylu *et al.* (2006) répertorient 53 algues diverses dont 11 espèces de diatomées sur 35 tortues d'Anatolie centrale (Turquie). Puis Sommer *et al.* (2007, 2009) étudient l'extension des colonies dans toute l'Europe à l'Holocène, précisant ainsi la déperdition considérable à notre époque de ces animaux. Également Garbary *et al.* (2007), sur 19 tortues du Canada, comptabilisent les algues filamenteuses recouvrant les carapaces. Ils insistent sur la présence d'amas considérables de Cyanophycées. Celles-ci sont généralement considérées comme indicateurs d'eau fortement eutrophe à hypereutrophe. Il n'est pas signalé de diatomées. Argül *et al.* (2014) déterminent que certaines algues filamenteuses et cyanophycées se développent mieux sur une espèce de tortue, *Emys orbicularis*, que sur *Mauremis rivulata*. Erzanli & Gonunoli (2014), sur 55 tortues de Turquie, répertorient quatre classes de microalgues, parmi lesquelles ils citent 15 taxons de diatomées (classées par les auteurs dans les Chrysophycées ?). Ils notent également 26 taxons appartenant aux Cyanophycées. Pavlov *et al.* (2016) se sont intéressés à un taxon particulier. Ils ont décrit une espèce nouvelle de diatomée : *Mastogloia sterijovskii* Wu & Bergey (2017), et font une étude écologique territoriale complète en prenant 25 tortues issues des collections des muséums de cinq états des USA, dont ils décrivent et analysent 107 taxons de diatomées en relation avec leur milieu. Ils remarquent l'invasion massive d'une diatomée, *Luticola goeppertiana*, espèce considérée comme eutrophe (Van Dam *et al.*, 1994) et concluent à l'intérêt de prendre en compte les collections des muséums pour ce type d'étude. La relation entre les carapaces de tortues et les assemblages de diatomées a été étudiée et caractérisée dans des termes taxonomiques et biologiques (abondances des espèces, forme de vie et attachement) sur les carapaces de sept tortues par Donato-Rondon *et al.* (2018). Enfin Rivera *et al.* (2018) employant de nouvelles méthodes de codage par l'ADN, essaient de contourner le problème délicat de la détermination des taxons de diatomées. Celles-ci, présentes dans les biofilms des carapaces des tortues marines de Mayotte, sont nécessaires à l'estimation des comportements de ces chéloniens.

Notre étude préliminaire a été entreprise afin de juger de la fiabilité des relations entre les colonisations des diatomées sur les cistudes et la qualité des eaux des étangs dans lesquelles elles vivent. Il n'est pas

douteux que cette qualité des eaux des deux étangs (Cistude et Hautes Rondières) fortement dégradée par la présence d'orthophosphates en quantité notable (ASCONIT 2015, 2017) et révélée par la présence de cyanophycées parfois toxiques, sont soupçonnés d'avoir des répercussions sur la santé des chéloniens ainsi que sur la flore diatomique. Or, les rapports de Fayolle *et al.* (2016) et Vassal *et al.* (2017) concluaient à une qualité biologique acceptable et non discriminatoire calculée entre les divers supports à l'aide de l'IBD (CEMAGREF 1982 ; Indice Biologique Diatomique normalisé, utilisé par toutes les DREAL de France pour les rivières). Ces études ont été réalisées dans des marais de la Camargue au sud de la France. Il était donc primordial de lever ce doute pour permettre de mettre en place une politique de remise en état des eaux et de surveiller la santé des cistudes.

Matériel et méthodes

Les prélèvements ont eu lieu dans les étangs de la réserve naturelle de La Brenne (Réserve Nationale de Chérine, Maison de la Nature et de la Réserve 36290 Saint-Michel-en-Brenne).

1) Étang de « Cistude » : prélèvement des diatomées sur le bouclier dorsal arrière d'une tortue ainsi que 50 cl d'un mélange d'eau de l'étang.

2) Étang des « Hautes Rondières » : Prélèvement sur une tortue, puis les diatomées de trois tortues mélangées après prélèvements. Prélèvement de 50 cl d'un mélange d'eau de l'étang.

Pour une analyse complète des diatomées contenues dans l'eau des étangs nous avons procédé comme pour les mares (Bertrand *et al.* 2013), à savoir la récolte sur tous les supports suspectés d'être colonisés par les diatomées et mélangés avec l'eau.

Les diatomées sont prélevées par brossage du bouclier sur toute les surfaces sur lesquelles on soupçonne des diatomées et mises dans des tubes avec de l'eau de l'étang, sans additif de conservation afin de procéder à un examen, comptage et détermination des organismes vivants, dans les 24 heures suivant la récolte. Les récoltes des diatomées des eaux ont été traitées indépendamment des diatomées des cistudes afin d'effectuer des comparaisons et mesurer les corrélations.

Ensuite les récoltes sont traitées dans H₂O₂ à 60° C pendant 3 heures afin d'éliminer la matière vivante des diatomées (ne laissant que leurs squelettes de silice), suivit de trois lavages à l'eau déminéralisée. Les diatomées sont ensuite incluses dans une résine (Naphrax ind. 1.74) pour détermination des espèces.

Afin d'être sûr d'avoir recueilli la totalité des espèces de diatomées, les comptages ont été conduit jusqu'à 2700 frustules par préparation. A noter que dans le système IBD ou IPS (CEMAGREF 1982, Prygiel & Coste 2000), les comptages s'arrêtent à 400 frustules. Dans ce cadre, il est admis qu'au-delà de cette quantité, la probabilité de trouver de nouvelles espèces significatives est extrêmement faible et n'agit plus sur l'indice final calculé.

Pour le calcul de la qualité des eaux nous avons préféré (Bertrand *et al.* 2013, 2014, 2015a et 2015b) utiliser le système mis au point dans le programme scientifique Valmares (2007-2010) comportant l'étude et l'analyse exhaustive de 130 mares de la région orléanaise. La physiologie des mares se différenciant seulement des étangs par la possibilité de ceux-ci d'être vidangées régulièrement contrairement aux mares qui sont toujours fermées. Cette étude nous avait donc permis de mettre au point deux indices de

qualité des eaux des mares (IMsa : indice anthropique, et IMso : indice organique) qui se distinguaient par des écarts significatifs avec l'IBD et l'IPS. Ces indices donnent une meilleure et plus fine image de la qualité des eaux en séparant les sources de pollution. D'où la nécessité de conduire les comptages le plus élevé possible dans le cas des Cistudes.

L'examen à l'état vivant a été effectué après 5 heures de repos, sans préparation ni colorant : observations microscopiques (Olympus BH2, objectifs x 10 et 40). Les diatomées ont été déterminées à l'aide de microscope Olympus BH2, muni d'un objectif à immersion X100 apochromatique à contraste de phase.

Avant de procéder aux calculs de corrélation (Pearson) nous avons « normalisé » les peuplements diatomiques qui suivent une loi hyperbolique par $N_L = (n+1) \times \text{Log}_2$ ou « n » correspond au nombre d'individus par espèce, $N_L = \text{Log}$ de n.

Tortues - inventaire - données - résultats									
	NB. Récoltes		1	1		1	1	3	
	Codes supports.		E	CIST		E	CIST	CIST	
	Codes sites		Cistude	Cistude		Hautes Rondières	Hautes Rondières	Hautes Rondières	Total
Calculs qualité	Nb. max. frustules comptées		2705	2704		2704	2702	2681	13496
	Nb. frustules retenues		464	421		392	468	408	
	Nb. espèces contenues		48	70		42	55	74	
	IPS		14,5	14,2		13,7	14,2	14,1	
	IMsa		11,4	9,8		9,6	8,7	8,6	
	IMso		10,0	9,0		8	8,4	9,5	
	Moyenne Indice Mare		10,7	9		9	8,5	9	
	Supports		Eau	Tortue		Eau	Tortue	Tortue	
	Indice Shannon ®		4,04	5,28		4,46	5,35	4,97	
	Moyenne nb. frustules		27,6	19,3		34,2	23,5	21,6	
	Médiane nb. frustules		5,5	7		8	6	5,5	
	Nombre d'espèces		98	140		79	115	124	228
	Corrélation		0,433 p < 0,001			0,393 p < 0,001			
	N° de préparation		180 614,00	180 614,01		180 614,10	180 614,02	180 614,03	

Tab 1 - Résultats des données. Tableau synthétique montrant les différences essentielles entre la qualité des eaux surévaluées par les indices IPS par rapport aux indices IMsa et IMso. Les corrélations entre les diverses espèces de diatomées, leur abondance sur les diverses tortues et les colonies libres dans l'eau sont très fortes, montrant une bonne homogénéisation. Les indices de Shannon montrent la richesse de ces colonies.

Les indices de Shannon (Shannon & Weaver 1949) ont été calculés également avec Log_2 , les effectifs par espèces ont été log-transformés.

Les genres et espèces des diatomées (les sous-espèces et les variétés incluses dans les espèces) ont été déterminées d'après Kammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, b), Kammer (1992), Lange-Bertalot (1993, 2014), ainsi que la littérature la plus récente.

Les genres des micro-phytoplancton et micro-zooplancton ont été déterminées d'après Bourrelly (1972, 1981, 1985)

Résultats

1) Examen rapide des eaux des deux étangs

À l'état naturel, il nous montre une grande variété d'organismes. Du zooplancton au phytoplancton vivant avec une prépondérance de diatomées dans l'étang de Cistude.

N'étant pas spécialiste des Chlorophycées et autres algues vertes nous ne citerons que les grands groupes.

a) Étang de Cistude : *Diatomées* : 18 espèces ; *Eugléniens* : 3 espèces du genre *Phacus* ; *Cyanophycées* : 4 espèces du genre *Lyngbia* ; *Desmidiées* : *Scenedesmus* et *Pediastrum* ; *Ciliés* : *Vorticelles* et *Gastrotriches*.

b) Étang des Hautes Rondières : *Diatomées* : 25 espèces ; *Eugléniens* : 2 espèces du genre

Phacus ; *Cyanophycées* : 2 espèces du genre *Lyngbia* ; *Desmidiées* : *Scenedesmus* et *Pediastrum* ; *Ciliés* : 2

Dans cet étang, on constate une véritable invasion des cyanophycées.

2) Examen des diatomées

L'examen des diatomées des eaux des étangs après préparation définitive au Naphrax nous livre 98 espèces pour l'étang de Cistude et 79 espèces pour l'étang des Hautes Rondières. L'examen des diatomées des tortues nous a délivré 140 espèces pour l'étang de Cistude et 124 pour les Hautes Rondières. Le total des espèces récoltées dans les 5 prélèvements s'élève à 228 espèces pour un comptage total de 13496 frustules de diatomées (**Tab. 1**).

Les diatomées classées suivant leur abondance ont une répartition hyperbolique : présence de quelques espèces dominantes et le reste se répartissant dans de faibles quantités (**Fig. 1**).

La mesure globale de la richesse des espèces par l'indice de Shannon & Weaver confirme l'homogénéité des deux étangs (Cistude : 4.04, Hautes Rondières : 4.46) et montre une plus grande richesse (relative) des diatomées sur les tortues (Cistude : 5.28 ; Hautes Rondières : 5.35). Différence que nous retrouvons dans les nombres d'espèces dans chaque étang.

Les courbes de richesse sont également révélatrices : paraboliques pour les diatomées des tortues (**Fig. 2**) et logarithmiques pour les eaux

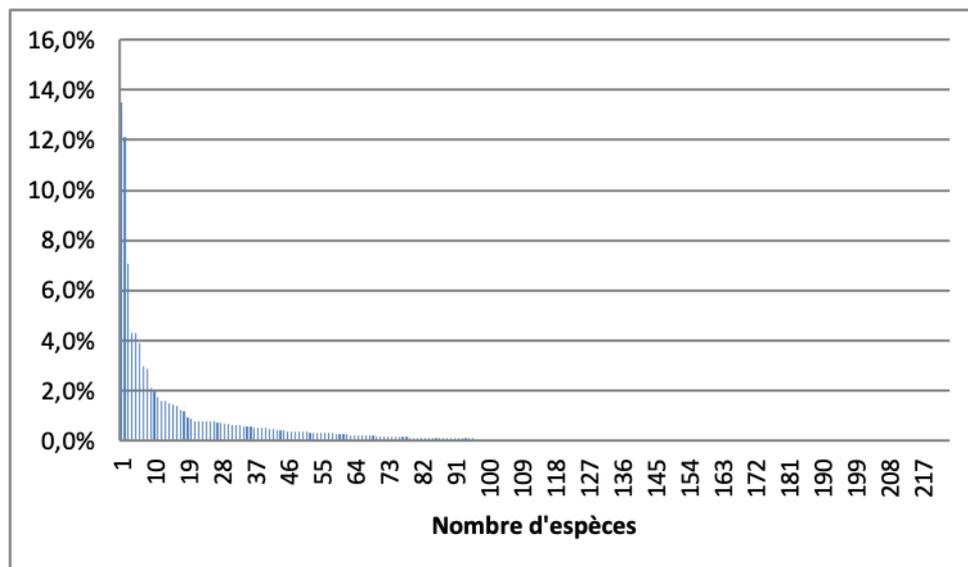


Fig. 1 - Diagramme de l'abondance des diatomées sur les tortues. La distribution des diatomées en fonction des abondances régressives décrit une courbe fortement asymptotique avec quelques diatomées fortement dominantes et une grande quantité d'espèces rares et peu représentées.

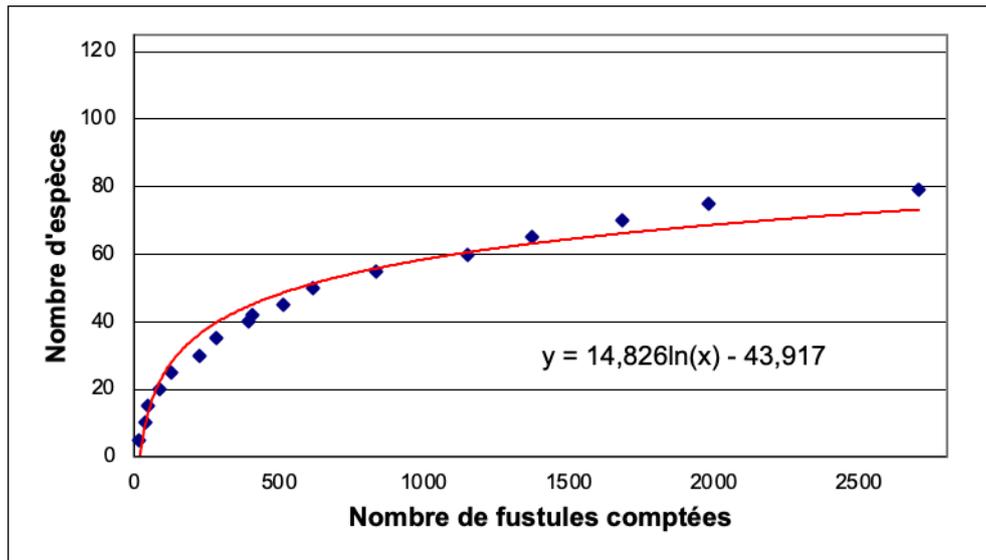


Fig. 2 - Richesse des diatomées de l'eau de l'étang des Hautes Rondières (Courbe à tendance logarithmique). Cette courbe indique que le nombre d'espèces est rapidement limitée avec une grande abondance due probablement à une eau riche en nutriments, donc un fort taux de reproduction.

des étangs (**Fig. 3**), montrant par là un processus d'accumulation individuel des diatomées mortes sur les tortues et un processus de reproduction active dans l'eau des mares.

La comparaison des espèces entre les eaux et les tortues des deux étangs montre une parfaite corrélation ($0.433 p < 0.001$ et $0.393 p < 0.001$), tout au moins pour les 5 prélèvements des espèces dominantes (**Tab. 2**).

Trente neuf espèces (13.3%) sont communes aux 5 prélèvements et représentent 73.8% de l'abondance des diatomées. Alors que nous rencontrons 92 espèces (41%) qui ne vivent que dans un seul lieu (eaux ou tortues) et ne représentent que 3.2% de l'abondance.

Parmi les 6 espèces les plus communes et abondantes, ont trouvé : *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Fragilaria brevistriata* Grunow, *Fragilaria pinnata* Ehrenberg, *Fragilaria capucina* Demazière et *Navicula cryptocephala* Kützing. À elles seules, elles représentent 45.3% de l'abondance.

Nous remarquons toutefois une espèce peu commune, en régression d'après Lange-Bertalot : *Navicula gastrum* (Ehrenberg) Kützing, qui bien que d'abondance plus faible, colonise les deux étangs. Elle est signalée comme vivant dans des milieux eutrophes. Une autre espèce encore rare pour la région, identifiée comme *Fragilaria longifusiformis* (Siver *et al.* 2006), est également qualifiée des eaux eutrophées. Elle se rencontre dans l'eau de l'étang

Cistude mais est absente sur les tortues, alors que nous l'avons sur les tortues, mais pas dans l'eau des Hautes Rondières. Mais peut-être ne l'avons nous pas remarquée vu la faible silicification des frustules. *Pinnularia braunii* (Grunow) Cleve ne se rencontre que dans les Hautes Rondières ainsi que *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst. Pour une analyse plus fine des espèces, voir le tableau complet des espèces (**Tab 2**)

3) La qualité des eaux.

La qualité biologique de l'eau des mares et des étangs ne peut être déterminée par la méthode dite de l'IBD (composition simplifiée des données) ou IPS (totalité des 400 frustules comptées) car spécifique des eaux courantes des rivières. Les diatomées des rivières sont souvent différentes des eaux des mares. C'est pourquoi nous avons créé deux nouveaux indices spécifiques en utilisant la totalité des diatomées d'un comptage de 400 frustules (à l'intérieur du comptage de 2700 frustules) permettant la comparaison avec l'IPS. Ces indices notés sur 20 signalent une augmentation de la qualité proportionnelle à l'indice calculé. Un indice de 12/20 indique déjà une qualité biologique acceptable, tandis qu'un indice de 5/20 désigne en général une très mauvaise qualité due à l'anthropisation.

Nous avons calculé indépendamment les indices des cinq préparations concernant les eaux elles-mêmes et les tortues.

1) Étang des Cistudes

Eaux =	IPS : 14.5
	IMsa: 11.4
	IMso: 10.0
Tortues =	IPS: 14.2
	IMsa: 9.8
	IMso : 9.0

Nous remarquons immédiatement l'écart considérable entre l'IPS et les autres indices confirmant ainsi l'invalidité de cet indice ne concordant pas avec les analyses chimiques d'ASCONIT.

Les indices IMsa et IMso sont faibles et signalent une qualité médiocre.

Quand aux tortues leurs indices plus faibles que ceux des eaux sont probablement le fait de l'accumulation quantitative des diatomées.

2) Étang des Hautes Rondières.

Eaux =	IPS : 13.7
	IMsa: 9.6
	IMso: 8
Tortues =	IPS: 14.2
	IMsa: 8.7
	IMso : 8.4

De même que dans l'étang de Cistude, l'IPS ne fonctionne pas, mais donne toutefois un indice plus faible que dans l'étang de Hautes Rondières.

Les indices IMsa et IMso sont également inférieurs et désignent clairement une mauvaise qualité des eaux et par ricochet sur les tortues.

Il est notable que dans tous les cas, les indices IMso sont légèrement plus faibles que les IMsa montrant ainsi que la qualité organique n'est pas très bonne (pollution par les végétaux en décomposition).

Quant à la qualité anthropique (IMsa), elle est franchement mauvaise et confirme bien les analyses d'ASCONIT mettant le doigt et insistant sur l'excès d'orthophosphates en particulier.

Discussion

Bien que ces étangs présentent une très grande quantité d'espèces de diatomées, une grande richesse diatomique et que l'on y rencontre quelques spécimens peu courants, cette discussion portera uniquement sur la qualité des eaux.

Les indices sont très mauvais mais par rapport à quoi ?

Lors de la mise au point des Indices Mares, nous avons montré par quelques exemples pris dans les mares, les divergences avec l'IPS et établis des

comparaisons par types de mares. Ainsi dans les « mares de champs » très chargés en phosphates et en nitrates nous relevons IMsa 7.1, IMso 6.7, IPS 6.5 ; Les « mares extérieures de villages » notaient IMsa 6.3, IMso 5.3, IPS 5.9. Ce sont des types de mares extrêmement polluées par le fait que les cuves à engrais et phytosanitaires sont nettoyées dans ces lieux. Dans ces deux exemples nous remarquons l'accord entre les IM et l'IPS.

Par ailleurs les mares établies dans les « massifs de résineux » possédaient un IMsa 12.7, IMso 10.7 et IPS 16.5. Les « mares de prairies » notaient IMsa 9.6, IMso 7.2 et IPS 16.7.

Dans ces deux exemples, ce sont des chiffres proches de ceux que nous trouvons dans les étangs de la Brenne. En effet, les prairies sont engraisées régulièrement à l'aide de purin et d'engrais pour obtenir un ensilage abondant. Nous voyons là que l'IPS est totalement déphasé et ne correspond pas à la réalité.

Conclusion

Les indices mares correspondent bien à la réalité et à l'absence de qualité des deux mares étudiées. Les indices relevés sur les carapaces des tortues sont légèrement différents mais restent malgré tout homogènes. Nous pensons que ce serait une erreur de récolter sur les tortues, car 50 cl d'eaux mélangées sont plus efficaces dans le cadre d'une analyse de qualité à l'aide des diatomées. Toute cette étude restreinte corrobore bien les analyses chimiques d'ASCONIT (2015, 2017), ainsi que la présence d'amas considérables de cyanophycées et des diatomées spécifiques dans les eaux eutrophes.

Toutefois une série d'analyses diatomiques sur un grand nombre d'étangs représenterait une charge de travail assez lourde, non pas pour la récolte des échantillons, quoiqu'il soit indispensable de respecter le protocole si l'on veut des résultats exploitables et cohérents, mais pour le travail de laboratoire qui est relativement complexe, ainsi que pour la lecture des préparations qui nécessite un professionnel spécialiste des diatomées. D'autre part, le calcul des indices n'ayant pas encore été informatisé, il nécessite également un temps de traitement substantiel à l'ordinateur. Tout ceci est à comparer avec le coût d'une analyse chimique qui ne reste valable que pour une date déterminée. Alors que les diatomées intègrent les éléments chimiques et lissent en quelque sorte le temps par leur présence durable (durée de vie d'environ 3 mois) et synthétisent les différents paramètres chimiques. Nous aurions alors une analyse diatomique taxonomique complète jamais réalisée pour cette Réserve régionale.

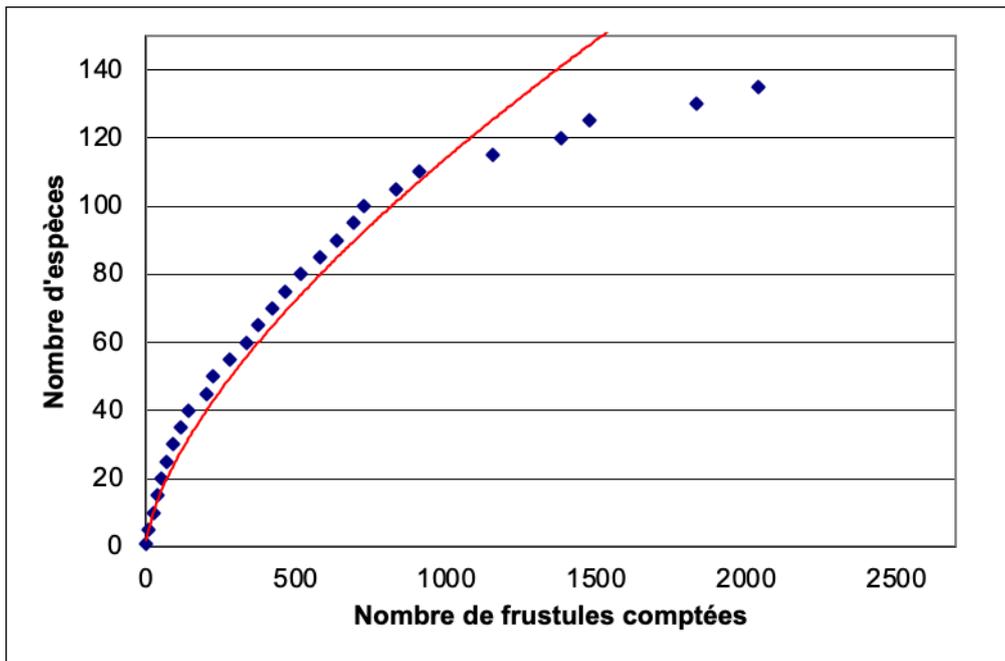


Fig. 3 - Richesse des diatomées sur une tortue de l'étang Cistude (Courbe à tendance parabolique). L'augmentation des espèces en fonction du comptage ne semble pas avoir de limite. Cette courbe est la preuve d'une grande richesse avec accumulation constante de nouvelles espèces drainées probablement par les déplacements constants des tortues, la surface de leur carapace faisant office de « coffre-fort » pour les micro-organismes dont font partie les diatomées.

Références

- Akgül R., Caprazlı T., Türker N., Erduğan H. & Tosunoğlu M. (2014) - Epizoic algae on *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758) and *Mauremys rivulata* (valenciennes, 1833), in the kavak river Delta (saros Bay, Turkey) (Testudines : emydidae, geoemydidae). *Herpetozoa*, 27 (1-2) : 21-28.
- ASCONIT (2015) - Réserve naturelle de Chérine ; Prélèvements et analyses physico-chimiques sur 5 étangs. *Rapport inédit*. 10 p.
- ASCONIT (2017) - Prélèvements et analyses physico-chimiques sur les étangs Ricot et Hautes-Rondières. *Rapport final*. 20 p.
- Bertrand J., Ector L. & Renon J.-P. (2013) - Diatomées des mares. L'échantillonnage des diatomées : un problème de choix des supports. *Symbioses, nouvelle série*, 31 : 31-38.
- Bertrand J., Ector L. & Renon J.-P. (2014) - Diatomées des mares : Études préliminaires de l'écologie des mares permanentes et éphémères de la région Centre (France). *Journal de la Société Botanique de France* 66 : 55-74.
- Bertrand J., Ector L. & Renon J.-P. (2015a) - Écologie des mares - mesure de la qualité des eaux par les diatomées : deux nouveaux indices spécifiques, comparaison avec l'indice IPS. *Symbioses, nouvelle Série*, 33 : 50-72.
- Bertrand J., Serieyssel K., & Ector L. (2015 b) - The influence of land use and the nature of the substrate on the diatom association from ponds found in two adjacent regions of France. *Cryptogamie, Algologie*, 36 (3) : 1-18.
- Bourrelly P. (1972) - *Les Algues d'eau douce : Initiation à la systématique. Tome I : Les algues vertes*. Editions N. Boubée & Cie, Paris. 572 p.
- Bourrelly P. (1981) *Les Algues d'eau douce : Initiation à la systématique. Tome II : Les algues jaunes et brunes : Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées*. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris. 517 p.
- Bourrelly P. (1985) *Les Algues d'eau douce : Initiation à la systématique. Tome III : Les algues bleues et rouges : Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines*. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris. 606 p.
- CEMAGREF (1982). Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. *Rapport*.
- Donato-Rondon J.C., González-Trujillo J.D., Romero

- B. & Castro-Rebolledo M.I. (2018) - Diatom assemblages associated with turtle carapaces. *Revista de Biología Tropical*, 66 (4) : 1362-1372.
- Tezel Erzanli E. & Gonunoli A. (2014) - Epizoophyte composition on spotted turtle *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758) in Turkey Bangladesh. *Journal of Botany*, 43(2) : 157-161.
- Fayolle S., Moriconi C., Oursel B., Koenig C., Suet M., Ficheux S., Logez M. & Olivier A. (2016) - Epizoic Algae Distribution on the Carapace and Plastron of the European Pond Turtle (*Emys orbicularis*, Linnaeus, 1758): A Study from the Camargue, France. *Cryptogamie, Algologie*, 37 (4) : 221-232.
- Garbary D.J., Bourque G., Herman T.B. & McNeil J.A. (2007) - Epizoic algae from freshwater turtles in Nova Scotia. *Journal of Freshwater Ecology*, 22 (4) : 677-685.
- Kammer K. (1992) – Die Gattung *Pinnularia* in Bayern-Hoppea. *Denkschriften der Regensburgerischen Botanischen Gesellschaft*. 308 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1986) - *Bacillariophyceae: Naviculaceae*. T1. In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1. 876 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1988) - *Bacillariophyceae: Epithemiaceae. Surirellaceae*. T2. In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Gustav Fisher Verlag Stuttgart, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2. 596 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991a) - *Bacillariophyceae: Centrales. Fragilariaceae. Eunotiaceae*. T3. In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Gustav Fisher Verlag Stuttgart. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3. 576 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991b) - *Bacillariophyceae: Achnantaceae* T4. In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds): Gustav Fisher Verlag Stuttgart. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4. 437 p.
- Lange-Bertalot H. & Ulrich S. (2014) - Contributions to the taxonomy of needle-shaped *Fragilaria* and *Ulnaria* species *Lauterbornia* 78 : 1-73, D-86424 Dinkelscherben, -07-14
- Ottonello D., Salvidio S. & Rosecchi E. (2005) - Feeding habits of the European pond terrapin *Emys orbicularis* in Camargue (Rhône delta, Southern France). *Amphibia-Reptilia*, 26 (4) : 562-565.
- Pavlov A., Jovanovska E., Wetzel C.E, Ector L. & Levkov Z. (2016) - Freshwater *Mastogloia* (Bacillariophyceae) taxa from Macedonia, with a description of the epizoic *M. sterijovskii* sp. nov. *Diatom Research*, 31 (2) : 85-112.
- Prygiel J. & Coste M. (2000) - Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Cemagref, Agences de l'Eau, 134 p + 89 p. + cd rom TAX'IBD français/anglais.
- Rivera R.S.F., Vasselon V., Ballorain K., Carpentier A., Wetzel C.E., Ector L., Bouchez A. & Rimet F. (2018) - DNA metabarcoding and microscopic analyses of sea turtles biofilms: complementary to understand turtle behavior, PLoS ONE 13(4) e0195770
- Shannon C.E. & Weavers W. (1949) - The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 117 p.
- Sommer R.S., Persson A., Wieseke N. & Fritz U. (2007) - Holocene recolonization and extinction of the pond turtle *Emys orbicularis* (L.,1758) in Europe. *Quaternary Science Reviews*, 26 : 3099-3107.
- Sommer R.S., Indqvist C.L., Persson A., Bringsøe H., Rhodin A.G.J., Schneeweiss N., Široký P., Bachmann L. & Fritz U. (2009) - Unexpected early extinction of *Emys orbicularis* in Sweden. *Molecular Ecology*, 18 : 1252-1262.
- Soylu E.N., Gönülol A., Sukatar A., Ayaz D. & Tok C.V. (2006) - Epizoic Freshwater Algae on *Emys orbicularis* (*Testudinata: Emydidae*) from the Central Anatolia Region of Turkey. *Journal of Freshwater Ecology*, 21 (3) : 535-538.
- Siver P.A., Morales E.A., Van de Vijver B., Smits M., Hamilton P.B., Lange-Bertalot H. & John J. Hains (2006) - Observations on *Fragilaria longifusiformis* comb. nov. et nom. nov. (Bacillariophyceae), a widespread planktic diatom documented from North America and Europe. *Phycological Research*, 54 : 183-192.
- VALMARES- Programme Scientifique (2007-2010). Etude écologique de 130 mares de l'Orléanais (région Centre ; Création d'indices de qualité des eaux. *Loiret-Nature Environnement*, 106 p. + annexe.
- Vassal V., Olivier A., Pauvert S., Fayolle S. & Roy C. (2017) - Étude des diatomées épizoïques de Cistudes d'Europe (*Emys orbicularis*) et comparaison de l'évaluation de la qualité

écologique de plans d'eau à partir de trois supports (épilithon, épiphyton et épizoon). 36ème colloque de L'ADLaF, Dijon, France.

Van Dam H., Mertens A. & Sinkelmann J. (1994) - Liste de vérification codée et valeurs d'indicateur écologique de diatomées d'eau douce des Pays-

Bas. *Journal néerlandais d'écologie aquatique*, 28 (1) : 117-133.

Wu S.C. & Bergey E.A. (2017) - Diatoms on the carapace of common snapping turtles: *Luticola* spp. dominate despite spatial variation in assemblages. *PLoS ONE* 12(2) : e0171910.doi:10.1371/journal.pone.017191

Accepté le 12 mars 2021

Publié en ligne (pdf) le 6 avril 2021

Tab 2 - Liste des diatomées des étangs Cistude et Hautes Rondières. % des espèces par récolte. Seules les espèces d'abondance supérieure à 0.1% ont été conservées.

Eau des étangs : colonnes en bleu. **Tortues** : colonnes en blanc.

Genres-Espèces	Occurrence	Cistude		Hautes Rondières		
		180 614,00	180 614,01	180 614,10	180 614,02	180 614,03
Achnanthes exigua Grunow	4	1,0%		2,0%	0,1%	0,9%
Achnanthes hungarica (Grunow) Grunow	4	0,4%	0,5%		0,3%	0,4%
Achnanthes lanceolata (Brebisson) Grunow	5	3,8%	0,8%	1,0%	1,5%	1,0%
Achnanthes lanceolata rostrata Lange-Bertalot	3	1,8%			0,4%	1,9%
Achnanthes minutissima Kützing	5	0,8%	1,7%	0,1%	1,1%	0,3%
Achnanthes petersenii Hustedt	1	0,3%				
Achnanthes rechtensis Leclercq	1	0,1%				
Achnanthes sp.	1					0,1%
Amphora libyca Ehrenberg	1					0,1%
Amphora ovalis (Kützing) Kützing	5	0,8%	1,0%	2,3%	1,2%	1,0%
Amphora pediculus (Kützing) Cleve	2	0,1%	0,3%			
Amphora veneta Kützing	1					0,1%
Anomoeoneis sphaerophora (Ehrenberg) Pfitzer	1				0,1%	
Asterionella formosa Hassal	2	0,2%			0,1%	
Aulacoseira ambigua (Grunow) Simonsen	2		0,9%	3,0%		
Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen	5	22,2%	4,9%	11,0%	15,3%	14,2%
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen	5	20,9%	13,4%	9,4%	5,0%	12,1%
Aulacoseira italica (Ehrenberg) Simonsen	1					1,7%
Caloneis bacillum (Grunow) Cleve	4	0,1%	0,4%		0,2%	0,1%
Caloneis biconstricta (Grunow) Reichelt	3	0,2%	0,4%			0,1%
Caloneis silicula (Ehrenberg) Cleve	5	0,1%	0,4%	0,1%	0,3%	0,1%
Cocconeis disculus (Schumann) Cleve	1		0,1%			
Cocconeis pediculus Ehrenberg	3	0,1%	0,2%			0,1%
Cocconeis placentula Ehrenberg	5	0,1%	0,9%	0,6%	0,2%	0,4%
Cocconeis pseudothumensis Reichardt	1		0,1%			
Craticula ambigua Ehrenberg	3	0,5%		0,3%		0,2%
Craticula cuspidata (Kützing) Kützing	4	0,1%		1,2%	0,2%	0,3%
Cyclostephanos dubius (Fricke) Round	2				0,1%	0,3%
Cyclotella bodanica Grunow	1					0,2%
Cyclotella meneghiniana Kützing	2		0,2%		0,1%	
Cyclotella planctonica Brunthaler	1				1,7%	

Genres-Espèces	Occurrence	Cistude		Hautes Rondières		
		180 614,00	180 614,01	180 614,10	180 614,02	180 614,03
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt	2		0,1%		3,6%	
<i>Cymatopleura solea</i> (Brebisson) W. Smith	2		0,1%	0,1%		
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	1		0,1%			
<i>Cymbella alpina</i> Grunow	1	0,1%				
<i>Cymbella amphicephala</i> Hustedt	1				0,1%	
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	2		0,2%			0,1%
<i>Cymbella caespitosa</i> (Kützing) Brun	1		0,1%			
<i>Cymbella elginensis</i> Krammer	1					0,3%
<i>Cymbella helvetica</i> Kützing	3		0,9%		0,2%	0,1%
<i>Cymbella mesiana</i> Cholnoky	4		1,9%	0,4%	0,8%	0,1%
<i>Cymbella minuta</i> Ilse	5	0,2%	0,9%	0,4%	0,7%	0,8%
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald	1	0,1%				
<i>Cymbella silesiaca</i> Bleich	5	0,3%	1,9%	0,7%	1,2%	0,7%
<i>Cymbella subaequalis</i> Grunow	1		0,1%			
<i>Cymbella triangulum</i> (Ehrenberg) Cleve	5	0,4%	0,2%	0,1%	0,5%	0,2%
<i>Cymbella tumida</i> (Brebisson) van Heurck	1			0,1%		
<i>Denticula kuentzingii</i> Grunow	1				0,1%	
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	2	0,4%				0,4%
<i>Diadensis contenta</i> Grunow	3	0,1%	0,5%		0,1%	
<i>Diadensis perpusilla</i> Grunow	1		0,1%			
<i>Diploneis minuta</i> Petersen	1	0,1%				
<i>Diploneis oblongella</i> (Naegeli) Cleve-Euler	1				0,1%	
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brebisson	4	0,1%	1,5%		0,1%	0,1%
<i>Epithemia goeppertiana</i> Hilse	1			0,1%		
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	1		0,1%			
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills	5	0,4%	1,0%	0,1%	0,8%	2,2%
<i>Eunotia circumborealis</i> Lange-Bertalot & Nörpel	3			0,5%	0,2%	0,3%
<i>Eunotia flexuosa</i> (Brebisson) Kützing	2				0,1%	0,2%
<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg	3	0,1%	0,3%		0,1%	
<i>Eunotia implicata</i> Nörpel & al.	4	0,2%	0,6%		0,7%	0,8%
<i>Eunotia incisa</i> Gregory	1					0,2%
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	4		0,7%	0,4%	1,3%	0,1%
<i>Eunotia naegeli</i> Migula	3		0,4%	0,1%	0,4%	
<i>Eunotia pectinalis</i> (Dillwiyn) Rabenhorst	5	0,3%	0,5%	0,6%	3,1%	1,5%
<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg	1		0,3%			
<i>Eunotia soleirolii</i> (Kützing) Rabenhorst	4	1,7%	0,5%	0,6%	1,1%	
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	4	0,2%	0,1%	1,3%		0,3%
<i>Fragilaria bicapitata</i> Grunow	3	0,1%		0,4%	0,5%	
<i>Fragilaria bidens</i> Heiberg	1					0,1%
<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow	5	6,9%	6,7%	17,0%	2,4%	2,5%
<i>Fragilaria capucina</i> Demazières	5	3,8%	2,9%	3,4%	6,4%	5,1%
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	4	0,3%	2,4%	4,7%	0,1%	
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	1					0,1%
<i>Fragilaria elliptica</i> Schumann	3		1,6%	0,6%		0,4%
<i>Fragilaria exigua</i> Grunow	1			0,7%		
<i>Fragilaria leptastoron</i> (Ehrenberg) Hustedt	3		1,5%	0,3%	0,1%	
<i>Fragilaria longifusiformis</i> Siver & al.	3	1,4%		0,1%	0,6%	1,0%

Genres-Espèces	Occurrence	Cistude		Hautes Rondières		
		180 614,00	180 614,01	180 614,10	180 614,02	180 614,03
Fragilaria neoproducta Lange-Bertalot	2		0,1%			0,1%
Fragilaria parasitica (W. Smith) Grunow	4	0,3%	0,6%	0,2%	0,1%	
Fragilaria pinnata Ehrenberg	5	1,9%	10,5%	2,9%	2,4%	1,9%
Fragilaria virescens Ralfs	4	0,1%	0,8%		0,4%	1,0%
Gomphoneis herculanea (Ehrenberg) Cleve	1	0,1%				
Gomphonema acuminatum Ehrenberg	2	0,2%	0,3%			
Gomphonema affine Kützing	3		1,7%		1,3%	0,2%
Gomphonema angustatum (Kützing) Rabenhorst	3	0,1%	0,8%		1,0%	
Gomphonema angustum Agardh	2		0,5%			0,2%
Gomphonema clavatum Ehrenberg	5	0,1%	0,3%	0,1%	0,3%	0,5%
Gomphonema constrictum Ehrenberg	1		0,2%			
Gomphonema gracile Ehrenberg	5	0,4%	0,2%	0,6%	1,4%	0,9%
Gomphonema minutum (Agardh) Agardh	2	0,3%	0,4%			
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing	5	0,8%	2,4%	1,6%	3,6%	2,3%
Gomphonema truncatum Ehrenberg	2	0,1%		0,1%		
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst	5	1,0%	0,2%	5,2%	0,5%	1,0%
Gyrosigma attenuatum (Kützing) Rabenhorst	4	0,5%		1,1%	0,3%	0,2%
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow	1		0,5%			
Hantzschia subrupestris Lange-Bertalot	2			0,1%	0,1%	
Hypodonta capitata Ehrenberg	4	0,1%	0,4%	0,1%	0,1%	
Luticola mutica Kützing	3		0,3%		0,1%	0,1%
Luticola nivalis Ehrenberg	2		0,1%			0,1%
Melosira varians Agardh	5	1,3%	0,2%	1,0%	0,9%	0,4%
Meridion circulare Agardh	2		0,1%			0,1%
Navicula absoluta Hustedt	1	0,1%				
Navicula accomoda Hustedt	3	0,1%	0,1%			0,1%
Navicula americana Ehrenberg	1			0,1%		
Navicula atomus (Kützing) Grunow	5	0,5%	0,5%	0,4%	1,0%	0,2%
Navicula bacillum Ehrenberg	1		0,1%			
Navicula bergerii Krasske	1				0,1%	
Navicula capitatoradiata Germain	4	0,1%	0,2%		0,4%	0,9%
Navicula cincta (Ehrenberg) Ralfs	1		0,1%			
Navicula clementis Grunow	1		0,4%			
Navicula confervacea Kützing	2			1,0%	0,6%	
Navicula cryptocephala Kützing	5	5,8%	1,4%	4,7%	4,7%	5,1%
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot	4	0,3%	0,8%	0,4%		0,1%
Navicula cryptoteneloides Lange-Bertalot	3		0,1%		0,1%	0,4%
Navicula digitulus Hustedt	1				0,1%	
Navicula gastrum (Ehrenberg) Kützing	5	2,8%	1,2%	4,1%	4,1%	2,8%
Navicula gregaria Donkin	1					0,1%
Navicula ignota Krasske	1	0,1%				
Navicula joubaudii Germain	1				0,1%	
Navicula laevisissima Kützing	5	0,4%	0,5%	0,1%	0,4%	0,3%
Navicula medioconvexa Hustedt	1					0,1%
Navicula mediocris Krasske	1					0,1%
Navicula meniscus Schumann	1					0,4%
Navicula minima Grunow	5	1,3%	1,8%	0,4%	3,0%	2,1%
Navicula minuscula Grunow	3		0,1%		3,4%	3,7%

Genres-Espèces	Occurrence	Cistude		Hautes Rondières		
		180 614,00	180 614,01	180 614,10	180 614,02	180 614,03
Navicula naumanii Hustedt	1				0,1%	
Navicula oblonga Kützing	1		0,3%			
Navicula pseudolanceolata Lange-Bertalot	1		0,1%			
Navicula radiosa Kützing	1		0,4%			
Navicula recens (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	1					0,2%
Navicula rhynchocephala Kützing	3	0,2%		0,7%		0,7%
Navicula seminulum Grunow	2				0,1%	0,1%
Navicula sp.(135,9 x 10,7)	1					0,1%
Navicula striolata (Grunow) Lange-Bertalot	2		0,4%		0,1%	
Navicula tripunctata (O.F. Müller) Bory	2				0,6%	2,2%
Navicula trivialis Lange-Bertalot	5	2,0%	0,5%	3,8%	2,3%	1,5%
Navicula variostrata Krasske	4		0,1%	0,7%	0,1%	0,1%
Navicula veneta Kützing	3		0,4%		0,1%	0,1%
Navicula viridula (Kützing) Ehrenberg	1			0,2%		
Neidium affine Pfitzer	1	0,1%				
Neidium alpinum Hustedt	1				0,1%	
Neidium ampliutum (Ehrenberg) Krammer	3	0,1%	0,1%	0,1%		
Neidium dubium (Ehrenberg) Cleve	1				0,1%	
Neidium iridis (Ehrenberg) Cleve	1					0,1%
Nitzschia acicularis (Kützing) W. Smith	1					0,2%
Nitzschia acidoclinata Lange-Bertalot	4	0,1%	0,1%		0,3%	0,1%
Nitzschia amphibia Grunow	5	0,3%	2,3%	0,1%	0,3%	0,5%
Nitzschia capitellata Hustedt	1				0,2%	
Nitzschia dissipata (Kützing) Grunow	4	0,7%	3,6%		0,6%	2,1%
Nitzschia filiformis (W. Smith) Van Heurck	1		0,1%			
Nitzschia fonticola Grunow	5	0,3%	0,9%	0,3%	0,2%	0,5%
Nitzschia frustulum (Kützing) Grunow	1				0,1%	
Nitzschia graciliformis Lange-Bertalot & Simonsen	2				1,6%	2,2%
Nitzschia gracilis Hantzsch	1					0,1%
Nitzschia hungarica Grunow	2		0,1%	0,1%		
Nitzschia incognita Krasske	1				0,1%	
Nitzschia intermedia Hantzsch	2		0,1%			0,1%
Nitzschia linearis (Agardh) W. Smith	2		0,3%			0,3%
Nitzschia palea (Kützing) W. Smith	5	0,5%	0,3%	0,1%	0,2%	0,8%
Nitzschia perminuta (Grunow) Peragallo	2		0,3%		0,2%	
Nitzschia recta Hantzsch	4	0,1%	0,4%	0,1%		0,2%
Nitzschia sinuata (Thwaites) Grunow	3	0,1%	0,3%		0,1%	
Nitzschia subacicularis Hustedt	2	0,1%			0,1%	
Nitzschia sygmoidea (Nitzsch) W. Smith	3		0,4%	0,1%	0,1%	
Nitzschia valdecostata Lange-Bertalot & Simonsen	1		0,1%			
Orthoseira roseana (Rabenhorst) O'Meara	1					0,1%
Pinnularia borealis Ehrenberg	1		0,1%			
Pinnularia braunii (Grunow) Cleve	4		0,1%	1,7%	0,9%	0,1%
Pinnularia gentilis (Donkin) Cleve	1			0,1%		
Pinnularia gibba Ehrenberg	3		0,3%	0,1%	0,1%	
Pinnularia inconstans Mayer	1		0,1%			
Pinnularia intermedia (Lagerstedt) Cleve	1		0,1%			
Pinnularia interupta W. Smith	1		0,1%			

Genres-Espèces	Occurrence	Cistude		Hautes Rondières		
		180 614,00	180 614,01	180 614,10	180 614,02	180 614,03
<i>Pinnularia macilenta</i> (Ehrenberg) Cleve	1					0,1%
<i>Pinnularia mesolepta</i> (Ehrenberg) W. Smith	3	0,9%	0,1%			0,4%
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	4	0,3%	0,1%		0,4%	0,1%
<i>Pinnularia neomajor</i> Krammer	3		0,3%	0,1%		0,1%
<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory	5	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
<i>Pinnularia subrostrata</i> (A. Cleve) Cleve-Euler	1	0,1%				
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	5	0,1%	0,2%	0,1%	0,3%	0,1%
<i>Pinnularia divergens</i> W. Smith	1		0,1%			
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot	1	0,1%				
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Müller	1		0,6%			
<i>Sellaphora pupula</i> Kützing	5	3,2%	1,2%	2,9%	3,3%	3,8%
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	2			0,1%		0,1%
<i>Stauroneis kriegeerii</i> Patrick	4	0,1%	0,1%		0,9%	0,1%
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	1				0,1%	
<i>Stauroneis pseudosubotusoides</i> Germain	1				0,1%	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	3	0,1%			0,2%	0,4%
<i>Surirella angusta</i> Kützing	1				0,2%	
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	1		0,1%			
<i>Surirella linearis</i> W. Smith	2	0,1%	0,2%			
<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	1					0,1%
<i>Surirella splendida</i> (Ehrenberg) Kützing	1			0,1%		
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	2		0,1%		0,1%	
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle & Heimdal	1				1,1%	
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	5	0,4%	1,3%	0,1%	0,5%	0,6%

Les niveaux à vertébrés fossiles du Crétacé supérieur de Castigno et Combeville (Villespassans, Hérault) : historique et nouvelles découvertes

Eric Buffetaut^{1,2}, Delphine Angst³, Julien Claude⁴, Haiyan Tong², André Amoros⁵, Damien Boschetto⁶, Jean-Pierre Chenet⁶, Didier Clavel⁶, Bruno Maggia⁶, Thomas Roques⁶, Stéphane Sèbe⁶

Résumé

Les recherches stratigraphiques et paléontologiques sur le Crétacé supérieur continental du vallon de Castigno (Villespassans, Hérault, Occitanie) ont débuté dans les années 1890 avec les travaux du chercheur local Jean Miquel. L'étude des restes de dinosaures provenant de ce site par Charles Depéret en 1900 a contribué de façon importante à améliorer la connaissance des dinosaures du Crétacé supérieur de France. Des confusions stratigraphiques dues à Depéret et Miquel firent ensuite croire à Emile Haug que les dinosaures de Castigno dataient de la base du Tertiaire (Montien). Cette erreur fut corrigée par Albert F. de Lapparent en 1938. Les recherches récentes à Castigno et sur le site voisin de Combeville ont livré des restes de divers groupes de vertébrés (amphibiens, squamates, tortues, crocodiles, dinosaures, oiseaux) provenant de plusieurs niveaux fossilifères, correspondant à des milieux de dépôt différents (fluviaux puis lacustres), attribuables probablement au Campanien supérieur. La série sédimentaire de Castigno-Combeville est d'une importance certaine pour la compréhension de la succession des faunes de vertébrés du Crétacé supérieur en Languedoc.

Mots-clés : Crétacé supérieur, stratigraphie, vertébrés, Hérault, Sud de la France

Abstract

Stratigraphical and palaeontological researches on the continental Upper Cretaceous beds of the Castigno valley (Villespassans, Hérault, southern France) began in the 1890s with the work of the local researcher Jean Miquel. The study of the dinosaur remains from that locality by Charles Depéret in 1900 greatly added to the knowledge of the Late Cretaceous dinosaurs of France. Stratigraphical misinterpretations by Depéret and Miquel then led Emile Haug to believe that the Castigno dinosaurs came from the base of the Tertiary (Montian). This mistake was corrected by Albert F. de Lapparent in 1938. Recent researches at Castigno and at the nearby Combeville site have yielded remains of various vertebrate groups (amphibians, squamates, turtles, crocodiles, dinosaurs, birds) from several fossil-bearing horizons, corresponding to different depositional environments (fluvial followed by lacustrine), probably referable to the upper Campanian. The Castigno-Combeville sedimentary series is clearly important for our understanding of vertebrate faunal succession in the Late Cretaceous of Languedoc.

Keywords: Late Cretaceous, stratigraphy, vertebrates, Hérault, southern France

1. CNRS (UMR 8538), Laboratoire de Géologie de l'École Normale Supérieure, PSL Research University, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France.

2. Palaeontological Research and Education Centre, Maha Sarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand

3. School of Earth Sciences, University of Bristol, Life Sciences Building, 24 Tyndall Avenue, Bristol, BS8 1TQ, United Kingdom.

4. ISE-M, UMR UM/CNRS/IRD/EPHE, 2, Place Eugène Bataillon, cc64, 34150 Montpellier, France.

5. Pourcieux 83470, France.

6. Musée de Cruzy, 34310 Cruzy, France.

1. Introduction

Les premières découvertes de vertébrés fossiles, en l'occurrence des restes de dinosaures, dans la région de Saint-Chinian (sud-ouest du département de l'Hérault) remontent au dernier tiers du XIX^e siècle (Buffetaut, 2005a, b, 2018, 2021). En 1877, Paul Gervais signala brièvement la découverte d'ossements, attribuables peut-être à *Rhabdodon*, à Saint-Chinian (Gervais 1877a, b). D'après le chercheur local Jean Miquel (1896), il se serait agi d'un « squelette de reptile » trouvé par un certain M. Salles, agent-voyer de l'arrondissement de Saint-Pons, lors du creusement d'un béal allant de Saint-Chinian à Balagou. Le spécimen, après étude par Gervais, aurait été égaré (les restes en question pourraient en fait se trouver dans les collections paléontologiques du Muséum National d'Histoire Naturelle, où Gervais était professeur d'anatomie comparée). Quoi qu'il

en soit, c'est à ce même Jean Miquel que l'on doit les premières découvertes vraiment significatives de restes de dinosaures dans le « chaînon de Saint-Chinian », qui permirent au paléontologue Charles Depéret de faire mieux connaître la diversité des dinosaures du Crétacé supérieur du Sud de la France – et aussi d'initier involontairement une discussion sur l'éventuelle survivance de ces animaux jusque dans les temps tertiaires. A cet égard, les découvertes réalisées dans le vallon de Castigno, sur la commune de Villespassans, ont joué un rôle important. Des recherches récentes sur ce site et sur la colline voisine de Combebelle ont confirmé son importance. Le but du présent article est de fournir un historique des recherches paléontologiques à Castigno et des interprétations auxquelles elles donnèrent lieu, puis de présenter l'état actuel de nos connaissances sur les niveaux à vertébrés du Crétacé supérieur que l'on y rencontre.

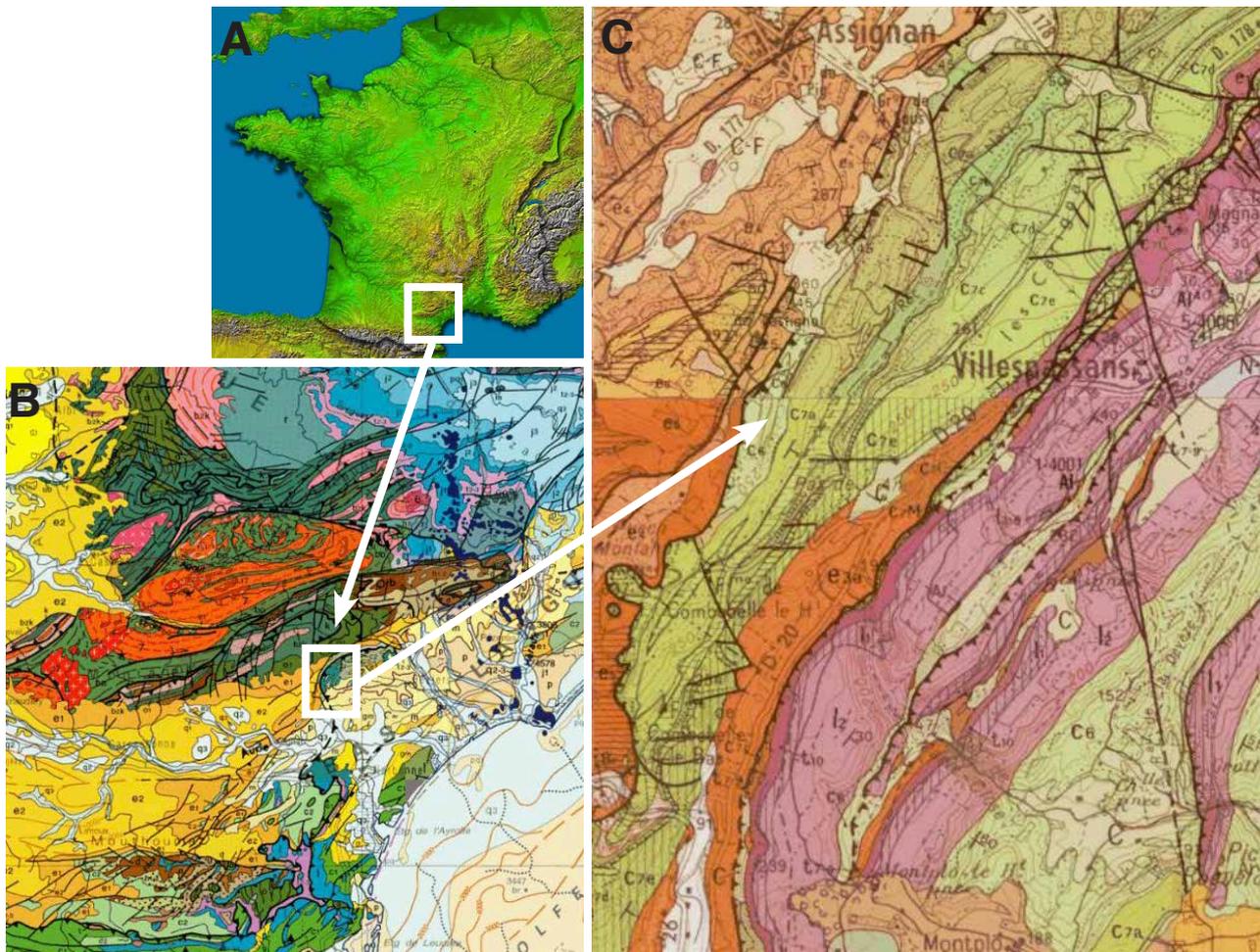


Fig. 1 – A. Localisation géographique ; B. Localisation du Chaînon de Saint-Chinian ; C. Détail de la carte géologique de Saint-Chinian au 1/50 000 (1982). La flèche montre le vallon de Castigno à Villespassans (Hérault). Source : Géoportail. **Légende** d'après Alabouvette *et al.* (1982) : t : Trias ; l : Jurassique inférieur ; c6 : Campanien (« Valdo-Fuvélien », Grès à Reptiles) ; c7 : Maastrichtien (« Bégudo-Rognacien ») subdivisé en c7a, b, c, d, e pour distinguer les différentes barres calcaires séparées par des niveaux argilo-gréseux ; e : Eocène (comprenant aussi le Paléocène). Voir texte pour notre interprétation de l'âge des diverses formations.

2. Aperçu historique

Situé sur la commune de Villespassans (Hérault), le vallon de Castigno, ainsi nommé d'après le domaine qui le domine au NW, s'allonge en direction SSW-NNE sur quelques centaines de mètres, entre les villages de Villespassans au SE et d'Assignan au NW. Son fond est aujourd'hui partiellement planté de vignes et ses flancs sont envahis par une végétation dense. A l'Est affleurent des argiles et grès rouges et des calcaires gris d'âge Crétacé supérieur, tandis qu'à l'Ouest on rencontre des calcaires éocènes (**Fig. 1**).

La première mention de restes de vertébrés fossiles dans le vallon de Castigno est due à Miquel, dans une étude sur la géologie du chaînon de Saint-Chinian (Miquel, 1896). Il y écrit (p. 48) « Les marnes de Castigno représentent par excellence, dans le Chaînon de Saint-Chinian, les couches à reptiles. Les os se trouvent indifféremment dans toute la formation, dans les grès et dans les argiles ; celles-ci sont parsemées de concrétions blanchâtres ou bleutées, qui sont toujours l'indice de la présence des ossements ». Plus loin, il note qu'il lui est arrivé de rapporter de Castigno 10 à 15 kg d'ossements et qu'il en a laissé plusieurs en place dans des niveaux gréseux « comme témoins ». Un fémur qui semble être un de ces « témoins » a été retrouvé il y a quelques années et laissé en place (Buffetaut, 2005a). Sur la base de ressemblances lithologiques et paléontologiques (mollusques), Miquel conclut que la « série crétacée fluvio-lacustre » du chaînon de Saint-Chinian est l'équivalent du Rognacien de Provence. Il est intéressant de noter

qu'il place les « marnes supérieures », riches en restes de reptiles à Castigno, stratigraphiquement *au-dessus* de ses « Calcaires supérieurs » riches en mollusques fossiles et contenant aussi parfois des restes de reptiles ; elles constituent donc selon lui le terme final de sa série fluvio-lacustre rognacienne.

Dans son « Aperçu sur la géologie du chaînon de Saint-Chinian », Depéret (1899, p. 686) met en évidence la tectonique complexe du chaînon, « constitué par un faisceau de plis d'âge pyrénéen (antéoligocènes), tous déversés au nord et ayant affecté le Keuper, l'Infralias, le Lias, le Bajocien, le Crétacé supérieur et l'ensemble des terrains éocènes ». D'un point de vue stratigraphique, s'il accepte l'attribution du Crétacé fluvio-lacustre à l'« étage de Rognac » (qu'il rapporte au Danien, qui pour lui appartient au Crétacé), il place le « grès de Saint-Chinian », où les restes de dinosaures sont assez fréquents, au-dessous des « marnes et calcaires de Rognac ». Il donne aussi les premières identifications de ces dinosaures : un sauropode du genre *Titanosaurus* (décrit à l'origine en Inde) à Castigno, et, dans la région de Cruzy et de Quarante, le théropode *Dryptosaurus* (décrit à l'origine aux États-Unis) et ce qu'il pense être un cératopsien qu'il rapporte au genre *Crataeomus* (décrit à l'origine en Autriche, considéré aujourd'hui comme un synonyme de *Struthiosaurus*, qui est un ankylosaure). Ces identifications ne sont plus acceptées aujourd'hui (voir plus bas), mais on retiendra que Depéret en 1899 place le gisement de Castigno, comme les autres sites à dinosaures de la région, *au-dessous* des calcaires « rognaciens ».

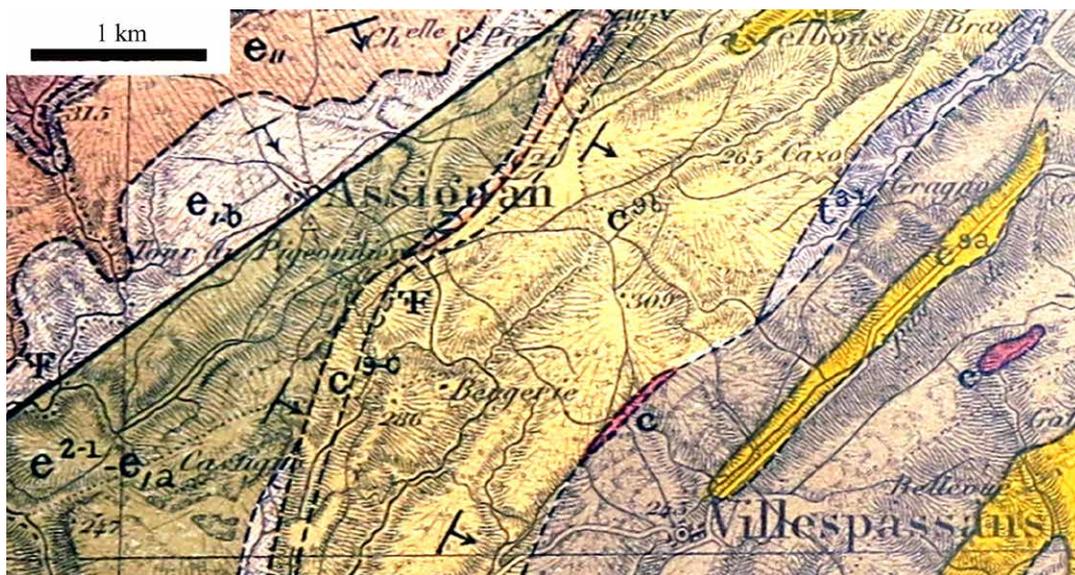
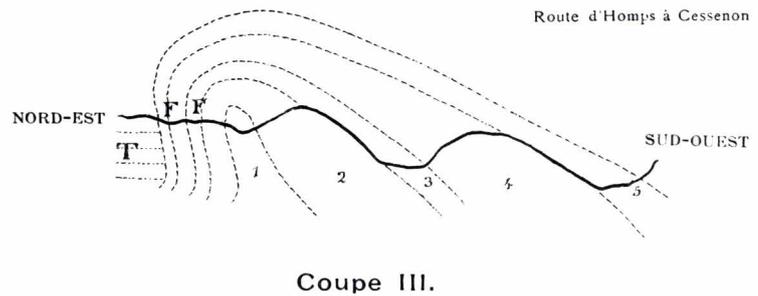


Fig. 2 – Détail de la feuille Bédarioux de la carte géologique de la France au 1/80 000 (1900), zone levée par Depéret montrant son interprétation du vallon de Castigno. Les Argiles rutilantes (c^{9c}) à ossements de grands dinosauriens (*Titanosaurus*) surmontent les Calcaires de Rognac (c^{9b}).

Fig. 3 – Coupe du vallon de Castigno selon Miquel (1905). **Légende** : 1. Grès de Saint-Chinian ; 2. Premières barres rognaciennes ; 3. Marnes intercalées ; 4. Deuxièmes barres rognaciennes ; 5. Vitrollien ; T. Tertiaire. Selon cette interprétation erronée, les vertébrés fossiles de Castigno se trouvent dans le Vitrollien.



Coupe III.
LES GISEMENTS FOSSILIFÈRES DE CASTIGNO.

Dans trois brèves notes parues en 1900, Depéret revient sur les dinosaures de la région de Saint-Chinian. L'une (Depéret, 1900a) porte sur les restes attribués à *Crataeomus*, trouvés sur le territoire de la carte géologique au 1/80 000 de Narbonne (il s'agit plus précisément du site de Quarante). Les deux autres (Depéret, 1900b, c) mentionnent de nouveau *Titanosaurus* et *Dryptosaurus*, en apportant des précisions sur la stratigraphie des niveaux à dinosaures qui diffèrent de celles données en 1899. En effet, Depéret y affirme que les restes de dinosaures se trouvent à deux niveaux différents : un horizon inférieur situé à la base de l'« étage de Rognac », constitué de grès grossiers qui ont livré, autour de la ville de Saint-Chinian, des ossements peu déterminables mais qui appartiendraient à de grands sauropodes, et un horizon supérieur. Ce dernier, constitué d'argiles rouges, plus riche que le précédent, surmonterait

les calcaires de Rognac et passerait insensiblement vers le haut à des calcaires de l'Eocène inférieur. Ces argiles seraient l'équivalent des argiles de Vitrolles en Provence, et la présence de dinosaures permettrait donc de résoudre le problème de l'âge de ces argiles et de les attribuer de façon certaine au Crétacé (Danien tout à fait supérieur selon Depéret). De ce niveau supérieur proviennent les restes de *Titanosaurus* et de *Dryptosaurus* déjà signalés en 1899. Même si dans ses notes de 1900 Depéret ne mentionne pas expressément Castigno, il est clair à la lecture de son article de 1899 qu'il place le site de Castigno, qui a livré des restes de *Titanosaurus*, dans l'horizon supérieur, au-dessus des calcaires rognaciens. Il se rallie donc à l'opinion exprimée en 1896 par Miquel. Il est tout à fait clair aussi qu'il considère cet horizon comme appartenant au Crétacé, les dinosaures ayant survécu « dans le Midi de la France jusqu'à la limite

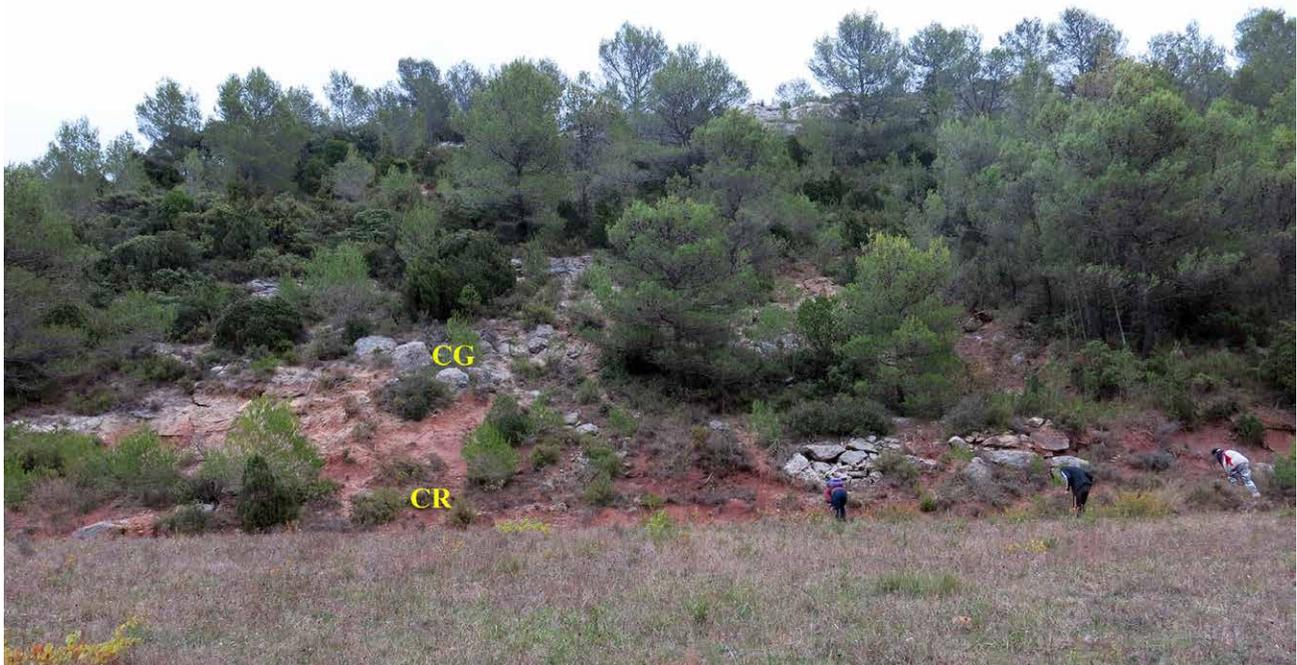


Fig. 4 – Flanc est du vallon de Castigno (octobre 2020). On constate que les calcaires gris « rognaciens » (CG) surmontent les couches rouges détritiques à restes de vertébrés (CR). Photo E. Buffetaut.

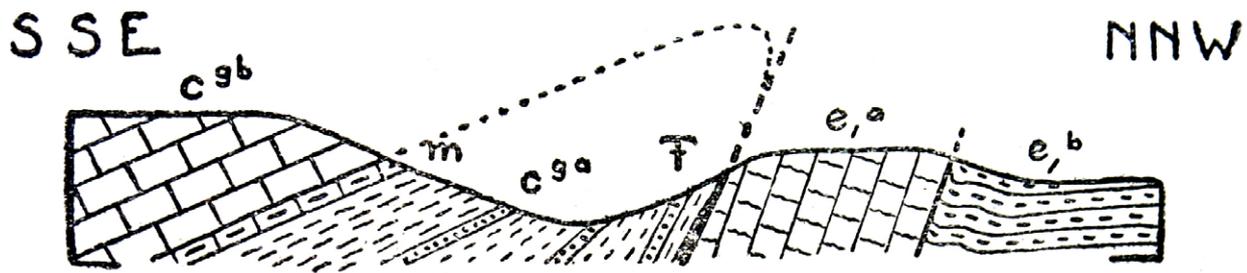


Fig. 5 – Coupe du vallon de Castigno par Lapparent (1947) présentant l'interprétation correcte de sa stratigraphie et de sa structure. **Légende** : c^{9a} , argiles et grès à reptiles ; c^9 , calcaire lacustre à *Bauxia* ; m, marno-calcaires ; e : Eocène. Les restes de vertébrés proviennent principalement des argiles et grès à reptiles, mais Lapparent signale aussi un os provenant des marno-calcaires (ce qui correspond à la position stratigraphique du gisement de vertébrés de Combelles, voir texte).

même des terrains crétacés et tertiaires » (Depéret, 1900c). Les interprétations de Depéret sont exprimées par la feuille de Bédarieux de la carte géologique de la France au 1/80 000 (**Fig. 2**), dont il est l'un des auteurs, publiée en 1900 (Depéret *et al.*, 1900). Les couches à dinosaures de Castigno y sont notées c^{9-c} , la légende indiquant « Argiles rutilantes à ossements de grands *Dinosauriens* du genre *Titanosaurus* (Castigno), identiques aux Argiles de Vitrolles de Provence », alors que l'horizon inférieur « à ossements de Dinosauriens » c^{9-a} est qualifié de « Grès à Reptiles de Saint-Chinian ». Ces deux formations à dinosaures sont séparées par les « Calcaires de Rognac », c^{9a} , en plusieurs bancs séparés par des marnes et contenant des mollusques fossiles.

Miquel (1904), dans un article sur les calcaires rognaciens des collines de Castigno, considère de même (et comme il l'avait fait en 1896) que les couches à dinosaures de Castigno surmontent les barres calcaires rognaciennes et sont attribuables au Vitrollien. Il l'exprime clairement dans une coupe du site de Castigno (**Fig. 3**).

La question se complique lorsque Emile Haug, dans son *Traité de Géologie* (Haug, 1911), donne une interprétation différente de l'âge des dinosaures de Castigno. Il ne met pas en doute l'interprétation de Depéret et de Miquel, qui fait des couches à dinosaures de Castigno un équivalent des argiles de Vitrolles, mais il considère que ces dernières appartiennent au Tertiaire, car elles contiennent en Provence des mollusques fossiles connus aussi dans le Montien, le plus ancien étage de l'ère tertiaire. Il en conclut donc (Haug, 1911, p. 1418) que « le Montien renferme encore quelquefois des survivants des faunes crétacées » dont des « Mégalosauriens » (il

fait sans doute allusion au prétendu *Dryptosaurus* de Depéret) et des Dinosauriens. Avec quelques autres signalements qui se sont révélés erronés, notamment en Patagonie, les dinosaures de Castigno ont ainsi contribué pendant un certain temps à alimenter l'idée d'une persistance de certains dinosaures jusque dans le Tertiaire (Buffetaut, 2021). Toutefois, Coulouma et Miquel (1930, p. 65) continuent à attribuer au Crétacé les vertébrés fossiles de Castigno, proposant en 1930 une interprétation différente de leur position géologique. Ils écrivent en effet que le calcaire de Rognac, attribué comme les marnes de Vitrolles au Danien, présente devant Castigno « un banc intercalé de marnes et de grès, riches en ossements de grands Dinosauriens, de crocodiles et de tortues ». S'il existe bien à Combelles des marnes grises à vertébrés intercalées dans les niveaux les plus inférieurs des calcaires (voir plus bas), les couches à dinosaures de Castigno sont en fait clairement sous-jacentes à ces derniers (**Fig. 4**).

Le problème des « dinosaures tertiaires » de Castigno fut résolu en 1938 par Albert Félix de Lapparent, qui montra que Depéret et Miquel avaient mal interprété la structure du vallon et la succession des couches. Le contact entre les couches éocènes et les argiles à dinosaures est en fait dû à une faille, et ces argiles se trouvent en réalité *au-dessous* des calcaires « rognaciens », ce qui est la situation habituelle des niveaux à dinosaures dans la région (on peut l'observer clairement par exemple à Montouliers). Une coupe publiée par Lapparent (1947) illustre la structure réelle du vallon de Castigno (**Fig. 5**). Les couches à dinosaures y sont en fait les « grès de Saint-Chinian » décrits par Depéret en 1899, et non pas les argiles rutilantes similaires aux argiles de Vitrolles, d'âge

paléocène, que l'on rencontre dans le Saint-Chinianais au-dessus des calcaires « rognaciens ». Comme Depéret avant lui, Lapparent attribuait au Danien les couches à dinosaures de la région, considérant cet étage comme le dernier étage du Crétacé, à l'instar de beaucoup de géologues jusqu'aux années 1980 (voir Montenat (2018) pour un historique des débats au sujet de la position stratigraphique du Danien). Suivant l'usage stratigraphique moderne, il faudrait donc les placer dans le Maastrichtien mais elles sont vraisemblablement un peu plus anciennes et pourraient appartenir au moins en partie au Campanien (voir plus bas).

On peut noter que ce n'est pas seulement à Castigno que Depéret attribua au Vitrollien les couches rouges à dinosaures du Saint-Chinianais. C'est ainsi qu'il interpréta aussi les niveaux fossilifères similaires qui affleurent à l'ouest du village de Montouliers, à quelques kilomètres au sud de Villespassans. Dans le compte-rendu d'une des excursions de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France de 1913, publié seulement en 1921 du fait de la Première guerre mondiale, au sujet des terrains visibles entre Bize et Montouliers, il note que la route suit un étroit vallon dans une dépression creusée « presque en entier dans les argiles rouges et les grès de l'étage de Vitrolles qui contiennent d'assez nombreux ossements de Dinosauriens » (Depéret, 1921, p. 81), avec notamment des fragments de grands os de titanosaures. Lapparent (1947, 1954) y recueillit ensuite divers restes de dinosaures, et c'est là que fut découvert le spécimen-type de l'ornithopode *Rhabdodon septimanicus*, décrit par Buffetaut et Le Loeuff (1991). Les fouilles menées dans ces couches par notre équipe ont livré une riche faune de vertébrés comprenant des poissons, des tortues, des crocodiles et des dinosaures (sauropodes, théropodes, ornithopodes, ankylosaures). Comme à Castigno, l'attribution par Depéret de ces argiles et grès rouges au Vitrollien est erronée, ces niveaux se trouvant en fait stratigraphiquement au-dessous des calcaires « rognaciens » visibles un peu plus au nord-ouest, comme le montre correctement la carte géologique au 1/50 000.

3. Résultats récents

Après une visite dans la région de Saint-Chinian, Lapparent (1954) écrivait que les sites à dinosaures y étaient « pratiquement épuisés » et que celui de Castigno ne livrait plus de pièces importantes (même si on y trouvait des fragments de coquilles d'oeufs de sauropodes, considérés alors comme extrêmement

rare – de tels fragments d'oeufs de dinosaures sont en fait très communs dans le Crétacé supérieur de la région). Ces affirmations de Lapparent, probablement dues au fait qu'il s'est contenté de prospections rapides, sans fouilles proprement dites, sont inexactes : les recherches réalisées depuis plus de vingt ans par le CNRS et le musée de Cruzy ont permis la récolte de milliers de spécimens de vertébrés du Crétacé supérieur provenant de divers sites (Buffetaut 2005a, 2018). Quelques résultats récents concernant Castigno seront présentés ici. Il faut noter d'abord que le site de Castigno ne peut être séparé de celui de Combebelle, situé à quelques centaines de mètres plus au sud, d'autant plus qu'un chemin tracé récemment les réunit et a mis au jour des affleurements qui permettent de suivre la succession des couches de façon assez continue depuis le fond du vallon de Castigno jusqu'au sommet de la colline de Combebelle. Ces nouveaux affleurements compensent le fait que toute la zone est certainement beaucoup plus envahie par la végétation qu'au temps des récoltes de Miquel et de Depéret, à une époque où de nombreux troupeaux de chèvres et de moutons parcouraient la région et limitaient le développement du couvert végétal.

3.1. Succession stratigraphique et changements de faciès

En empruntant le chemin qui monte du fond du vallon de Castigno à la colline de Combebelle-le-Haut, sur une distance de quelques centaines de mètres, on peut suivre la succession des dépôts continentaux du Crétacé supérieur, depuis les couches rouges détritiques correspondant aux « Grès à reptiles » de Depéret (dénomination encore utilisée par la carte géologique au 1/50 000, « c6 ») jusqu'aux bancs calcaires qui forment le sommet de la colline à l'est du vallon (« c7 » de la carte au 1/50 000). Nos observations confirment donc dans l'ensemble la coupe donnée par Lapparent en 1947 (**Fig. 5**).

Les Grès à Reptiles sont des dépôts détritiques au sein desquels alternent les niveaux argileux et les niveaux gréseux souvent lenticulaires et parfois très grossiers. Il s'agit clairement de dépôts fluviaux, déposés lors de crues sur une plaine d'inondation (argiles) ou dans des chenaux (grès), ainsi que cela a été reconstitué par Smektala *et al.* (2014) pour le site à vertébrés de Masecaps, à Cruzy, situé à quelques kilomètres au SW. D'après Freydet (1971a, b), ces couches correspondent à des décharges détritiques venues de hauteurs situées plus au nord, à l'emplacement de l'actuelle Montagne Noire.

Comme l'avait fait remarquer Miquel (1896), les



Fig. 6 – Passage des argiles rouges aux marnes grises entrecoupées de bancs calcaires à Combebelle (octobre 2020). Photo E. Buffetaut.

restes de vertébrés se trouvent dans toute la formation, aussi bien dans les niveaux gréseux que dans les argiles. Leur état de conservation est assez variable, certains os de dinosaures sont incomplets et déformés, alors que de fragiles os d'oiseaux sont en bon état ; cela est probablement dû à des durées et à des distances de transport différentes avant l'enfouissement.

Au-dessus des Grès à Reptiles se trouvent des marnes grises puis des bancs calcaires bien développés formant le sommet de la colline allongée qui borde le vallon à l'est. En montant le chemin vers Combebelle-le-Haut, on peut facilement observer comment les couches rouges détritiques passent graduellement à des marnes grises (**Fig. 6**), contenant d'abondantes plaquettes de gypse, entrecoupées de bancs calcaires, surmontées par les calcaires massifs traditionnellement assimilés au calcaire de Rognac de Provence. Le milieu de sédimentation devient donc beaucoup moins détritique, avec l'établissement d'un environnement apparemment lacustre ou palustre avec des indices d'évaporation (gypse) suggérant une certaine aridité du climat. Ces marnes grises à la base des calcaires, déjà connues de Miquel et de Lapparent, ont été signalées également par Freytet (1971a, b) et sont mentionnées dans la légende de la feuille de Saint-Chinian de la carte géologique au 1/50 000 comme constituant la partie supérieure du Campanien (Alabouvette *et al.*, 1982).

Miquel (1896) avait signalé la présence en certains points de la région de restes de vertébrés (tortues, « grands reptiles ») dans les marnes associées à ce qu'il appelait les « calcaires supérieurs », et Lapparent (1947) avait noté avoir trouvé un fragment d'os long dans les marno-calcaires à Castigno, tout en considérant ce cas comme exceptionnel. A Combebelle, cependant, notre équipe fouille de façon épisodique, depuis une vingtaine d'années, un site à vertébrés situé dans un niveau de marnes grises intercalé entre deux bancs calcaires. Les os, de couleur noire, ont un aspect très différent de ceux, de couleur généralement brunâtre, trouvés dans les couches rouges sous-jacentes. Incidemment, on peut noter qu'ailleurs dans la région, les calcaires « rognaciens » contiennent en certains points des ossements et des œufs de dinosaures, notamment près du village de Cazedarnes (Buffetaut, 2005a).

3.2. Aperçu sur les vertébrés fossiles de Castigno et Combebelle

Bien que Miquel y ait récolté des quantités importantes de fossiles (voir plus haut), Depéret semble n'avoir pu identifier à Castigno que des restes du sauropode qu'il croyait être *Titanosaurus*. Si Coulouma et Miquel (1930) rapportent la présence

de dinosaures, crocodiles et tortues, Lapparent (1947) n'y signale plus, d'après les récoltes de M. Bourdelle, d'Assignan, que des ossements indéterminables et des fragments de coquilles d'oeufs de dinosaures analogues à ceux du bassin d'Aix-en-Provence. En 1954, il ajoute à cette liste des plaques de tortues. A la suite de nos recherches, il est possible d'augmenter sensiblement la liste faunique des sites de Castigno et de Combebelle, même si l'étude des fossiles recueillis est encore en cours. La plupart des fossiles récoltés depuis 2019 étant encore en cours d'étude, cette liste est provisoire et les illustrations ne visent pas à donner un aperçu complet de la faune, mais à présenter quelques spécimens récemment découverts.

Castigno :

Les fossiles proviennent de plusieurs niveaux au sein de la Formation des Grès à Reptiles, étagés sur une épaisseur d'une dizaine de mètres, à partir du fond du vallon, et qui sont donc d'âges un peu différents, même si les durées les séparant ne peuvent pas être estimées. La liste faunique provisoire est la suivante :

- Tortues (Fig. 7) :

? Helochelyridae : petits fragments de carapace ornementés de pustules plus ou moins allongées. L'ornementation ressemble à celle de *Solemys* mais est plus prononcée.

Pleurodires : fragment de dossière constitué des plaques costales 7-8, avec la trace d'attachement

de l'ilion sur la face interne, attribuable à un représentant des Foxemydina (Bothremyidae).

- Crocodiles : dent d'un crocodile indéterminé de petite taille. Des restes de crocodiles ont été signalés à Castigno par Coulouma et Miquel (1930), sans description.

- Dinosaures (non-aviens) :

Sauropodes : os longs de sauropodes de grande taille, attribuables à des titanosaures. L'attribution par Depéret d'ossements de sauropodes de Castigno à *Titanosaurus*, genre décrit à l'origine en Inde, bien qu'acceptée par Lapparent (1947), ne peut être retenue. L'étude des titanosaures découverts lors des fouilles récentes sur plusieurs sites de la région de Saint-Chinian est en cours et laisse penser que plusieurs taxons sont présents. La détermination des spécimens trouvés à Castigno, dont un grand fémur (Fig. 8), reste à préciser.

Théropodes : une dent de petite taille découverte en 2020 paraît appartenir à un représentant des Dromaeosauridae.

Ornithopodes : *Rhabdodon* est représenté notamment par un tibia de grande taille.

- Oiseaux (Fig. 9) :

Enantiornithes : représentés par un coracoïde de grande taille trouvé en 2019, indiquant un nouveau taxon.

Gargantuaviidae : deux scapulas de très grande

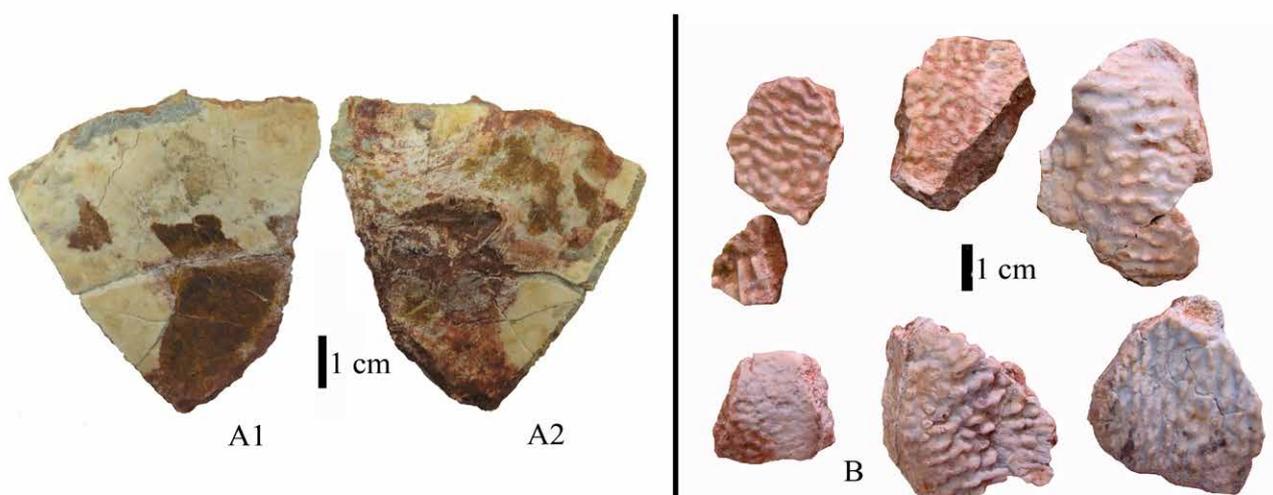


Fig. 7 – Restes de tortues provenant des couches argilo-gréseuses rouges à Castigno. A : fragment de dossière de Foxemydina (A1 : face externe ; A2 : face interne), constitué des plaques costales 7-8, avec la trace d'attachement de l'ilion sur la face interne. B : fragments de carapaces d'Helochelyridae (?), vue externe. Musée de Cruzy. Photos H. Tong/J. Claude.



Fig. 8 – Fémur de titanosaure provenant des couches argilo-gréseuses rouges à Castigno. Musée de Cruzy. Photo E. Buffetaut.

taille, appartenant très probablement au même individu, trouvées en 2020, appartiennent à un oiseau géant, attribuable vraisemblablement à la famille des Gargantuaviidae. Cette famille est représentée à Montplo-Nord (Cruzy) par divers ossements attribués à *Gargantuavis philoinos* et à Combebelle par un fémur incomplet de grande taille (voir plus bas).

- Oeufs fossiles

Les fragments de coquilles d’oeufs sont très abondants dans ces niveaux et montrent des épaisseurs et ornements divers. L'apparent les a signalés dès 1954 en les attribuant à des sauropodes, et Garcia et Valentin (2001-2002)

ont fourni des identifications plus précises en utilisant une terminologie parataxonomique. Une nouvelle étude est souhaitable à partir du matériel récemment recueilli.

Combebelle :

Les restes de vertébrés proviennent d'un niveau de marnes grises intercalé entre des bancs calcaires, au-dessous de la première épaisse barre calcaire. Des tamisages réalisés en 2021 ont permis de recueillir des ostracodes et des microrestes de vertébrés (anoures, squamates), qui témoignent du grand potentiel du site dans ce domaine.

- **Amphibiens (?)** : petites vertèbres amphicoeles appartenant possiblement à des anoures.

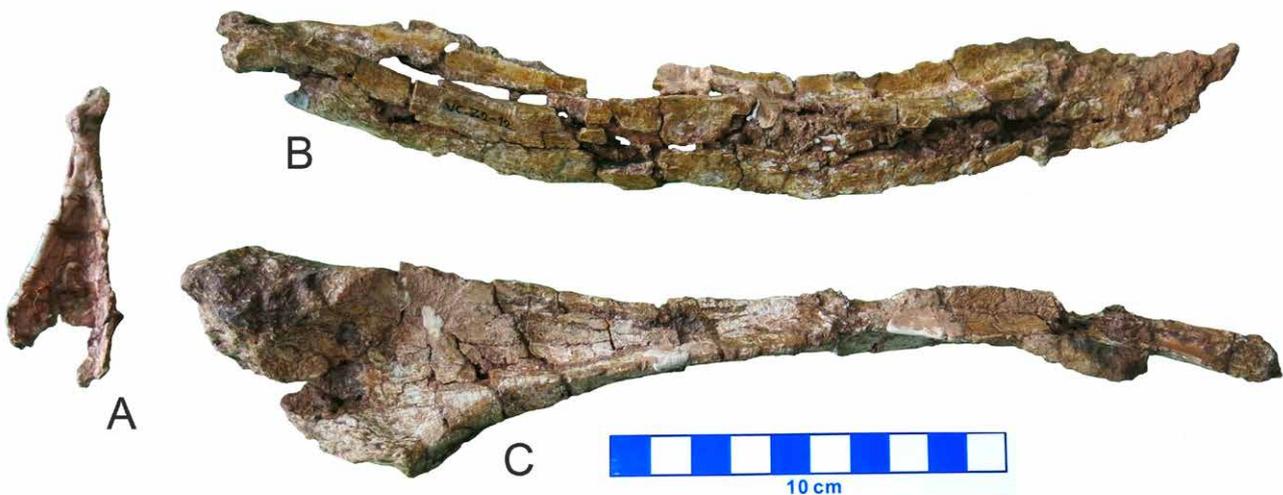


Fig. 9 – Restes d’oiseaux provenant des couches argilo-gréseuses rouges à Castigno. A : coracoïde droit d’enantiornithe, vue dorsale – Musée de Cruzy, VC-Z2-6 ; B, C : scapulas de Gargantuaviidae (B : scapula droite en vue dorsale – Musée de Cruzy, VC-Z2-12 ; C : scapula gauche en vue latérale – Musée de Cruzy, VC-Z2-11). Photos E. Buffetaut.

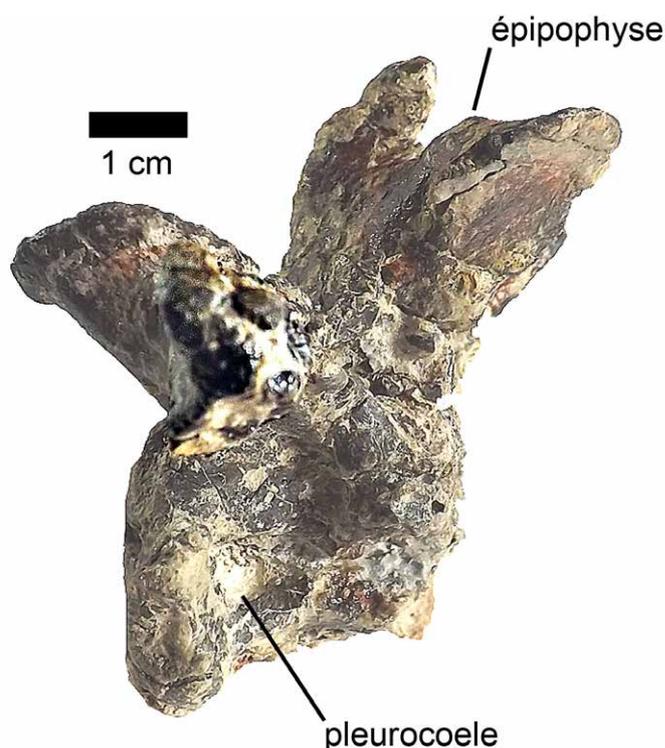


Fig. 10 – Vertèbre de petit dinosaure théropode (*Dromaeosauridae* ?) provenant des marnes grises de Combeville, en vue latérale gauche. Musée de Cruzy. Photo D. Boschetto.

- **Squamates** : fragment de mâchoire portant plusieurs dents.

- **Dinosaures (non-aviens)** :

Sauropodes : vertèbre caudale de titanosaure (Musée des Dinosaures d'Espéraza).

Théropodes : petites dents de théropodes rapportées à la famille des *Dromaeosauridae* par Chanthasit & Buffetaut (2009). Une vertèbre cervicale de petite taille attribuable à ce groupe a été trouvée lors des fouilles de 2020 (**Fig. 10**).

Ornithopodes : restes d'un *Rhabdodon* robuste de grande taille, comprenant notamment deux fémurs et un tibia (Musée de Cruzy, voir Chanthasit, 2010).

- **Oiseaux** : un fémur incomplet de grande taille (Musée des Dinosaures d'Espéraza, MDE - A8), d'abord rapporté à *Gargantuavis philoinos* (Buffetaut & Le Loeuff, 1998 ; Buffetaut, 2012), pourrait en fait appartenir à un taxon distinct, de la famille des *Gargantuaviidae* (Buffetaut & Angst, 2019). Ce spécimen a fait l'objet d'une étude histologique confirmant son appartenance à un oiseau (Chinsamy *et al.*, 2014).

4. Âge des niveaux à vertébrés de Castigno/Combeville

Une fois l'hypothèse de dinosaures tertiaires éliminée à la suite des observations de

Lapparent (1938), les Grès à Reptiles de Castigno furent longtemps rapportés au Danien, considéré alors comme le dernier étage du Crétacé. Ainsi Castéras (1945) les attribuait-il au Danien inférieur. Bien que, selon Montenat (2018), l'attribution au Danien des niveaux à dinosaures du Sud de la France ait été un contresens, ce fut l'option retenue par Lapparent (1947, 1954). Ce n'est que dans son dernier article mentionnant les dinosaures de la région de Saint-Chinian (Lapparent, 1967) qu'il les attribua au Maastrichtien, en ajoutant toutefois « et Danien ». Les controverses au sujet de la position stratigraphique du Danien ayant été réglées avec son placement définitif à la base du Cénozoïque, en 1979 (voir Montenat, 2018 pour une histoire des débats au sujet du Danien), l'attribution des couches à dinosaures de Castigno à cet étage ne pouvait qu'être abandonnée.

La question de l'âge précis de ces vertébrés restait posée. Dans ses études détaillées sur le Crétacé supérieur du Languedoc, Freytet (1971a, b) s'est intéressé à la position stratigraphique des niveaux à dinosaures du chaînon de Saint-Chinian, y compris ceux de Castigno, mais il l'a fait en combinant la nomenclature stratigraphique internationale et les étages locaux définis en Provence (Valdonnien, Fuvélien, Bégudien, Rognacien), ce qui ne pouvait que compliquer les choses. Il faut remarquer d'ailleurs qu'en privilégiant les comparaisons avec la Provence, Freytet ne faisait que poursuivre une tendance initiée dès les travaux de Miquel et Depéret, et que l'on

retrouve encore par exemple dans un article de Laurent *et al.* (2001) sur les corrélations interrégionales du Campanien/Maastrichtien du Sud de la France, où la Provence et le Bas-Languedoc sont traités comme un ensemble, auquel les subdivisions locales définies en Provence sont appliquées. Au contraire, fort peu de comparaisons ont été tentées avec les dépôts du Crétacé supérieur des régions sous-pyrénéennes, pourtant géographiquement proches, même si Leymerie (1866a, b) attribuait les couches de la région de Saint-Chinian à son « Garumnien » (un étage défini dans les Pyrénées regroupant des formations situées de part et d'autre de la limite Crétacé-Paléogène), suivi en cela en partie par Rouville (1876), qui utilisait d'autre part le terme de « Formation lacustre sous-nummulitique » pour désigner l'ensemble des couches lacustres sous-jacentes aux dépôts marins à nummulites dans l'Hérault. Il plaçait d'ailleurs dans cette formation ce qu'il appelait les Grès de Saint-Chinian, dans lesquels il ne signalait pas de fossile. En dépit de ces tentatives de corrélation avec les régions sous-pyrénéennes, ou pour proposer des noms de formations locaux, c'est bien avec la Provence que la plupart des auteurs ont cherché des similitudes. La raison pour laquelle les noms d'étages provençaux ont été utilisés si souvent pour désigner les formations de la région de Saint-Chinian tient sans doute aux ressemblances plus marquées avec la Provence qu'avec les régions sous-pyrénéennes en ce qui concerne les faciès sédimentaires et leur succession.

Le niveau-repère principal dans le Crétacé du chaînon de Saint-Chinian est constitué par les bancs calcaires, bien visibles dans la topographie, qui

couronnent la série crétacée à Castigno et Combeville. Dès 1896, Miquel, on l'a vu, les assimilait au Calcaire de Rognac de Provence, point de vue partagé par Depéret (1899). Cette corrélation n'est pas seulement fondée sur des similarités lithologiques, puisqu'elle a aussi des bases paléontologiques, à savoir les ressemblances entre la faune de gastéropodes de ces calcaires et celle du Calcaire de Rognac. Miquel ayant découvert de riches gisements de ces fossiles, Depéret (1899) les utilisa pour identifier totalement les calcaires du Saint-Chinianais au Calcaire de Rognac provençal. Il fut suivi en cela par Miquel (1904), qui s'appuya en outre sur une étude détaillée par Caziot (1904) des mollusques fossiles qu'il avait récoltés. Nous avons d'ailleurs récolté à Castigno quelques gastéropodes provenant des niveaux calcaires, dont l'un (**Fig. 11**) a été identifié par M. Guy Turin (com. pers.) comme appartenant à *Palaeocyclophorus heliciformis* (Matheron, 1832), taxon présent dans le Bégudien et le Rognacien de Provence. La corrélation entre les calcaires qui couronnent le Crétacé dans le Saint-Chinianais et le Calcaire de Rognac a été acceptée avec une certaine unanimité par les auteurs plus récents, et notamment par Freytet (1971a, b) qui, on l'a vu, place les calcaires en question dans le Bégudo-Rognacien, attribution reprise dans la notice de la feuille Saint-Chinian au 1/50 000 (Alabouvette *et al.*, 1982). Si on accepte cette corrélation pour la coupe de Castigno/Combeville, la question de l'âge des couches sous-jacentes aux calcaires mérite d'être débattue.

Selon Freytet (1971a, b), les dinosaures de la région étaient campaniens. Dans la légende de la

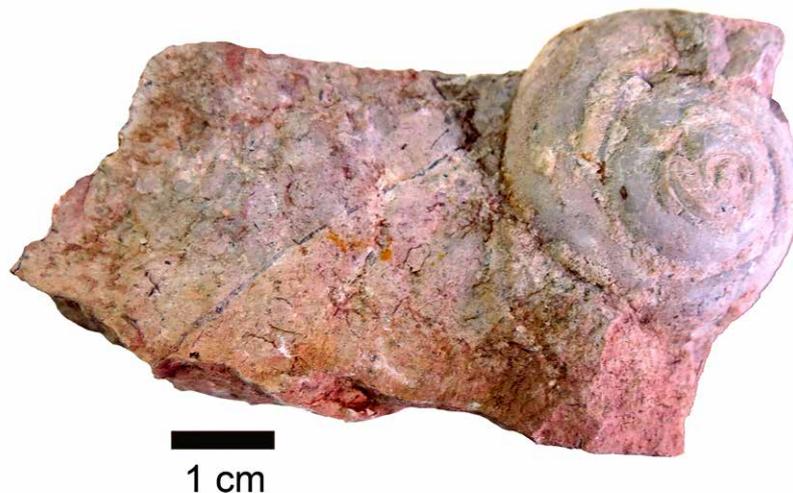


Fig. 11 – *Palaeocyclophorus heliciformis*, gastéropode provenant des calcaires « rognaciens » à Castigno. Identification : Guy Turin. Musée de Cruzy. Photo E. Buffetaut.

feuille de Saint-Chinian au 1/50 000 (Alabouvette *et al.*, 1982), la partie consacrée au Crétacé (rédigée par Freytet) place les Grès à Reptiles et les marnes grises qui les surmontent dans le « Campanien (Valdo-Fuvélien) » et les calcaires et marnes sus-jacents dans le « Maastrichtien (Bégudo-Rognacien) » (**Fig. 1**). Ces attributions impliquent, on l'a vu, des corrélations avec les formations continentales du Crétacé supérieur de Provence et les étages locaux qui y ont été définis. Les ressemblances lithologiques doivent cependant être utilisées avec prudence, car même à l'échelle locale les changements latéraux de faciès peuvent être notables, comme on peut le constater dans le bassin d'Aix-en-Provence par exemple (Tortosa, 2014). D'autre part, les équivalences entre les étages provençaux et l'échelle stratigraphique internationale ont fait l'objet de nombreuses discussions et celles admises par Freytet ne sont plus complètement acceptées aujourd'hui, le Bégudo-Rognacien étant considéré comme en partie campanien.

En ce qui concerne les marnes grises qui précèdent immédiatement les calcaires à Combeville et ailleurs, et qui en fait s'interstratifient avec les premiers bancs calcaires, on peut noter que la notice de la carte au 1/50 000 (Alabouvette *et al.*, 1982) les place dans le Campanien (Valdo-Fuvélien). Toutefois, Feist et Freytet (1983), dans une étude sur les implications stratigraphiques des charophytes trouvées dans le Crétacé supérieur du Languedoc, indiquent que des taxons indiquant le Rognacien inférieur ont été trouvés dans les marnes grises sous-jacentes aux calcaires au Caylar et à Fargoussières, localités situées à quelques kilomètres de Combeville. A Combeville même, des charophytes ont été trouvées mais n'ont pas fait l'objet d'identifications (Jeremy Martin com. pers.). Des ostracodes provenant également de Combeville sembleraient indiquer un âge « rognacien » (Jeremy Martin com. pers.), ce que les découvertes récentes permettraient peut-être de confirmer. Les marnes grises de Combeville – et le gisement de vertébrés qu'elles renferment – pourraient donc être corrélées avec le Rognacien inférieur (où on observe également des niveaux marneux gris à la base des calcaires).

Dans un tableau synthétique, Feist et Freytet (1983) indiquent, au-dessous de ces marnes grises (attribuées au Rognacien inférieur), la partie supérieure des grès et limons de Pierrerue, censée être azoïque et attribuée au Bégudien, les restes de reptiles se trouvant dans la partie inférieure de ces grès et limons, attribuée au Fuvélien. Ce n'est clairement pas ce que l'on observe à Castigno, où on trouve des restes de vertébrés abondants dans les argiles et grès rouges directement sous-jacents aux argiles grises.

Il convient de mentionner aussi l'étude de Garcia et Valentin (2001-2002) sur les coquilles d'oeufs de dinosaures du chaînon de Saint-Chinian. Ces auteurs signalent à Castigno les ootaxons *Cairanoolithus roussetensis* et *Megaloolithus siruguei*, association qui indiquerait un âge un peu plus récent que celles trouvées à Cruzy (Massecaps) et Montouliers. Il s'agirait de Rognacien inférieur, qui correspondrait selon Garcia et Valentin au Maastrichtien inférieur, corrélation qui n'est plus acceptée aujourd'hui car on le place plutôt dans le Campanien supérieur (Tortosa, 2014), notamment d'après des données magnétostratigraphiques (Cojan & Moreau, 2006).

Si l'on choisit d'utiliser les étages locaux provençaux et de tenter des corrélations, on peut donc considérer que les niveaux rouges à vertébrés de Castigno correspondraient aux « Argiles et grès inférieurs à reptiles », ou « Argiles rutilantes inférieures » du bassin d'Aix. Les calcaires sus-jacents débutant par des marnes grises contenant, à Combeville, des restes de vertébrés correspondraient au « Calcaire de Rognac ». L'ensemble de ces formations pourrait être corrélé avec le Rognacien inférieur (au sens de Tortosa, 2014), lui-même considéré comme appartenant au Campanien supérieur. Cette interprétation serait valable pour Castigno/Combeville et d'autres sites de la région (notamment Montouliers) où la succession des marnes et grès suivis des calcaires est bien observable.

Il faut néanmoins souligner que ces corrélations avec les étages locaux provençaux doivent être prises avec précaution. Il s'agit largement de corrélations lithostratigraphiques dont la fiabilité n'est pas assurée, et les compléments biostratigraphiques (fondés sur les gastéropodes, les charophytes, les œufs de dinosaures) qui peuvent être apportés ne sont pas nécessairement d'une très grande précision.

Les restes de vertébrés récoltés fournissent quelques indications : l'assemblage de dinosaures, avec l'association de *Rhabdodon* et de titanosaures, mais sans hadrosaures, indique que l'on se trouve avant le changement faunique qui voit l'arrivée d'hadrosaures en Europe occidentale pendant le Maastrichtien (Le Loeuff *et al.*, 1994 ; Csiki-Sava *et al.*, 2015). Mais il semble difficile à l'heure actuelle de distinguer clairement les faunes de vertébrés du Campanien supérieur de celles du début du Maastrichtien.

Si on accepte les corrélations suggérées plus haut, la série visible à Castigno/Combeville comprenant les grès et argiles rouges à vertébrés puis les marnes grises,

contenant également des vertébrés, et les calcaires à mollusques « rognaciens » pourrait donc appartenir à la partie supérieure du Campanien, et pourrait être âgée d'un peu plus de 72 millions d'années. Toutefois, pour éviter les écueils des corrélations à distance en milieu continental et préciser les choses, il est très souhaitable qu'une étude magnétostratigraphique soit réalisée sur la coupe de Castigno/Combeville, comme cela a été fait par exemple sur des formations d'âge comparable dans la haute vallée de l'Aude (Fondevilla *et al.*, 2015).

5. Conclusion

Les couches à dinosaures de Castigno, connues depuis les années 1890, ont été le sujet de nombreuses interprétations et discussions. Contrairement à ce qui a pu être écrit, le site de Castigno n'est nullement épuisé. Les recherches que nous y menons depuis plusieurs années ont révélé la présence de plusieurs riches niveaux à vertébrés (pas seulement des dinosaures !) dans les grès et argiles rouges qui affleurent dans le vallon de Castigno ainsi que d'un gisement important dans les marnes grises situées à la base des calcaires « rognaciens » à Combeville. L'ensemble constitue un site particulièrement remarquable, jusqu'ici unique dans la région.

Les corrélations stratigraphiques tentées notamment avec les étages locaux utilisés en Provence laissent penser que les niveaux à vertébrés de Castigno-Combeville sont l'équivalent du Rognacien inférieur provençal, ce qui correspondrait, dans l'échelle chronostratigraphique internationale, à la partie supérieure du Campanien. Il est cependant souhaitable que ces corrélations soient confirmées par des études magnétostratigraphiques.

Les niveaux à vertébrés de Castigno/Combeville fournissent la possibilité de suivre l'évolution des assemblages fauniques de vertébrés du Crétacé supérieur sur une durée qui reste à déterminer. Il existe peu de sites comparables non seulement dans la région de Saint-Chinian, mais aussi dans le Sud de la France en général, et des études plus poussées sont donc prévues pour tenter de déterminer si des changements sont observables dans la composition des faunes entre les niveaux fossilifères les plus anciens et les plus récents. Les changements lithologiques observés (passage de dépôts fluviaux à des couches déposées en milieu lacustre ou palustre, avec indices évaporitiques) conduisent d'ailleurs à envisager des changements environnementaux qui ont pu aussi avoir une influence sur la composition des faunes.

Remerciements Nous remercions tout particulièrement Jean-Christophe Petit, maire de Villespassans, pour son soutien et pour l'autorisation de mener des recherches sur les terrains communaux. Merci également aux responsables du domaine de Castigno pour l'intérêt porté à nos recherches. Nos remerciements vont aussi aux étudiants qui ont participé aux recherches en 2020, ainsi qu'à Guy Turin, qui a identifié le gastéropode figuré dans cet article, à Annelise Folie pour ses indications au sujet des microvertébrés et au relecteur pour ses suggestions. Les recherches ont été financées par le CNRS et le Laboratoire de Géologie de l'École Normale Supérieure de Paris (UMR 8538) et le musée de Cruzy.

Références

- Alabouvette B., Arthaud F., Bambier A., Freydet P. & Paloc H. (1982) – Notice explicative de la feuille Saint-Chinian à 1/50 000. BRGM, Orléans. 44 p.
- Buffetaut E. (2005a) – Sur les chemins des dinosaures. Aurian, Béziers. 88 p.
- Buffetaut E. (2005b) – Late Cretaceous vertebrates from the Saint-Chinian area (southern France): a review of previous research and an update on recent finds. *Acta Palaeontologica Romaniaae*, 5 : 39-48.
- Buffetaut E. (2012) – Les oiseaux fossiles du Crétacé supérieur de l'Hérault. *Bulletin de la Société d'étude des sciences naturelles de Béziers*, 66 : 34-39.
- Buffetaut E. (2018) – Une île du Crétacé sous les vignes. *Espèces*, 28 : 32-40.
- Buffetaut E. (2021) – Castigno, le vallon des dinosaures anachroniques. *Espèces*, 39 : 84-89.
- Buffetaut E. & Angst D. (2019) – A femur of the Late Cretaceous giant bird *Gargantuavis* from Cruzy (southern France) and its systematic implications. *Palaeovertebrata*, 42(1) : 1-6.
- Buffetaut E. & Le Lœuff J. (1991) – Une nouvelle espèce de *Rhabdodon* (Dinosauria, Ornithischia) du Crétacé supérieur de l'Hérault (Sud de la France). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, Série II, 312 : 943-948.
- Buffetaut E. & Le Lœuff J. (1998) – A new giant ground bird from the Upper Cretaceous of southern France. *Journal of the Geological Society*, London, 155 : 1-4.
- Castéras M. (1945) – Observations relatives à la structure du chaînon de Saint-Chinian (Hérault).

- Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 80 : 119-144.
- Caziot E. (1904) – Description des mollusques rognaciens des collines de Castigno. *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences naturelles de Béziers*, 27 : 16-33.
- Chinsamy A., Buffetaut E., Canoville A. & Angst D. (2014) – Insight into the growth dynamics and systematic affinities of the Late Cretaceous *Gargantuavis* from bone microstructure. *Naturwissenschaften*, 101 : 447-452.
- Chanthasit P. (2010) – The ornithomimid dinosaur *Rhabdodon* from the Late Cretaceous of France : anatomy, systematics and paleobiology. Thèse de paléontologie, Université Claude Bernard – Lyon I. 195 p.
- Chanthasit P. & Buffetaut E. (2009) – New data on the Dromaeosauridae (Dinosauria : Theropoda) from the Late Cretaceous of southern France. *Bulletin de la Société géologique de France*, 180 : 145-154.
- Cojan I. & Moreau M.G. (2006) – Correlation of terrestrial climatic fluctuations with global signals during the Upper Cretaceous-Danian in a compressive setting (Provence, France). *Journal of Sedimentary Research*, 76 : 589-604.
- Coulouma J. & Miquel J. (1930) – Essai sur le bassin de la Cesse (suite). Aperçu géologique. *Bulletin de la Société languedocienne de géographie* : 57-70.
- Csiki-Sava Z., Buffetaut E., Ösi A., Pereda-Suberbiola X. & Brusatte S.L. (2015) – Island life in the Cretaceous - faunal composition, biogeography, evolution, and extinction of landliving vertebrates on the Late Cretaceous European archipelago. *Zootaxa*, 469 : 1-161.
- Depéret Ch. (1899) – Aperçu sur la géologie du chaînon de Saint-Chinian. *Bulletin de la Société géologique de France*, 27 : 686-709.
- Depéret Ch. (1900a) – Sur les dinosauriens des étages de Rognac et de Vitrolles au pied de la Montagne Noire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 138 : 637-639.
- Depéret Ch. (1900b) – Sur des restes de dinosauriens du Crétacé supérieur de la région de Saint-Chinian. *Bulletin de la Société géologique de France*, 28 : 107-108.
- Depéret Ch. (1900c) – Note sur de nouveaux dinosauriens du Crétacé supérieur de la Montagne Noire. *Bulletin de la Société géologique de France*, 28 : 530.
- Depéret Ch. (1921) – Le Mont Cayla, Bize et Montredon. In Réunion extraordinaire de la Société géologique de France du 28 septembre au 3 octobre 1913, Environs de Narbonne, Corbières septentrionales (Aude) et Minervois (Hérault), Paris, Société géologique de France : 79-82.
- Depéret Ch., Bergeron J. & Nicklès R. (1900) – Feuille de Bédarieux. Carte géologique de la France au 1/80 000. Service de la carte géologique de la France, Paris.
- Feist M. & Freydet P. (1983) – Conséquences stratigraphiques de la répartition des charophytes dans le Campanien et le Maastrichtien du Languedoc. *Géologie Méditerranéenne*, 10 : 291-301.
- Fondevilla V., Dinarès-Turell J., Vila B., Le Loeuff J., Estrada R., Oms O. & Galobart A. (2015) – Magnetostratigraphy of the Maastrichtian continental record in the Upper Aude Valley northern Pyrenees, France): Placing age constraints on the succession of dinosaur-bearing sites. *Cretaceous Research* 57 : 457-472.
- Freydet P. (1971a) – Les dépôts continentaux et marins du Crétacé supérieur et des couches de passage à l'Eocène en Languedoc. Thèse de doctorat d'état, Université d'Orsay. 490 p.
- Freydet J. (1971b) – Les dépôts continentaux et marins du Crétacé supérieur et des couches de passage à l'Eocène en Languedoc. *Bulletin du BRGM, section I (Géologie de la France)*, 4 : 1-54.
- Garcia G. & Valentin X. (2001-2002) – Les restes d'oeufs de dinosaures dans les séries continentales du chaînon de Saint-Chinian (Crétacé supérieur, 80-70 Ma). *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences naturelles de Béziers*, 19 (60) : 11-16.
- Gervais P. (1877a) – De la structure des coquilles calcaires des œufs et des caractères que l'on peut en tirer. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 84 : 159-165.
- Gervais P. (1877b) – Structure des coquilles calcaires des œufs et caractères que l'on peut en tirer. *Journal de Zoologie*, 6 : 88-96.
- Haug E. (1911) – Traité de Géologie. II Les Périodes géologiques. Fascicule 3. Armand Colin, Paris : 1398-2024.
- Lapparent A.F. de (1938) – Sur l'âge crétacé de tous les gisements de dinosauriens au pied de la Montagne Noire. *Comptes Rendus sommaires des séances de la Société géologique de France* : 288-290.
- Lapparent A.F. de (1947) – Les dinosauriens du Crétacé supérieur du Midi de la France. *Mémoires de la Société géologique de France*, 56 : 1-34.

- Lapparent A.F. de (1954) – Nouvelle révision des gisements à dinosaures de la région de Saint-Chinian. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4 : 409-413.
- Lapparent A.F. de (1967) - Les dinosaures de France. *Sciences*, 51: 4-19.
- Laurent Y., Le Loeuff, J., Bilotte, M., Buffetaut, E. & Odin, G.S. (2001) – Campanian-Maastrichtian continental-marine connection at the Aquitaine-Pyrenees-Provence area (S France). *In The Campanian-Maastrichtian boundary: G.S. Odin (ed.)*, Elsevier, Amsterdam, 659-674.
- Le Loeuff J., Buffetaut E., & Martin M. (1994) – The last stages of dinosaur faunal history in Europe: a succession of Maastrichtian dinosaur assemblages from the Corbières (southern France). *Geological Magazine*, 131 : 625-630.
- Leymerie A. (1866a) – Note sur un nouveau type très-répandu dans le midi de la France, et qui serait parallèle à la craie danienne. *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 63 : 44-47.
- Leymerie A. (1866b) – Sur l'âge du système d'argiles rouges et de calcaire compacte, compris entre Bize et Saint-Chinian. *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 63 :1069-1071.
- Miquel J. (1896) – Note sur la géologie des terrains secondaires et des terrains tertiaires du département de l'Hérault. *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences naturelles de Béziers*, 19 : 31-74.
- Miquel J. (1904) – Essai sur les calcaires rognaciens des collines de Castigno. *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences naturelles de Béziers*, 27 : 7-15.
- Montenat C. (2018) – Un peu d'histoire. *In Stratotype Danien : C. Montenat & D. Merle (éds)*, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris : 35-75.
- Rouville P. de (1876) – Introduction à la description géologique du département de l'Hérault. Boehm & Fils, Montpellier. 221 p.
- Smektala F., Buffetaut E. & Deconinck J.F. (2014) – Rivers as repositories for fossil vertebrates: a case study from the Upper Cretaceous of southern France. *Proceedings of the Geologists' Association*, 125 : 567-577.
- Tortosa T. (2014) – Vertébrés continentaux du Crétacé supérieur de Provence (Sud-Est de la France). Thèse de doctorat en paléontologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6. 409 p.

Soumis le le 31 mars 2021

Accepté le 2 avril 2021

Publié en ligne (pdf) le 20 avril 2021

Suivi de la date de première apparition d'*Ophrys occidentalis* (Scappaticci) Scappaticci et Demange

Christian TSCHOCKE¹ et Laurent BOULET²

Résumé

L'induction florale dépend de multiples stimuli dont plusieurs données météorologiques telles la durée d'ensoleillement et la température. Sur le long terme, l'évolution de ces données est également un marqueur du changement climatique si bien que le suivi de la date de l'apparition de la première fleur peut devenir un indicateur climatique fiable à la condition de la mise en œuvre d'un programme scientifique pluriannuel. *Ophrys occidentalis* appartient au groupe complexe des *Ophrys* de la section des *Ophrys aranifera* Huds., 1778 comprenant entre autre la série *arachnitiformis* Grenier & Philippe (1859) décrite dans la flore des « Orchidées de France, Belgique et Luxembourg » de Bournerias *et al.* (2005).

Mots clés : *Ophrys*, *occidentalis*, *aranifera*, *arachnitiformis*, changement climatique.

Abstract

Flower induction depends of a lot of stimuli, including meteorological data such as the duration of sunshine and temperature. In the long term, the evolution of these data is also a marker of climate change so that the monitoring of the date of the appearance of the first flower can become a reliable climatic indicator of the condition of the implementation of a multi year scientific program. *Ophrys occidentalis* belongs to the complex group of *Ophrys* of the section of *Ophrys aranifera* Huds., 1778 including among others the *O. arachnitiformis* Grenier & Philippe (1859) series described in the flora of " *Ophrys* of France, Belgium and Luxembourg" by Bournerias *et al.* (2015).

Keywords : *Ophrys*, *occidentalis*, *aranifera*, *arachnitiformis*, climate change.

Introduction

L'orchidée *Ophrys occidentalis* est la première à fleurir sur la pelouse sèche d'Al Cuzoul située sur la commune de Bruniquel au long de la route se dirigeant vers le hameau des Abriols. Elle apparaît avec une précocité de plus en plus marquée ces dernières années (Fig. 1).

Il ne serait pas sérieux de tirer des conclusions scientifiques sur une durée aussi courte, mais à l'évidence il semble que nous notons une tendance à l'avancement de la floraison d'*Ophrys occidentalis*. Il convient également de préciser que la première apparition est très rapidement suivie de la floraison de plusieurs individus, souvent dès le lendemain, puis nous notons un étalement de la floraison de

toute la population de l'espèce durant tout le mois de mars. Selon l'hypothèse que les différentes étapes phénologiques de la végétation dépendent, entre autres, des conditions météorologiques. Le suivi pluriannuel de la première floraison d'*Ophrys occidentalis* peut permettre de traduire une modification du climat.

Description de l'espèce : *Ophrys occidentalis*

Ophrys occidentalis synonyme d'*Ophrys arachnitiformis* est aussi nommée *O. exaltata* subsp. *marzuola* (Geniez, Melki & Soca, 2002) ou *Ophrys* de mars. Comme son nom l'indique, cette orchidée est surtout visible dans la seconde moitié du mois de mars. Pouvoir l'observer au mois d'avril reste exceptionnel, bien qu'il existe quelques retardataires.

¹ 8, rue de la fontaine 82 800 Bruniquel - christian.tschocke@cegetel.net

² 46 200 Laramière - laurent.boulet0828@orange.fr

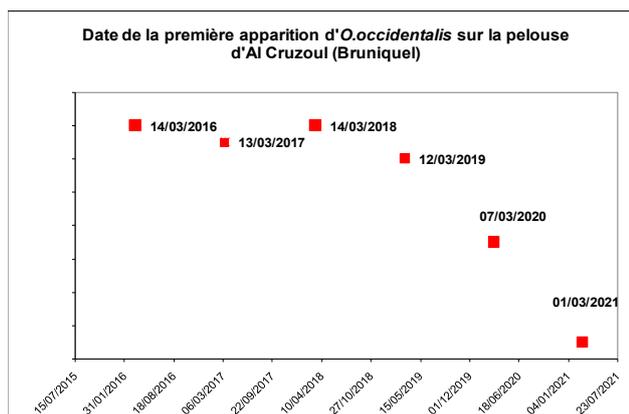


Fig. 1 - Date d'apparition d'*Ophrys occidentalis* sur la pelouse d'Al Cruzoul.

Ophrys occidentalis (**Fig. 2**) est une plante plutôt méridionale de taille peu élevée. Les sépales sont en général verts, parfois blanc rosé. Le labelle est ovale, petit et de couleur foncée avec une marge jaune réduite, voire absente. Les gibbosités sont peu importantes et la macule est assez bien développée, de forme variable et de couleur bleue à rouge. Floraison assez précoce de février à avril selon les régions.

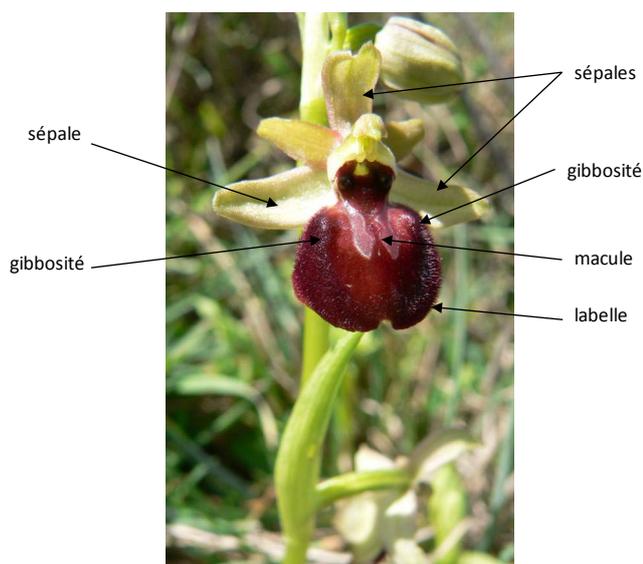


Fig. 2 - *Ophrys occidentalis*.

Espèce, ou parfois considérée comme sous espèce, *Ophrys arachnitiformis* s.s. est parfois délicate à l'en distinguer car il existe une zone de recouvrement importante tant sur le plan morphologique, en raison de la variabilité de la couleur du périanthe, que sur le plan géographique (Provence, Languedoc et plus généralement le sud-ouest de la France). L'*Ophrys exaltata* subsp. *marzuola* est de surcroît une espèce très variable par la forme et l'ornementation de son labelle.

Nomenclature

La nomenclature chez les orchidées change fréquemment. Celle utilisée dans ce document correspond aux travaux de Melki et Socca (2005), repris dans la Flore de France, de Belgique et du Luxembourg (cf. bibliographie). Il est utile dans toute cette synonymie d'être précis à ce sujet. Flora Gallica (référence taxonomique de l'INPN) utilise une autre dénomination. Les auteurs retiennent le nom d'*Ophrys exaltata* et signalent qu'*Ophrys exaltata* d'Italie, *Ophrys gallica* de Provence et *O. occidentalis* de la région occitane n'ont aucun caractère morphologique discriminant et leurs aires géographiques respectives sont en continuité. On notera toutefois la prédominance des périgones blancs en Provence et vert plus à l'ouest, mais l'absence d'autres éléments et l'inconstance de ce caractère lui-même plaident en faveur d'un taxon unique non subdivisible.

Mécanisme physiologique de l'induction florale

L'apparition des fleurs est une réponse au cycle de répressions et d'expressions de gènes activées par des stimuli extérieurs liés aux conditions météorologiques, telles la quantité de lumière et la température. Ce cycle conditionne l'activité de phytohormones spécifiques, les gibbérellines en tant qu'inducteur, et les auxines presque toujours inhibitrices de la floraison.

Les angiospermes ont chacune leur période de fleurissement correspondant à un minimum trophique d'éclairement, traduisant un photo-périodisme différenciant quatre groupes de plantes :

1. celles, comme les tulipes, qui possèdent des bulbes suffisamment riches en nutriments pour fleurir sans lumière. Ce sont les plantes aphotiques.
2. celles qui sont indifférentes à la durée d'éclaircissement ou de photopériode.
3. celles qui fleurissent lorsque la photopériode est sous le seuil critique de 10/24h de durée diurne. Elles sont dites nyctipériodiques (plantes de jours courts).
4. celles qui réclament de 12h à 14h/24h de durée diurne pour fleurir. Elles sont appelées héméropériodiques (plantes de jours longs).

Ophrys occidentalis appartient clairement à ce quatrième groupe.

La production du tryptophane, molécule précurseur de l'auxine, est dépendante de la lumière. Stockée depuis l'année n-1 dans les feuilles caduques, c'est encore la lumière qui va provoquer sa migration vers le système racinaire et déclencher l'allongement des racines ainsi que la croissance des limbes des feuilles des monocotylédones comme le sont les orchidées.

Les gibbérellines, autres molécules participant au contrôle hormonal des végétaux, ont un rôle essentiel dans la levée de dormance et dans la floraison durant les jours courts. Les gibbérellines sont produites dans les jeunes feuilles et donc sont également photo-dépendantes. Enfin, il convient de noter que ces hormones sont particulièrement actives dans l'adaptation des végétaux aux stress environnementaux. Le second paramètre intervenant dans la photo induction de la floraison est la température.

Quelques rappels de physique

Les échanges de chaleur entre le sol et l'atmosphère sont décrits par des équations simples. Si une masse reçoit une quantité de chaleur dQ alors sa température s'élèvera de dT selon l'équation : $dQ = M.CdT$ où C représente la chaleur massique du solide qui est constante pour un solide (C s'exprime en Joules par Kilogramme et par degré Kelvin ou Celsius. $J.kg^{-1}.K^{-1}$). Pour le calcaire C vaut de 2,1 à 2,4, pour l'argile et le limon sec C vaut de 1,5 à 1,6. Toutefois dans un limon saturé en eau C varie de 1,6 à 3,4. La diffusivité caractérise la capacité d'un matériau à transférer la chaleur : $D = \lambda/\rho C$ (λ est la conductivité thermique et ρ la masse volumique), D s'exprime en m^2/s . Elle est égale à 1 pour l'argile et à 1,35 pour le calcaire. Les milieux calcaires comme les pelouses sèches caussenardes sont donc plus aptes à l'accumulation de la chaleur et donc plus favorables à l'avancement des floraisons.

La connaissance du mécanisme de transfert de chaleur dans les sols est particulièrement utile lorsque plusieurs sites font l'objet d'un suivi des mêmes espèces. Il est ainsi possible de paramétrer les dates de premières observations en fonction des caractères physiques des sites et éventuellement de remarquer des concomitances temporelles.

Présentation du Site (Fig. 3)

La station étudiée se situe au lieu-dit Al Cuzoul, sur la commune de Bruniquel (Tarn et Garonne). Il s'agit d'une pelouse située à 320 m d'altitude, sur la droite de la route du hameau des Abriols. Elle est orientée au sud, en devers vers la vallée sèche de Marières.

Protocole du suivi

Les températures ambiantes et au sol sont mesurées à l'aide du thermomètre IR PCE-780 à visée laser intégrant l'humidité relative ambiante. Sa précision est de $0,1^\circ C$. Une série de 5 mesures est effectuée à



Fig. 3 - La pelouse d'Al Cuzoul.

chaque fois puis moyennée et exprimée en $^\circ C$. La mesure de l'insolation est effectuée par le capteur pyranométrique VOLTcraft PL-1105M. Chacun des résultats est la moyenne d'une séquence de 5 mesures effectuées à intervalle régulier sur le même site. Il est exprimé en $W.m^{-2}$. Le suivi de l'évolution florale se fait par observation sur le terrain.

Résultat

Afin de valider les interactions entre l'énergie thermique véhiculée par l'atmosphère et le sol, trois campagnes de mesures de température et d'insolation ont été effectuées entre le 13 février et le 1^{er} mars 2021 en début d'après-midi, sous un régime de belles éclaircies. Les mesures se font sur une surface de quelques m^2 de pelouse rase essentiellement couverte de bryophytes. Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

date 2021	T ext. en $^\circ C$	T sol en $^\circ C$	W/m2
13-févr	10,9	16,9	486,8
16-févr	17,4	22,4	472,6
01-mars	16,6	29,8	698,6

Le premier constat est qu'au moment des mesures, il existe une différence notable de température entre l'atmosphère et le sol qui se comporte comme un accumulateur de chaleur. Le second constat est que l'énergie thermique mesurée au sol dépend uniquement du rayonnement solaire. Elle est indépendante de la température atmosphérique. Le suivi visuel de la floraison d'*O. occidentalis* s'est poursuivi régulièrement jusqu'à l'apparition de la première fleur qui a eu lieu le 1^{er} mars. Sur la même pelouse, et à proximité, plusieurs orchidées sont en bouton et prêtes à fleurir dans les jours immédiatement à venir. Les données météorologiques collectées sur le site de Météo France confirment l'importance de l'insolation durant la quinzaine de jours avant la première floraison.

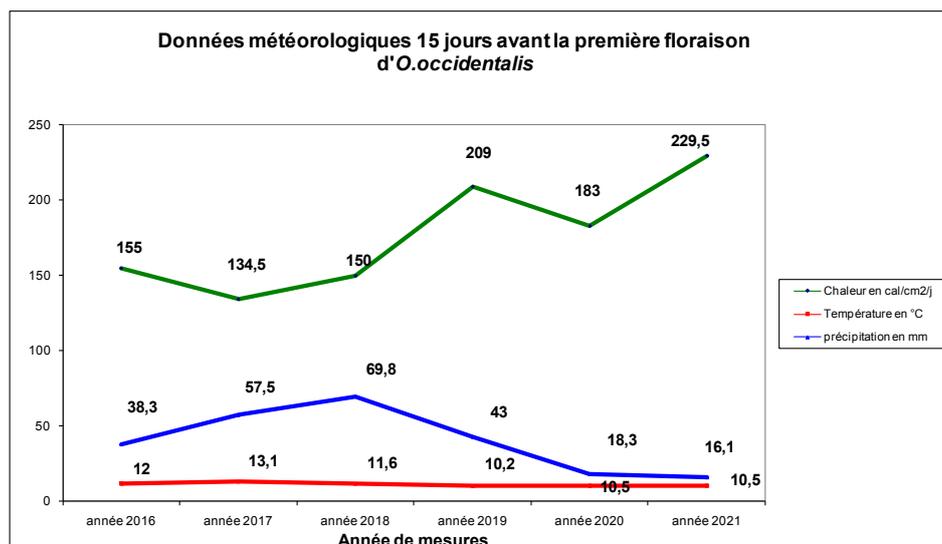


Fig. 4 - Données météorologiques 15 jours avant la première floraison d'*Ophrys occidentalis*.

Conclusion

L'évolution de la date de floraison d'*O. occidentalis* est clairement liée aux conditions météorologiques qui elles-mêmes constituent une réponse à l'évolution climatique. La méthode que nous avons détaillée dans cet article devraient permettre un suivi de la date d'apparition de la fleur et une évaluation reproductible de son évolution au cours du temps. Elle fournit un outil de comparaison objectif avec de nombreux sites de l'espace péri-méditerranéen dans lesquels une précocité progressive des dates de floraison a été aussi observée. La même précocité d'*O. occidentalis* a été observée sur le site de Gaussou, entre Septfonds et Lavaurette (82), distant d'environ 15 km à vol d'oiseau, comme le montre la photo prise par Josiane Morineau le 2 mars 2021 (**Fig. 5**). Les gorges de la rivière Aveyron constituent une zone de transition entre les espaces bioclimatiques méditerranéen et atlantique. D'autres espèces botaniques et souvent l'entomofaune associée sont d'ores et déjà observées régulièrement et méritent également un suivi spatio-temporel. Reste alors à définir un protocole proposant les espèces les plus emblématiques et le programme de campagnes de mesures avec les paramètres les plus pertinents.

Remerciement à Philippe Durand pour sa relecture pertinente du texte.



Fig. 5 - *Ophrys occidentalis*
(© Josiane Morineau le 2 mars 2021).

Références

- Bournerias M., Prat D. *et al.* (Collectif de la Société Française d'Orchidophilie) (2005) – Les orchidées de France, Belgique et Luxembourg, deuxième édition. *Biotope*, Mèze (collection Parthénope). 504 p.
- Tison J.M. & de Foucault B. (coords) (2014) – Flora Gallica. Flore de France. *Biotope*, Mèze. 1196 p.

Soumis le 2 mai 2021

Accepté le 9 mai 2021

Publié en ligne (pdf) le 7 juin 2021

Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France) Quatrième étude

Xavier Chaix¹ et Jérôme Plicot²

Résumé

L'étude de nouveaux affleurements du Crétacé supérieur des Corbières méridionales (Aude) a permis la récolte de nombreux gastéropodes dans les Formations des Marnes bleues de Sougraigne et de la Montagne des Cornes, datées du Santonien inférieur, zone à Carezi et du Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Sont cités dans cette quatrième étude des représentants des genres : *Tectus*, *Nerita*, *Terebra*, *Carota*, *Pyrazus*, *Campanile* (*Diozoptyxis*) ; certaines espèces décrites sont peu connues et signalées pour la première fois dans le Santonien des Corbières.

Mots clés : Gastropoda, Crétacé supérieur, Santonien, Corbières, Aude, France.

The gastropods of the Upper Santonian (Upper Cretaceous) southern Corbières, in the hinterland of Sougraigne (Aude, France). Fourth study

Abstract

The study of new Upper Cretaceous outcrops in the vicinity of Sougraigne (southern Corbières, Aude) has allowed the collection of numerous gastropods from the “Marnes bleues de Sougraigne” and “Montagne des Cornes” Formations dating from the Lower Santonian, Carezi Zone and the Upper Santonian, Polyopsis Zone, Paraplanum Sub-zone. In this fourth study, representatives of the genera *Tectus*, *Nerita*, *Terebra*, *Carota*, *Pyrazus*, *Campanile* (*Diozoptyxis*) are examined. Some described species are little known and reported for the first time in the Corbières Santonian.

Keywords : Gastropoda, Upper Cretaceous, Santonian, Corbières, Aude, France.

Introduction

Le présent travail a pour but de poursuivre la réactualisation de la systématique des Gastéropodes du Santonien (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux alentours de Sougraigne (Aude), qui n'ont pas fait d'étude paléontologique depuis les travaux anciens de d'Archiac (1854), de Roussel (1885), de Cossmann (1896-97, 1902, 1903), de Delpy (1938, 1942) et de Termier (1954). Dans la première livraison de cette étude (Chaix & Plicot, 2018) ont été décrites et figurées deux espèces

nouvelles, *Confusiscalca faurei* Chaix et *Pletzachia plicoti* Chaix, dans la seconde livraison (Chaix & Plicot, 2020a), *Pleurotomaria plicoti* Chaix, *Bathrotomaria bilottei* Chaix, *Bathrotomaria delpeyi* Chaix, dans la troisième livraison (Chaix & Plicot, 2020b), *Helicocryptus lardieri* Chaix et *Palaeocypraea plicoti* Chaix.

Nous renvoyons le lecteur à la première partie de cette étude pour plus de détails sur le cadre historique et stratigraphique (Chaix & Plicot, 2018). Rappelons cependant que les dépôts du Crétacé supérieur des Corbières méridionales appartiennent

1. Musée de Paléontologie et de Préhistoire, 12 rue Saint-Mammès, F-11160 Villeneuve-Minervois.
bernadette.chaix@wanadoo.fr

2. Jérôme Plicot, F-11200, Saint-André-de-Roquelongue.

à la couverture méridionale du Massif hercynien de Mouthoumet et qu'ils s'expriment particulièrement bien au niveau du Synclinal de Rennes-les-Bains dans lequel se développe un dispositif prodeltaïque à deux composantes sédimentaires disposées en relais latéral, l'ensemble témoignant d'une polarité vers le sud représentative de la marge nord-aquitaine (Bilotte, 2007).

- Au nord, un complexe sédimentaire de 100 à 250 mètres d'épaisseur, de type deltaïque, regroupé dans la Formation de la Montagne-des-Cornes, au sein duquel se développent des bioconstructions récifales à rudistes, qui occupent les trois reliefs de la Montagne-des-Cornes, des Cloutets et du Brenz.

- Au sud, la Formation des Marnes bleues de Sougraigne, uniformément constituée de 100 à 250 mètres de marnes micacées, témoignant d'un milieu de dépôt plus profond, représentant les faciès de type prodelta.

- Des faciès de transition et des indentations entre ces deux formations concourent à la complexité de la succession lithostratigraphique des environs de Sougraigne où divers faciès intermédiaires, latéralement bien délimités, ont été individualisés sous diverses dénominations, désignant des membres lithologiques très localisés tels les « Calcaires à Lima », les « Marnes à Turritelles et Corbules », les « faciès terrigènes à ossements de Mosasaures », ou encore les « Marnes du Moulin Tiffou ». La coupe historique du chemin de Sougraigne aux Cloutets recoupe certains d'entre eux.

Étude systématique, par Xavier Chaix

Embranchement : Mollusca

Classe : Gastropoda

Ordre : Vetigastropoda

Sous ordre : Trochina

Superfamille : Trochidea Rafinesque, 1815

Famille : Trochidae Rafinesque, 1815

Sous-famille : Trochinae Rafinesque, 1815

Genre : *Tectus* Montfort, 1810

Espèce type : *Trochus mauritanus* (Gmelin, 1791)

***Tectus sougraignensis* Cossmann, 1903**

Fig. 34

1903 - *Trochus (Tectus) sougraignensis* Cossmann, p. 632, pl. 3, fig. 4-5.

1942 - *Trochus sougraignensis* Cossmann. Delpy, p. 194, fig. 30.

Holotype : Il est conservé dans les collections du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (France).

Description :

Espèce conique, de taille moyenne, composée d'une dizaine de tours. L'ornementation spirale est principalement formée d'une crénelure continue située sous la suture, portant de très nombreuses petites ponctuations (au moins une quarantaine pour un tour de spire médian). Le dernier tour de notre échantillon est lisse et aucune ornementation axiale n'y est visible. La base porte cependant de nombreux sillons concentriques au relief très atténué. L'ouverture est quadrangulaire, avec un gros tubercule à la base de la columelle, qui laisse donc supposer la présence d'un pli columellaire.

Remarques :

Ce taxon semble n'avoir été signalé que dans le Santonien inférieur de la région de Sougraigne.

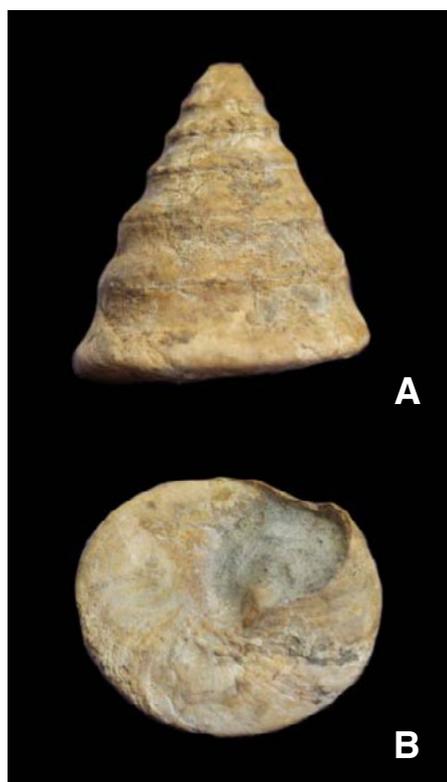


Fig. 34A-B - *Tectus sougraignensis* Cossmann, 1903, K10709. Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets (Sougraigne).

Sauf mention particulière, tous les échantillons sont figurés en taille réelle. Photos Jérôme Plicot.

Le type de l'espèce provient, d'après son auteur, de Sougraigne. Un autre spécimen, de la collection de Grossouvre, a été récolté au Moulin-Tiffou (Sougraigne). Delpy (1942) signale que ce taxon aurait été récolté à divers niveaux, sur le chemin des Cloutets et sur la rive droite de la Coume, côté est.

Son attribution générique ne pose aucun problème, car parfaitement conforme au genre *Tectus* (Monfort, 1810). L'espèce la plus proche est certainement *Tectus guerangeri* (d'Orbigny, 1842, p. 188, pl. 117bis, fig. 4, 5) du Cénomaniens moyen de la région du Mans (Sarthe), qui porte une ornementation presque identique.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Récolté en place, dans les Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets, à Sougraigne.

Matériel étudié : 1 ex. K10709 (Fig. 34) et une dizaine d'autres exemplaires récoltés dans le même niveau, mais tous en mauvais état de conservation. Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Ordre : Neritimorpha

Super famille : Neritoidea Rafinesque, 1815

Famille : Neritidae Rafinesque, 1815

Sous-famille : Neritinae Rafinesque, 1815

Genre : Nerita Linné, 1758

Espèce type : Nerita peloronta Montfort, 1810

***Nerita grossouvrei* Cossmann, 1903**

Fig. 35

1903 - *Nerita grossouvrei* Cossmann, p. 3, pl. 2, fig. 9 ; pl. 3, fig. 11 (non fig. 19).

Holotype : Il est conservé dans les collections du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

Description :

Petite coquille globuleuse, plus large que haute, formée de trois ou quatre tours séparés par une suture légèrement canaliculée. L'ornementation comporte tout d'abord de nombreuses côtes saillantes obliques séparées par des intervalles équidistants et de même largeur, qui partent en divergeant de la suture, pour atteindre le milieu de chaque tour où elles s'arrêtent brusquement. Elles sont remplacées, sur la seconde partie du tour, par un treillis à mailles serrées formé de la rencontre des côtes longitudinales et des côtes transversales, ces dernières étant moins marquées. Le

mauvais état de notre fossile ne permet pas d'apporter d'autres précisions. Cossmann (1903) ajoute à la description de l'espèce « la présence d'une base bombée et plus obtusément crénelée », ainsi qu'une très fine ornementation axiale.

Comparaison :

Nerita fourneli (Bayle, 1849) est une espèce très proche, signalée en Algérie, qui s'en distingue par une spire moins saillante et une ornementation plus grossière en arrière, les côtes étant plus larges et moins nombreuses.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Marnes bleues, au-dessus de Sougraigne.

Matériel étudié : 1 ex. K11182 (Fig. 35). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

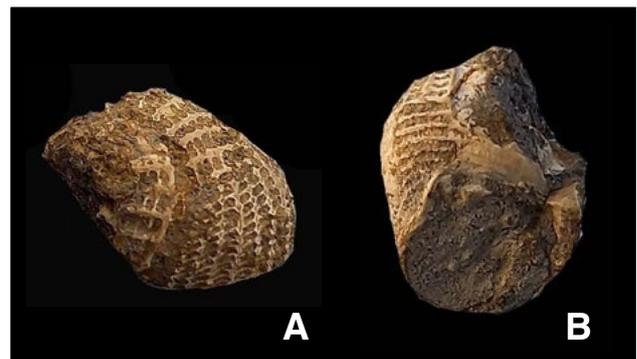


Fig. 35A-B - *Nerita grossouvrei* Cossmann, 1903, K11182, Marnes bleues au-dessus de Sougraigne.

Ordre : Neogastropoda

Super-famille : Conoidea Fleming, 1822

Famille : Terebridae Murch, 1852

Genre : Terebra Bruguière, 1789

(non Adamson (1757), car dénomination prélinéenne)

Espèce type : Terebra maculata Linné, 1758

***Terebra cingulata* J. de C. Sowerby, 1831**

Fig. 36 et 37

1831 - *Fusus cingulatus* J. de C. Sowerby, pl. 39, fig. 27.

1850 - *Fusus cingulatus* J. de C. Sowerby. D'Orbigny, p. 228, N° 358.

1852 - *Fusus cingulatus* J. de C. Sowerby. Zekeli, pl. 16, fig. 7.

1854 - *Fusus cingulatus* J. de C. Sowerby. D'Archiac, pl. 5, fig. 4.

1896 - *Terebra* ? *cingulata* J. de C. Sowerby. Cossmann, p. 218.

Holotype : Il est conservé dans les collections du British Museum de Londres (Grande Bretagne).

Dimensions :

- K11465 (**Fig. 36**) : Hauteur : 35 mm ; hauteur reconstituée : 44 mm ; diamètre dernier tour : 10 mm.

- K11183 (**Fig. 37**) : Hauteur : 40 mm ; hauteur reconstituée : 50 mm ; diamètre dernier tour : 13 mm.



Fig. 36 - *Terebra cingulata* J. de C. Sowerby, 1831. K11465. Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets (Sougraigne).



Fig. 37 - *Terebra cingulata* J. de C. Sowerby, 1831. K11183. Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets (Sougraigne).

Description :

Espèce turriculée à spire très allongée composée d'environ une quinzaine de tours légèrement bombés. L'ornementation axiale est formée de côtes allongées et incurvées, occupant pratiquement les cinq sixièmes de la hauteur de la spire. Les côtes sont au nombre d'une vingtaine par tour, séparées par des intervalles de même largeur. A la partie supérieure du dernier tour, elles s'incurvent très nettement en direction inverse, laissant supposer la présence d'un canal siphonal. La partie restante de la spire est formée d'une suite de grosses ponctuations perlées, en nombre variable (30 à 40), ne laissant entre elles qu'un très petit intervalle. L'ornementation axiale, difficilement visible sur nos échantillons, est composée d'une quinzaine de très fins filets par tour. Ni la base, ni l'ouverture ne sont connus.

L'échantillon N°K11183 (**Fig. 36**), ayant conservé en partie sa coquille, permet de confirmer la forme de l'ouverture, qui correspond bien au genre *Terebra*.

Âge et provenance. Cette espèce est fréquente à Sougraigne où les deux spécimens sont récoltés dans les Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets, d'âge Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Elle se retrouve également dans le Calcaires de Montferrand de Soulatgé (Aude), d'âge Coniacien.

Matériel étudié : 2 ex. K11465 (**Fig. 36**) et K11183 (**Fig. 37**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Ordre : Caenogastropoda
Sous ordre : Neogastropoda
Super famille : Pyrifusoidea Bandel & Dockery, 2001
Famille : Volutodermidae Pilsbry & Olssen, 1954

Genre : *Carota* Stephenson, 1952
Espèce type : *Carota robusta* Stephenson, 1952

***Carota megalocostata* Kollmann, 2005**
Fig. 38 et 39

La récolte de nouveaux échantillons bien conservés de cette espèce, dans les Marnes bleues de Sougraigne, justifie leur nouvelle figuration. Pour la description détaillée de ce taxon, il convient de se reporter à la première livraison de ce travail (Chaix & Plicot, 2018, p. 27, 28, Fig 10, 10a).



Fig. 38 - *Carota megalostoma* Kollmann, 2005. K11672. Marnes bleues, sur le bord du chemin des Cloutets (Sougraigne).



Fig. 39 - *Carota megalostoma* Kollmann, 2005. K11176. Marnes bleues, sur le bord du chemin des Cloutets (Sougraigne).

Dimensions et remarques :

- K11672 (**Fig. 38**) : Hauteur conservée : 54 mm ; hauteur reconstituée : 90 mm ; largeur du dernier tour : 30 mm ; angle de croissance : non mesurable. Exemplaire fragmentaire de grande taille, montrant l'ornementation quadrillée typique de ce taxon.
- K11176 (**Fig. 39**) : Hauteur conservée : 62 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; largeur du dernier tour : 19 mm. Exemplaire très allongé, montrant les trois plis columellaires caractéristiques du genre *Carota*.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Ces deux nouveaux échantillons ont été trouvés en place dans les Marnes bleues, sur le bord du chemin des Cloutets, à Sougraigne.

Ils sont conservés dans les collections du Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Ordre : Caenogastropoda

Super famille : Cerithioidea Ferussac, 1819

Sous famille : Potamidinae Adams & Adams, 1854

Famille : Batillariidae Benson, 1842

Genre : Pyrazus Montfort, 1810

Espèce type : Pyrazus ebeninus (Bruguière, 1792)

***Pyrazus partschi* (Zekeli, 1852)**

Fig. 40

1852 - *Cerithium partschi* Zekeli, p. 110, pl. 22, fig. 4.

1941 - *Pyrazus stueri* (Zekeli). Delpy, p. 6, fig. 2.

1952 - *Pyrazus stueri* (Zekeli). Termier in Piveteau, p. 241, fig. 125.

Holotype : Il provient du Crétacé supérieur de Gosau (Autriche) et est conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Vienne (Autriche).

Dimensions : Hauteur : 92 mm ; hauteur reconstituée : 118 mm ; dimension de l'avant dernier tour conservé : 35 mm.

Description :

Fossile de grande taille, composé de 7 tours, dont la hauteur est sensiblement égale à la moitié de leur largeur. L'ornementation spirale est formée d'épais cordons longitudinaux. L'ornementation axiale détermine la présence de cinq fortes protubérances, à chaque tour, donnant ainsi pour les premiers tours un galbe polygonal caractéristique du genre. La suture est peu visible, car elle est recouverte par la partie supérieure du tour précédent. La base porte également des cordonnets spiraux ainsi qu'une forte varice de la hauteur de la spire. Elle est située sur le labre. L'ouverture n'est pas conservée.

Remarques :

Ce taxon, à notre connaissance, n'est connu que par trois exemplaires :

- Un exemplaire conservé à la bibliothèque du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris (collection Hébert).

- Un exemplaire figuré par Zekeli, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Vienne (Autriche).

- L'exemplaire K10668 ici décrit (**Fig. 40**).

Delpey (1941, p. 6, fig. 2) reproduit l'échantillon de la collection Hébert, mais le nomme « *Pyrazus stueri* (Zekeli) », espèce non décrite par Zekeli mais par Cossmann (1905, Essais de Paléonconchiologie comparée, Tome 7, p. 130, 243, 244, pl.9, fig. 1 à 3) dans le Coniacien de Dordogne. *Pyrazus stueri* (Cossmann 1905) est une forme morphologiquement très proche de *P. partschi*, que seul le nombre de cordons spiraux et l'âge différent permettent de différencier.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, Récolté au bas du chemin allant de Sougraigne à Bugarach.

Matériel étudié : 1 ex. K10668 (**Fig. 40**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).



Fig. 40 - *Pyrazus partschi* (Zekeli, 1852). K10668. Bas du chemin allant de Sougraigne à Bugarach (Sougraigne).

***Pyrazus corbaricus* Cossmann, 1896**
Fig. 41, 42, 43

1896 - *Pyrazus corbaricus* Cossmann, p. 253, pl. 1, fig. 23.

1905 - *Potamides (Pyrazus ?) corbaricus* Cossmann. Vignal, p. 43.

1906 - *Pyrazus corbaricus* Cossmann, p. 130.

1954 - *Cerithium (Pyrazus) corbaricum* Cossmann. Termier, fig. 56.

Holotype : Il est conservé dans les collections du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (collection de Grossouvre).

Dimensions :

- K10703 (**Fig. 41**) : Hauteur : 38 mm ; hauteur reconstituée : 60 mm ; diamètre du dernier tour : 24 mm.

- K11437 (**Fig. 42**) : Hauteur : 70 mm ; hauteur reconstituée : 75 mm ; diamètre du dernier tour : 24 mm.

- K10683 (**Fig. 43**) : Hauteur : 50 mm ; hauteur reconstituée : 120 mm ; diamètre du dernier tour : 40 mm.

Description :

Coquille allongée, en forme de pyramide pentagonale, formée d'une dizaine de tours de spire. L'ornementation axiale consiste, pour chaque tour, en



Fig. 41-43 - *Pyrazus corbaricus* Cossmann, 1896. **Fig. 41, haut**, K10703 ; **Fig. 42, droite**, K11437 ; **Fig. 43, bas**, K10683. Niveau à Mosasaures, sur le chemin des Cloutets (Sougraigne).

cinq côtes recouvrant la totalité de la spire et formant ainsi une arête très certainement subépineuse. Sur les échantillons les mieux conservés, l'ornementation spirale consiste en des filets légèrement granuleux, au nombre de 5 à 8, séparés par des intervalles nettement plus larges. Leur nombre varie de 3 à 4 entre chaque côte. La base porte des filets identiques à ceux du reste de la spire, tant en nombre, qu'en aspect (Fig. 43). L'ouverture n'est pas connue.

Remarques :

La description de *Pyrazus corbaricus* par Cossmann (1896, p. 253, fig. 23) fait référence à un unique spécimen de la collection de Grossouvre du Santonien de Sougraigne. Cet échantillon n'est cependant pas figuré à ce jour parmi les 127 espèces répertoriées sur le site internet du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Plus tard, Cossmann (1906, p. 130) signale parmi les espèces du Sénonien « un échantillon douteux dans l'Aude : *P. corbaricus*, Cossm., coll. de Grossouvre ». Le terme « douteux » est singulier pour un taxon que l'auteur a lui-même décrit et figuré en 1896.

Pyrazus corbaricum provenant des collections Senesse, Cossmann et Toucas, sera ensuite décrit et illustré par Termier (née Delpey, 1954) avec pour origines le Santonien supérieur, au nord-ouest de

Parahou-Grand, et la base du Santonien supérieur de La Jouane et du lit de l'Eau Salée à Sougraigne (Aude).

Si l'Holotype n'était pas retrouvé, nous proposerions le statut de néotype pour l'échantillon portant le numéro K11437 (Fig. 42).

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Trouvé en place, dans le niveau à Mosasaures, sur le chemin des Cloutets, à Sougraigne.

Matériel : 3 ex. : K10703 (Fig. 41), K11437 (Fig. 42) et K10683 (Fig. 43). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Pyrazus provinciale (d'Orbigny, 1843)

Fig. 44

1843 - *Cerithium provinciale* d'Orbigny, pl. 233, fig. 3.

1888 - *Cerithium provinciale* d'Orbigny. Matheron in Depéret, p. 568.

1906 - *Cerithium (Vulgocerithium) provinciale* d'Orbigny. Cossmann, p. 79.

1954 - *Cerithium (Pyrazus) provinciale* d'Orbigny. Termier, fig. 54, 55.



Fig. 44 - *Pyrazus provinciale* (d'Orbigny, 1843). K11436. Chemin des Cloutets, à Sougraigne.

2005 - « *Cerithium* » provinciale d'Orbigny. Kollmann, pl. 17, fig. 30.

Type : Parmi les syntypes de la collection d'Orbigny, Kollmann (2005) avait désigné le n° 7362 comme holotype de l'espèce.

Cette attribution n'est cependant pas conforme aux règles du Code international de nomenclature zoologique (voir site Reclonot). Un lectotype ne peut également être désigné au titre des articles 74.5 et 74.6 de ce règlement.

Dimensions : Hauteur : 90 mm ; hauteur reconstituée : 92 mm ; diamètre de l'ouverture avec labre : 45 mm.

Description :

Grande espèce turriculée composée d'une dizaine de tours légèrement bombés. L'ornementation axiale est composée d'environ 8 ou 9 côtes par tour de spire. L'ornementation spirale comporte une dizaine de cordons (sans doute granuleux), séparés par des intervalles deux fois plus larges. La suture n'est pas nettement visible sur notre échantillon. La coquille est épaisse. La base n'est pas visible. L'ouverture présente un large labre étoilé en forme de pavillon sur lequel les cordons s'écartent en éventail. Aucun canal siphonal n'est visible.

Remarques :

Pour ce très rare échantillon ayant conservé la fossilisation de son labre, nous avons gardé la proposition taxonomique de Termier qui considère son rattachement au genre *Pyrazus* (Montfort 1810). Notre spécimen est très proche de la figuration qu'en donne Termier (fig. 54 et 55). Elle n'en précise pas l'origine, mais il s'agit très certainement d'un moulage provenant de la collection Arnaud (Turonien du Château-d'Eau et du Pont de La Beaunonne, Bouches-du-Rhône).

Comparaisons :

Zekeli (1852, p. 109, pl. 22, fig. 2) a figuré un *Cerithium provinciale*, que Stoliczka (1865, N°116) a mis en synonymie avec *Cerithium torosum* (Zekeli), qui montre de très fortes ressemblances avec notre espèce de Sougraigne.

Age et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Niveau à Mosasaures, sur le chemin des Cloutets à Sougraigne.

Matériel étudié : 1 ex. K11436 (**Fig. 44**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).



Fig. 45-47 - *Pyrazus praecursor* Repelin, 1906-07. **Fig. 45, haut**, K11435 ; **Fig. 46, bas**, K11179 ; **Fig. 47, droite**, K11180. Niveau des Marnes bleues (Sougraigne).

Pyrazus praecursor* (Repelin, 1906-07)*Fig 45, 46, 47**1906-07 - *Cerithium praecursor* Repelin, pl. 6, fig. 2, 3.1954 - *Cerithium (Pyrazus) praecursor* Repelin. Termier, fig. 57.**Holotype** : Il est conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille (Bouches-du- Rhône).**Dimensions :**- K11435 (**Fig. 45**) : Hauteur : 38 mm ; hauteur reconstituée : 40 mm ; diamètre du dernier tour : 24 mm ; angle spiral : 25°.- K11179 (**Fig. 46**) : Hauteur : 59 mm ; hauteur reconstituée : 65 mm ; diamètre du dernier tour : 24 mm ; angle spiral : 25°.- K11180 (**Fig. 47**) : Hauteur : 32 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; diamètre de l'échantillon : 30 mm.**Description**

Pyrazus praecursor (Repelin) est une espèce peu citée dans la littérature. Le spécimen (**Fig. 45**) est orné de côtes droites, saillantes nettement épineuses, dont la pointe se dirige en direction de l'apex de la coquille. Ces dernières sont en nombre de 6 sur le dernier tour de notre échantillon et se réduisent à 5 sur le tour précédent, en étant moins épineuses. L'ornementation spirale n'y est pas visible.

L'ornementation du spécimen (**Fig. 46**) est nettement moins bien conservée mais montre parfaitement l'ornementation du dernier tour qui est formée d'une trentaine de petites perles, légèrement espacées les unes des autres et ce juste au-dessus de la suture.

Sur le spécimen (**Fig. 47**), l'ornementation axiale du dernier tour est nettement composée d'une succession verticale de 5 à 6 ponctuations perlées, séparées par de très larges intervalles, se dirigeant de la suture vers l'ouverture.

Comparaisons :

Cerithium (Tympanotonus) simoni (Zekeli, 1852, pl. 23, fig. 6 & 7) est une espèce très proche du Crétacé supérieur de Gosau (Autriche), mais de taille plus petite, également présente à Sougraigne, d'après Termier (1954), où elle a été récoltée (collections Toucas et Sénesse) à la base du Santonien supérieur de La Jouane et du Lit de l'Eau Salée.

Pyrazus stillans (Vidal, 1874, pl. 2, fig. 10 & 11 et pl. 4, fig. 26) est une autre espèce proche de

P. praecursor, mais un peu plus récente, qui a été récoltée dans le Maestrichtien d'Aurignac (Haute-Garonne), ainsi qu'en Catalogne (Espagne).

En conclusion toutes ces formes de *Pyrazus*, sont très proches les unes des autres et d'une grande variabilité. Leur phylogénie reste à comprendre, afin de pouvoir mieux définir la spécificité de chaque taxon.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Niveau des Marnes bleues, à Sougraigne.

Matériel étudié : 3 ex. K11435 (**Fig. 45**), K11179 (**Fig. 46**), K11180 (**Fig. 47**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Super famille : Campaniloidea Douvillé, 1904**Famille : Diozoptyxidae Pechelintsev, 1965****Genre : Diozoptyxis Cossmann, 1896****Espèce type** : *Nerinea monilifera* d'Orbigny, 1842.***Campanile (Diozoptyxis) ataxense*****(d'Orbigny, 1843)****Fig. 48, 49, 50**1843 - *Cerithium ataxense* d'Orbigny, p. 372, pl. 231, fig. 1.1852 - *Cerithium depressum* Zekeli, pl. 24, fig. 6, 7.1941 - *Campanile (Diozoptyxis) ataxense* (d'Orbigny). Delpy, p. 10, fig. 10.

Aucun lectotype n'est désigné à ce jour concernant ce taxon. Kollmann (2005, p. 165) précise qu'aucun spécimen type n'a été retrouvé dans la collection d'Orbigny dans laquelle il ne reste qu'un moule interne inutilisable et sans origine précise. Il en conclut « *faute de pouvoir préciser ses caractères, la prudence impose ici de considérer Cerithium ataxense comme - species incertae sedis* ».

Nous disposons également de la figuration de Delpy (1941, fig. 10), pour laquelle aucun spécimen de référence n'est extrait parmi les diverses collections que cet auteur cite. Aussi nous proposons ici un néotype de l'espèce.

Désignation d'un néotype : Le spécimen K10647, dont la conservation est exceptionnelle, est trouvé en place, en bordure du chemin de Sougraigne à Bugarach, au bas du village, dans la zone dite à Mosasaures, d'âge santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, illustré (**Fig. 50**).



Fig. 48-50 - *Campanile (Diozoptix) ataxense* (d'Orbigny, 1843). **Fig. 48, gauche**, K10659. Au-dessus du Vieux-Cimetière ; **Fig. 49, milieu**, K11163. Sous le chemin des Cloutets, marnes à Mosasaures ; **Fig. 50, droite, néotype**, K10647. Chemin de Sougraigne à Bugarach, au bas de Sougraigne, marnes à Mosasaures.

L'espèce semble n'avoir été récoltée que dans le Santonien de la région de Sougraigne (Aude) ce qui justifie la désignation d'un néotype provenant de l'Aude.

Deux autres exemplaires de l'espèce ont été récoltés à Sougraigne sous le chemin des Cloutets, dans le niveau des marnes à Mosasaures (**Fig. 49**) et au-dessus du Vieux Cimetière à Sougraigne (**Fig. 48**).

Dimensions :

- **Néotype**, K10647 (**Fig. 50**) : Hauteur : 55 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; diamètre du dernier tour conservé : 30 mm.
- K10659 (**Fig. 48**) : Hauteur : 75 mm ; hauteur reconstituée : 100 mm ; diamètre du dernier tour conservé : 40 mm.
- K11163 (**Fig. 49**) : Hauteur : 70 mm ; hauteur reconstituée : 80 mm ; diamètre du dernier tour : 32 mm.

Description :

Espèce de grande taille dont l'ornementation spirale est formée de trois carènes (parfois deux), la plus prononcée en position adapicale (en direction de la pointe de la coquille). Elle porte, sur les rares exemplaires bien conservés, une ornementation onduleuse épaisse d'environ 1 mm, portant une

vingtaine de pointes arrondies par tour, séparées par des intervalles équidistants. Cette carène forme un net épaulement par rapport à la suture, peu visible. La (ou les deux autres) carène(s), reproduisent la même ornementation, mais de manière plus réduite. La base légèrement concave ne porte pas d'ornementation visible.

L'ouverture (voir K10659, **Fig. 48**) est nettement plus large que haute et présente un net pli pariétal et peut-être, comme le suppose Delpy (1941, p. 10), deux plis columellaires.

Remarques :

Nous nous référons à la proposition taxonomique de Delpy (1941, p. 10) et adopterons ici pour notre fossile l'appellation *Campanile (Diozoptix) ataxense*. Sa forme générale est celle d'un *Campanile* et son ornementation spirale est caractéristique du genre *Diozoptix* (Cossmann, 1896). Delpy précise également que ce taxon présente deux plis columellaires et un pli pariétal, ce qui confirmerait son appartenance à la famille des *Diozoptixidae* (Pchelintsev, 1965, p. 84) « qui regroupe des espèces, se caractérisant par une coquille étroitement turriculée à test épais, une périphérie du dernier tour plus ou moins anguleuse, une base légèrement peu élevée et un canal siphonal étroit, plissé un peu

torsadé; un second pli columellaire et un pli pariétal peuvent aussi se développer ; l'ornementation peut être constituée également de lignes ou de costules colabiales ophistoclines, ou comporter aussi des éléments spiraux plus ou moins larges et proéminents ». Rappelons que contrairement aux propositions de Cossmann (1896, p. 31), notre taxon est maintenant à rattacher à la superfamille des *Campaniloidea* (Douvillé, 1904).

Comparaisons :

L'espèce est proche de *Cerithium hispidum* du Crétacé supérieur de Gosau (Autriche) décrite par Zekeli (1852, pl. 24, fig. 1, 2).

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Nos échantillons ont été récoltés en bordure du chemin de Sougraigne à Bugarach (Fig. 50), sous le chemin des Cloutets, dans le niveau des marnes à Mosasaures à Sougraigne (Fig. 49) et au-dessus du vieux cimetière à Sougraigne (Fig. 48).

Matériel étudié :

- Le néotype K10647 (Fig. 50). Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).
- 2 ex. K10659 (Fig. 48) et K11163 (Fig. 49). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Campanile (Diozoptyxis) hispidum (Zekeli, 1852)

Fig. 51

- 1852 - *Cerithium hispidum* Zekeli, pl. 24, fig. 1, 2.
- 1902 - *Campanile grossouvrei* Cossmann, pl. 4, fig. 21.
- 1903 - *Campanile grossouvrei* Cossmann, pl. 2, fig. 2, 3.
- 1941 - *Campanile (Diozoptyxis) hispidum* (Zekeli). Delpey, p. 10, fig. 9.

Holotype : Il est conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Vienne (Autriche).

Dimensions : Hauteur : 45 mm ; hauteur reconstituée : 80 mm ; diamètre du dernier tour conservé : 28 mm.

Description :

Coquille de grande taille, formée d'au moins 15 tours de spire. Sur les rares échantillons que nous avons pu examiner dans des collections particulières, l'ornementation reste variable, comme l'a signalé Cossmann (1902), les tours semblant de plus en plus

excavés avec l'âge. Par contre sur tous les spécimens de ce taxon, juste au-dessus de la suture, se présente une ligne continue de grosses ponctuations. Sous la suture, certains échantillons permettent de distinguer une fine ligne festonnée, formée de très petites ponctuations, se tenant les unes aux autres. Aucune ornementation axiale n'est visible. La base semble être lisse. L'ouverture n'est pas connue.

Remarques :

Curieusement cette espèce a été renommée par Cossmann (1902, pl. 4, fig. 21 et 1903, fig. 1, 3) *Campanile grossouvrei*, sans faire référence au *Cerithium hispidum* (Zekeli, 1852). La rectification a été faite par Delpey (1941, p. 10, fig. 9), qui met implicitement les deux taxons en synonymie. Il convient cependant de préciser que le taxon *Campanile grossouvrei* (Cossmann) a été émis avec réserve par son auteur « il est peut-être téméraire de fonder une espèce sur trois fragments de spire, dépourvus d'ouverture, et dont l'ornementation polymorphe n'est absolument pas identique, attendu qu'ils appartiennent à trois époques consécutives du développement de la coquille ».



Fig. 51 - *Campanile (Diozoptyxis) hispidum* (Zekeli, 1852). K10651. Vieux-Cimetière, à Sougraigne (X2).

Ce fossile est fort rare à Sougraigne, un seul exemplaire récolté par J. Plicot (et deux autres exemplaires retrouvés dans des collection particulières).

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Échantillon récolté au-dessus du vieux cimetière, à Sougraigne.

Références :

Adams H. & Adams A. (1854-1858) – The genera of recent Mollusca - London.

Archiac A. d' (1854) - Coupe géologique des environs des Bains de Rennes (Aude), suivie de la description de quelques fossiles de cette localité. *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, (II), 11 : 185-230.

Bandel k. & Dockery D.T. (2001) - The Sarganidae (Pyrifusoidea, Latrogastropoda), their taxonomy and paleobiogeography, *Journal of the Czech Geological Society*. Praha, 46, 3-4 : 335-351.

Bayle C.E. (1849) - « in Fournel H. » Richesses minérales de l'Algérie », Imprimerie nationale, Paris.

Benson W.H. (1842) - *Ann. Mag. Nat. Hist.*, édit. Taylor and Francis, London. 488 p.

Bilotte M. (2007) - Permanence, au Crétacé supérieur, de la position de la limite de la plateforme/bassin dans la zone sous-pyrénéenne orientale (Aude, France), implications géodynamiques. *Géologie de la France*, 1 : 33-53.

Bruguière M. (1789-1792) - Encyclopédie Méthodique. Histoire naturelle des Vers, t. 1 : 1-757.

Chaix X. & Plicot J. (2018) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France), (première étude). *Carnets natures*, 5 : 17-33. <https://carnetsnatures.fr>

Chaix X. & Plicot J. (2020a) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France) (deuxième étude), *Carnets natures*, 7 : 15-28. <https://carnetsnatures.fr>

Chaix X. & Plicot J. (2020b) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France) (troisième étude), *Carnets natures*, 7 : 79-93. <https://carnetsnatures.fr>

Matériel : 1 ex. K10651 (**Fig. 51**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Remerciements : A Philippe Fauré pour ses conseils quant à la compréhension de la stratigraphie des terrains prospectés et pour son aide précieuse à la rédaction de la partie introductive. A Peter Culleton pour la traduction anglaise du résumé.

Cossmann M. (1896-97) – Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. *Association française d'avancement des Sciences* (congrès de Carthage, Tunis) : 243-269.

Cossmann M. (1902) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France (5^o article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 31^o session (congrès de Montauban) : 539-557.

Cossmann M. (1903) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (6^o article) *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 32^o session (congrès d'Angers) : 626-632

Cossmann M. (1904) – Essais de Paléonchologie comparée, 6^o livraison Edit. F.R. de Rudeval, Paris. 152 p.

Cossmann M. (1906) - Essais de Paléonchologie comparée. Paris, Liv. 7, 261 p., 14 pl.

Delpey G. (1938) - Gastéropodes recueillis par P. Senesse dans le Santonien supérieur des Corbières. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 72 : 155-162.

Delpey G. (1941) - Histoire du genre Campanile. *Annales de Paléontologie*, 29 : 1-25.

Delpey G. (1942) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe I). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 77 : 161-197.

Douvillé H. (1904) - in Mission scientifique en Perse de J. de Morgan, III, 4, Paléontologie. Mollusques fossiles, édit. Ernest Leroux.

Ferussac J.B.L. (1819) - Histoire naturelle générale et particulière des mollusques terrestres et fluviatiles, tant des espèces que l'on trouve aujourd'hui vivantes que des dépouilles fossiles de celles qui n'existent plus ; classées d'après les caractères essentiels que présentent ces animaux et leurs coquilles, dédiée à S.A.R. Mgr. Le duc d'Angoulême. Édit. Arthur-Bertrand, Paris.

Fleming J. (1822) - La philosophie de la zoologie,

- ou une vue générale de la structure, des fonctions, de la classification des animaux, Edinbourg, 618 p.
- Gmelin J.F. (1789- 1796) - *Caroli a Linné, systema naturae per regnaria naturae*, edit. Lugd. Uni. 5424 p.
- Kollmann H.A. (2005) - Révision critique de la Paléontologie française d'Alcide d'Orbigny. Gastéropodes crétacés. Backhuys édit. Leyden, Pays-Bas, 239 p.
- Linné C. (1758) - *Systema Naturae per Regna tria Naturae, secundum Classes, Ordines, Genera, Species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis, Tomus I - Holmiae, Editio Decima, reformata*. 789 p.
- Matheron P. (1843) - Catalogue méthodique et descriptif des corps organisés fossiles du Département des Bouches-du- Rhône et lieux circonvoisins, précédé d'un mémoire sur les terrains supérieurs au Grès Bigarré du sud-ouest de la France. *Répert. Trav. Soc. Statist. Marseille*, vol. 6 (année 1842). 269 p.
- Montfort de (1810) - *Conchilologie systématique et classification méthodique des coquilles*, édit. F. Schoell, Paris, 2, 676 p.
- Morch O.A.L. (1852) - *Catalogus conchiliosum quae reliquit, d'alphonso d'aguhna et gadea, comes regis daniae, Copenhagen*, V. 170 p.
- Orbigny A. d' (1842-1843) - *Paléontologie française. Terrains crétacés (II) Gastéropodes*. Arthus- Bertrand éd., Paris. 456 p.
- Orbigny A. d' (1850-1852) - *Prodrome de Paléontologie universelle des animaux mollusques et rayonnés*. Edition Masson, Paris : (1850) I & II, 394 & 427 p. ; (1852) III, 194 p.
- Pechelintsev V.F. (1965) - *Mesozoic Murchisoniata of the Crimean Highland*, *Izdat Akad. Nauk, S.S.S.R., Moskva-Leningrad*, 216 p. (en russe).
- Pilsbry H.A. & Olsson A.A. (1954) - *Systems of the Volutidae*. *Bulletin of the American Palaeontological Ithaca*, 152. 36 p.
- Rafinesque C.S. (1815) - *Analyse de la Nature, ou tableau de l'Univers et des corps organisés*. Palerme. 242 p.
- Repelin J. (1907) - *Monographie de la faune saumâtre du Campanien inférieur du sud-est de la France (zone du plan d'Aups)*. *Annales du Museum d'Histoire Naturelle de Marseille (Géologie.)*, 10. 87 p.
- Roussel J. (1885) – *Note sur le Crétacé supérieur et le Tertiaire des départements de l'Ariège et de l'Aude*. *Bulletin de la Société ariégeoise des Sciences Lettres et art (1)* : 327-337.
- Sowerby J. de C. (1823) - *The Mineral conchology of Great Britain ; or coloured figures and descriptions of those remains of testaceous animals or shells, which have been preserved at various times and depths in the earth*. Arding & Merrett edit . London, vol 4 (continued), p.115-160, vol 5,.
- Stephenson L.W. (1952) - *Larger invertebrate fossils of the Woodbine formation (Cenomanian) of Texas*. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, Washington, 242. 226 p.
- Stoliczka F. (1865) - *Eine Revision der Gastropoden der Gosauschichten in den Ostalpen*. *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Class der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, Wien, 52, 1 : 104-223.
- Termier G. & Termier H. (1952). In Piveteau, *Traité de Paléontologie*. Chapitre sur les Gastéropodes : 365-460.
- Termier G. (1954) - *Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe II)*. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 89 : 323-382.
- Vignal L. (1905) - *Note sur la section Pyrazus dans le genre Potamides et des options d'une espèce nouvelle*. *Journal de Conchyologie*, Paris, 53 (1905-1906) : 31-45.
- Zekeli F. (1852) - *Die Gastropoden der Gosaugebilde*. *Abhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, Wien, 2 : 1-124.

Soumis le 28 mai 2021

Accepté le 27 juin 2021

Publié en ligne (pdf) le 8 juillet 2021

A First Contribution to the knowledge of Mycetozoa from Aveyron (France)

Jonathan Cazabonne¹, Michel Ferrières² et Jean-Louis Menos³

Abstract

A first official taxonomic checklist of myxomycetes from the French department Aveyron is presented. As the result of data collected by the Mycological and Botanical Association of Aveyron (AMBA), literature and online research, a total of 21 species representing 14 genera, 7 families and 5 orders, were recorded. The following information for each taxon was reported: Latin name, author(s), Basionym, locality (if known) and record sources. Macrophotographs of some new records are also appended. This work is a contribution to the knowledge of myxomycetes of Aveyron, which will eventually be integrated into a national checklist project of French myxomycetes.

Key words: Biodiversity, inventory, taxonomy, Myxomycetes, Occitanie.

Résumé

Une première contribution à la connaissance des Mycetozoa de l'Aveyron (France)

Une première liste officielle sur les Myxomycètes du département français de l'Aveyron est présentée. Au total, 21 espèces représentant 14 genres, 7 familles et 5 ordres, ont été listées, grâce aux données collectées par l'Association Mycologique et Botanique de l'Aveyron (AMBA) et à un travail de recherche bibliographique. Les informations suivantes pour chaque taxon ont été indiquées : nom latin, auteur(s), basionyme, localité (si connue) et les références. Des macrophotographies de quelques nouveaux taxa aveyronnais sont aussi annexées. Ce travail est une contribution à la connaissance des myxomycètes d'Aveyron, qui sera éventuellement intégré à un projet de checklist nationale des Myxomycètes de France.

Mots clés : Biodiversité, inventaire, taxonomie, Myxomycètes, Occitanie.

Introduction

Myxogastria, also called myxomycetes, are single-celled eukaryotes that are characterized by the formation of a plasmode and usually associated with decaying plant material (Clavender 1995). They were initially included as fungi (lineage Myxomycota) mainly because of their phagotrophic nutrition mode and the production of fruiting bodies and dispersal by spores (Baba 2012; Sevindik & Akgul 2019). However, this grouping proved to be polyphyletic, including several independent protist lineages, none of them linked to the Fungi kingdom *sensu stricto*.

The traditional classification of myxomycetes was based on a combination of morphological characters, including fructification, appearance of the plasmodium and finally the fruiting body development. This traditional classification has undergone many changes over the years. It was initially based on the colour of the spore mass, the Amaurosporeae (dark-spored) and Lamprosporeae (bright-spored) (Rostafinski 1875). After many changes and new classification proposals (Masse 1892; Lister 1894, 1911; Macbride 1922; Lister 1925; Jahn 1928; Hagelstein 1944; Martin 1960), the classification of myxomycetes presented by Martin and Alexopoulos (1969), separating

¹ 9 avenue de Moussac, 12250, Roquefort-sur-Soulzon - jonathan.cazabonne@outlook.com

² 31 rue Jean Moulin, 12000, Rodez - mferrieres@wanadoo.fr

³ Le Cayrou, 12450, Flavin - djl.menos@orange.fr

myxomycetes into 5 major orders, has been accepted worldwide and used even in recent articles (Poulain *et al.*, 2011a, 2011b).

With the arrival of new molecular phylogeny techniques, the group of myxomycetes was one of the last to be studied with the expertise of this technique (Leontyev *et al.*, 2019). The classification of myxomycetes is therefore changing, and requires further studies in the coming years (Stephenson 2011; Fiore-Donno *et al.*, 2012, 2013; Leontyev & Schnittler 2017; Leontyev *et al.*, 2019). The case of myxomycetes has therefore not attracted much interest from the non-specialist scientific community since the first descriptions and monographs on myxomycetes. A real need to study myxomycetes and revisit certain genera and families exists, not least as the need to know their biodiversity (Rollins & Stephenson 2011; Stephenson *et al.*, 2011; Novozhilov *et al.*, 2017).

In addition to molecular methods such as metabarcoding (Feng & Schnittler 2016; Schnittler *et al.*, 2017, Shchepin *et al.*, 2019a, 2019b), knowing the diversity of myxomycetes notably involves carrying out species inventories, surveys and the definition of a checklist. Some countries, especially Turkey (Sesli *et al.*, 2005, 2008, 2016), have started to publish lists of myxomycetes at a regional or national level (Ndiritu *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010; Ranade *et al.*, 2012). It has been done in order to improve our knowledge in terms of specific diversity, but also in terms of distribution and ecological conditions related to those taxa. Regional or ‘departmental’ (county) inventories have already been carried out in some French ‘departments’, notably (amongst others) Rhône (Pouchet 1926, 1930; Martin & Martin, 2002), Vosges (Henry, 1924), Maine-et-Loire (Mornand, 1993), Loire-Atlantique (Chassain, 1972; Le Goff & Ribollet, 2018), and even in the French island territory of New Caledonia (Huguenin & Kohler 1969). Significant inventories and reviews have also been carried out at a national level (Cochet, 1977; Cochet & Bozonnet, 1980, 1984). However, many French departments do not have published data on myxomycetes, as is the case for Aveyron. A real need exists (i) to increase inventories at local and national level, (ii) to carry out a national checklist of French mycetozoa in addition to the monography published by Pouchet (1995) and the reference paper on myxomycetes from France (Poulain *et al.*, 2011), and (iii) to publish data, unfortunately too often kept in-house, from local naturalist association or professional and amateur mycologists, often not consulted sufficiently. It is within this specific framework that the work proposed in this article is taking place. The French

department of Aveyron is home to a high biodiversity, with numerous mycological and botanical stations. However, to the best of our knowledge, no official checklist on myxomycetes from Aveyron has yet been published. Only a few scattered data in the literature are available concerning macromycetes (e.g., Bourdot & Galzin 1927) and lichens (e.g., Sérusiaux 1982; Coste 2011). This article aims to contribute modestly to the knowledge of the myxomycetes of Aveyron, by presenting a first official preliminary list of the species of myxomycetes present in this understudied department.

Material & Methods

The department of Aveyron is located in the south of France, in the Occitanie region (**Fig. 1**). The climate associated is characterized and influenced by both the Massif Central and the Mediterranean. On a more local scale, this department can be subdivided in three different climate regions : the West, North and South of Aveyron, respectively having an oceanic, mountainous and submediterranean (or “perimediterranean”) climate.

The search for verified and published data on myxomycetes from France, including Aveyron, was carried out via a first preliminary work of literature research. It was aided by technology allowing journal

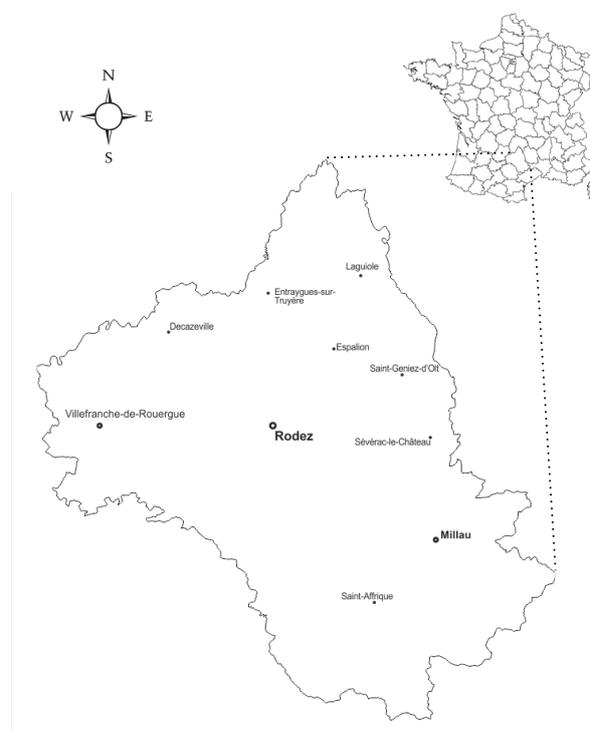


Fig. 1 - Location of the French department of Aveyron, with the main towns indicated.

content searches, such as Google Scholar (<http://scholar.google.com>), JSTOR (<http://www.jstor.org>) and PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>). Research for myxomycetes records in Aveyron via online-databases, including INPN (<https://inpn.mnhn.fr/collTerr/departement/choix/12>), ADONIF (<https://fongibase.adonif.fr/>) and iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>) were also carried out. In addition to this first step, data on the species of Aveyron myxomycetes not published and collected by AMBA were added. The AMBA data come from numerous local mycological inventories throughout the Aveyron department, notably organized by its president, Jean-Louis Menos. During these inventories, by a simple method of prospecting and tracking, samples of fungi *sensu stricto* and myxomycetes were collected and identified *a posteriori* via macroscopic and microscopic criteria.

The data from these inventories were communicated internally via the edition of a booklet in 2011 (Menos & Ferrières, unpublished 2011) and updated in 2021 (Menos & Ferrières, unpublished 2021). The data from these inventories concerning Aveyron myxomycetes represent the main contribution of this article.

The taxonomic names used follow the nomenclature criteria proposed by Hernández-Crespo & Lado (2005) and only accepted taxonomic names are used. Due to the numerous changes made by molecular phylogeny in the classification of myxomycetes, and the recent redefinition of orders and families by Leontyev *et al.* (2019), the classification used in this list is that provided by MycoBank (Crous *et al.*, 2004; Robert *et al.*, 2005, 2013; consulted in July 2021), pending consensus in the phylogenetic classification of Mycetozoa. Only records identified at the species level were used for this first list. If identifications are questionable, doubtful or merit further investigation, especially at the microscopic level, the latter are indicated with the mention To Be Confirmed (TBC) accompanied by an argument in the form of a note. TBC data was not included in the general list, but can be found in the section TBC data.

In the myxomycetes list, contributors of data apart from literature research are cited with the following abbreviation: "Liste des champignons d'Aveyron" by Jean-Louis Menos and Michel Ferrières, Mycological and Botanical Association of Aveyron, 2011: AMBA 2011 and the revised list in 2021: AMBA 2021; Jean-Louis Menos : JM; Michel Ferrières : MF; Jonathan Cazabonne : JC; Bernard Crozes : BC. New records with the annotation 'AMBA 2011' mean the taxon concerned has been found in Aveyron over

a time period of approximately 1991 up to 2011. The annotation AMBA 2021 means the taxon was found in Aveyron between 2011 and 2021.

Each species is enumerated, and its listing is given in order of classification according to Mycobank (2021), similar to the classification used by Mifsud (2020). For each species the following information is given: species name, author(s), basionym, record sources and locality with collecting date, when available. Collecting dates were not indicated in the dataset of the AMBA. The names of the geographical localities are voluntarily retained from the original French, to keep the true meaning and precision of the indications of the authors' mother tongue.

If no previous published data of the species' presence in Aveyron existed, then new records (NR) for the department are indicated with an asterisk (*) following species name. The system of the suprageneric taxa is in accordance with Kirk *et al.* (2001) and Kirk *et al.* (2004). The authors' names are abbreviated according to Kirk & Ansell (1992). Name of the author(s), Basionym and currently accepted names were verified with MycoBank (Crous *et al.*, 2004; Robert *et al.*, 2005, 2013; consulted in July 2021), Hernández-Crespo & Lado (2005; consulted in July 2021) and the CABI Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>; consulted in July 2021).

Current accepted names are given in bold in the taxonomic and synonym list. Regarding the high number of nomenclature changes, especially in the taxonomy of myxomycetes, a list of all synonyms (**Appendix**) for each species is appended separately following Hernández-Crespo & Lado (2005). This system is in accordance with the recommendations of the ICN, International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code) (Barrie *et al.*, 2012). Each entry in the synonym list (Scientific name) is given in alphabetical order, and each of the synonyms is given following the order provided by Hernández-Crespo & Lado (2005). An exception is present for *Arcyria affinis* Rostaf., 1875 which has no currently-accepted synonyms.

Synonyms based on the same type specimen are given with the symbol \equiv , synonym based on other type material are given with the symbol $=$. "?" accompanied by a synonym name means the synonymy is doubtful or needs to be verified.

Images of some new records are given and captioned accordingly. Photos credits are indicated in each caption.

Results

A total of 21 species, belonging to 14 genera, 7 families and 5 orders, have been listed to be present in the French department of Aveyron. Among this preliminary checklist, *Arcyria* and *Stemonitis* were the most frequent genera found (~0,14% each), followed by the genera *Lycogala*, *Physarum*, *Trichia* (~0,09% each) and *Ceratiomyxa*, *Comatricha*, *Didymium*, *Fuligo*, *Hemitrichia*, *Leocarpus*, *Mucilago*, *Reticularia* and *Tubifera* (~0,05% each).

The literature research revealed only two papers mentioning myxomycetes taxa in Aveyron (Eliasson & Lundqvist 1979; Mitchell *et al.*, 1984). Some data have been found on the ADONIF website (<https://fongibase.adonif.fr/recherchecarto/>), published by Jean-Claude Malaval. No records of myxomycetes from Aveyron have been noted in the INPN and iNaturalist online database. Fourteen species, *Arcyria affinis* Rostaf., *Arcyria obvelata* (Oeder.) Onsberg, *Ceratiomyxa fruticulosa* (O.F. Müll.) T. Macbr., *Fuligo septica* (L.) F.H. Wigg., *Hemitrichia clavata* (Pers.) Rostaf., *Leocarpus fragilis* (Dicks.) Rostaf., *Lycogala epidendrum* (J.C. Buxb. ex L.) Fr., *Lycogala flavofuscum* (Ehrenb.) Rostaf., *Mucilago crustacea* P. Micheli ex F.H. Wigg., *Reticularia lycoperdon* Bull., *Stemonitis axifera* (Bull.) T. Macbr., *Stemonitis splendens* Rostaf., *Trichia decipiens* (Pers.) T. Macbr., and *Tubifera ferruginosa* (Batsch) J.F. Gmel., are reported from the department for the first time. *Arcyria cinerea* (Bull.) Pers., *Comatricha laxa* Rostaf., *Didymium difforme* (Pers.) Gray, *Physarum album* (Bull.) Chevall., *Physarum decipiens* M.A. Curtis, *Stemonitis fusca* Roth and *Trichia varia* (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers., have already been published in the literature or online databases. Of note, a specimen of *Fuligo candida* has been observed and identified by Michel Ferrières, based on macroscopic characteristics, in Aveyron. As no microscopic analysis was performed, the authors decided not to include this taxon in this present preliminary study, in order to avoid potential errors or doubtful data. In addition, two identifications were found to be questionable or would have required further microscopic studies, namely *Badhamia capsulifera* (Bull.) Berk. and *Arcyria ferruginea* Saut., respectively mentioned by MF and AMBA 2011. They have been included in the category “TBC data” and not included in the general list of Aveyron myxomycetes, in order to avoid integrating errors or invalidated data. The new data on Aveyron myxomycetes are those collected by AMBA (Jean-Louis Menos, Michel Ferrières, Bernard Crosses and Jonathan Cazabonne) and not published

until now. These data are therefore considered as new records for the department.

Taxonomic list of myxomycetes

Protozoa
Amoebozoa
Mycetozoa

PROTOSTELIOMYCETES

Protosteliales
Ceratiomyxaceae

Ceratiomyxa fruticulosa *
(O.F. Müll.) T. Macbr., 1899
Fig. 2

Basionym: *Byssus fruticulosa* Scop., 1772

Reference: AMBA 2011, locality unknown.



Fig. 2A-B - Macrophotographs of *Ceratiomyxa fruticulosa* collected in Aveyron, 10/08/2013 (Fig. A) and 12/06/2013 (Fig. B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 15 mm; B, 5 mm.

MYXOMYCETES

Liceales
Reticulariaceae

Lycogala epidendrum * (L.) Fr., 1829
Fig. 3

Basionym: *Lycoperdon epidendrum* L., 1753

Reference: AMBA 2011 and 2021, wood of Baraque des Pins - Commune of Saint-Beauzély, Brunès Forest - Commune of Trémouilles; JC, Roquefort-sur-Soulzon, Lauras and Millau; BC, Communes of Naucelle and Sauveterre.



Fig. 3A-B - Macrophotographs of *Lycogala epidendrum* at a young and mature stage of development, respectively, collected in Aveyron, 19/06/2013 (Fig. A) and 15/04/2013 (Fig. B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 5 mm; B, 2,5 mm.

***L. flavofuscum* * (Ehrenb.) Rostaf., 1873**

Fig. 4

Basionym: *Diphtherium flavofuscum* Ehrenb., 1818

Reference: AMBA 2021, locality unknown.

***Reticularia lycoperdon* * Bull., 1790**

Fig. 5

Basionym: *Reticularia lycoperdon* Bull., 1790

Reference: AMBA 2011, locality unknown.

Note: Was initially reported as *Enteridium lycoperdon* (Bull.) M.L. Farr., 1976 by the AMBA.

Fig. 5A-B - Macrophotographs of *Reticularia lycoperdon* collected in Aveyron, 20/07/2013 (Fig. A and B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 10 mm; B, 12 mm.

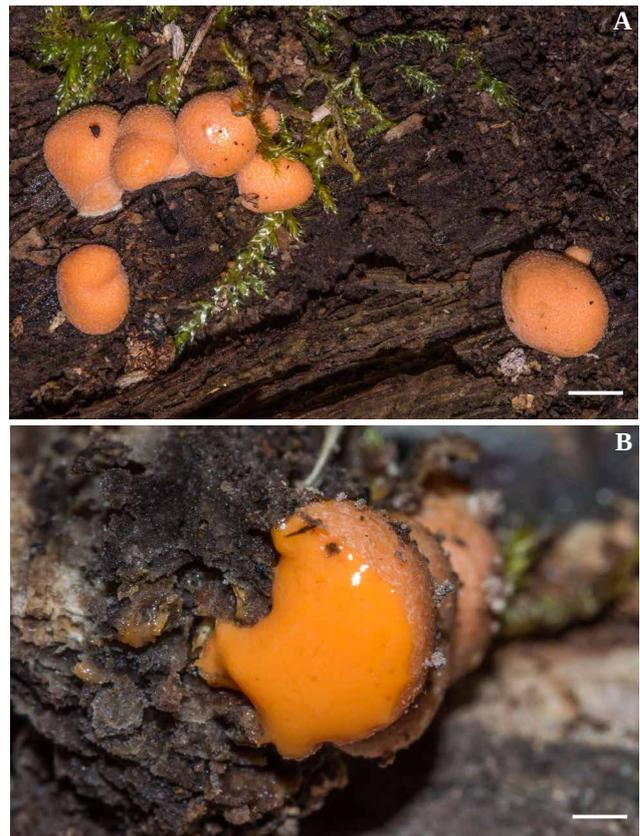
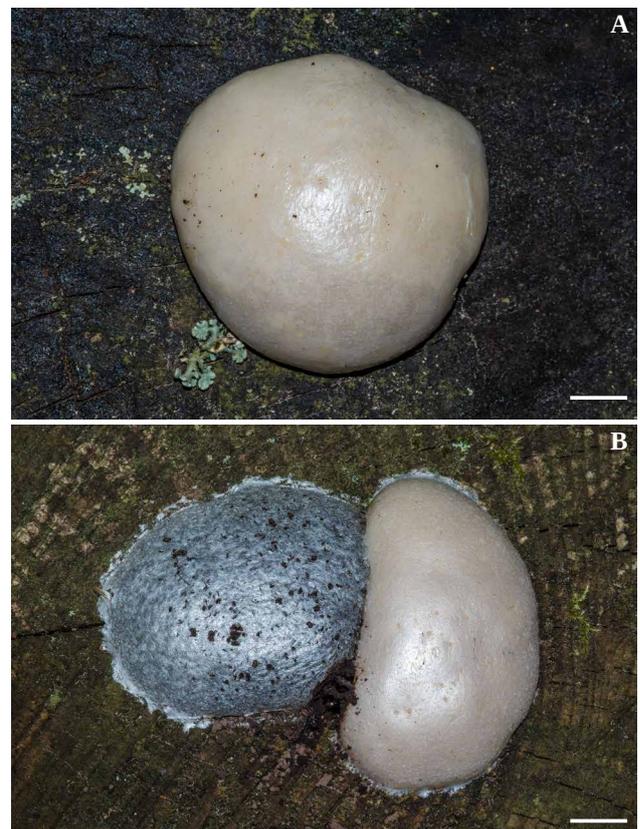


Fig. 4A-B - Macrophotographs of *Lycogala flavofuscum* collected in Aveyron, 01/05/2013 (Fig. A and B). It should be noted that the photographed specimen is of small size, compared to the morphotype of the species. Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 15 mm; B, 5 mm.



***Tubifera ferruginosa* * (Batsch) J.F. Gmel., 1792**
Fig. 6

Basionym: *Stemonitis ferruginosa* Batsch., 1786
Reference: AMBA 2011, near Curan on the departmental road (RD) 911 - Commune of Curan.



Fig. 6A-B - Macrophotographs of *Tubifera ferruginosa* collected in Aveyron, 26/07/2013 (Fig. A) and 03/08/2011 (Fig. B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 1 mm; B, 5 mm.

Physarales
Didymiaceae

***Mucilago crustacea* ***
P. Micheli ex F.H. Wigg., 1780
Fig. 7

Basionym: *Mucilago crustacea* P. Micheli ex F.H. Wigg., 1780
Reference: AMBA 2021, locality unknown; MF, Belcastel, on a chestnut branch.



***Didymium difforme* (Pers.) Gray, 1821**

Basionym: *Diderma difforme* Pers., 1797
Reference: Eliasson & Lundqvist, 1979. p. 564, Chaos of Montpellier-le-Vieux.

Physaraceae

***Fuligo septica* * (L.) F.H. Wigg., 1780**
Fig. 8

Basionym: *Mucor septicus* L., 1763
Reference: AMBA 2011, Wood of Baraque des Pins - Commune of Saint-Beauzély, Wood of Crémade - Commune of la Cavalerie; JC and JM, Castelnau-Pegayrols, deciduous forest; BC, Commune of Naucelle.

Note: *Fuligo septica* (L.) F.H. Wigg. and *Fuligo candida* Pers., 1796 were initially reported as two different species by the AMBA. However, these two names have now become synonymous.



Fig. 8 - Macrophotographs of *Fuligo septica* collected in Aveyron, 20/07/2013. Photographs ©Gérard Leduc. Scale: 3 cm.

***Leocarpus fragilis* * (Dicks.) Rostaf., 1874**

Basionym: *Lycoperdon fragile* Dicks., 1785
Reference: AMBA 2011, Peyre - Communes of Comprégnac and Millau, Brunès Forest - Commune of Trémouilles; MF, Peyrelade (near Rivière-sur-Tarn), in a wood dominated by *Quercus ilex* L., 1753. Another specimen of *Leocarpus fragilis* have been found in Aveyron by MF. However, the identification might be doubtful and would have deserved further microscopic study. These are either young subjects of *Leocarpus fragilis* which do not yet show the foot and the elongation/stretching characteristic of the mature fructification or a species of the genus *Trichia*, a hypothesis which is not excluded.

Fig. 7 - Macrophotographs of *Mucilago crustacea* collected in Aveyron, 22/11/2011. Photographs ©Gérard Leduc. Scale: 2 cm.

***Physarum album* (Bull.) Chevall., 1826**

Basionym: *Sphaerocarpus albus* Bull., 1789

Reference: Jean-Claude Malaval, Mélagues, 19/11/2004.

Notes: Initially reported as *Physarum nutans* Pers., 1795 by Jean-Claude Malaval in the ADONIF Website.

***Physarum decipiens* M.A. Curtis, 1848**

Basionym: *Physarum decipiens* M.A. Curtis, 1848

Reference: Mitchell *et al.*, 1984 p. 58, Millau.

Stemonitales
Stemonitidaceae

***Stemonitis axifera* * (Bull.) T. Macbr., 1889**
Fig. 9

Basionym: *Trichia axifera* Bull., 1791

Reference: AMBA 2021, locality unknown.

Notes: One specimen was initially reported as *Stemonitis ferruginea* Ehrenb., 1818 by the AMBA.

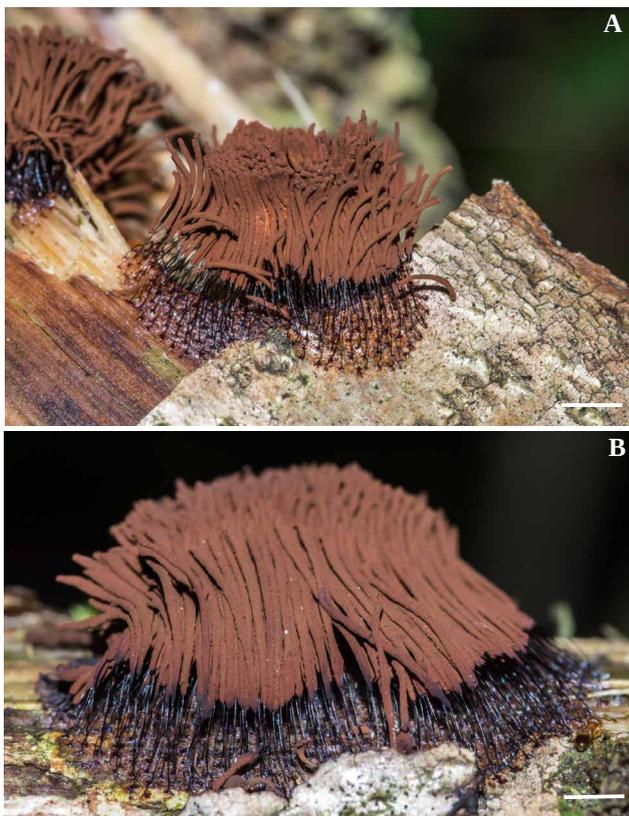


Fig. 9 A-B- Macrophotographs of *Stemonitis axifera* collected in Aveyron, 09/06/2016 (Fig. A and B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 10 mm; B, 6 mm.

***Stemonitis fusca* Roth, 1787**

Basionym: *Stemonitis fusca* Roth, 1787

Reference: Mitchell *et al.*, 1984.p. 57, Millau (12) as *Stemonitis nigrescens* Rex ; AMBA 2021, locality unknown.

Notes: The specimen mentioned by the AMBA was initially recorded as *Stemonitis nigrescens* Rex, 1891.

***Stemonitis splendens* * Rostaf., 1874**

Basionym: *Stemonitis splendens* Rostaf., 1874

Reference: AMBA 2021, Locality unknown.

Notes: Initially reported as *Stemonitis lignicola* Nann.-Bremek., 1973 by the AMBA.

***Comatricha laxa* Rostaf., 1874**

Basionym: *Comatricha laxa* Rostaf., 1874

Reference: Mitchell *et al.*, 1984 p 56 , Millau.

Trichiales
Arcyriaceae

***Arcyria obvelata* * (Oeder.) Onsberg, 1979**
Fig. 10

Basionym: *Embolus obvelatus* Oeder, 1770

Reference: AMBA 2011 and 2021, locality unknown.



Fig. 10A-B - Macrophotographs of *Arcyria obvelata* collected in Aveyron, 16/06/2013 (Fig. A and B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 3 mm; B, 0,5 mm.

Arcyria affinis * Rostaf., 1875

Basionym: *Arcyria affinis* Rostaf., 1875
Reference: AMBA 2021, locality unknown.

Arcyria cinerea (Bull.) Pers., 1801

Basionym: *Trichia cinerea* Bull., 1790
Reference: Mitchell *et al.*, 1984 p 55., Millau (12).

Trichiaceae

Hemitrichia clavata * (Pers.) Rostaf., 1873
Fig. 11

Basionym: *Trichia clavata* Pers., 1794
Reference: AMBA 2021, locality unknown;
Jean-Claude Malaval, Mélagues, 09/11/2011.



Fig. 11A-B - Macrophotographs of *Hemitrichia clavata* collected in Aveyron, 15/12/2016 (Fig. A) and 18/12/2016 (Fig. B). It should be noted that the photographed specimen is not representative of the “type” of the species. Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 3,5 mm; B, 1,5 mm.

Trichia varia (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers., 1794

Basionym: *Stemonitis varia* Pers. ex J.F. Gmel., 1792.
Reference: Jean-Claude Malaval, Mélagues, 07/12/2001.

Trichia decipiens * (Pers.) T. Macbr., 1889
Fig. 12

Basionym: *Arcyria decipiens* Pers., 1795
Reference: AMBA 2021, locality unknown; Jean-Claude Malaval, Mélagues, 19/11/2004.



Fig. 12A-B - Macrophotographs of *Trichia decipiens* immature collected in Aveyron, 06/10/2012 (Fig. A) and 29/12/2012 (Fig. B). Photographs ©Gérard Leduc. Scale: A, 3,5 mm; B, 2,5 mm.

TBC Data

Badhamia sp *
Fig. 13

Reference: MF, 09/03/2013

Note: The specimen collected by MF belongs to the genus *Badhamia*. However, without the material retained to carry out a microscopic study, identification stops at the level of the genus. However, several hypotheses can be made. A microscopic study could have confirmed that it was *Badhamia capsulifera* (Bull.) Berk., 1852. In addition, the little calcareous peridium evokes *B. foliicola* Lister, 1897, if the support was on the ground, or *B. utricularis* (Bull.) Berk., 1852 whose hypothallus is not developed. Consequently, this specimen is attributed a « To Be Confirmed » mention.



Fig. 13 - Macrophotographs of *Badhamia* sp collected in Aveyron, 09/03/2013. Photographs ©Gérard Leduc. Scale: 5 mm.

***Arcyria ferruginea* * Saut., 1841**
Fig. 14

Basionym: *Arcyria ferruginea* Saut., 1841

Reference: JM, locality unknown.

Note: It is very likely that the species harvested is *Arcyria ferruginea*, especially because of its capillitium weakly attached to the cup. However, since the specimen has not been conserved by the determiner, confirmation on microscopic characters cannot be conducted. As a result, this species was not included in the general List, and was given a “To Be Confirmed (TBC)” endorsement.



Fig. 14 - Macrophotographs of *Arcyria ferruginea* collected in Aveyron, 22/08/2017. TBC. Photographs ©Gérard Leduc. Scale: 1,5 mm.

Discussion and Conclusion

It should be noted that the material related to the specimens and records mentioned in the literature and by Jean-Claude Malaval were not examined by the authors. This research and data collection

work on Aveyron myxomycetes is intended to be as exhaustive as possible. However, unpublished data in both the literature and online databases may exist and therefore not be mentioned in this preliminary list. This list is therefore destined to be completed in the coming years. If new data is accumulated in the future, additions to this first list will be made and published.

Most of the species recorded in this bibliographic and inventory work are common and present in other French departments. This relatively small number of species of myxomycetes in Aveyron reflects a significant bias, notably the lack of inventory and studies on myxomycetes. It can reasonably be assumed that this list represents only a very small subsection of the myxomycete diversity present in the department. This list is obviously destined to be completed and complemented by other data in the coming years.

This work was a way to value the contribution and investment of local mycological associations, data held by amateur mycologists and to encourage mycologists from Aveyron or more widely France to come and contribute to the knowledge of myxomycetes from Aveyron and other French departments.

Acknowledgments: The authors would like to thank all the members of the AMBA who have contributed over the decades to the collection of Myxomycetes and Fungi in general, and this for decades. Special thanks go to Michel Ferrières for having communicated some localities for *Leocarpus fragilis* and *Mucilago crustacea* in Aveyron. Thanks also to Gérard Leduc for the magnificent photos taken during the inventories carried out independently or with the AMBA. The authors also thank Bernard Crozes for providing his data on myxomycetes from Aveyron to the AMBA. Our warm greetings go to Xavier Bossier for having read and commented on the earlier version of this manuscript, as well for the reviewer Marianne Meyer for her constructive suggestions.

Contributions: Jonathan Cazabonne initiated, conceptualized and wrote the manuscript. Jean-Louis Menos and Michel Ferrières provided most of the data on Aveyron’s myxomycetes. JC, MF and JM all contributed to the bibliographic research. All three authors have read and accepted the final version of the published manuscript.

References

Baba H. (2012) - Diversity and Ecology of Myxomycetes in Antakya-Hatay (Turkey). *The Journal of Fungus*, Bâle, 3 (1-2): 5-11.

- Barrie F.R., Buck W.R., Demoulin V., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S. & Turland N.J. (2012) - International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants (Melbourne Code). *Koeltz Scientific Books*, Königstein, 154. 240 p.
- Bourdot H. & Galzin A. (1927) - Hymenomyces of France. *Hymenomyces of France*. Marcel Bry, Sceaux.
- Cavender J. (1995) - Myxomycetes: A handbook of slime molds. *Bioscience*, Oxford, 45 (11): 795-797.
- Chassain M. (1972) - Inventaire des espèces de myxomycètes en Loire-Atlantique. *Documents mycologiques*, Faculté de Lille, 5 : 43-49.
- Chen S., Yan S. & Li Y. (2010) - An annotated checklist of myxomycetes from Tibet, China. *Mycosystema*, Beijing, 29 (6): 845-851.
- Cochet, S. (1977) - Les Myxomycètes de France. *Bulletin de la Société Mycologique de France*, Paris, 93 (3) : 159-200.
- Cochet, S. & Bozonnet, J. (1980) - Les Myxomycètes de France. Nouveautés et compléments. *Bulletin de la Société Mycologique de France*, Paris, 96 (4) : 115-120.
- Cochet, S. & Bozonnet, J. (1984) - Les Myxomycètes de France. Nouveautés et compléments (II). *Bulletin de la Société Mycologique de France*, Paris, 100 (3) : 39-64.
- Coste C. (2011) - Aperçu de la flore et de la végétation lichéniques de la réserve biologique intégrale du cirque de Madasse (Forêt domaniale du causse Noir, Aveyron). *Bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse*, Toulouse, 147 : 11-25.
- Crous P.W., Gams W., Stalpers J.A., Robert V. & Stegehuis G. (2004) - MycoBank: an online initiative to launch mycology into the 21st century. *Studies in Mycology*, Trippenhuis, 50: 19-22.
- Eliasson U. & Lundqvist N. (1979) - Fimicolous myxomycetes. *Botaniska Notiser*; Lund, 132: 551-568.
- Feng Y. & Schnittler M. (2017) - Molecular or morphological species? Myxomycete diversity in a deciduous forest in northeastern Germany. *Nova Hedwigia*, Stuttgart, 104 (1-3): 359-380.
- Fiore-Donno A.M., Kamono A., Meyer M., Schnittler M., Fukui M. & Cavalier-Smith T. (2012) - 18S rDNA Phylogeny of *Lamproderma* and Allied Genera (Stemonitales, Myxomycetes, Amoebozoa). *PLoS ONE*, 7 (4): e35359. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035359>
- Fiore-Donno A.M., Clissmann F., Meyer M., Schnittler M. & Cavalier-Smith T. (2013) - Two-Genes Phylogeny of Bright-Spored Myxomycetes (Slime Moulds, Superorder Lucisporidia). *PLoS ONE*, 8 (5) : e62586, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062586>
- Henry M.R. (1924) - Sur la présence dans les Vosges de quelques Myxomycètes. *Bulletin de la Société Botanique de France*, Paris, 71 (2) : 256-257.
- Hernández-Crespo J.C. & Lado C. (2005) - An on-line nomenclatural information system of Eumycetozoa. <http://www.nomen.eumycetozoa.com>. Consulted in July 2021
- Huguenin B. & Kohler F. (1969) - Quelques myxomycètes de Nouvelle-Calédonie. *Bulletin de la Société Mycologique de France*, Paris, 85 : 381-383.
- Kirk P.M. & Ansell A.E. (1992) - Authors of fungal names: A list of authors of scientific names of fungi, with recommended standard forms of their names, including abbreviations. *CABI Bioscience*, Wallingford. Electronic version: <http://www.speciesfungorum.org/AuthorsOfFungalNames.htm>
- Kirk P.M., Cannon P.F., David J.C. & Stalpers J.A. (2001) - Dictionary of the fungi. 9th edn. *CAB International*, Oxon.
- Kirk, P.M. *et al.* (2004) - Authors of fungal names. *CABI Bioscience*, Wallingford., <http://www.speciesfungorum.org/AuthorsOfFungalNames.htm>. Consulted in July 2021.
- Le Goff R. & Ribollet P. (2018) - Inventaire des Myxomycètes de la Loire-Atlantique (Mars 2018). *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, Nantes, 40 (3-4) : 71-78.
- Leontyev D.V. & Schnittler M. (2017) - Chapter 3 - The Phylogeny of Myxomycetes. *Myxomycetes*, Cambridge, 83-106, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805089-7.00003-2>.
- Martin G.W. & Alexopoulos C.J. (1969) - The Myxomycetes. Iowa University Press, Iowa. 576 p.
- Martin B. & Martin J.L. (2002) - Les myxomycètes dans le département du Rhône. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, Lyon, 71 (9) : 357-364.
- Mifsud S. (2020) - An updated checklist of the myxomycetes in the Maltese islands - An overview

- of an ongoing research. *Microbial Biosystems*, Ismailia, 5 (2): 9-19.
- Mitchell D.W., Nannenga-Bremekamp N.E., Champion C.L. & Clark M.C. (1984) - Myxomycota ramassés en France et conservés dans nos collections privées. *Documents Mycologiques*, Lille, 14 (54-55) : 51-60.
- Mornand J. (1993) - Contribution à la connaissance des champignons de Maine-et-Loire. III: Myxomycètes. *Bulletin trimestriel de la Société mycologique de France*, Paris, 109 (2) : 63-75.
- Ndiritu G.C., Winsett K.E., Spiegel F.W. & Stephenson S.L. (2009) - A checklist of African myxomycetes. *Mycotaxon*, 107: 353-356.
- Novozhilov Y.K., Rollins A.W. & Schnittler M. (2017) - Chapter 8 - Ecology and Distribution of Myxomycetes. *Myxomycetes*, Cambridge : 253-297, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805089-7.00008-1>
- Pouchet A. (1926) - Contribution à l'étude des Myxomycètes du département du Rhône. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, Lyon, 72 (1) : 42-66.
- Pouchet A. (1930) - Contribution à l'étude des Myxomycètes (2e série) du département du Rhône. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, Lyon, 75 (1) : 94-100.
- Poulain M., Meyer M. & Bozonnet J. (2011a) - Les Myxomycètes. *Fédération Mycologique et Botanique Dauphiné-Savoie*, Annemasse : 556.
- Poulain M., Meyer M., & Bozonnet J. (2011b) - Les Myxomycètes. 2 vol. *Fédération Mycologique et Botanique Dauphiné-Savoie* : 1119.
- Ranade V.D., Korade S.T., Jagtap A.V. & Ranadive K.R. (2012) - Checklist of myxomycetes from India. *Mycosphere*, Guangzhou, 3 (3): 358-390.
- Robert V., Stegehuis G. & Stalpers G. (2005) - The MycoBank engine and related databases. <https://www.mycobank.org/>. Consulted in July 2021.
- Robert V. et al. (2013) - MycoBank gearing up for new horizons. *IMA Fungus*, Exeter, 4 (2): 371-379.
- Rollins A.W. & Stephenson S.L. (2011) - Global distribution and ecology of myxomycetes. *Current Topics in Plant Biology* 12: 1-14.
- Rostafiński J. (1873) - Versuch eines Systems der Mycetozen. Inaugural dissertation, University Press, Strassburg. 115 pp.
- Schnittler M., Shchepin O.N., Dagamac N.H.A., Borg Dahl M. & Novozhilov Y.K. (2017) - Barcoding myxomycetes with molecular markers: challenges and opportunities. *Nova Hedwigia*, Stuttgart, 104 : 323-34, https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2017/0397
- Sérusiaux E. (1982) - Une nouvelle station française de lichens foliicoles dans le Massif central occidental (Aveyron). *Cryptogamie. Bryologie, Lichenologie*, Paris, 3 (1) : 73-76.
- Sesli E. & Denchev C.M. (2005). Checklist of the Myxomycetes and Macromycetes in Turkey. *Mycologia Balcanica*, Sofia, 2 (2) : 119-160.
- Sesli E. & Denchev C.M. (2008) - Checklists of the myxomycetes, larger ascomycetes, and larger basidiomycetes in Turkey. *Mycotaxon*, 106 : 65.
- Sesli E., Akata I., Denchev T.T. & Denchev C.M. (2016) - Myxomycetes in Turkey-a checklist. *Mycobiology*, Seoul, 6 : 1-20.
- Sevindik M., Akgül H. (2019) - Fruiting bodies structures of myxomycetes. *Journal of Bacteriology and Mycology*, Irving, 7 (6): 144-148.
- Shchepin O.N., Schnittler M., Erastova D.A., Prikhodko I.S., Dahl M.G., Azarov D.V., Chernyaeva, E.N. & Novozhilov Y.K. (2019a) - Community of dark-spored myxomycetes in ground litter and soil of taiga forest (Nizhne-Svirskiy Reserve, Russia) revealed by DNA metabarcoding. *Fungal Ecology*, Manchester, 39: 80-93, <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.11.006>.
- Shchepin O.N., Novozhilov Y.K., Prikhodko I.S. & Schnittler M. (2019b) - Large-scale DNA Metabarcoding Study provides new insights on Diversity and Ecology of Myxomyce. *Modern Achievements in Population, Evolutionary, and Ecological Genetics*, Nakhodka: 57-57.
- Stephenson S.L. (2011) - From morphological to molecular: studies of myxomycetes since the publication of the Martin and Alexopoulos (1969) monograph. *Fungal Diversity*, Yunnan, 50 (1): 21-34.
- Stephenson S.L., Fiore-Donno A.M. & Schnittler M. (2011) - Myxomycetes in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (11): 2237-2242. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.007>.

Appendix. List of Synonyms

ARCYRIA *affinis* Rostaf.

ARCYRIA cinerea (Bull.) Pers. ≡ *Trichia cinerea* Bull. ≡ *Stemonitis cinerea* (Bull.) J.F. Gmel. = *Arcyria albida* Pers. = *Stemonitis glauca* Trentep. = *Stemonitis glauca* var. *subglobosa* Trentep. = *Stemonitis digitata* Schwein. = *Arcyria digitata* (Schwein.) Rostaf. = *Clathroides digitatum* (Schwein.) E. Sheld. = *Arcyria cinerea* var. *digitata* (Schwein.) G. Lister. = *Arcyria trichioides* Corda. = *Arcyria leprieurii* Mont. = *Stemonitis grisea* Opiz. = *Arcyria bicolor* Berk. & M.A. Curtis. = *Arcyria pallida* Berk. & M.A. Curtis. = *Arcyria cinerea* subsp. *subleionema* Rostaf. = *Arcyria friesii* Berk. & Broome. = *Arcyria stricta* Rostaf. = ? *Lachnobolus arcycella* Rostaf. = *Comatricha alba* Schulzer. = *Arcyria cinerea* var. *cribroides* Raunk. = *Arcyria cookei* Masee. = *Clathroides cookei* (Masee) E. Sheld. = *Arcyria tenuis* J. Schröt. = *Arcyria digitata* f. *subglobosa* Meyl. = *Arcyria digitata* f. *globosa* Meyl. = *Arcyria cinerea* f. *subglobosa* Meyl. = *Arcyria cinerea* f. *rubella* Y. Yamam.

ARCYRIA ferruginea Saut. = *Clathroides ferrugineum* (Saut.) E. Sheld. = *Arcyria dictyonema* Rostaf. = *Clathroides dictyonema* (Rostaf.) E. Sheld. = *Arcyria intricata* Rostaf. = *Arcyria cinnamomea* Hazsl. = *Clathroides cinnamomea* (Hazsl.) E. Sheld. = *Arcyria bonariensis* Speg. = *Clathroides bonariense* (Speg.) E. Sheld. = *Arcyria macrospora* Peck = *Arcyrella inermis* Racib. = *Clathroides inerme* (Racib.) E. Sheld. = *Arcyrella decipiens* Racib. = *Arcyria raciborskii* Berl. = *Clathroides raciborskii* (Berl.) E. Sheld. = ? *Arcyrella cornuvioides* Racib. = *Arcyria ferruginea* f. *cornuvioides* (Racib.) Torrend = *Arcyria cornuvioides* (Racib.) Krzemien. = *Arcyria aurantiaca* Raunk. = *Clathroides aurantiacum* (Raunk.) E. Sheld. = *Heterotrichia gabriellae* Masee = *Arcyria ferruginea* var. *gabriellae* (Masee) Grove = *Arcyria ferruginea* f. *heterotrichia* Torrend = *Arcyria ferruginea* var. *heterotrichia* (Torrend) G. Lister = *Arcyria clavata* L.F. Celak. = *Arcyria incarnata* var. *nodulosa* T. Macbr. = *Arcyria adnata* var. *nodulosa* (T. Macbr.) Sacc. & Traverso = *Arcyria nodulosa* (T. Macbr.) T. Macbr. = *Arcyria ferruginea* f. *helvetica* Torrend = *Arcyria ornata* Widder = *Arcyria ferruginea* var. *antverpiensis* Robbr.

ARCYRIA obvelata (Oeder.) Onsberg. ≡ *Embolus obvelatus* Oeder. = *Trichia nutans* Bull. = *Stemonitis nutans* (Bull.) J.F. Gmel. = *Arcyria nutans* (Bull.) Grev. = *Arcyrella nutans* (Bull.) Racib. = *Clathroides nutans* (Bull.) E. Sheld. = *Arcyria flava* Pers. = *Stemonitis amoena* Trentep. = *Trichia elongata* Schumach. = *Arcyria alutacea* Schumach. = *Arcyrella nutans* var. *brevispina* Racib. = *Arcyrella nutans* var. *spinossissima* Racib.

BADHAMIA capsulifera (Bull.) Berk. ≡ *Sphaerocarpus capsulifera* Bull. ≡ *Trichia capsulifera* (Bull.) DC. ≡ *Physarum capsuliferum* (Bull.) Chevall. = *Physarum hyalinum* Pers. = *Badhamia hyalina* (Pers.) Berk. = *Physarum hyalinum* var. *albidum* Alb. & Schwein. = *Physarum botryoides* var. *hyalinum* Fr. = *Badhamia hyalina* var. *subsessilis* Rostaf. = *Badhamia hyalina* var. *gracilis* Rostaf. = *Badhamia varia* Masee = *Badhamia capsulifera* var. *libera* Torrend = *Badhamia capsulifera* var. *repens* G. Lister = *Badhamia capsulifera* var. *arborea* G. Lister = *Badhamia capsulifera* f. *monilifera* T. Macbr.

CERATIOMYXA fruticulosa (O.F. Müll.) T. Macbr. ≡ *Byssus fruticulosa* O.F. Müll. ≡ *Famintzinia fruticulosa* (O.F. Müll.) Lado = *Tremella hydnoidea* Jacq. = *Ceratium hydnoideum* (Jacq.) Alb. & Schwein. = *Ceratiomyxa hydnoidea* (Jacq.) Kuntze = *Ceratiomyxa mucida* var. *hydnoidea* (Jacq.) Torrend = *Ceratium hydnoideum* var. *ramossissimum* (Jacq.) Peck = *Ceratium hydnoideum* var. *subreticulatum* (Jacq.) Peck = *Clavaria puccinia* Batsch = *Clavaria byssoides* Bull. = *Puccinia byssoides* (Bull.) J.F. Gmel. = *Corynoides byssoides* (Bull.) Gray = *Isaria mucida* Pers. = *Ceratium mucidum* (Pers.) J. Schröt. = *Ceratiomyxa mucida* (Pers.) J. Schröt. = *Isaria mucida* Schumach. = *Ceratium pyxidatum* Alb. & Schwein. = *Ceratium porioides* Alb. & Schwein. = *Famintzinia porioides* (Alb. & Schwein.) Hazsl. = *Ceratiomyxa porioides* (Alb. & Schwein.) J. Schröt. = *Ceratiomyxa mucida* var. *porioides* (Alb. & Schwein.) Lister = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *porioides* (Alb. & Schwein.) G. Lister = *Ceratium porioides* var. *flavum* Alb. & Schwein. = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *porioides* f. *flava* (Alb. & Schwein.) Y. Yamam. = *Ceratium porioides* var. *lacteam* Alb. & Schwein. = *Ceratium aureum* Link = *Ceratiomyxa fruticulosa* f. *aurea* (Link) Y. Yamam. = *Ceratium rubicundum* Link = *Ceratium pyxidatum* var. *cornutum* Wallr. = *Ceratium pyxidatum* var. *flabellatum* Wallr. = *Ceratium arbuscula* Berk. & Broome = *Ceratiomyxa arbuscula* (Berk. & Broome) Pat. = *Ceratiomyxa mucida* var. *arbuscula* (Berk. & Broome) Torrend = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *arbuscula* (Berk. & Broome) Minakata = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *arbuscula* (Berk. & Broome) Nann. -Bremek. = *Ceratium filiforme* Berk. & Broome = *Ceratium crustosum* Berk. & M.A. Curtis = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *crustosum* (Berk. & M.A. Curtis) Minakata = *Ceratium fuscum* Cooke = *Ceratium roseum* Cooke = *Ceratium sphaeroideum* Kalchbr.

& Cooke = *Ceratiomyxa plumosa* G.F. Atk. = *Ceratiomyxa mucida* var. *flexuosa* Lister = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *flexuosa* (Lister) G. Lister = *Ceratiomyxa porioides* f. *alba* Torrend = *Ceratiomyxa caesia* E. Jahn = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *caesia* (E. Jahn) G. Lister = *Ceratiomyxa fruticulosa* f. *aurantiaca* Jaap = *Ceratiomyxa freyana* Meyl. = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *comata* Lavrov = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *descendens* Emoto = *Ceratiomyxa descendens* (Emoto) Emoto = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *rosella* Cejp = *Ceratiomyxa fruticulosa* var. *porioides* f. *rosea* Y. Yamam.

COMATRICHA laxa Rostaf. ≡ *Stemonitis laxa* (Rostaf.) Masee = *Badhamia penetralis* Cooke & Ellis = *Lamproderma ellisianum* Cooke = *Comatricha ellisiana* (Cooke) Ellis & Everh. = *Stemonitis macrosperma* (Racib.) Masee = *Comatricha macrosperma* Racib. = *Comatricha macrosperma* var. *oblonga* Racib. = *Comatricha macrosperma* var. *obovata* Racib = *Comatricha sommerfeltii* A. Blytt = *Comatricha ellisii* Morgan

DIDYMIUM difforme (Pers.) Gray ≡ *Diderma difforme* Pers. ≡ *Physarum difforme* (Pers.) Link ≡ *Didymium difforme* (Pers.) Duby ≡ *Chondrioderma difforme* (Pers.) Rostaf. = *Licea caesia* Schumach. = *Physarum caesium* (Schumach.) Fr. = *Amphisporium versicolor* Link = *Didymium versicolor* (Link) Léman =? *Didymium cyanescens* Fr. & Palmquist = *Diderma cyanescens* (Fr. & Palmquist) Fr. = *Licea alba* Nees = *Lycogala minutum* Grev. = *Physarum album* (Nees) Fr. = *Reticularia pusilla* Fr. =? *Diderma liceoides* Fr. = *Licea macrospora* Schwein. = *Diderma macrosporum* (Schwein.) Kuntze =? *Diderma neesii* Corda = *Diderma libertianum* Fresen. = *Didymium libertianum* (Fresen.) de Bary = *Chondrioderma liceoides* Rostaf. = *Chondrioderma micraspis* Speg. = *Diderma persoonii* T. Macbr. = *Didymium tubulatum* E. Jahn = *Didymium difforme* var. *repandum* G. Lister = *Didymium difforme* var. *bendelii* Ejale

FULIGO septica (L.) F.H. Wigg. = *Fuligo candida* Pers. ≡ *Mucor septicus* L. ≡ *Reticularia septica* (L.) With. ≡ *Fuligo septica* (L.) J.F. Gmel. ≡ *Aethalium septicum* (L.) Fr. = *Mucor mucilago* Scop. = *Mucor ovatus* Schaeff. = *Reticularia ovata* (Schaeff.) With. = *Fuligo ovata* (Schaeff.) T. Macbr. = *Reticularia lutea* Bull. = *Reticularia hortensis* Bull. = *Fuligo hortensis* (Bull.) Duby = *Aethalium rufum* (Pers.) Wallr. = *Aethalium rufum* (Pers.) Alexandrovicz = *Fuligo flava* Pers. = *Aethalium flavum* (Pers.) Link = *Aethalium septicum* var. *flavum* (Pers.) Fr. = *Fuligo septica* var. *flava* (Pers.) Lázaro Ibiza = *Fuligo septica* f. *flava* (Pers.) Y. Yamam. = *Fuligo rufa* Pers. = *Reticularia rufa* (Pers.) Schwein. = *Aethalium septicum* var. *rufum* (Pers.) Fr. = *Fuligo septica* var. *rufa* (Pers.) Lázaro Ibiza = *Fuligo septica* f. *rufa* (Pers.) Y. Yamam. = *Fuligo vaporaria* Pers. = *Reticularia vaporaria* (Pers.) Chevall. = *Aethalium vaporarium* (Pers.) Becker = *Aethalium septicum* var. *vaporarium* (Pers.) Rabenh. = *Fuligo septica* var. *vaporaria* (Pers.) Lázaro Ibiza. = *Aethalium candidum* (Pers.) Schldtl. = *Fuligo septica* var. *candida* (Pers.) R.E. Fr. = *Fuligo septica* f. *candida* (Pers.) Meyl. = *Fuligo pallida* Pers. = *Reticularia cerea* Sowerby = *Fuligo carnea* Schumach. = *Fuligo flavescens* Schumach. = *Reticularia carnea* (Schumach.) Fr. = *Fuligo cerebrina* Brond. = *Fuligo varians* Sommerf. = *Aethalium septicum* var. *cinnamomeum* Fr. = *Aethalium ferrincola* Schwein. = *Licea lindheimeri* Berk. = *Tubulina lindheimeri* (Berk.) Masee = *Tubifera lindheimeri* (Berk.) E. Sheld. = *Fuligo varians* f. *ecorticata* Rostaf. = *Fuligo varians* var. *ecorticata* (Rostaf.) Cooke = *Fuligo tatraca* Racib. = *Fuligo candida* Jahn = *Fuligo septica* var. *cinnamomea* R.E. Fr. = *Fuligo septica* f. *corticata* Meyl. = *Fuligo septica* var. *rosea* Nann.-Bremek. = *Fuligo candida* f. *persicina* Y. Yamam. = *Fuligo septica* var. *lapislazulicolor* H.Marx & Kuhnt

HEMITRICHIA clavata (Pers.) Rostaf. ≡ *Trichia clavata* Pers. ≡ *Hemiarcyria clavata* (Pers.) Rostaf. ≡ *Arcyria clavata* (Pers.) Masee ≡ *Hyporhamma clavatum* (Pers.) Lado = *Trichia erythropus* I.G. Borshch. = *Hemiarcyria ablata* Morgan = *Hemiarcyria funalis* Morgan = *Hemitrichia clavata* var. *altaica* Lavrov

LEOCARPUS fragilis (Dicks.) Rostaf. ≡ *Lycoperdon fragile* Dicks. ≡ *Reticularia fragilis* (Dicks.) Poir. = *Lycoperdon parasiticum* With. = *Lycogala parasiticum* (With.) With. ex G. Lister. = *Diderma vernicosum* var. *parasiticum* (With.) Pers. = *Leocarpus parasiticus* (With.) Gray. = *Diderma vernicosum* Pers. = *Physarum vernicosum* (Pers.) Schumach. = *Leocarpus vernicosus* (Pers.) Link ex Nees. = *Leangium vernicosum* (Pers.) Fr. = *Trichia lutea* Trentep. = *Spumaria ramosa* Schumach. = *Physarum nitidum* Schumach. = *Diderma ramosum* (Schumach.) Fr. = *Leocarpus ramosus* (Schumach.) Fr. = *Diderma vernicosum* var. *ovatum* Alb. & Schwein. = *Leocarpus spermoides* Link. = *Leocarpus atrovirens* Fr. & Lindgr. = *Leangium atrovirens* (Fr. & Lindgr.) Fr. = *Diderma atrovirens* (Fr. & Lindgr.) Fr. = *Tripotrichia elegans* Corda. = *Leocarpus vernicosus* f. *lignicola* Meyl. = *Liceopsis jurensis* Meyl. = *Leocarpus fragilis* f. *plasmodiocarpia* Meyl. = *Leocarpus bisporus* Nann.-Bremek. & D.W. Mitch. = *Leocarpus fragilis* var. *bisporus* (Nann.-Bremek. & D. W. Mitch.) D. W. Mitch.

LYCOGALA epidendron (J.C. Buxb. ex L.) Fr. ≡ *Lycoperdon epidendrum* L. = *Galeperdon epidendrum* (L.) F.H. Wigg. = *Lycoperdon variolosum* L. = *Mucor lycogala* Scop. = *Mucor fragiformis* Schaeff. = *Lycoperdon*

pisiforme Jacq. = *Lycoperdon chalybeum* Batsch. = *Lycogala miniatum* Pers. = *Reticularia miniata* (Pers.) Poir. = *Reticularia rosea* DC. = *Lycogala ferrugineum* Schumach. = *Reticularia punctata* Poir. = *Lycogala terrestre* Fr. & Lindgr. = *Lycogala epidendrum* var. *terrestre* (Fr. & Lindgr.) Y. Yamam. = *Lycogala miniatum* var. *marginatum* Gray. = *Lycogala affine* Berk. & Broome. = *Lycogala miniatum* var. *fuliginum* Gray. = *Lycogala nigricans* Lloyd.

LYCOGALA flavofuscum (Ehrenb.) Rostaf. ≡ *Diphtherium flavofuscum* Ehrenb. ≡ *Reticularia flavofusca* (Ehrenb.) Fr. = *Lycogala repletum* Morgan = *Lycogala flavofuscum* var. *argentea* = *Verrucosia corticola* Teng = *Lycogala corticola* (Teng) Teng = *Lycogala flavofuscum* var. *albidum* Wichansky = *Lycogala flavofuscum* var. *armeniicum* Wichansky

MUCILAGO crustacea P. Micheli ex F.H. Wigg. = *Mucor spongiosus* Leyss. = *Mucilago spongiosa* (Leyss.) Morgan = *Reticularia alba* Bull. = *Spumaria alba* (Bull.) DC. = *Spumaria mucilago* Pers. = *Spumaria alba* var. *mucilago* (Pers.) Morgan = *Spumaria cornuta* Schumach. = *Spumaria alba* var. *cornuta* (Schumach.) Fr. = *Didymium spumarioides* Fr. = *Spumaria alba* var. *laminosa* Fr. = *Diderma spumariiforme* Wallr. = *Spumaria alba* var. *dictyospora* R.E. Fr. = *Mucilago spongiosa* var. *dictyospora* (R.E. Fr.) G. Lister = *Mucilago dictyospora* (R.E. Fr.) Lizárraga = *Spumaria alba* var. *solida* Sturgis = *Mucilago spongiosa* var. *solida* (R.E. Fr.) G. Lister = *Mucilago solida* (Sturgis) E. Jahn = *Mucilago crustacea* var. *solida* (Sturgis) G. Lister ex Nann.-Bremek.

PHYSARUM album (Bull.) Chevall. ≡ *Sphaerocarpus albus* Bull. ≡ *Stemonitis alba* (Bull.) J.F. Gmel. ≡ *Trichia alba* (Bull.) Raesch. ≡ *Mucor albus* (Bull.) Sobol. ≡ *Trichia alba* (Bull.) DC. ≡ *Tilmadoche alba* (Bull.) E. Sheld. ≡ *Tilmadoche alba* (Bull.) T. Macbr. ≡ *Physarum album* (Bull.) Moesz = *Physarum nutans* Pers. = *Tilmadoche nutans* (Pers.) Rostaf. = *Trichia nutans* Trentep. = *Physarum nutans* var. *subtile* Pers. = *Physarum album* var. *subtile* (Pers.) Chevall. = *Physarum bulbiforme* Schumach. = *Physarum albopunctatum* Schumach. = *Physarum didymium* Schumach. = *Physarum furfuraceum* Schumach. = *Didymium furfuraceum* (Schumach.) Fr. = *Physarum marginatum* Schumach. = *Didymium marginatum* (Schumach.) Fr. = *Physarum pini* Schumach. = *Tilmadoche pini* (Schumach.) Rostaf. = *Physarum subulatum* Schumach. = *Trichia cernua* Schumach. = *Physarum cernuum* (Schumach.) Fr. = *Tilmadoche cernua* (Schumach.) Fr. = *Craterium subulatum* (Schumach.) Mussat = *Physarum nutans* var. *vulgare* Alb. & Schwein. = *Physarum gracilentum* Fr. = *Tilmadoche gracilenta* (Fr.) Rostaf. = *Physarum nutans* f. *phycophilum* Rabenh. = *Physarum leucophaeum* f. *flexuosum* Rostaf. = *Physarum leucophaeum* var. *flexuosum* (Rostaf.) Cooke = *Physarum leucophaeum* f. *violascens* Rostaf. = *Physarum leucophaeum* var. *violascens* (Rostaf.) Cooke = *Physarum nutans* var. *violascens* (Rostaf.) Lister = *Tilmadoche nutans* var. *propria* Rostaf. = *Physarum leucophaeum* var. *stipitatum* Cooke = *Physarum leucophaeum* var. *stipitatum* f. *connexum* Cooke = *Physarum leucophaeum* var. *sessile* Cooke = *Physarum leucophaeum* var. *sessile* f. *conglobatum* Cooke = *Physarum leucophaeum* var. *violascens* f. *stipitatum* Cooke = *Physarum leucophaeum* var. *violascens* f. *sessile* Cooke = *Tilmadoche nutans* var. *rigida* Rostaf. = *Tilmadoche cernua* var. *rigida* (Rostaf.) L.F. Celak. = *Tilmadoche cernua* var. *deflexa* L.F. Celak. = *Physarum nutans* var. *iricolor* Brândza = *Physarum nutans* f. *rubrum* Nann.-Bremek. & Y. Yamam. = *Physarum nutans* var. *rubrum* (Nann.-Bremek. & Y. Yamam.) Chao H. Chung

PHYSARUM decipiens M.A. Curtis. ≡ *Badhamia decipiens* (M.A. Curtis) Berk. = *Physarum chrysotrichum* Berk. & M.A. Curtis. = *Badhamia chrysotricha* (Berk. & M.A. Curtis) Rostaf.

RETICULARIA lycoperdon Bull. ≡ *Fuligo lycoperdon* (Bull.) Schumach. ≡ *Enteridium lycoperdon* (Bull.) M.L. Farr. = *Mucor lycogala* Bolton. = *Lycogala punctatum* Pers. = *Lycogala turbinatum* Pers. = *Trichoderma fuliginoides* Pers. = *Strongylium fuliginoides* (Pers.) Ditmar. = *Reticularia umbrina* Fr. = *Reticularia lycoperdon* var. *americana* Nann.-Bremek. = *Enteridium lycoperdon* var. *americanum* (Nann.-Bremek.) Nann.-Bremek. ex Y. Yamam.

STEMONITIS axifera (Bull.) T. Macbr ≡ *Trichia axifera* Bull. = *Stemonitis fasciculata* Schumach. = *Stemonitis ferruginea* Ehrenb. = *Stemonitis smithii* T. Macbr. = *Stemonitis ferruginea* var. *smithii* (T. Macbr.) G. Lister = *Stemonitis axifera* var. *smithii* (T. Macbr.) Hagelst. = *Stemonitis microspora* Lister ex Morgan = *Stemonitis ferruginea* var. *violacea* Meyl. = *Stemonitis axifera* var. *smithii* f. *violacea* (Meyl.) Y. Yamam. = *Stemonitis ferruginea* f. *gibbosa* Meyl.

STEMONITIS fusca Roth = *Trichia nuda* With. = *Stemonitis fasciculata* Pers. ex J.F. Gmel. = *Trichia nuda* var. *minor* Purton = *Stemonitis maxima* Schwein. = *Stemonitis fusca* var. *maxima* (Schwein.) Torrend = *Stemonitis fusca* f. *major* Rostaf. = *Stemonitis fusca* f. *minor* Rostaf. = *Stemonitis dictyospora* Rostaf. =

Stemonitis nigrescens Rex = *Stemonitis fusca* var. *nigrescens* (Rex) Torrend = *Stemonitis castillensis* T. Macbr. = *Stemonitis fusca* var. *pinnata* L.F. Celak. = *Stemonitis fusca* var. *rufescens* Lister = *Stemonitis fusca* var. *papillosa* Meyl.

STEMONITIS splendens Rostaf. = *Stemonitis morgani* Peck, Bot. Gaz. = *Stemonitis splendens* var. *morgani* (Peck) Torrend = *Stemonitis baeuerlinii* f. *fenestrata* Rex = *Stemonitis fenestrata* (Rex) T. Macbr. = *Stemonitis splendens* var. *fenestrata* (Rex) Torrend = *Stemonitis webberi* Rex = *Stemonitis splendens* var. *webberi* (Rex) Lister = *Stemonitis baeuerlinii* Masee = *Stemonitis acuminata* Masee = *Stemonitis lignicola* Nann.-Bremek.

TRICHIA decipiens (Pers.) T. Macbr. ≡ *Arcyria decipiens* Pers. = *Lycoperdon pusillum* Hedw. = *Trichia pusilla* (Hedw.) G.W. Martin. = *Trichia fallax* Pers. = *Trichia virescens* Schumach. = *Trichia fallax* var. *dilutior* Alb. & Schwein. = *Trichia cerina* Ditmar. = *Trichia fallax* f. *cerina* (Ditmar) Rostaf. = *Trichia fallax* var. *cerina* (Ditmar) Berl. = *Trichia fulva* Purton. = *Trichia furcata* Wigand. = *Trichia fallax* f. *minor* Rostaf. = *Trichia fallax* var. *minor* (Rostaf.) Berl. = *Trichia nana* Zukal = *Trichia stuhlmannii* Eichelb. = *Trichia fallax* var. *gracilis* Meyl. = *Trichia decipiens* var. *gracilis* (Meyl.) Meyl. = *Trichia decipiens* f. *rubiformis* Meyl. = *Trichia decipiens* var. *hemitrichoides* Brândza = *Trichia fernbankensis* Frederick, R. Simons & I.L. Roth

TRICHIA varia (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers. ≡ *Stemonitis varia* Pers. ex J.F. Gmel. = *Trichia olivacea* Pers. = *Trichia cordata* Pers. = *Trichia nigripes* var. *cordata* (Pers.) Pers. = *Trichia nigripes* var. *cordata* (Pers.) Alb. & Schwein. = *Trichia cylindrica* Pers. = *Trichia nigripes* var. *cylindrica* (Pers.) Pers. = *Trichia nigripes* Pers. = *Trichia varia* var. *diluta* Pers. = *Trichia varia* var. *subrufescens* Pers = *Trichia varia* var. *nigripes* (Pers.) Rostaf. = *Lycoperdon luridum* R.A. Hedw. = *Trichia varia* var. *sessilis* Rostaf. = *Trichia aculeata* L.F. Celak. = *Trichia varia* var. *aurata* Meyl. = *Trichia varia* var. *irregularis* Meyl. = *Trichia varia* var. *olivacea* Brândza = *Trichia synspora* Kowalski & McNichols

TUBIFERA ferruginosa (Batsch) J.F. Gmel. = *Tubulifera arachnoidea* Jacq. ≡ *Stemonitis ferruginosa* Batsch. ≡ *Lycoperdon ferruginosum* (Batsch) Timm. = *Lycoperdon favaceum* Schrank. = *Sphaerocarpus cylindricus* Bull. = *Tubifera cylindrica* (Bull.) J.F. Gmel. = *Tubulina cylindrica* (Bull.) DC. = *Licea cylindrica* (Bull.) Fr. = *Sphaerocarpus fragiformis* Bull. = *Tubifera fragiformis* (Bull.) J.F. Gmel. = *Tubulina fragiformis* (Bull.) Pers. = *Licea fragiformis* (Bull.) Nees. = *Licea tubulina* Schrad. = *Licea clavata* Schrad. = *Tubulina fragiformis* var. *clavata* (Schrad.) Pers. = *Tubulina coccinea* Trentep. = *Tubulina fragiformis* var. *coccinea* (Trentep.) Pers. = *Tubulina fallax* Pers. = *Tubulina fragiformis* var. *conica* Pers. = *Tubulina fragiformis* var. *papillata* Pers. = *Tubulina fragiformis* var. *operculata* Pers. = *Dermodium fallax* (Pers.) Nees. = *Licea fallax* (Pers.) Fr. & Lindgr. = *Tubulina fragifera* Poir. = *Licea effusa* Ehrenb. = *Licea iricolor* Zoll. = *Tubulina conglobata* Preuss. = *Licea rubiformis* Berk. & M.A. Curtis. = *Tubulina nitidissima* Berk. = *Tubulina speciosa* Speg. = *Tubifera speciosa* (Speg.) E. Sheld. = *Tubulifera umbrina* Zopf. = *Tubulina cylindrica* var. *acuta* Peck. = *Tubifera ferruginosa* var. *complanata* Meyl. = *Tubifera ferruginosa* var. *subungulata* Koaze. = *Tubifera ferruginosa* var. *alboostipitata* Wichansky. = *Tubifera ferruginosa* subsp. *acutissima* Leontyev.

Soumis le 15 août 2021

Accepté le 24 août 2021

Publié en ligne (pdf) le 3 septembre 2021

Les conglomérats tertiaires (Éocène, Oligocène) du Tarn dans le contexte de l'avant-pays des Pyrénées Historique, contexte géodynamique

Philippe FAURÉ

Résumé

Les molasses paléogènes (Eocène, Oligocène) qui comblent les bassins du Castrais et de l'Albigeois (Aquitaine orientale) renferment plusieurs épandages conglomératiques à éléments d'origine paléo-pyrénéenne qui ont été assimilés par les auteurs aux « Poudingues de Palassou » de la bordure nord des Pyrénées centrales. Ces niveaux, mieux nommés dans le Tarn sous le terme de « Poudingues de type Puylaurens », s'y échelonnent de l'Eocène supérieur (Bartonien, Priabonien) au Rupélien. Si l'origine syntectonique des conglomérats d'âge éocène est avérée, l'origine climatique des conglomérats d'âge rupélien est plus vraisemblable. Ces conglomérats paléogènes témoignent aussi de l'existence depuis le Bartonien, d'un paléorelief préfigurant la Montagne Noire.

Mots-clés : Poudingue de Palassou, conglomérats, Éocène, Oligocène, Tarn.

Abstract

The paleogene molasses (Eocen, Oligocen) which fill the Castrais and Albigeois basins (eastern Aquitaine, France) contain several conglomerate spreads with elements of Paleo-Pyrenean origin, which have been assimilated by the authors to the "Poudingues de Palassou" of the northern edge of the central Pyrenees. These levels, better named in the Tarn under the name « Poudingues de type Puylaurens », range from the Upper Eocene (Bartonian, Priabonian) to the Rupelian. If the syntectonic origin of the Eocene-age conglomerates is proven, the climatic origin of the Rupelian-age conglomerates is more likely. These conglomerates also bear witness to the existence since the Bartonian of a paleorelief prefiguring the Montagne Noire.

Keywords: Poudingue de Palassou, conglomerats, Eocen, Oligocen, Tarn.

1. Introduction

Le Tertiaire de la bordure nord-pyrénéenne est marquée, de l'Ariège à l'Aude, par la présence de plusieurs puissantes assises conglomératiques, nommées depuis Leymerie (1878), les « Poudingues de Palassou ». Les bancs conglomératiques s'y succèdent, en plusieurs séquences, au sein d'une épaisse formation molassique continentale d'âge éocène supérieur, la Série de Palassou. Il a paru évident, à tous les auteurs qui l'ont étudiée, que ces conglomérats étaient le produit de la désagrégation

des reliefs pyrénéens en cours de constitution et que cette formation syntectonique avait enregistré toute la chronologie des déformations qui ont affecté la chaîne pyrénéenne.

Dans le Tarn, il paraissait alors naturel de corréliser avec les « Poudingues de Palassou », l'ensemble des bancs conglomératiques qui se succèdent dans le Tertiaire du Castrais et de l'Albigeois.

Mais, alors que les plus anciens d'entre eux sont bien contemporains de la Série de Palassou sous-pyrénéenne, il s'avère que les nappes conglomératiques les plus étendues du Tarn sont d'âge oligocène.

2. Historique

2.1. Les premiers observateurs au XIX^{ème} siècle

La nappe conglomératique qui ourle les hauteurs du Lauragais, entre Puylaurens et Toulouse est pour la première fois figurée sur la carte géologique de Dufrenoy et Elie de Beaumont (1841). Elle est rapportée à un dépôt alluvial d'âge tertiaire supérieur (Fig. 1).



Fig. 1 - Extrait de la carte géologique de Dufrenoy & Elie de Beaumont (1841). Les Poudingues sont notés « P ». Leur contour est surligné par les points verts.

De Boucheporn (1848) la figure également sur sa carte géologique du département du Tarn et l'identifie également à une nappe alluviale ancienne représentant le « *Second étage tertiaire, celui des Grès de Fontainebleau... (type actuel de l'Oligocène du bassin parisien)* ». Il ajoute que cette nappe conglomératique serait « *contemporaine du grand mouvement qui a donné aux Pyrénées leur relief...* ». Cette analyse aurait été exacte s'il ne l'avait étendue à l'ensemble des nappes de « *galets roulés et des bancs d'alluvion* » qu'il rencontre dans le Tarn, l'amenant à confondre « *la couche des plateaux (les conglomérats oligocènes intercalés dans la molasse tertiaire), celle des étages moyens (alluvions quaternaires des hautes terrasses) et celle de la plaine (alluvions des basses terrasses)* ». Pour lui, ces nappes caillouteuses sont identiques et résultent toutes de la destruction du relief des Pyrénées « *sous forme d'une immense nappe caillouteuse due à des courants diluviens qui auraient ennoyé la totalité du pays molassique* ». Rejetant l'idée d'un « *Diluvium récent* », il estime que les « *cailloux roulés* » que l'on rencontre à des altitudes de plus en plus basses en direction du lit des rivières, s'expliquent par des jeux de fractures entre des paliers successifs, disposés à la

manière de touches de piano, effondrés par des failles au niveau des vallées. « *Pour un observateur attentif et impartial ce sont différents lambeaux d'une même nappe d'alluvion, occupant autrefois le niveau le plus élevé, mais abaissée maintenant en divers points par les grands affaissements qui ont produit les vallées et les plaines basses* ». De Boucheporn développe ainsi l'hypothèse selon laquelle les vallées « *que l'ancienne géologie considérait comme l'ouvrage des eaux seules* » seraient en fait essentiellement dirigées par des lignes de failles. Très satisfait de son hypothèse, il ajoute : « *Nous croyons être le premier qui ayons essayé une explication rationnelle et pour ainsi dire géométrique du mécanisme de la formation des vallées de fracture...* ».

Magnan (1870) s'attaque à son tour au problème des conglomérats du département du Tarn et réfute en bloc les théories de Boucheporn. « *L'Eocène n'est pas faillé... cette absence de brisure nous conduit à admettre que les vallées se sont formées par voie d'érosion et d'affouillements successifs* ». Son analyse des dépôts conglomératiques que l'on retrouve à diverses altitudes du Castrais l'amène à considérer que, des basses terrasses aux niveaux les plus élevés que sont les Mont de Saix, les cailloutis sont d'anciennes terrasses alluviales quaternaires « *représentant l'ancien lit de l'Agout à l'époque où cette rivière se jetait dans la Méditerranée* ». Il en sépare cependant les conglomérats « *à galets impressionnés* » de Puylaurens et de Saint-Félix, situés « *à un niveau plus élevé que la terrasse la plus haute, c'est à dire, plus de 350 mètres d'altitude* », qu'il attribue « *à une action diluvienne générale* » et qu'il rattache à l'Eocène supérieur.

Blayac (1907) fait la part des choses en reconnaissant l'appartenance au Quaternaire des terrasses les plus inférieures du dispositif décrit par Magnan, et en attribuant à « *l'Éocène* » tous les conglomérats les plus élevés.

2.2. Les Poudingues de Palassou. Première identification. Caraven-Cachin, Vasseur ; deux points de vue pour une même interprétation

Caraven-Cachin (1889) parallélise le premier avec les « *Poudingues de Palassou* », plusieurs niveaux de conglomérats qui « *s'étendent sur les crêtes des collines de Montmaur, Saint-Paulet, Les Cassès, Saint Félix, d'où ils pénètrent dans le Tarn par les*

points culminants de Puechourcy, Puechaudier, Saint-Loup, Appelle, Les Barreaux et Puylaurens... forment un îlot au Mont de Saix... (et) viennent butter, non loin de Roquecourbe, sur les premiers contreforts du versant sud-ouest du Plateau central » (Fig. 2). Pour lui, ces conglomérats « constituent une vaste nappe ininterrompue... qui s'étend sur plus de 100 km de longueur des Pyrénées au Plateau Central ». Ils sont constitués, en fonction des localités, d'une proportion variable de « nodules de quartz et de cailloux calcaires impressionnés » parmi lesquels il reconnaît des éléments de grès et de calcaire éocène et, dans la région de Saix et de Castres, une majorité d'éléments provenant des terrains anciens. Tous ces niveaux sont inclus, par l'auteur, dans la molasse tertiaire, à un âge correspondant à la « base du Ligurien inférieur » (actuel Priabonien). Pour leur auteur, ils seraient « à rattacher à l'un des termes les plus élevés et les plus récents de la série ariégeoise ». Il ajoute que « des cordons de cailloux roulés sont présents à des altitudes variables, principalement au sommet du Ligurien de Graulhet, de Lavaur et de Gaillac ». Il s'agit là de la première observation de conglomérats dans la partie nord-occidentale du Tarn.

Pour Caraven-Cachin, les apports conglomératiques principaux des « Poudingues de Palassou » du Tarn, seraient cependant à rechercher, non dans les Pyrénées, trop éloignées et dont les éléments n'auraient guère dépassé, vers le Nord, la latitude du Canal du Midi, mais « dans la Montagne Noire et le Sud du Plateau Central soumis, à cette époque, à la même impétuosité des eaux de ruissèlement ».

Indépendamment de Caraven-Cachin, dont il n'a, au début, pas connaissance des travaux, Vasseur (1893-94 I) estime comme lui, que les différents niveaux de poudingues qu'il observe dans le Tertiaire du Tarn, devaient s'étendre primitivement en une nappe continue, jusqu'au pied de la chaîne des Pyrénées et constituer, dans le Tarn « une véritable apophyse du Poudingue de Palassou ». Il fait l'inventaire des bancs de poudingues intercalés dans la molasse du Castrais et, contrairement à Caraven-Cachin, qui les plaçait à un niveau stratigraphique identique (Fig 2), identifie quatre niveaux principaux successifs (Fig. 3), échelonnés de l'Eocène moyen à l'Oligocène, dont il reportera les contours sur la carte géologique de Castres au 1/80000 (1896). Pour

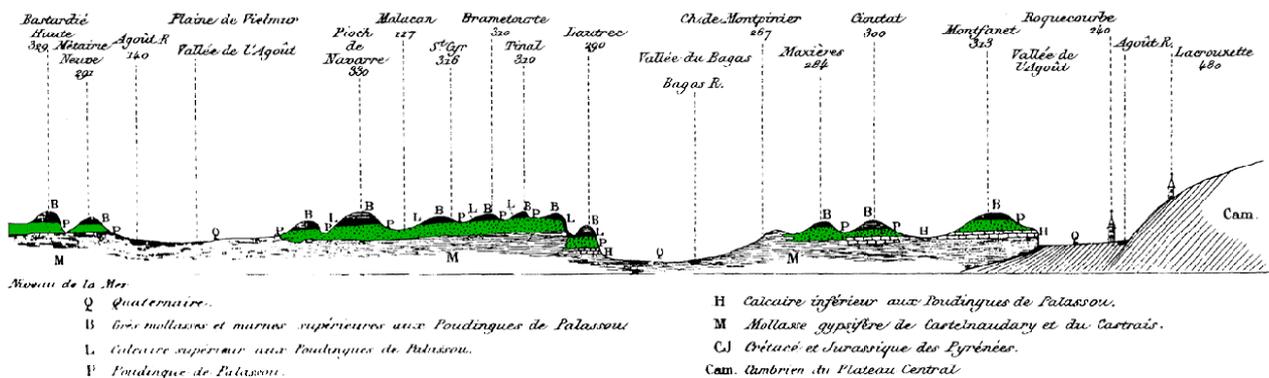


Fig. 2 - Coupe du Bassin du Castrais, d'après Caraven-Cachin (1889). Les poudingues marqués « P » sont colorés en vert. Noter que la formation « M » (Bartonien, Priabonien) est discordante sur les socle primaire « Cam ».

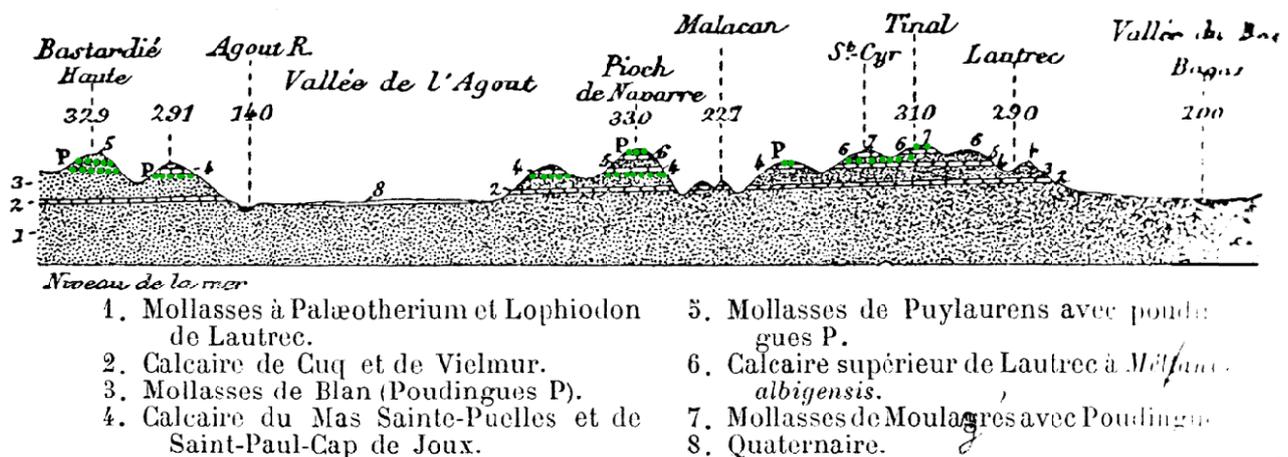


Fig. 3 - Coupe du Bassin du Castrais, selon Vasseur (1893-94), montrant trois des quatre niveaux de poudingues.

Vasseur, ces niveaux conglomératiques se répartiraient en « deux séries distinctes », les plus anciens (Eocène moyen) à prédominance de « graviers descendus de la Montagne Noire », les plus récents, à partir du Priabonien, à prédominance de « galets pyrénéens... des courants ayant agi du Sud-Ouest au Nord-Est, ... les éléments ne peuvent provenir que des Petites-Pyrénées et du Plantaurel ».

Cette observation est ainsi peu différente de celle soutenue par Caraven-Cachin (1889). La définition de la « Formation de Palassou » du Tarn fit cependant l'objet d'une vive discussion entre les deux auteurs. Vasseur (1893-94 II) reconnaît bien volontiers la priorité de Caraven-Cachin (1898) sur cette découverte mais, très injustement, observe le caractère « diamétralement opposé de ses conclusions », l'accusant notamment d'avoir confondu, dans ses observations, des faciès conglomératiques très variés, en particulier d'avoir assimilé aux « Poudingues de Palassou », des conglomérats à galets quartzeux qui appartiendraient en réalité aux Argiles à graviers qui bordent la limite occidentale du massif ancien. Ce n'est, objectivement, pas ce que Caraven-Cachin dessine sur sa coupe (1889, **Fig. 2**) et nous avons pu vérifier la justesse de ses observations. Les poudingues qu'il figure à Montfanet (près de Roquecourbe), au contact des terrains primaires, lui ont bien fourni des dents de *Paleotherium* de l'Eocène (Caraven-Cachin, 1881) (nous avons pu vérifier la présence de ces fossiles dans les collections Caraven-Cachin du Musée d'Albi) et relèvent, non de la Formation des Argiles à graviers, mais bien de la Formation de Saix et Lautrec, comme il le dessine. Répondant aux critiques du « *savant professeur de Marseille* », Caraven-Cachin (1890) apportera plus tard de nouveaux arguments prouvant l'abondance et la diversité des éléments d'origine paléo-pyrénéenne dans les conglomérats de Puylaurens, et dans lesquels il signale, notamment, l'abondance des fossiles du Jurassique.

2.3. Quelques précisions ultérieures sur des « Poudingues de Palassou » oligocènes du Tarn

Suivant les bancs de poudingue interstratifiés dans plusieurs niveaux des molasses oligocènes, Mengaud reconnaîtra l'extension des « Poudingues de Palassou » jusqu'au-delà de la vallée du Dadou (Mengaud, 1909) (environs de Briatexte, Giroussens, Cadalen) et leur identité de composition avec les poudingues de la région de Puylaurens. Il constate que le calibre moyen des galets se réduit nettement vers le Nord, mais que ces poudingues comptent encore de nombreux galets

de calcaire paléocène à alvéolines « *identiques à ceux de la Montagne Noire* » (Mengaud, 1927).

La diversité des éléments d'origine paléo-pyrénéenne dans les « Poudingues de Palassou » de Puylaurens sera inventoriée par Bergounioux (1931). Avec une majorité de quartz et de roches métamorphiques, de nombreux galets calcaires lui rappellent le Crétacé supérieur de l'Ariège et de la Haute-Garonne (Calcaire Nankin).

L'âge de la formation conglomératique de Puylaurens sera précisé par Roman & Joleaud (1910), puis par Richard (1946), des associations de fossiles de mammifères leur donnant un âge rupélien « *et non Sannoisien inférieur, ainsi que le pensait Vasseur* ». Fort de ces datations, Astre (1959) sera le premier à constater que les poudingues rupéliens du Tarn, sont postérieurs aux phases paroxysmales de la surrection des Pyrénées « *qui s'échelonnent entre le Lutétien supérieur et le Ludien* ». Il envisage ainsi que les galets tarnais proviennent « *de roches pyrénéennes, englobées une première fois dans le Poudingue de Palassou, puis relibérées et transportées alors dans les formations oligocènes* ».

2.4. Données récentes

Les premiers travaux de Mouline (1967) seront pour les « Conglomérats de Puylaurens » qu'il interprète comme des chenaux fluviaux soumis à des débâcles boueuses à faible pouvoir érosif résultant d'un transport « catastrophique » sous l'effet d'un contexte climatique particulièrement pluvieux affectant les lointains contreforts pyrénéens. Dans sa thèse (Mouline, 1989), il précise l'âge, l'extension et la configuration de plusieurs niveaux qu'il avait, en particulier cartographié dès 1971 sur la feuille de Lavaur au 1/50000 (**Fig. 4**). Substituant le terme non adapté au Tarn de Poudingue de Palassou et pour bien les distinguer des formations sous-pyrénéennes, il consacre le terme de « **Poudingues de type Puylaurens** ». Il éclaire d'un jour nouveau la dynamique de sédimentation des dépôts de type deltaïque qui comblent le bassin de l'Albigeois et du Castrais et décèle la progradation d'un prisme sédimentaire détritique, progressant vers le Nord, telle une onde, sur un front de 20 km, en repoussant les zones exondées en Albigeois (**Fig. 4**).

Fait important, mais très méconnu de ses travaux, il montre que les dépôts détritiques les plus grossiers, notamment conglomératiques, se concentrent selon un axe de transit fluvial assez étroit, orienté selon une direction de transit ESE-NNE (**Fig. 5-6**).

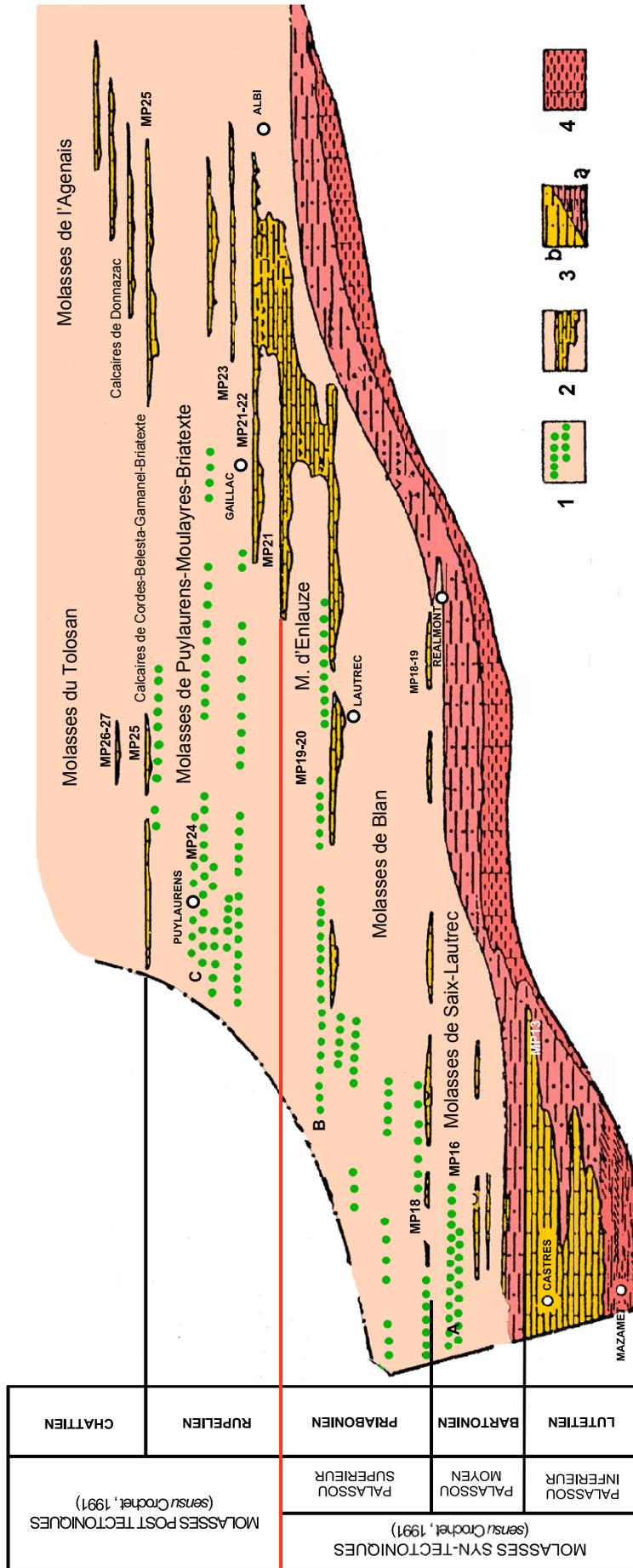


Fig. 4 - Répartition stratigraphique et distribution des principaux épanchages conglomératiques des bassins du Castrais et de l'Albigeois dans le canevas lithostratigraphique (sur la base d'un dessin de Mouline, 1989). Les âges disponibles sont précisés dans le cadre de la biozonation des mammifères MP. **Légende** : 1 : niveaux de poudingues ; 2 : molasses argilo-gréseuses et calcaires lacustres ; 3 : argiles rutilantes et grès ; 4 : argiles à graviers ; A : Conglomérats supérieurs de Saix ; B : Poudingues inférieurs de Puy-laurens ; C : Poudingues supérieurs de Puy-laurens.

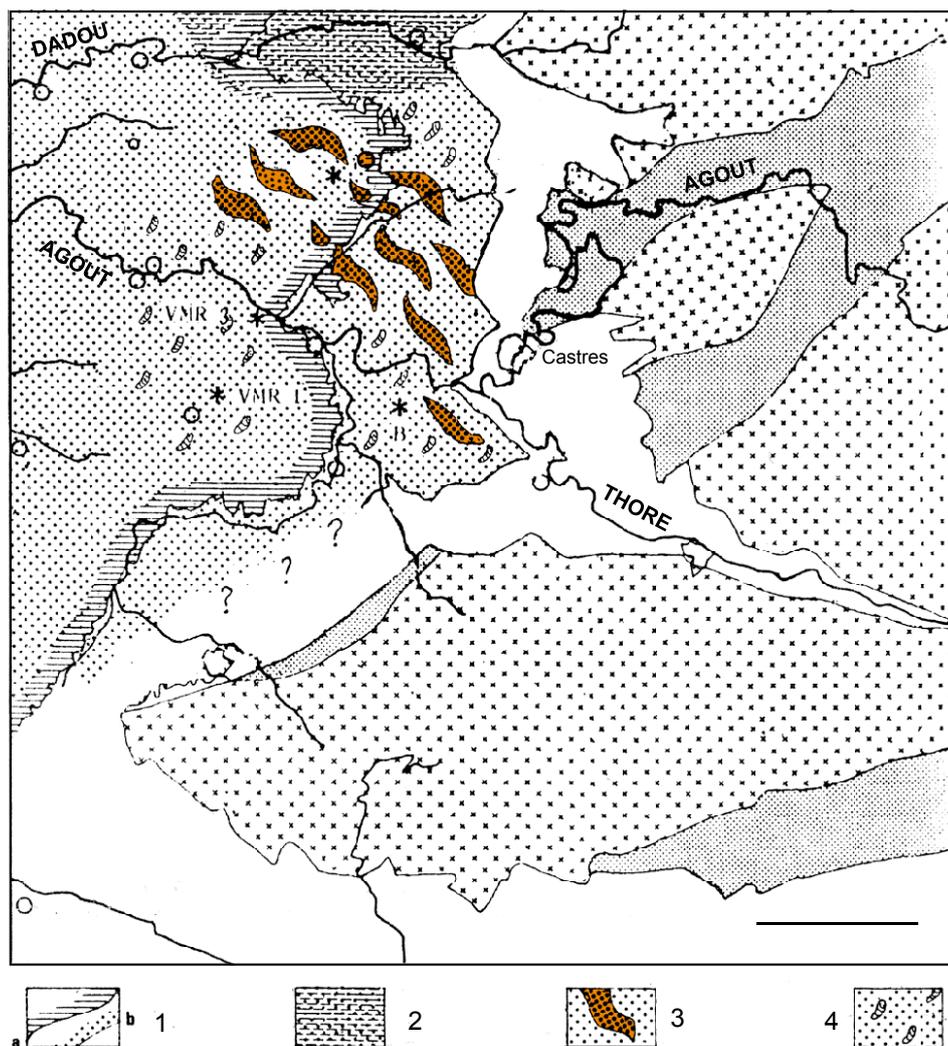


Fig. 5 - Paléogéographie et répartition des apports paléopyrénéens au Bartonien, d'après Mouline, 1989.
Légende. **1a** : limites d'affleurement ; **1b** : limites d'érosion ; **2** : faciès argiles à graviers ; **3** : système fluvial méandrique en inversion de relief au sein des Molasses de Saix et de Lautrec ; **4** : corps sableux.

3. Inventaire des poudingues du Tarn.

Pour la plupart, les poudingues du Tarn sont identifiés par Vasseur lors de l'établissement de la carte géologique de Castres (Vasseur, 1896) et leur répartition précisée par Mouline (1971, 1989) et Fauré (2019) (**Fig. 4**).

- **Au Bartonien (Fig. 4, 5).** Les barres conglomératiques à éléments paléopyrénéens (Conglomérats supérieurs de Saix) se concentrent dans la région de Castres, où elles dominent dans la partie moyenne de la formation des Molasses de Saix et de Lautrec, et se concentrent dans le triangle Saix - Montpinier - Peyregoux. Elles révèlent un réseau fluvial aux bras multiples caractérisé par des accumulations méandriques et chenalisées de conglomérats dont l'identification est favorisée par leur topographie en inversion de relief.

Curieusement, les apports paléopyrénéens, limités à la partie orientale du Bassin du Castrais, semblent privilégier des apports de direction SE-NW (Mouline, 1989, **Fig. 5**). Cette direction d'écoulement, semblant issue d'une paléovallée du Thoré, est singulière dans le contexte tectogénique de l'Eocène moyen. Elle montre l'influence débutante du relief de la paléo-Montagne Noire qui semble bien faire obstacle aux apports détritiques d'origine méridionale.

Leur âge, Bartonien supérieur, biozone MP16, est étayé par l'abondance des restes de mammifères (Stelhin, 1904).

- **Au Priabonien (Fig. 4).**

. **Molasses de Blan** : Quatre à cinq chenaux conglomératiques peu épais, déjà identifiés par Vasseur (1896), sont reconnus dans les environs de Sémalens et de Puycalvel où leur orientation SE-

NW est identique à celle des chenaux du Bartonien. Leur extension s'est encore accrue vers le nord puisqu'ils atteignent l'Albigeois à l'ouest d'une ligne Lautrec-Graulhet (Mouline, 1989). Des galets de schistes, lydiennes et marbres d'origine paléozoïque s'y associent à de nombreux galets de carbonate impressionnés d'origine paléopyrénéenne.

Leur datation au Priabonien supérieur, biozone MP18, repose sur de rares débris de vertébrés (Stelhin, 1906).

. **Molasses d'Enlauze** : un banc de poudingue fournit un bon repère de la base de cette formation aux alentours de Lautrec, Brousse et Puycalvel. Autour de Puylaurens, ce même niveau, connu sous le nom de « Poudingues inférieurs de Puylaurens », marque la base des Molasses de Puylaurens.

Son âge priabonien supérieur, repose sur les faunes synchroniques de Pont d'Assou (Fiac)(Astre, 1929) et celles, non encore décrites, de la Cape-Haute (Réalmont), assimilables aux biozones MP18-19 (Sudre *et al.*, 1992).

- Au Rupélien (Fig. 4, 6, 7).

. **Molasses de Moulayres-Briatexte** : La formation renferme plusieurs nappes conglomératiques particulièrement bien développées dans les secteurs de Moulayres et de Missècle-Cabanès (paléodelta de Cabanès de Mouline, 1989). Les poudingues sont aussi très épais autour de Puylaurens (Molasses de Puylaurens) où ils sont connus sous le nom de « Poudingues supérieurs de Puylaurens » (Astre,

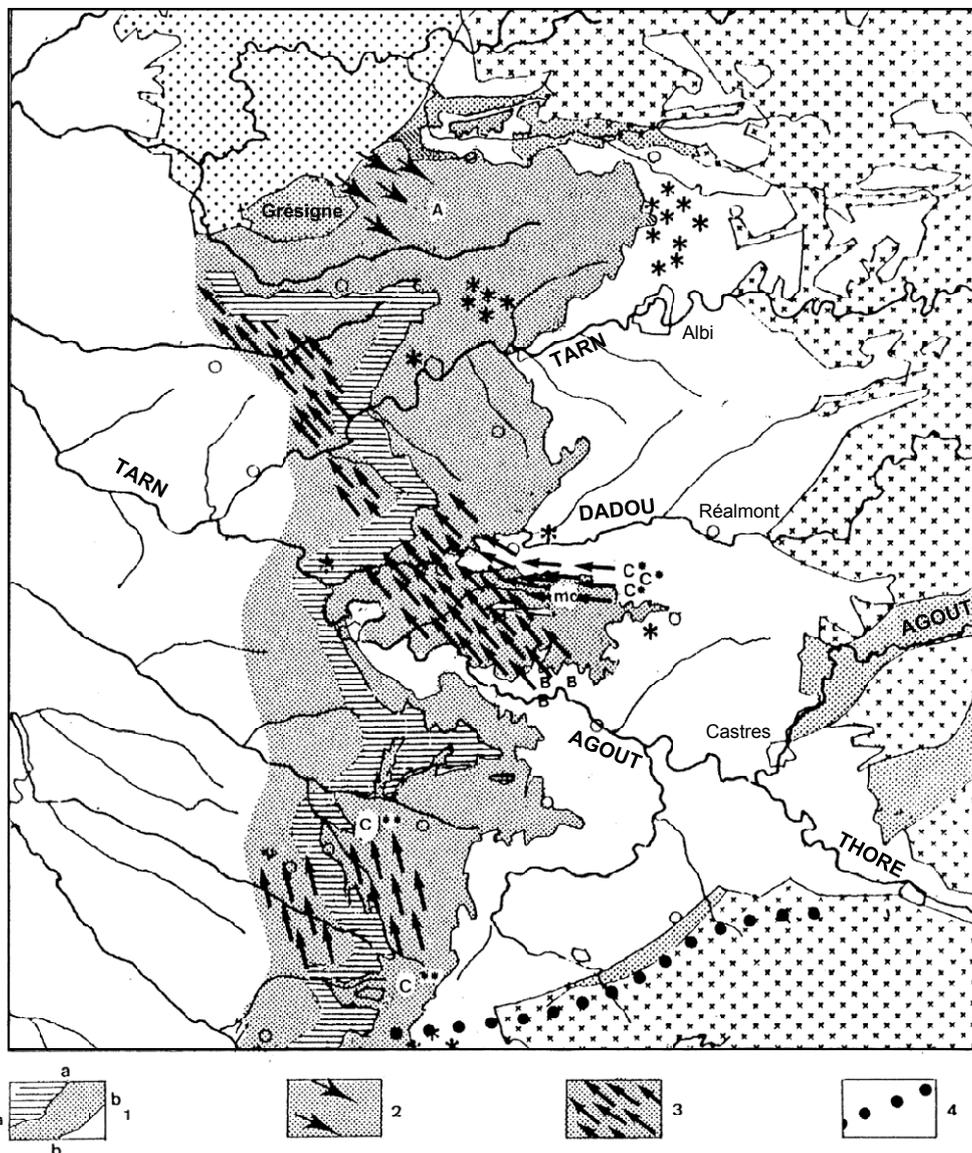


Fig. 6 - Paléogéographie et répartition des apports paléo-pyrénéens au Rupélien inférieur, d'après Mouline, 1989. **Légende.** 1a : limites d'affleurement ; 1b : limites d'érosion ; 2 : zone de manifestation du dôme de la Grésignie ; 3 : apports paléopyrénéens « de type Puylaurens » ; 4 : emplacement de la zone haute de la Montagne Noire occidentale.

1959)(Fig. 7). Aux abords de la vallée du Dadou, ce sont les « Poudingues du Pont-de-Lézignac et de Saint-Houzarde » (Mengaud, 1927 ; Astre, 1959). Les plus récents, connus sous le nom de « Poudingues de Saint-Martin de Casselvi » et « Poudingues de Missècle », sont directement surmontés par le Calcaire de Briatexte.

Des éléments métamorphiques et quartzeux en provenance du Massif Central, se mêlent à une majorité de galets carbonatés impressionnés d'origine paléopyrénéenne.

Le réseau fluvial principal conserve un axe principal SE-NW Gaillac-Graulhet-Castres assez étroit, mais un axe secondaire, de direction cette fois subméridienne, semble contourner l'extrémité occidentale de la Montagne Noire (Mouline, 1989, Fig. 6). On assiste également, à la fin de la période, à la première manifestation de surrection du dôme de la Grésigne. A la même époque, un réseau fluvial deltaïque de provenance, cette fois, nord-orientale se différencie, le Complexe de Puygouzon, résultant de « véritables fleuves aux eaux non turbides », transportant sable et galets, système qui se substitue au régime des coulées boueuses qui prévalait auparavant, pendant le dépôt des Argiles à graviers.

Ces apports fluviaux s'échelonnent pendant toute la durée du Rupélien et les fossiles connus s'étagent des biozones MP21-22, aux environs de Briatexte (Astre, 1926), à la biozone MP24, sur les hauteurs de Puylaurens (Roman & Joleaud, 1909 ; Sudre *et al.*, 1992).

Les apports fluviaux paléopyrénéens grossiers disparaissent à la fin du Rupélien supérieur, avec le dépôt de la formation des Calcaires de Briatexte-Cordes, d'âge chattien inférieur, biozone MP25 (Astruc *et al.*, 2003).

4. Implications géodynamiques

Mouline écrivait (1989, p. 776) : « *Malgré ses reliefs bordiers, Montagne Noire et Grésigne, l'aire de sédimentation tarnaise ne révèle rien ou presque rien de spectaculaire du point de vue tectonique* ». On ne peut démentir que les bassins du Tarn restent largement à l'écart des mouvements pyrénéens et que la dynamique sédimentaire est au moins partiellement commandée par l'alternance des conditions climatiques. Si la relation entre tectonique et sédimentation a été totalement éludée par les préoccupations trop purement sédimentologiques de Mouline, il n'en reste pas moins que la seule lecture de ses blocs diagrammes et cartes paléogéographiques nous montrent, tout au long du Paléogène, le rôle

non négligeable de la tectonique dans la répartition des dépôts. Les poudingues du Tarn, sont là pour nous rappeler la proximité et l'influence de l'orogène pyrénéen distant de moins de 100 km.

C'est dans l'analyse des dépôts syntectoniques de la bordure pyrénéenne et de ceux qui se sont répandus dans le synclinorium de Carcassonne qu'il faut rechercher un modèle géodynamique applicable aux Golfes du Castrais et de l'Albigeois, par-delà la terminaison périclinale occidentale de la Montagne Noire. Le modèle tectono-sédimentaire synthétique de Crochet (1991), applicable à la Série de Palassou nord-pyrénéenne, montre une même organisation géométrique que celle des dépôts du Castrais.

Trois unités tectono-sédimentaires déformées par des mouvements syntectoniques, et présentant des caractéristiques sédimentologiques propres, y sont recouvertes par trois « *discontinuités fondamentales* » plus ou moins nettement discordantes à l'échelle géographique. La dernière est recouverte par les dépôts molassiques subhorizontaux du Rupélien inférieur. Ces trois unités sont retrouvées à l'identique dans les bassins du Castrais et de l'Albigeois (Fig. 4) :

- La première unité (« Palassou inférieur » de Crochet) succède sur la bordure pyrénéenne à la série marine yprésienne et se termine avec un horizon carbonaté, le « Calcaire des Lombards », mis en équivalence depuis Vasseur avec le « Calcaires de Castres ».

Dans le bassin du Castrais, cette unité serait ainsi représentée par l'ensemble formé par les « Argiles à graviers » et les « Calcaires de Castres ». Son âge recouvrirait l'intervalle Yprésien supérieur à Lutétien supérieur (Fig. 4).

- La deuxième unité (« Palassou moyen » de Crochet) débiterait dans le Bassin du Castrais par les « Grès d'Issel », discordants sur le Calcaires de Castres (et de Revel) et trouverait son prolongement naturel dans la Formation des Molasses de Saix et de Lautrec, du même âge bartonien (Marandat, 1987), qui renferme de nombreux chenaux conglomératiques de type Palassou (Fig. 4). Cette discordance cartographique des molasses bartoniennes sur un substratum varié (Argiles à graviers, Calcaires de Castres,...) nous ramène à l'intuition de Caraven-Cachen (1887, 1889) qui voyait à ce même niveau une grande discordance cartographique (Fig. 2).

- La troisième unité (« Palassou supérieur » de Crochet) est marquée sur la bordure pyrénéenne par le retour progressif, durant le Priabonien, à une sédimentation distale intercalée de niveaux conglomératiques qui enregistrent les derniers



Fig. 7 - Conglomérats de type Puylaurens. Les Conglomérats supérieurs de Puylaurens, à Puylaurens, dans un effondrement du parement des ramparts de la ville. Noter les stratifications obliques des molasses gréseuses et la chenalisation des bancs conglomératiques (photo, 2006).

mouvements synsédimentaires pyrénéens. Dans le Tarn, ces mêmes niveaux conglomératiques sont bien exprimés dans les Molasses de Blan et d'Enlause, formations qui appartiennent ainsi au toit de la Série de Palassou (**Fig. 4**).

Une discontinuité identique les surmonte et sépare les dépôts éocènes (Bartonien, Priabonien) des dépôts molassiques subhorizontaux oligocènes du Rupélien sus-jacent (**Fig. 4**). Cette discontinuité est bien marquée dans les régions de Réalmont et d'Albi où elle a été reconnue et décrite par Mouline (1989). Elle est aussi identifiée par Muratet & Cavelier (1992) dans la partie occidentale de l'Albigeois.

Dans les Bassins du Castrais et de l'Albigeois, il est ainsi possible de placer, de façon isochrone au sommet du Priabonien, la limite entre les molasses syntectoniques et les molasses post-tectoniques (**Fig. 4**).

5. Conclusion

Ne relèvent donc strictement de la Série syntectonique de Palassou, qu'une minorité des

épandages conglomératiques d'origine paléopyrénéenne identifiés dans le Tarn. Seuls les conglomérats bartoniens du Castrais de type « Monts de Saix, Montpinier,.. » et les niveaux d'âge Priabonien intercalés dans les Molasses de Blan et d'Enlause sont des dépôts syntectoniques équivalents latéraux de Poudingues de Palassou, déposés en échos des paroxysmes pyrénéens (**Fig. 4**).

Tous les autres horizons conglomératiques, « Poudingues de type Puylaurens », sont plus tardifs et s'échelonnent du Rupélien inférieur au Rupélien supérieur, voire au Chattien (Cavelier & Muratet, 1992). Leur origine paléopyrénéenne est évidente en raison de leur richesse en éléments jurassiques, crétacés ou paléocènes, bien qu'une partie des éléments, schisteux ou métamorphiques, aient une origine locale et soient issus des reliefs d'une paléo-Montagne Noire. Ces apports grossiers, peuvent être mis en relation avec les dernières manifestations des mouvements pyrénéens. Mais leur intensification à l'Oligocène relève très vraisemblablement d'une participation climatique (Mouline, 1989).

Les travaux sédimentologiques de Mouline (1989) font apparaître, du Bartonien au Rupélien, une direction principale de transit SE-NW, apparemment issue d'une paléovallée du Thoré, qui pourraient expliquer leur richesse en éléments métamorphiques issus du socle de la Montagne Noire, mais aussi l'abondance des éléments de calcaire à Alvéolines pouvant provenir de la plate-forme paléocène du Cabardès-Minervois (**Fig. 5, 6**). Les apports de direction sud-nord, plus purement paléopyrénéens, n'apparaissent qu'à partir du Rupélien (**Fig. 6**). Leur acmé est à l'origine du dépôt des Poudingues de Puylaurens.

Au plan paléogéographique, cette configuration montre la permanence, à l'emplacement de la partie occidentale de la Montagne Noire, d'un paléorelief déjà mis en évidence dans la sédimentation de l'Éocène inférieur (Fauré, 2004), qui aurait pu représenter un obstacle aux écoulements.

Enfin, d'un point de vue purement structural, l'existence d'une paléovallée du Thoré ainsi que celle d'un paléorelief dans la partie occidentale de la Montagne Noire, suggèrent la présence dès l'Eocène inférieur de la faille de Mazamet, d'orientation WNW-ESE, qui jalonne actuellement le sillon du Thoré.

Remerciements

Nous remercions Jacques Magontier dont la relecture critique a permis de nettement améliorer le manuscrit. Merci à Peter Culleton pour la traduction du résumé.

Références

Astre G. (1926) – Le *Brachyodus porcinus* de Briatexte et les caractères de la mandibule des petits *Brachyodus* oligocènes. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 54 : 337-334.

Astre G. (1959) – Terrains stampiens du Lauragais et du Tolosan. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 94. 167 p.

Astruc J.G., M. Huguency, G. Escarguel, S. Legendre, J.C. Rage, R. Simon-Coïçon, J. Sudre & B. Sigé (2003) – Puycelci, nouveau site à vertébrés de la série molassique d'Aquitaine. Densité et continuité biochronologique dans la zone Quercy et bassins périphériques au Paléogène. *Géobios*, 36 : 629-648.

Bergounioux F.M. (1931) – Sur un galet de grès rouge trouvé dans les alluvions de l'Agout en amont de Castres. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 61 : 292-296.

Blayac J. (1930) – Aperçu de la répartition, des faciès et du synchronisme des terrains tertiaires de l'Aquitaine au Nord de la Garonne et jusqu'à Castres. *Centenaire de la*

Société géologique de France, Livre jubilaire, tome I : 151-170.

Bouchepon M. de (1848) – Explication de la carte géologique du département du Tarn. Imprimerie nationale, Paris. 114 p.

Caraven-Cachin A. (1881) – Les poudingues de Montfanet viennent de livrer... une molaire de *Paleotherium magnum* CUVIER. *Bulletin de la Commission des Antiquités de la ville de Castres* : 217-218.

Caraven-Cachin A. (1887) – Sur l'âge du soulèvement de la Montagne Noire. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris* : 923-926.

Caraven-Cachin A. (1890) – De l'âge des conglomérats tertiaires du Tarn et de l'Aude. *Association française pour l'Avancement des Sciences*, Limoges, 19e session : 344-346.

Caraven-Cachin A. (1889) – Description géographique, géologique, minéralogique, paléontologique, paléolithologique et agronomique des départements du Tarn et Tarn et Garonne. Privat, Toulouse & Masson, Paris, 1898. 684 p.

Crochet B. (1991) – Molasses syntectoniques du versant nord des Pyrénées. La série de Palassou. Thèse Toulouse, 1989, *Document du BRGM*, 199. 387 p.

Dufrenoy & Elie de Beaumont (1841) – Explication de la carte géologique de la France rédigée sous la direction de M. Brochant de Villiers Inspecteur Général des Mines. Paris : Imprimerie Royale, 1841 (Vol. I), 1848 (Vol. II).

Fauré Ph. (2004) – La sédimentation tertiaire dans la région de Castres (Tarn). *Revue du Tarn*, 194 : 235-252 et site ASNAT : <https://asnaf.fr/Dossier%20geologie/dossiertertiairecastres/Bassindecastres-introduction.php>

Fauré Ph. (2019) – Les vertébrés du Tarn (Lutétien, Bartonien, Ludien, Stampien, Chattien). Un patrimoine peu connu. *Site internet de l'ASNAT*. https://asnaf.fr/Dossier%20geologie/vertebres_castrais/vertebres-tarn-plan.php

Leymerie A. (1878) – Description géologique et paléontologique des Pyrénées de la Haute-Garonne. Privat éd., Toulouse, 1881. 1010 p.

Magnan H. (1870) – Notice sur le terrain quaternaire des bords de la Montagne Noire entre Castres et Carcassonne et sur l'ancien lit de l'Agout. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 4 : 120-141.

Marandat B. (1987) – La biostratigraphie mammalienne de l'Eocène continental du versant sud de la Montagne Noire. Reconsidération d'après les nouvelles données. *Munchner Geowiss. Abh. (A)*, 10 : 149-158.

Mengaud L. (1909) – Sur l'extension du Poudingue de Palassou dans la partie occidentale du département du Tarn. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 43 : 164-165.

Mengaud L. (1927) – Stratigraphie des environs de

- Briatexte (Tarn). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 56 : 147-161.
- Ménouret B. & Guérin C. (2009) – *Diaceratherium massiliae* nov. sp. des argiles oligocènes de Saint-Anfré et Saint-Henri) Marseille et de Les Milles près d'Aix en Provence (SE de la France). Premier grand Rhinoceros brachypode européen. *Géobios*, 42 : 293-327.
- Mouline M.-P. (1967) – Étude des poudingues dits de Puylaurens. Leurs conditions de mise en place, les conséquences paléoclimatiques de ces phénomènes. *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux*, 104, B, 4, 16 p.
- Mouline M.-P. (1971) – Notice explicative, Carte géologique de France (1/50 000), feuille Lavour. BRGM, Orléans.
- Mouline M.-P. (1989) – Sédimentation continentale en zone cratonique. Le Castrais et l'Albigeois au Tertiaire. Thèse Université de Bordeaux III. 878 p. et CLVIII p.
- Muratet B. & Cavelier C. (1992) – Caractère séquentiel discontinu des molasses oligocènes à la bordure orientale du Bassin aquitain : signification des conglomérats bordiers (Tarn, Tarn-et-Garonne, sud-ouest de la France), *Géologie de la France*, 1 : 3-14.
- Richard M. (1946) – Contribution à l'étude du Bassin d'Aquitaine : les gisements de Mammifères tertiaires. *Mémoires de la Société géologique de France*, NS, 52. 380 p.
- Roman F. & Joleaud (1909) – Le *Cadurcotherium* de l'Isle sur Sorgues (Vaucluse) et révision du genre *Cadurcotherium*. *Archives du Muséum d'Histoire naturelle de Lyon*, X. 56 p.
- Stelhin H.G. (1904) – Sur les Mammifères des sables bartoniens du Castrais. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4, IV : 445-475.
- Stelhin H.G. (1906) – Die Säugetiere des schweitzerischen Eocaens. Critisher Catalogue des Materialien. 4ème partie. *Mémoire de la Société Paléontologique suisse*, XXXIII : 597-690.
- Sudre J. et collaborateurs (1992) – La biochronologie mammalienne du Paléogène au Nord et au Sud des Pyrénées : état de la question. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 314, II : 631-636.
- Vasseur G. (1893-94) – **I.** Nouvelles observations sur l'extension des poudingues de Palassou dans le département du Tarn ; **II.** Observations au sujet d'une note de M. Caraven-Cachin intitulée « Le poudingue de Palassou sur le versant sud-ouest du Plateau central. *Bulletin des services de la Carte géologique de France*, V, 37 : 359-374.
- Vasseur, G., Bergeron F. (1896) – Carte géologique au 1/80.000ème de Castres (231). *Bulletin des services de la Carte géologique de France*, Paris.

Accepté le 12 septembre 2021

Publié en ligne (pdf) le 10 octobre 2021

Le Jurassique inférieur (Pliensbachien, Toarcien) des environs de Boussagues, dans le bassin mésozoïque de Bédarieux (Hérault, France). Aperçu stratigraphique

Philippe FAURÉ¹ et Bernard GUIBBERT²

Résumé

Situé dans la partie occidentale du bassin de Bédarieux, le Jurassique inférieur (Pliensbachien, Toarcien) des environs de Boussagues (La Tour-sur-Orb, Hérault) offre une série sédimentaire réduite, condensée et discontinue représentative d'un haut fond qui s'inscrit dans l'extrémité méridionale du Seuil cévenol.

Mots-clés : Jurassique, Pliensbachien, Toarcien, stratigraphie, Hérault.

Located in the western part of the Bédarieux basin, the Lower Jurassic (Pliensbachian, Toarcian) of the surroundings of Boussagues (La Tour-sur-Orb, Hérault) offers a reduce, condensed and discontinuous sedimentary series representative of the southern end of the Cevenol high.

Keywords: Jurassic, Pliensbachian, Toarcian, stratigraphy, Hérault.

1. Introduction

Dans la partie orientale du Massif de l'Espinouse, une épaisse couverture mésozoïque est conservée dans le bassin de Bédarieux, à la faveur de trois failles principales qui délimitent un effondrement triangulaire, le Fossé de Bédarieux (**Fig. 1A**) : à l'ouest, la faille minéralisée de Bousquet-sur-Orb - Lamalou ; au nord, la faille de La Tour-sur-Orb - Carlencas qui place le Jurassique en contrebas du Permien et du Stéphanien du bassin houiller de Graissessac ; au sud, la Grande faille Mazamet-Tantajo, décrochement tardi-hercynien à jeu alpin chevauchant, qui limite la Montagne Noire (*s.st.*) au nord.

Le Jurassique du bassin de Bédarieux se situe dans le prolongement méridional du Mésozoïque des Plateaux de Gabriac, de l'Escandorgue, de Parlatges et du Guilhaumard qui sont les appendices méridionaux du Larzac, mais qui le dominent topographiquement par suite de son effondrement de plusieurs centaines

de mètres. Le Jurassique de Bédarieux peut ainsi être considéré comme le prolongement méridional du Jurassique du bassin caussenard. Il y affleure sub-horizontalement (**Fig. 1B**), tout au plus basculé de quelques degrés vers l'Est. Il s'étale au niveau de deux causses, le causse du Mont Mal établi sur les formations calcaréo-dolomitiques du Jurassique inférieur et le Causse de Carlencas, sur les dolomies du Jurassique moyen, entre lesquels les formations argilo-calcaires tendres dessinent une dépression méridienne empruntée par le cours de l'Orb.

Ces formations tendres, d'âge Pliensbachien à Toarcien affleurent aussi autour de Boussagues (La Tour-sur-Orb), dans la partie nord-occidentale du fossé de Bédarieux, où elles sont localement préservées de l'érosion au pied oriental de l'important relief topographique du Mont Coudour (**Fig. 1C**). La stratigraphie de ce témoin de Jurassique était à ce jour très peu connue et méritait une mention spéciale en raison de l'originalité de sa composition.

1. Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse, Allées Jules Guesde, 31000, Toulouse. philipfaure@gmail.com

2. 39 rue Jean-Paul Laurens, 81100, Castres. bg3018@yahoo.fr

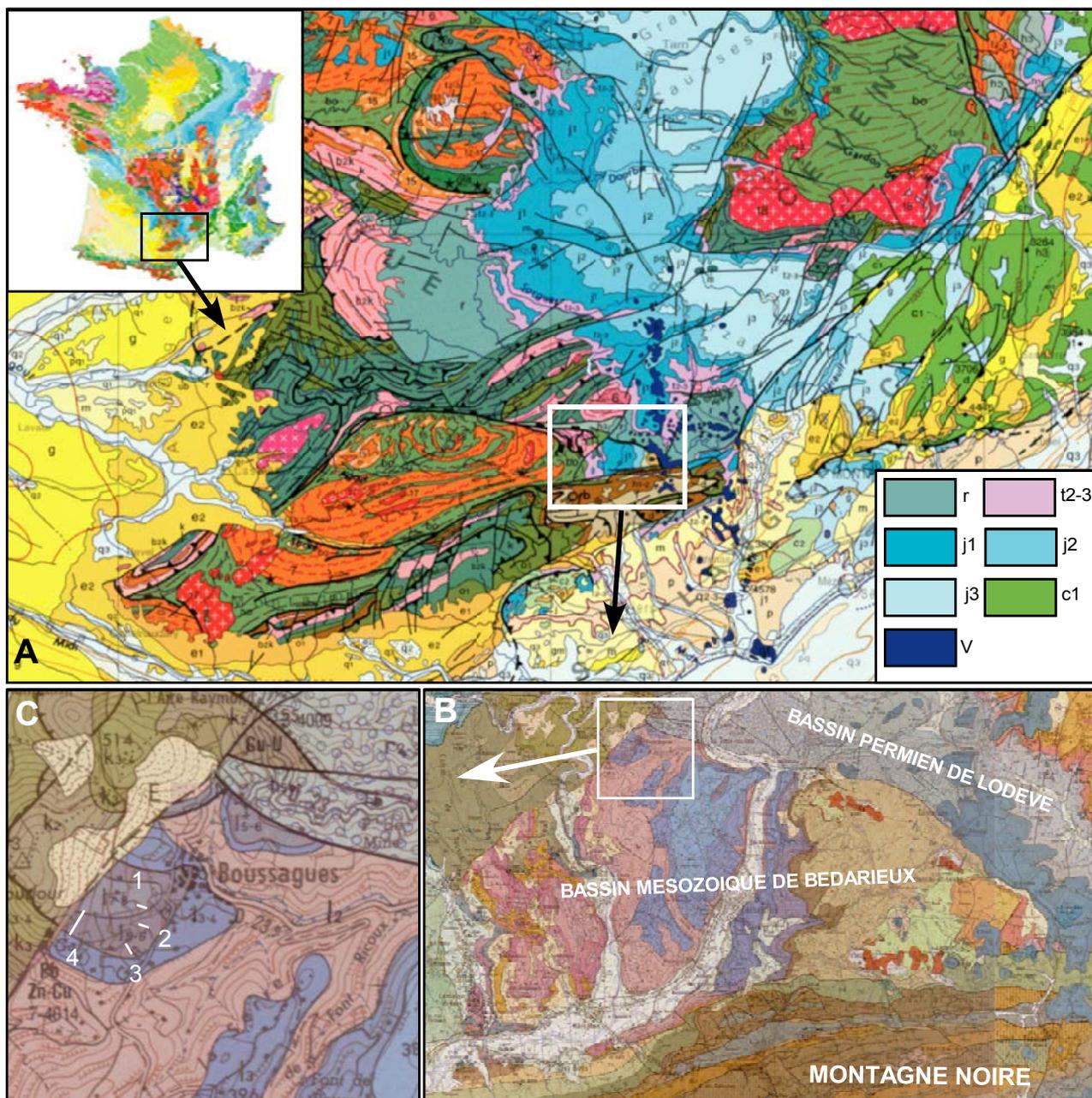


Fig. 1 - **A.** Carte géologique simplifiée de la région des Grands-Causse et du Languedoc, d'après la Carte géologique de France au 1 000 000 (Éditions du B.R.G.M.). Légende : r. Permo-Trias ; t2-3. Trias supérieur ; j1. Jurassique inférieur (Lias) ; j2. Jurassique moyen (Dogger) ; j3. Jurassique supérieur (Malm) ; c1. Crétacé inférieur ; V. volcanisme quaternaire. **B.** Extrait de la Carte géologique du bassin de Bédarieux au 1/50 000 (Bogdanoff *et al.*, 1984). **C.** Agrandissement du secteur de Boussagues. **Localisation des coupes.** 1. Verger à l'ouest du point 343 ; 2. Plantation à l'ouest du point 343 ; 3. Plantation à l'ouest du Vieux Cimetière ; 4. Nord de la Croix de Clairac.

2. Historique

Bien que non dessiné sur sa la carte géologique de Bédarieux au 1/80 000 (Nicklès *in* Dépéret *et al.*, 1900), le témoin de « Charmouthien » de Boussagues est décrit dès 1899 par Nicklès. Roquefort (1932) en fera une analyse plus détaillée et fera connaître le faciès

à pentacrines, si particulier, qui se développe dans le Lias moyen. Il y identifie également le Toarcien. La carte géologique de Bédarieux au 1/50 000 (Bogdanoff *et al.*, 1984) en dessine assez fidèlement les contours (**Fig. 1C**). Nous en avons abordé les principales lignes dans une synthèse stratigraphique récente du Jurassique de Bédarieux (Fauré, 2020).

3. Stratigraphie

Le Jurassique du secteur de Boussagues est en contact tectonique à l'ouest avec le Paléozoïque de la terminaison orientale de l'Espinouze, dont il est séparé par l'importante faille minéralisée de Bousquet d'Orb - Lamalou (**Fig. 1C**). Il repose sur une épaisse formation argilo-dolomitique d'âge triasique qui affleure largement sur les versants de la vallée de la Mare. Le Jurassique comporte ensuite :

a. Une épaisse assise calcaréo-dolomitique subhorizontale qui forme, au sud de Boussagues, les plateaux des Causses de Clairac et d'Agard, et sont profondément entaillés par les ruisseaux des Hortes et de Combe de Tours. On distingue classiquement, trois formations superposées, que les auteurs s'accordent à attribuer à l'Hettangien. De bas en haut :

- Les *Dolomies saccharoïdes* (20-30 m), noires, recristallisées, à texture grenue, en strates épais et compacts.

- Les « *Dolomies cubiques* » (plus de 120 m), grises, bien stratifiées, à débit polyédrique ou parallélépipédique, d'où leur dénomination.

- Les *Dolomies marneuses à plantes* (30 m), grises litées, en bancs compacts alternant avec des lits de marne sombre à débris ligniteux et renfermant des accumulations de cuticules végétales.

b. Une assise carbonatée, compacte, très indurée qui occupe les reliefs de la Serre et se prolonge à l'est, dans le Causse de Mont Mal. De bas en haut :

- Les *Calcaires biodétritiques et oolitiques* (30 m), à niveaux de chailles, dont l'âge Sinémurien inférieur est communément admis sur la bordure méridionale des Causses (Arrondeau, 1982 ; Mélas, 1982).

- Les *Calcaires blancs massifs* (30-40 m) qui renferment les premières macrofaunes marines, pentacrines, débris d'échinodermes, bivalves, gastéropodes et, localement, de nombreux polypiers, et que l'on place dans le Sinémurien supérieur. A Boussagues, cette assise forme le substratum de l'ancien château où elle est recouverte par 2,5 m de calcaires biodétritiques en bancs irréguliers, ondulés, séparés par des joints de marne.

Ces couches n'ont pas fourni de faune, mais leur équivalent latéral, au sud de Bousquet de la Balme, le « Niveau de Lacan », a fourni une riche association du Sinémurien supérieur (chronozone à *Raricostatum*) (Fauré, 2020). Elles appartiennent au Sinémurien supérieur, et non au Pliensbachien comme porté sur la carte géologique (Bogdanoff *et al.*, 1984).

c. Une formation argileuse tendre, peu visible en raison de l'épaisse végétation, qui est largement recouverte par les éboulis du versant oriental du Mont Coudour. Les rares cultures permettant encore des affleurements, sont trop discontinus et trop altérés pour permettre d'en lever une coupe continue, mais il est possible d'en reconstituer les successions lithologique et stratigraphique. De bas en haut :

- **Calcaires marneux roux, condensés, bioturbés**, à fossiles phosphatés, affleurant au niveau d'une *plantation à l'ouest du vieux cimetière* (ouest de Boussagues). Nous y avons récolté, hors place, les ammonites *Uptonia* gr. *bronni* (Roemer) (**Fig. 3A, B**), les brachiopodes *Gibbirhynchia* sp., *Lobothyris punctata* (Sowerby) et *Lobothyris lata* (Dubar), et divers mollusques dont *Gryphaea mccullochi*. Cette association appartient au Pliensbachien inférieur, chronozone, sous-chronozone à Jamesoni (**Fig. 2**).

- **Marnes grumeleuses** condensées, à fragments d'ammonites phosphatées. L'affleurement, situé dans un *verger à l'ouest du point 343*, permet la récolte hors place des ammonites *Amaltheus margaritatus* de Montfort et *Leptaleoceras lozeriense* (Monestier) (**Fig. 3C**), avec les brachiopodes *Tetrahynchia tetrahedra* (Sowerby) et *Liospiriferina rostrata* (Schlotheim).

Cette association relève du Pliensbachien supérieur, chronozone à *Margaritatus*, partie inférieure de la sous-chronozone à *Gibbosus* (**Fig. 2**).

- **Calcaires marneux et marnes bioclastiques à crinoïdes**, en alternances rythmiques, véritable encrinite, très riche en segments de tiges et de calices de pentacrines. Cette assise est particulièrement bien dégagée au *nord de la Croix de Clairac* par la piste qui, de la Croix, serpente sur le versant oriental du Mont Coudour. Elle a fourni une macrofaune très riche composée de nombreuses bélemnites, de radioles et d'articles de Cidaridés, de bivalves [*Chlamys textoria* (Schlotheim)], de gastéropodes [*Anticonulus* gr. *delta* (Dumortier), *Eucylus* ? sp.] et de brachiopodes dont *Tetrahynchia tetrahedra* (Sowerby) et *Lobothyris punctata* (Sowerby).

Une ammonite, *Amaltheus margaritatus* de Montfort (**Fig. 3D**), permet de s'assurer qu'il s'agit d'un faciès particulier de la partie supérieure de la chronozone à *Margaritatus* ou de la partie inférieure de la chronozone à *Spinatum* (Pliensbachien supérieur) (**Fig. 2**).

- **Marnes grises à ammonites phosphatées**, que l'on peut observer dans une *plantation à l'ouest du point 343* (ouest de Boussagues). Cet affleurement

ÉTAGES	CHRONOZONES	SOUS-CHRONOZONES
TOARCIEEN	AALENSIS	FLUITANS
		MACTRA
	PSEUDORADIOSA	PSEUDORADIOSA
		LEVESQUEI
	DISPANSUM	GRUNERI
		INSIGNE
	THOUARSENSE	FALLACIOSUM
		FASCIGERUM
		THOUARSENSE
		BINGMANNI
	VARIABILIS	VITIOSA
		ILLUSTRIS
		VARIABILIS
	BIFRONS	BIFRONS
SUBLEVISIONI		
SERPENTINUM	FALCIFERUM	
	EXARATUM	
TENUICOSTATUM	SEMICELATUM	
	PALTUS	
PLIENSBACHIEEN	SPINATUM	HAWSKERENSE
		APYRENUM
	MARGARITATUS	GIBBOSUS
		SUBNODOSUS
		STOKESI
	DAVOEI	FIGULINUM
		CAPRICORNUS
		MACULATUM
	IBEX	LURIDUM
		VALDANI
		MASSEANUM
	JAMESONI	JAMESONI
		BREVISPIA
		POLYMORPHUS
TAYLORI		
SINEMURIEEN	RARICOSTATUM	
HETTANGIEEN		

Fig. 2 - Étages du Jurassique inférieur, chronozones et sous-chronozones d'ammonites d'après Dommergues *et al.*, 1997 ; Elmi *et al.* 1997, Page, 2003. Les sous-chronozones d'ammonites identifiées aux environs de Boussagues figurent en mauve.

nous a fourni, hors place, plusieurs bélemnites et ammonites, *Grammoceras penstriatum* Buckman (**Fig. 3E**) et *Podagrosites* gr. *quadratum* (Quenstedt) (**Fig. 3F**).

Cette association relève du Toarcien supérieur, chronozone à Thouarsense, sous-chronozone à Fascigerum (**Fig. 2**).

C'est vraisemblablement dans un faciès identique que Roquefort (1932) avait identifié le Toarcien, avec les ammonites *Dumortieria* cf. *rhodanica* (Haug), *Dumortieria* sp. et le bivalve *Lucina* (= ? *Mesomiltha*) *plana* (Zieten), association du Toarcien supérieur, chronozone à Pseudoradosa (**Fig. 2**).

Aucun dépôt plus récent que le Toarcien supérieur ne semble exister à Boussagues.

4. Biostratigraphie

La confrontation des niveaux d'ammonites identifiés à Boussagues avec la zonation standard pour l'Europe du Nord-ouest (Dommergues *et al.*, 1997 ; Elmi *et al.* 1997, Page, 2003) montre une succession très incomplète qui suggère de longues périodes de lacune sédimentaire (**Fig. 2**). Sont identifiés les niveaux suivants :

Pliensbachien

Chronozone à Jamesoni

Sous-chronozone à Jamesoni, avec *Uptonia bronni* de la zonule à Jamesoni du standard.

Aucun représentant des chronozones à Ibex et à Davoei n'y est identifié, évoquant leur absence de dépôt.

Chronozone à Margaritatus

Sous-chronozone à Gibbosus, avec *Leptaleoceras lozeriense* et *Amaltheus margaritatus*, toutes deux représentatives du biohorizon à *Leptaleoceras lozeriense* (Fauré, 2020), niveau équivalent à la zonule à Ugdulena du standard. A noter que *A. margaritatus* est aussi présent dans la **chronozone à Spinatum** (sous-chronozone à Apyrenum)

Toarcien

Chronozone à Thouarsense

Sous-chronozone à Fascigerum, avec *Grammoceras penstriatum* et *Podagrosites* gr. *quadratum*.

Chronozone à Pseudoradosa

Sous-chronozone à Pseudoradosa, avec *Dumortieria* cf. *rhodanica*.

5. Conclusion

Le Jurassique des environs de Boussagues offre une succession sédimentaire classique : à sa partie inférieure, un complexe calcaréo-dolomitique d'âge

Hettangien à Sinémurien ; à sa partie supérieure, une assise à dominante argileuse d'âge Pliensbachien à Toarcien. Le Pliensbachien inférieur (chronozone à Jamesoni), le Pliensbachien supérieur (chronozones à Margaritatus et à Spinatum) et le Toarcien (chronozones à Thouarsense et à Pseudoradosa) y sont identifiés (**Fig. 2**). La dalle calcaréo-dolomitique du Jurassique moyen, qui couronne le Toarcien à Bédarieux, y est ici absente par érosion récente.

Le Pliensbachien et le Toarcien y offrent une succession sédimentaire, à la fois réduite en épaisseur et incomplète (**Fig. 2**), avec des faciès bioclastiques et des niveaux condensés à fossiles phosphatés très caractéristiques d'une zone de haut fond.

A titre d'exemple, le faciès de calcaire bioclastique à encrines qui affecte les dépôts du Pliensbachien supérieur dans le secteur de Boussagues, résulte d'une forte énergie du milieu et d'un dépôt très peu profond. Il n'a pas d'équivalent latéral dans le reste du bassin et semble cantonné à la seule extrémité occidentale du fossé de Bédarieux. Il en est de même des faciès de marnes grumeleuses condensées à ammonites phosphatées du Toarcien supérieur qui ont pour équivalent latéral, au méridien de la vallée de l'Orb, des marnes schisteuses grises à noires qui témoignent, au contraire, d'une sédimentation continue en milieu profond.

La partie occidentale du fossé de Bédarieux, dans le secteur de Boussagues, montre l'exagération des phénomènes de condensation sédimentaire déjà amorcés, à plusieurs niveaux, dans le reste du bassin (Fauré, 2020). Ils sont à mettre en relation avec le jeu synsédimentaire ancien de la faille minéralisée de Boussagues-Lamalou, toute proche, qui limitait à l'ouest les dépôts du bassin jurassique.

A noter qu'un faciès à encrines sensiblement identique se retrouve plus au nord, dans le Pliensbachien supérieur du témoin de Bernagues (ouest du Jurassique de l'Escandorgue) (Roquefort, 1932), que l'on peut placer dans le prolongement nord de cette même faille.

L'évolution tectono-sédimentaire du bassin de Bédarieux et, particulièrement de sa partie occidentale, est conditionnée, au Jurassique, par l'influence d'une zone d'instabilité tectonique située dans le prolongement sud-occidental du faisceau faillé cévenol. La structure en horst qui en résulte, le Seuil cévenol (Beaudrimont & Dubois 1977) ou Seuil caussenard (Michard & Cormoul, 1978), marque la paléogéographie du Jurassique du sud de la France

d'une succession de hauts fonds qui séparent les zones subsidentes du bassin des Causses, au nord, du bassin languedocien, au sud. Le secteur de Boussagues en est le témoin le plus méridional.

6. Annexe paléontologique

Super-famille Eoderoceratoidea Spath, 1929

Famille Polymorphitidae Haug, 1887

Sous-famille Polymorphitinae Haug, 1887

Genre *Uptonia* Buckman, 1887

Espèce type : *Ammonites jamesoni*

J. de C. Sowerby, 1827

Uptonia bronni (Roemer, 1836)

Fig. 3A, B

1836. *Ammonites Bronnii* Roemer, pl. 12, fig. 8.

2020. *Uptonia bronni* (Roemer). Fauré, pl. 3, fig. 3, 4.

Deux fragments se rapportent à ce Polymorphitidé micromorphe, homologue microconche de *Uptonia jamesoni* (Sowerby). L'ornementation est faite de côtes fortes, radiales ou rétroverses qui marquent sur le rebord ventro-latéral une angulosité saillante à partir de laquelle elles forment un chevron proverse qui converge vers une carène basse. L'aire ventrale est basse, tectiforme, les flancs aplatis et la section quadratique.

Âge et répartition : L'espèce caractérise la chronozone, sous-chronozone à Jamesoni. Elle est également connue dans quelques rares localités de la marge nord-téthysienne (Austroalpin autrichien).

Matériel : Calcaires marneux roux condensés. Boussagues, plantation à l'ouest du vieux cimetière : 2 ex. MHNT.PAL.2021.1.18 (**Fig. 3A**) et 19 (**Fig. 3B**).

Famille Amaltheidae Hyatt, 1867

Genre *Amaltheus* de Montfort, 1808

Espèce type : *Amaltheus margaritatus*
de Montfort, 1808

Amaltheus margaritatus de Montfort, 1808

Fig. 3D

1808. *Amaltheus margaritatus* de Montfort, fig. 90.

2020. *Amaltheus margaritatus* de Montfort. Fauré, pl. 4, fig. 13.

Cet *Amaltheus* est l'une des espèces les plus fréquentes et les plus faciles à déterminer du

Pliensbachien supérieur, avec sa carène cordée et sa coquille comprimée à enroulement involute. Sa costulation flexueuse disparaît dans le haut du flanc et n'atteint pas la carène cordée qui est bordée par deux méplats lisses étroits qui séparent nettement la côte du chevron.

Âge et répartition : Son intervalle d'existence est long, de la base de la sous-chronozone à Subnodosus (chronozone à Margaritatus) à la partie inférieure de la chronozone à Spinatum (sous-chronozone à Apyrenum). Elle est surtout fréquente dans toutes les régions de l'Europe du nord-ouest, ainsi que dans les régions boréales. Elle atteint le Domaine téthysien, en particulier sa marge nord, plus rarement sa marge sud.

Matériel :

- Marnes grumeleuses. Boussagues, ouest du point 343 : 1 ex. ; MHNT.PAL.2021.1.88.
- Calcaires marneux et marnes à crinoïdes. Boussagues, nord de la Croix de Clairac : 1 ex. coll. Guibbert (**Fig. 3D**).

Super famille Hildoceratoidea Hyatt, 1867

Famille Hildoceratidae Hyatt, 1867

Sous-famille Arieticeratinae Howarth, 1955

Genre Leptaleoceras Buckman, 1918

Espèce type : *Leptaleoceras leptum* Buckman, 1918

Ce genre téthysien est rarement identifié sur les plates-formes européennes où sa présence se limite à de rares localités de leur confins méridionaux, comme les Grands-Causse, où une courte lignée, alimentée par des migrations d'origine téthysienne, s'est épisodiquement implantée durant la partie inférieure de la sous-chronozone à Gibbosus (Meister, 1989).

***Leptaleoceras lozeriense* (Monestier, 1934)**

Fig 3C

- 1934. *Arieticeras lozeriense* Monestier, pl. 9, fig. 8-11, 14-17, 18 ; pl. 11, fig. 4.
- 2020. *Leptaleoceras lozeriense* (Monestier). Fauré, pl. 4, fig. 12.

Arieticeratinae de petite taille, à section subelliptique, comprimée, assez haute, ombilic peu profond et aire ventrale étroite, dont la carène est bordée de deux méplats. Avec ses côtes peu flexueuses, effacées autour de la région péri-ombilicale, qui prennent du relief dans la partie haute du tour, son ornementation est très caractéristique de l'espèce.

Âge et répartition : *L. lozeriense* est une ammonite de la sous-chronozone à Gibbosus (chronozone à

Margaritatus) des Grands-Causse où elle marque localement la zonule à Ugdulenaï du standard. Elle semble à ce jour endémique à la région occitane.

Matériel : Marnes grumeleuses. Boussagues, verger à ouest du point 343 : 1 ex. MHNT.PAL.2021.1.37 (**Fig. 3C**).

Sous-Famille Grammoceratinae Buckman, 1905

Genre Grammoceras Hyatt, 1867

Espèce type : *Ammonites striatulum*
J. Sowerby, 1825

***Grammoceras penestriatulum* Buckman, 1902**

Fig. 3E

1890. *Grammoceras striatulum* J. Sowerby.
Buckman, pl. 28, fig. 16-17.

1902. *Grammoceras penestriatulum* n.sp. Buckman,
p. 3.

Grammoceras habituellement de grande taille, à large ombilic ouvert et peu profond, présentant une section ogivale comprimée, une aire ventrale convexe centrée par une carène bordée de deux méplats, sans sillon. La costulation est forte, sigmoïde et flexueuse.

Âge et répartition : Espèce strictement nord-ouest européenne dont la présence marque la zone à Thouarsense, sous-chronozone à Fascigerum.

Matériel : Marnes grises à ammonites phosphatées. Boussagues, plantation à l'ouest du point 343 : 1 ex. MHNT.PAL.2021.1.92 (**Fig. 3E**)

Genre Podagrosites Guex, 1973

Espèce type : *Podagrosites podagrosium*
Monestier, 1921

***Podagrosites gr. quadratum* (Quenstedt, 1885)**

Fig. 3F

1885. *Ammonites radians quadratus* Quenstedt,
pl. 51, fig. 9-11.

Coquille à la section subquadratique légèrement plus haute que large, bisulquée, très caractéristique du genre avec deux sillons très marqués sur une aire ventrale aplatie. La costulation, de densité modérée, est faite de côtes rigides, légèrement rétroverses, nettement infléchies vers l'avant à l'approche du rebord ventral

Âge et répartition : Espèce nord-ouest européenne dont l'âge zone à Thouarsense, sous chronozone à

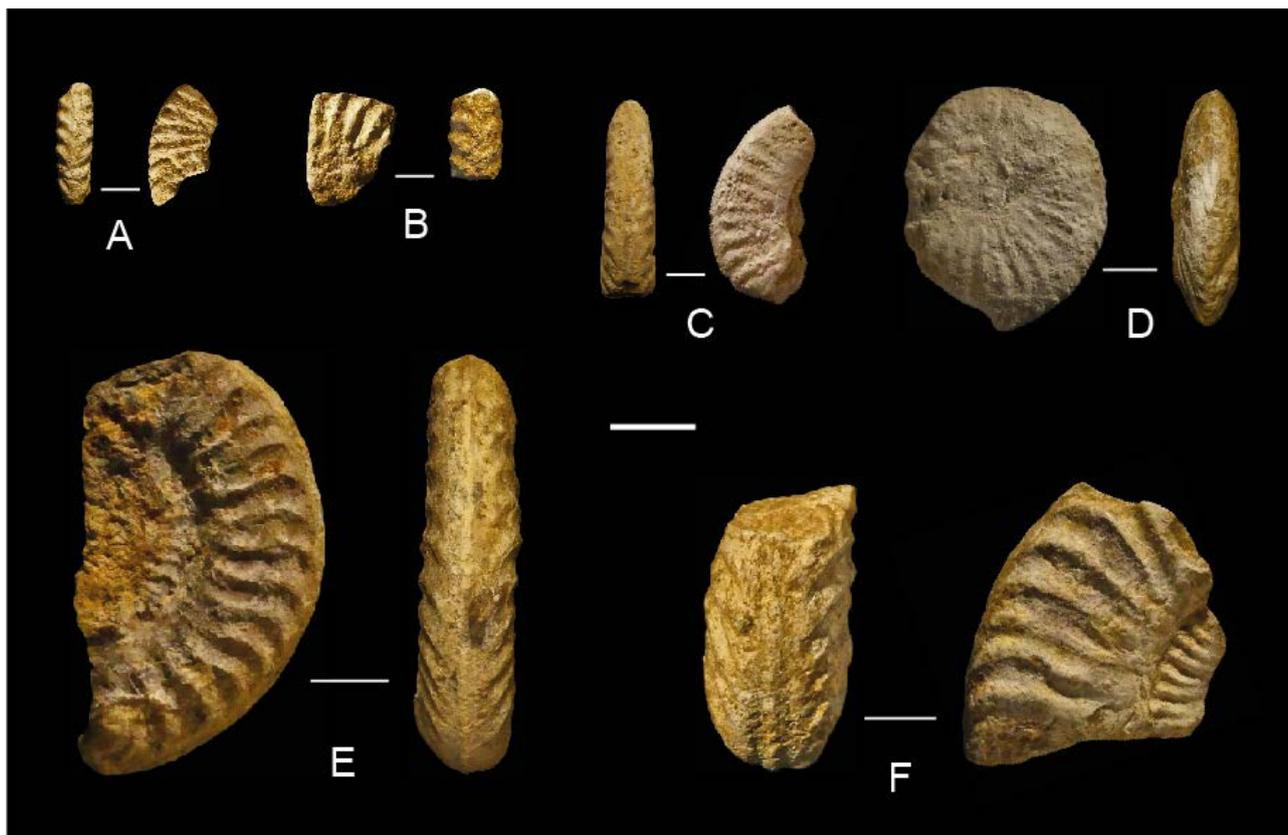


Fig. 3 - A, B. *Uptonia bronni* (Roemer). Chronozone à Jamesoni. Calcaires marneux roux condensés. Boussagues, plantation à l'ouest du vieux cimetière. MHNT.PAL.2021.1.18-19.

C. *Leptaleoceras lozeriense* (Monestier). Chronozone à Margaritatus, sous-chronozone à Gibbosus. Marnes grumeleuses. Boussagues, plantation à l'ouest du point 343. MHNT.PAL.2021.1.37.

D. *Amaltheus margaritatus* de Montfort. Chronozone à Margaritatus. Calcaires marneux et marnes à crinoïdes. Boussagues, nord de la Croix de Clairac. Coll. Guibbert.

E. *Grammoceras penestriatum* Buckman. Chronozone à Thouarsense, sous chronozone à Fascigerum, plantation à l'ouest du point 343. MHNT.PAL.2021.1.92.

F. *Podagrosites* gr. *quadratum* (Quenstedt). Chronozone à Thouarsense, sous chronozone à Fascigerum, plantation à l'ouest du point 343. MHNT.PAL.2021.1.93.

Sauf indication contraire, les échantillons appartiennent à la collection Fauré. Ils sont conservés dans les collections du muséum d'Histoire naturelle de Toulouse. Photographies Ph. Fauré. Échelle 1 cm.

Fascigerum, est identique à celui du *G. penestriatum* avec lequel elle a été trouvée.

Matériel : Marnes grises à ammonites phosphatées. Boussagues. Plantation à l'ouest du point 343 : 1 ex. MHNT.PAL.2021.1.93 (**Fig. 3C**).

Références

Arrondeau J.P. (1982) - Étude sédimentologique du Lias inférieur carbonaté du Seuil caussenard et de ses abords (Languedoc). *Thèse 3ème cycle, Institut des Sciences de la nature de l'Université de Nantes*. 210 p.

Baudrimont A.F. & Dubois P. (1977) - Un bassin mésogéen du domaine péri-alpin. Le sud-est de la

France. *Bulletin des Centres de recherche Pau - SNPA*, 1, 1 : 261-308.

Bogdanoff S., Donnot M. & Ellenberger F. (1984) - Notice explicative de la feuille de Bédarieux au 1/50 000. *Éditions du B.R.G.M.* 105 p.

Buckman S.S. (1887-1907) - A monograph of the Inferior oolite ammonites of the British Islands. *Palaeontological Society*, London, 40-61. 456 p + suppl. 262 p.

Buckman S.S. (1902) - Emanations of Ammonites nomenclature. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 59/4 : 459-464.

Dommergues J.-L., Meister C. & Mouterde R. (1997) - Pliensbachien. In *Biostratigraphie du Jurassique européen et méditerranéen : zonations parallèles*

- et distribution des invertébrés et microfossiles. Cariou E. & Hantzpergues P. (coord.). *Bulletin des Centres de Recherche Elf, Exploration et Production*, Mém., 17 : 15-23.
- Elmi S., Rulleau L., Gabilly J. & Mouterde R. (1997) - Toarcien. In Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles : Cariou E. & Hantzpergues P. (coord.). *Bulletin des Centres de Recherche Elf, Exploration et Production*, Pau, Mém., 17 : 25-36.
- Fauré Ph. (2020) - Le Jurassique du Bassin de Bédarieux (Hérault, France). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 156 : 67-95.
- Meister C. (1989) - Les ammonites du Domérien des Causses (France). *Cahiers de Paléontologie. Editions du CNRS*. 80 p.
- Mélas P. (1982) - Étude sédimentologique, paléogéographique et géochimique du Lias carbonaté du nord-Lodevois. Application à la reconnaissance et à l'interprétation d'amas métallifères. *Mémoires du Centre d'Études et de Recherches Géologiques et Hydrogéologiques*, Montpellier, XIX, tome 1 : 419 p. ; tome 2 : 37 pl.
- Michard A.G. & Cormoul A. (1978) - La sédimentation liasique dans les Causses : contrôle des minéralisations Zn-Pb associées au Lotharingien. *Bulletin du B.R.G.M.*, sect. II, 2 : 57-120.
- Montfort P. de (1808) - Conchyliologie systématique et classification méthodique des coquilles. Frédéric Schoell, Paris, 410 p.
- Monestier J. (1934) - Ammonites du Domérien de la région au sud-est de l'Aveyron et de quelques régions de la Lozère, à l'exclusion des Amalthéidés. *Mémoires de la Société géologique de France*, NS, 23. 102 p.
- Nicklès R. (1899) - Compte-rendu de l'excursion du 10 septembre à Bédarieux. Réunion extraordinaire sur le versant méridional de la Montagne Noire. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3, XXVII : 731-738.
- Nicklès R. in Déperet C., Bergeron J. & Nicklès R. (1900) - Bédarieux au 1/80 000. Carte géologique n° 232.
- Page K.N. (2003) - The Lower Jurassic of Europe : its subdivision and correlation. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 1 : 23-59.
- Quenstedt F.A (1882-1888) - Die Ammoniten des Schwäbischen Jura. *Schwartzbart ed.*, 3 vol. 1140 p.
- Roemer, F.A. (1836) - Die Versteinerungen des Norddeutschen Ooliten-Gebirges, Hahn, Hannover. 218 p.
- Roquefort C. (1932) - Le Lias et le Jurassique de la région de Bédarieux (Hérault). *Bulletin de la Société d'étude des Sciences naturelles de Béziers*, 36 : 59-76.

Accepté le 10 novembre 2021

Publié en ligne (pdf) le 24 novembre 2021

Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux environs de Sougraigne (Aude, France) Cinquième étude

Xavier CHAIX et Jérôme PLICOT

Résumé

L'étude de nouveaux affleurements du Crétacé supérieur des Corbières méridionales (Aude) a permis la récolte de nombreux gastéropodes dans la Formation des Marnes bleues de Sougraigne et la Formation de la Montagne des Cornes, datées du Santonien inférieur, zone à Carezi et du Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Sont cités dans cette cinquième livraison les genres : *Anchura*, *Pterocerella*, *Ceratosiphon*, *Dimorphosoma*, *Phyllocheilus*, *Perissoptera*, *Kaunhowenia*, *Helicaulax* et *Arrhoges*. Certaines espèces, sont peu connues ou signalées pour la première fois dans le Santonien des Corbières. Deux nouveaux taxons sont décrits : *Pterocerella faurei* et *Kaunhowenia laurenti*.

Mots clés : Gastropoda, Crétacé supérieur, Santonien, Corbières, Aude, France.

The gastropods of the Upper Santonian (Upper Cretaceous) southern Corbières, in the hinterland of Sougraigne (Aude, France). Fifth study

Abstract

News outcrops of the Upper Cretaceous of Sougraigne (southern Corbières, Aude) has allowed to collect numerous gastropods in the "Marnes bleues de Sougraigne" and "Montagne des Cornes" Formations dating from the Lower Santonian, Carezi Zone and the Upper Santonian, Polyopsis Zone, Paraplanum Sub-zone. In this. Are studied in this fifth study, representatives of the genera *Anchura*, *Pterocerella*, *Ceratosiphon*, *Dimorphosoma*, *Phyllocheilus*, *Perissoptera*, *Kaunhowenia*, *Helicaulax* et *Arrhoges*. Some described species are little known and reported for the first time in the Corbières Santonian. Two of these taxa are new : *Pterocerella faurei* et *Kaunhowenia laurenti*.

1. Introduction

Le présent travail a pour but de poursuivre la réactualisation de la systématique des Gastéropodes du Santonien (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux alentours de Sougraigne (Aude). Ils n'ont pas fait l'objet d'étude paléontologique depuis les travaux anciens de d'Archiac (1854), de Roussel (1885), de Cossmann (1896-97,1902,1903), de Delpy (1938, 1942) et de Termier (1954). Dans la première livraison de cette étude (Chaix & Plicot, 2018) ont été décrites et figurées deux espèces

nouvelles, *Confusiscala faurei* Chaix et *Anchura plicoti* Chaix, dans la seconde livraison (Chaix & Plicot, 2020a), *Pleurotomaria plicoti* Chaix, *Bathrotomaria bilottei* Chaix et *Bathrotomaria delpyi* Chaix, dans la troisième livraison (Chaix & Plicot, 2020b), *Helicocryptus lardieri* Chaix et *Palaeocypraea plicoti* Chaix.

Nous renvoyons le lecteur à la première partie de cette étude pour plus de détails sur les cadres historique et stratigraphique (Chaix & Plicot, 2018). Rappelons que les dépôts du Crétacé supérieur des Corbières méridionales appartiennent à la couverture

1. Musée de Paléontologie et de Préhistoire, 12 rue Saint-Mammès, F-11160, Villeneuve-Minervois.
bernadette.chaix@wanadoo.fr

2. Jérôme Plicot, F-11200, Saint-André-de-Roquelongue.

méridionale du Massif hercynien de Mouthoumet et qu'ils s'expriment particulièrement bien au niveau du Synclinal de Rennes-les-Bains dans lequel se développe un dispositif prodeltaïque à deux composantes sédimentaires disposées en relais latéral, l'ensemble témoignant d'une polarité vers le sud représentative de la marge nord-aquitaine (Bilotte, 2007).

- Au nord, un complexe sédimentaire de 100 à 250 mètres d'épaisseur, de type deltaïque, regroupé dans la Formation de la Montagne-des-Cornes, au sein duquel se développent des bioconstructions récifales à rudistes, qui occupent les trois reliefs de la Montagne-des-Cornes, des Cloutets et du Brenz.

- Au sud, la Formation des Marnes bleues de Sougraigne, uniformément constituée de 100 à 250 mètres de marnes micacées, témoignant d'un milieu de dépôt plus profond, représentant les faciès de type prodelta.

- Des faciès de transition et des indentations entre ces deux formations concourent à la complexité de la succession lithostratigraphique des environs de Sougraigne où divers faciès intermédiaires, latéralement bien délimités, ont été individualisés sous diverses dénominations, désignant des membres lithologiques très localisés tels les « Calcaires à Lima », les « Marnes à Turritelles et Corbules », les « faciès terrigènes à ossements de Mosasaures », ou encore les « Marnes du Moulin Tiffou ». La coupe historique du

chemin de Sougraigne aux Cloutets recoupe certains d'entre eux.

Étude systématique, par Xavier Chaix

Embranchement : Mollusca

Classe : Gastropoda

Ordre : Caenogastropoda

Superfamille : Stromboidea Rafinesque, 1815

Famille : Aporrhaidae Gray, 1850

Sous famille : Anchurinae Kollmann, 2009

Genre : *Anchura* Gaab, 1868

Espèce type : *Anchura abrupta* Conrad, 1960

***Anchura plicoti* Chaix, 2018**

Fig. 52A, B

La récolte, dans les Marnes bleues de Sougraigne, de nouveaux échantillons bien conservés de cette espèce, justifie une nouvelle figuration. Pour la description détaillée de ce taxon, il convient de se référer à la première livraison de ce travail (Chaix & Plicot, 2018, p. 21-23, fig. 4A-C).

Dimensions : Hauteur conservée : 90 mm ; hauteur reconstituée : 110 mm ; largeur du dernier tour, sans l'expansion alaire : 32 mm ; longueur de l'expansion alaire : 60 mm.

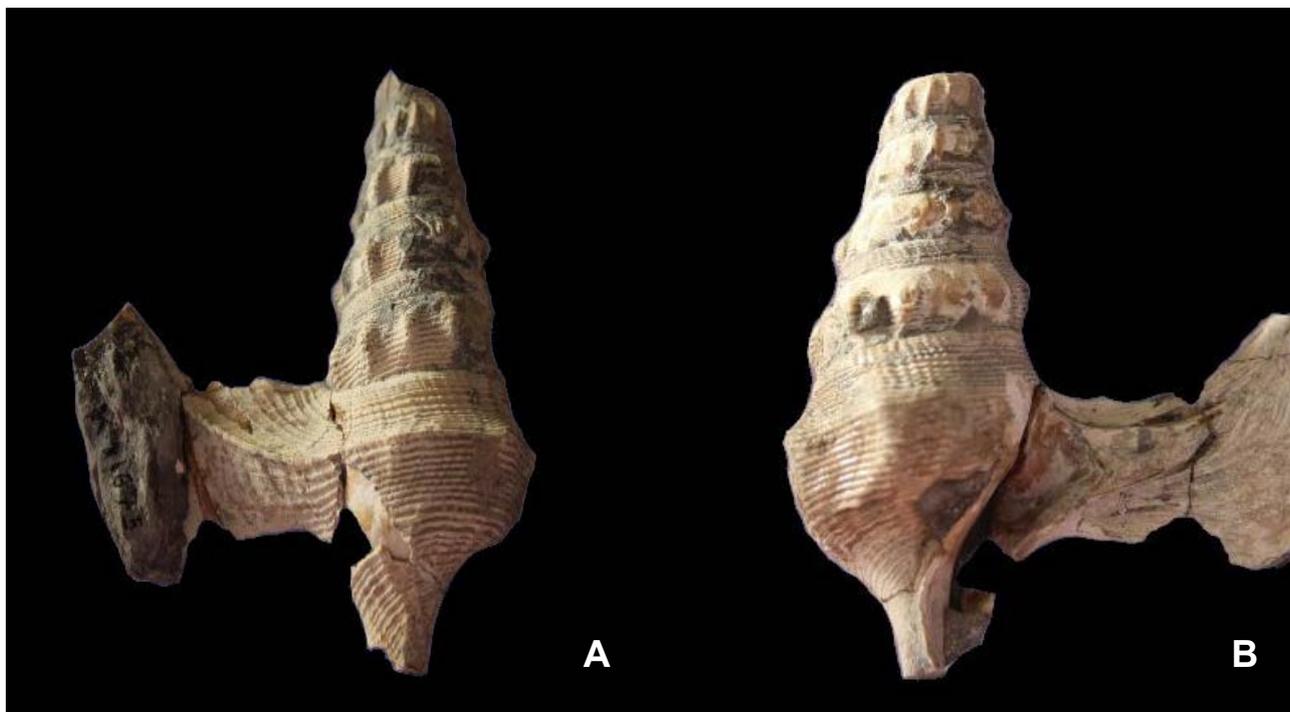


Fig. 52A, B - *Anchura plicoti* Chaix, 2018. K11675. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains). X 0,8

Remarque : Cet échantillon est particulièrement intéressant car il a parfaitement conservé son ornementation et nous remarquons que les côtes axiales se réduisent d'environ de 50 % sur le dernier tour, dont la partie inférieure est formée d'environ 12 costules portant de très nombreuses ponctuations.

Famille : Aporrhaidae Gray, 1850
Sous famille : Pterocerellinae Bandel, 2007

Genre : *Pterocerella* Meek, 1864
Espèce type : *Harpago tippana* Conrad, 1858

Pterocerella faurei nov. sp.

Fig. 53

Localité et stratotype : L'holotype provient de la Formation des Marnes bleues de Sougraigne, où il a été trouvé en place dans le lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains, Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

Holotype : Spécimen K11678 de la collection Chaix (**Fig. 53**), conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne). L'holotype est un individu adulte d'une hauteur hors expansion alaire de 17 mm et de 35 mm ? de largeur avec expansion alaire.

Origine du nom : En remerciements à Philippe Fauré, pour les conseils précieux qui ont été les siens et pour la mise en page de ce travail.

Diagnose :

Coquille de petite taille, composée d'environ 8 tours portant en leur milieu une très forte carène médiane. Aucune autre ornementation spirale ou axiale. Partant du bord labraire du dernier tour, une expansion alaire se divise en deux parties, portant chacune trois digitations allongées et recourbées en forme de faux et portant, en leur milieu et sur toute leur longueur, une très nette carène.

Description :

Coquille composée d'environ 8 tours, le dernier développant une importante expansion labrale formée



Fig. 53 - *Pterocerella faurei* nov. sp., **Holotype** K11678. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains). X 1,5

des six digitations, très caractéristiques de ce genre. Sur notre échantillon le départ de trois d'entre elles est bien visible ; seule celle se dirigeant vers l'apex, courbée en forme de faux, est bien conservée. Il en est de même du côté gauche de la coquille où seule est conservée une très longue expansion, au moins aussi longue que le double de la spire.

Comparaison :

Pterocarella (Meek) est un genre uniquement créacé connu par une dizaine d'espèces, la plupart américaines. A ce jour aucune n'avait été signalée en France. Notre fossile peut cependant être rapproché de *Pterocarella maryea* (Donckery, 1993) du Maestrichien du Missisipi (U.S.A.) dont un échantillon exceptionnellement bien conservé peut être consulté sur le site « gastropoda stromboidea ».

Genre : *Ceratosiphon* Gill, 1870

Espèce type : *Anchura abrupta* Conrad, 1960
(par désignation postérieure)

Ceratosiphon tifauensis (d'Archiac, 1854)

Fig. 54

1854 - *Rostellaria tifauensis* d'Archiac, p. 227, pl. 6, fig. 4a.

Holotype : Il est conservé dans la collection Renaux (non vérifié), à l'Université de Montpellier (Hérault).

Dimensions : Hauteur : 17 mm ; hauteur reconstituée avec expansions : 50 mm ; largeur dernier tour : 10 mm ; largeur avec expansion labrale : ? 30 mm.

Description :

Coquille pupiforme composée de 6 à 7 tours carénés en leur milieu avec, au-dessus, deux rangées de stries granuleuses et, en dessous, une ligne de petites côtes arquées. Présence d'une expansion calleuse longeant la totalité de la spire. Les digitations alaires ne sont pas conservées sur notre échantillon.

Remarques :

Nous rattachons notre fossile au genre *Ceratosiphon* (Gill, 1870) en raison de sa spire peu élevée et de ses tours anguleux, avec un dernier tour doublement caréné (Kollmann, 2005, p. 129). Cette très rare espèce a été décrite et figurée par d'Archiac (1854). Il s'agit d'un fossile très certainement récolté par Dumortier, provenant d'un faciès très particulier des marnes bleues, situé dans le lit de la rivière de la Sals, à proximité du « Moulin Tiffou », sur la

commune de Rennes-les Bains. D'Archiac précise « lorsque les eaux sont assez basses, les coquilles et polypiers très fragiles souvent calcinées... le test de la plupart a éprouvé une altération très particulière qui fait apparaître sa structure intime comme réticulée ».

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Marnes bleues de Sougraigne, dans le lit de la Sals à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains, Aude).

Matériel étudié : 1 ex. K11680 (**Fig. 54**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Sous famille : *Dimorphosominae* Kollmann, 2009

Genre : *Dimorphosoma* Gardner, 1891

Espèce type : *Rostellaria calcarata* Sowerby, 1822

Dimorphosoma laevigata (Zekeli, 1852)

Fig. 55, 56

non 1831- *Rostellaria laeviuscula* Sowerby J. de C., pl. 38, fig. 24.

1852 - *Rostellaria laevigata* Zekeli, pl. 12, fig. 2.

1852 - *Rostellaria calcarata* Sowerby J. de C. Zekeli, pl. 12, fig. 4.

1854 - *Rostellaria laeviuscula* Sowerby J. de C. D'Archiac, p. 226, pl. 6, fig. 2a.

1954 - *Rimella laeviuscula* (Sowerby J. de C.). Delpy, p. 373.

Holotype : Il est conservé dans les collections du Muséum d'Histoire naturelle de Vienne (Autriche).



Fig. 54 - *Ceratosiphon tifauensis* (d'Archiac 1854). K11680. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains). X 2,5



Fig. 56 - *Dimorphosoma laevigata* (Zekeli, 1852). K11677. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Fig. 55 - *Dimorphosoma laevigata* (Zekeli, 1852). K11676. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Dimensions :

- K11676 (**Fig. 55**) : hauteur : 56 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; largeur avec labre : 20 mm.
- K11677 (**Fig. 56**) : hauteur : 19 mm ; hauteur reconstituée : 22 mm ; largeur du dernier tour, sans labre : 8 mm.

Description :

Espèce de petite taille composée de 9 à 10 tours de spire dont le dernier porte une carène prolongée à sa partie supérieure par une fine épine légèrement recourbée. L'ornementation axiale est formée de côtes légèrement ondulées au nombre d'une vingtaine par tour. Elle est recoupée par une ornementation spirale (difficilement visible sur nos échantillons) faite d'une dizaine de fins filets dont la rencontre forme de petites épines émoussées. L'expansion alaire, tout d'abord de forme triangulaire, se prolonge par une longue pointe effilée. D'après d'Archiac (1854, p. 226-227) « l'ouverture est allongée triangulaire, à angles très aigus. Le bord gauche est revêtu d'une large callosité saillante qui, partant de sa jonction avec le bord droit, s'étend sur la base de la coquille, puis sur le canal ».

Remarques :

Notre fossile est à rattacher à la sous famille des *Dimorphosominae* (Kollmann, 2009, p. 53) et ce, conformément à la diagnose qu'en a donné l'auteur. Il est fréquent dans les Marnes bleues à proximité du « Moulin Tiffou » (Rennes-les-Bains).

D'Archiac décrit ce fossile (1854, p. 226-227, pl. 6, fig. 2, 2a) en le nommant *Rostellaria laeviuscula* (Sowerby J. de C, 1832, série 2, vol. III, pl. 38, fig. 24) et il le met en synonymie avec un autre fossile, dont il ne cite ni le genre, ni l'espèce, avec la référence

suivante « Zekeli, 1852, vol. 1, pl. 12, fig. 2 », qui est en fait le *Rostellaria laevigata* de Zekeli, et non le *Rostellaria laeviuscula* qui n'a jamais été décrit par ce dernier auteur.

Rostellaria laeviuscula Sowerby J. de C., doit être considérée comme une espèce invalide. En effet, aucune description n'en a été donnée, mais seulement une figuration. Précisons que Sowerby a nommé dans un premier temps ce fossile *Rostellaria laevigata*, ce qui ne fait que compliquer la nomenclature, surtout que cette dernière appellation a été reprise par de nombreux auteurs dont d'Orbigny.

Dans la révision de la faune de Gosau (Autriche), Stoliczka (1865) met en synonymie *Alaria costata* (Sowerby) avec plusieurs taxons dont : *Rostellaria laevigata* (Zekeli) et *Rostellaria laeviuscula* (d'Orbigny), espèce signalée dans le Prodrôme au N°322, mais comme étant l'espèce de Sowerby de 1831.

Dans l'étude sur la faune de Gosau (Autriche), Zekeli (1852, pl. 12, fig. 4) donne une figuration également très proche de notre fossile de Sougraigne : *Rostellaria calcarata* Sowerby J. de C. Ce taxon est mis en synonymie par Stoliczka (1865) avec *Rostellaria granulata* de Sowerby (= *granulatus*), espèce invalide car sans description. Il y rattache également *Rostellaria gibbosa* (Zekeli, pl. 12, fig. 7-8), qui au vu des figurations, semble ne pas correspondre à notre taxon et devrait être rattachée à un autre genre.

Termier (1954) décrit sans la figurer *Rimella laeviuscula* (Sowerby J. de C., 1831), qui est en fait une mauvaise interprétation générique et spécifique de notre taxon.

En conclusion nous maintenons ce fossile de

Sougraigne sous l'appellation de *Dimorphosoma laevigata* (Zekeli).

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous-zone à Paraplanum. Marnes bleues de Sougraigne, dans lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Matériel étudié : K11676 (**Fig. 55**) et K11677 (**Fig. 56**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Famille : Aporrhaidae Gray, 1850

Sous famille : Harpagodinae Pechlintseuv 1963

Genre : *Phyllocheilus* Gabb, 1868

Espèce type : *Aporrhais ponti* Brongniart, 1821

***Phyllocheilus haueri* (Zekeli, 1852)**

Fig. 57, 58

1852 - *Pterocera haueri* Zekeli, pl. 12, fig. 11.

Holotype : Il provient du Crétacé supérieur de Gosau (Autriche) et est conservé dans les collections du Muséum d'Histoire naturelle de Vienne (Autriche).

Dimensions :

- K11425 (**Fig. 57**) : Hauteur : 52 mm ; hauteur reconstituée : 57 mm ; largeur sans expansion alaire : 32 mm ; avec expansion alaire : 54 mm.

- K11674 (**Fig. 58**) : Hauteur : 47 mm ; hauteur reconstituée : 54 mm ; largeur : 25 mm.



Fig. 57 - *Phyllocheilus haueri* (Zekeli, 1852). K11425. Sous le chemin des Cloutets vers Sougraigne.

Description :

Forme générale pupoïde, composée de 6 tours de spire étagés les uns par rapport aux autres, le dernier étant deux fois plus haut que le reste de la coquille. Il se termine par un net rétrécissement dont l'extrémité n'a pas été conservée sur notre fossile (**Fig. 57**). Aucune ornementation axiale n'est visible. Présence d'une très importante expansion labrale en forme d'éventail, portant 4 digitations se terminant en pointe, d'environ 2 mm de large et de 20 mm de longueur. La coquille semble très peu épaisse (1 mm). L'ouverture est étroite et légèrement arquée (**Fig. 58**). Pour une excellente figuration de ce taxon, se reporter au site « gastropoda stromboidea » qui figure un échantillon de Gosau (Autriche) dont il faut remarquer les 7 digitations et l'accroissement de l'expansion alaire.

Remarques :

Nous rattachons notre fossile de Sougraigne à *Phyllocheilus haueri* (Zekeli) en raison de sa forme pupoïde très caractéristique et, surtout, de son expansion alaire en forme d'éventail portant de nettes digitations. Ce taxon n'était connu à ce jour que dans le Crétacé supérieur de Gosau (Autriche). L'espèce est pourtant relativement fréquente à Sougraigne (Aude) où la plupart des échantillons n'ont cependant pas conservé leur labre, ce qui explique sans doute pourquoi aucun des anciens auteurs ne l'avait signalé. Cossmann (1904, p. 69), dans la 6^{ème} livraison de ses essais de paléoconchologie, signale ce taxon également à Gosau (Autriche), mais comme provenant du Turonien.

Âge et Provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous-zone à Paraplanum. Marnes à



Fig. 58 - *Phyllocheilus haueri* (Zekeli, 1852). K11674. Sous le chemin des Cloutets vers Sougraigne.

Mosasaures, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne.

Matériel étudié : 2 ex. K11425 (**Fig. 57**) et K11674 (**Fig. 58**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude) et plusieurs échantillons provenant de collections particulières, récoltés également dans le même gisement.

Sous famille : Arrhoginae Popenoe, 1983

Genre : *Perissoptera* Tate, 1867

Espèce type : *Rostellaria parkinsoni* Mantell, 1822
(par désignation ultérieure)

***Perissoptera reussi* Geinitz, 1842**
Fig. 59, 60

1842 - *Rostellaria reussi* Geinitz, pl. 18, fig.1.

1874 - *Rostellaria reussi* Geinitz, pl. 2, fig. 9.

Holotype : Il semblerait que l'Holotype, vraisemblablement conservé à Dresde (Allemagne), ait disparu.

Dimensions :

- K11681 (**Fig. 59**) : Hauteur : 39 mm ; hauteur reconstituée : 50 mm ; largeur avec portion du lobe alaire : 29 mm.

- K11682 (**Fig. 60**) : Hauteur : 48 mm ; hauteur reconstituée ? 50 mm ; largeur avec expansion alaire : 32 mm.



Fig. 59 - *Perissoptera reussi* Geinitz, 1842. K11681. Lit de la Sals en amont de Sougraigne. X 1,5

Description :

Coquille composée d'une dizaine de tours, le dernier deux fois plus grand que les autres, se prolonge dans sa partie supérieure par un rétrécissement triangulaire s'amenuisant progressivement en une longue pointe effilée (**Fig. 60 B**). L'ornementation axiale, très caractéristique de cette espèce, est formée sur le dernier tour, d'une vingtaine de côtes longitudinales, fines, légèrement flexueuses. L'ornementation spirale (si elle existe) n'est pas visible sur nos échantillons, ni sur la figuration de Geinitz. La partie labrale est formée de deux parties ; la première en forme d'enclume, séparée du dernier tour et de chaque côté par un net rétrécissement ; la seconde située au-dessus, de forme triangulaire, se rétrécit en une longue épine.

Remarques :

Perissoptera reussi (Geinitz) est citée par de nombreux auteurs, mais rarement avec figuration, qui en général ne correspondent pas à ce taxon. Un exemplaire de *Rostellaria reussi* (Reuss, 1846, pl. 9, fig. 9b), provenant du Crétacé de Tchécoslovaquie présente une ornementation portant seulement trois grosses côtes ne couvrant qu'à demi le dernier tour. Il en est de même pour les figurations de Fric (1893, p. 84, fig. 76) et de Weinzetti (1910, pl. 6, fig. 21 et 22). Je pense qu'il convient de séparer les espèces tchécoslovaques, de celles qui proviennent du Turonien d'Allemagne.

Ce taxon a été récolté à plusieurs reprises à Sougraigne, souvent avec des exemplaires très comprimés.



Fig. 60 - *Perissoptera reussi* Geinitz, 1842. K11682. Lit de la Sals en amont de Sougraigne. X 2,5

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Marnes bleues de Sougraigne, dans le lit de la Sals, en amont de Sougraigne.

Matériel étudié : 2 ex. K11681 (Fig. 59) et K11682 (Fig. 60). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude) et une dizaine d'autres échantillons appartenant à des collections privées.

Sous famille : Harpagodinae Pechelintsev, 1963

Genre : *Kaunhowenia* Abdel-Gawad, 1986

Espèce type : *Helixcaulax carinifera*
Kaunhowen, 1897

Kaunhowenia laurenti nov. sp.

Fig. 61

Localité et strate type : l'Holotype a été trouvé en place dans les Marnes bleues du ruisseau de la Coume à Sougraigne (Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

Holotype : Spécimen K10669 (Fig. 61) de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne). L'Holotype est un individu adulte.

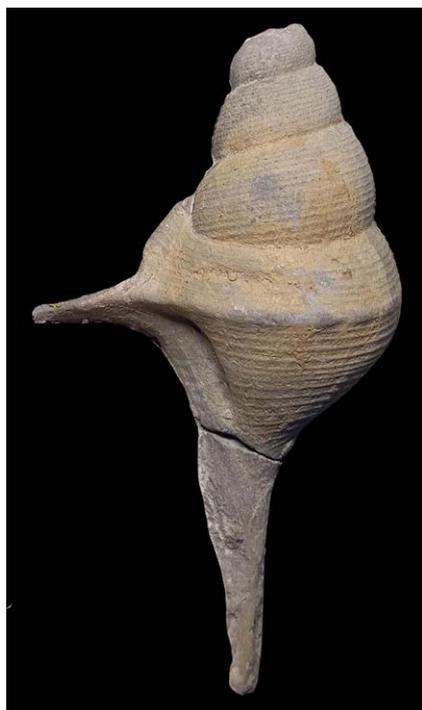


Fig. 61 - *Kaunhowenia laurenti* nov. sp. **Holotype**, K10669. Ruisseau de la Coume à Sougraigne. X 1,2

Dimensions : Hauteur conservée 73 mm ; hauteur reconstituée : 80 mm ; largeur du dernier tour avec expansion alaire : 45 mm ; sans expansion alaire : 25 mm.

Origine du nom : Dénommé ainsi en l'honneur d'Yves Laurent, paléontologue au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).

Diagnose

Fossile de taille moyenne, qui se caractérise essentiellement par l'absence d'ornementation axiale et une ornementation spirale composée de lignes parallèles ainsi que par une dépression de forme arquée située dans la zone supérieure de la partie triangulaire du début de l'expansion alaire

Description

L'Holotype comprends une dizaine de tours de spire nettement bombés. L'ornementation axiale est absente. L'ornementation spirale caractéristique, est formée de cordons nettement espacés les uns des autres. Le dernier tour porte une carène ponctuée d'une vingtaine de perles. Sous la carène se distinguent des stries spirales (au nombre d'une vingtaine) qui se retrouvent jusqu'au sommet de la point siphonale. Prolongeant la carène, une digitation alaire, d'abord de forme triangulaire, se termine par une longue épine légèrement recourbée à son extrémité. La partie supérieure de la zone triangulaire porte, en son milieu, une dépression de forme arquée.

Remarques : Le genre *Kaunhowenia* n'est représenté que par quelques espèces. Il est signalé pour la première fois dans le Santonien de Sougraigne.

Famille : Aporrhaidae Gray, 1850

Genre : *Helicaulax* Gaab, 1868

Espèce type : *Rostellaria ornata* (d'Orbigny, 1843)

Helicaulax pyrenaicus (d'Orbigny, 1843)
(Fig. 62-65)

1843 - *Rostellaria pyrenaica* d'Orbigny, p. 295, pl. 210, fig. 3.

1854 - *Rostellaria pyrenaica* d'Orbigny. D'Archiac, p. 225, pl. 5, fig. 9, 9a.

Lectotype : Désigné par Kollmann (2005, p. 126), provenant du Santonien supérieur de Rennes-les-Bains (Aude), conservé dans les collections du Laboratoire de Paléontologie du Muséum de Paris.



Fig. 63 - *Helicaulax pyrenaicus* d'Orbigny, 1843. K11185. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Fig. 62 - *Helicaulax pyrenaicus* d'Orbigny, 1843. K11184. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Dimensions :

- K11184 (**Fig. 62**) : Hauteur avec expansion alaire : 80 mm ; hauteur reconstituée : 90 mm ; largeur avec expansion alaire : 35 mm ; largeur reconstituée : 39 mm.
- K11185 (**Fig. 63**) : Hauteur avec expansion alaire : 40 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; largeur avec expansion alaire : 57 mm ; largeur reconstituée : 60 mm.
- K11164 (**Fig. 64**) : Hauteur avec expansion alaire : 30 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; largeur avec expansion alaire 58 mm ; largeur reconstituée : 65 mm.
- K11186 (**Fig. 65**) : Hauteur avec expansion alaire : 75 mm ; hauteur reconstituée 100 mm ; largeur avec expansion alaire : 30 mm ; largeur reconstituée : 50 mm.

Description :

Helicaulax pyrenaica (d'Orbigny) est une espèce très fréquente dans la région de Sougraigne, mais elle est exceptionnellement récoltée avec son expansion alaire. La spire est composée d'une dizaine de tours portant de fortes côtes orthoclines nettement séparées les unes des autres, au nombre d'une vingtaine par tour. L'ornementation spirale est formée de 6 à 7 filets qui, à la rencontre des côtes axiales, forment un net bombement. Le dernier tour porte une carène dorsale (**Fig. 62, 64**) et est orné de nombreux filets. Recouvrant en partie le bord de l'avant dernier tour, une étroite expansion labrale (**Fig. 63**) longe la plupart

des tours, puis s'en détache en une longue pointe aiguë, légèrement recourbée (**Fig. 65**). La carène du dernier tour se prolonge également perpendiculairement en une large expansion labrale qui se divise en trois parties (**Fig. 62**). Le bord labral de l'ouverture est dentelé (**Fig. 63**) et est prolongée par une longue expansion étroite en pointe aiguë (**Fig. 62**).

Remarques :

La figuration de d'Orbigny, désigné comme lectotype par Kollmann (2005, pl. 14, fig. 8) est inexacte concernant l'ornementation du dernier tour qui est en réalité ornée de nombreux filets. La représentation du taxon *Rostellaria pyrenaica* par d'Archiac (1854, pl. 5, fig. 9, 9a), présente une digitation alaire également inexacte, en raison sans doute, d'une mauvaise interprétation du dessinateur (ce dessin pourrait faire penser à *Helicaulax ornatus* (d'Orbigny, pl. 209, fig. 1-2), si ce n'était l'absence du petit lobe adapical caractéristique de cette espèce).

Dans son travail de 1954 sur les Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France, Termier (née Delpy), considère dans une large interprétation stratigraphique, *Helicaulax pyrenaicus* (d'Orbigny) comme devant être renommée *Chenopus granulatus* (Sowerby J. de C., 1831, pl. 38, fig. 23, non Zekeli) avec plusieurs équivalences erronées comme : *Rostellaria granulata* (Sowerby J. de C., 1832 et non 1831 comme indiqué), espèce invalide, car sans description ; *Rostellaria ornata* (d'Orbigny, 1843) qui est à rattacher à un autre taxon que « *pyrenaica* ».



Fig. 64 - *Helicaulax pyrenaicus* d'Orbigny, 1843. K11164. Chemin des Cloutets à proximité de Sougraigne. X 1,2

Fig. 65 - *Helicaulax pyrenaicus* d'Orbigny, 1843. K11186. Lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains). X 1,25



Il convient très certainement de mettre en synonymie notre espèce avec *Rostellaria gibbosa* (Zekeli, 1852, p. 68, pl. 12, fig. 7-8) du Crétacé supérieur de Gosau (Autriche).

Kollmann (2005, p. 126) souligne également d'importantes affinités avec des spécimens récoltés dans le Caucase et en Arménie.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. L'échantillon K11164 (**Fig. 64**) provient du chemin des Cloutets à proximité de Sougraigne. Les autres échantillons ont été récoltés dans le lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Matériel : 4 ex. K11184 (**Fig. 62**), K11185 (**Fig. 63**), K11164 (**Fig. 64**), K11186 (**Fig. 65**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Genre : *Arrhoges* Gaab, 1868

Espèce type : *Rostellaria occidentalis* Beck, 1836

Arrhoges pauperatus (d'Orbigny, 1843)

Fig. 66

1843 - *Rostellaria pauperatus* d'Orbigny, pl. 210, fig. 1.

2005 - *Arrhoges pauperatus* (d'Orbigny). Kollmann, pl. 13, fig.13-14.

Holotype : Il est conservé dans la collection Renaux (non vérifié), à l'Université de Montpellier (Hérault).

Dimensions : Hauteur conservée : 30 mm ; hauteur reconstituée : 50 mm ; largeur du dernier tour : 20 mm ; avec expansion alaire : 45 mm.

Description :

Coquille de taille moyenne, de forme oviforme allongée, à spire linéaire, dont le dernier tour occupe plus de la moitié de sa hauteur totale. L'ornementation axiale est composée d'environ 20 à 25 côtes orthoclines, peu nettes et nettement espacées. L'ornementation spirale (si toutefois elle existe) n'est pas visible sur notre échantillon. Ce dernier ne porte aucune digitation alaire visible.

Remarques :

Notre fossile est à rattacher au genre *Arrhoges* (Gaab, 1868) en raison de son ornementation axiale peu développée et de l'absence de carène sur son dernier tour. Malheureusement, ni l'ouverture, ni l'expansion alaire n'ont été conservées. Pour plus de précisions, il convient de se référer aux figurations de d'Orbigny (1843, pl. 210, fig. 1) et de Kollmann

(2005, pl. 13, fig. 13, 14). Ce taxon n'était signalé à ce jour que dans le Turonien supérieur du Bassin d'Uchaux (Vaucluse). Il est identifié pour la première fois dans le Santonien de l'Aude.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Au-dessus du Vieux cimetière de Sougraigne.

Matériel étudié : 1 ex. K11679 (**Fig. 66**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Remerciements : A Philippe Faure pour ses conseils quant à la compréhension de la stratigraphie des terrains prospectés et pour son aide précieuse à la mise en page.



Fig. 66 - *Arrhoges pauperatus* (d'Orbigny, 1843). K11679. Au-dessus du Vieux Cimetière (Sougraigne). X 0,5

Références

- Abdel-Gawad G.I. (1986) - Maestrichian non-cephalopod mollusks (Scaphopoda, Gastropoda and Bivalvia) of the Middle Vistula Valley, Central Poland. *Acta Geol. Polonica*, Warszawa, 36, 1-3 : 69-224.
- Archiac A. d' (1854) - Coupe géologique des environs de Bain de Rennes (Aude), suivie de la description de quelques fossiles de cette localité. *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, (2), 11 : 185-230.
- Bandel K. (2007) - About the larva of some Strombidea, connected to a review of the classification and phylogeny of the Strombimorpha (Caenogastropoda). *Freiber Forschungsefte*, C 524, pfs (15) : 97-206.
- Beck H. (1836) - Rostellaire. (*Aporrhais*). *Rostellaria*. Lamarck. *Magazine de Zoologie*, 6, V, pl. 72.

- Bilotte M. (2007) - Permanence, au Crétacé supérieur, de la position de la limite de la plate-forme/bassin dans la zone sous-pyrénéenne orientale (Aude, France). Implications géodynamiques. *Géologie de la France*, 1 : 33-53.
- Chaix X. & Plicot J. (2018) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Première étude. *Carnets natures*, 5 : 17-33.
- Chaix X. & Plicot J. (2020) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Deuxième étude, *Carnets natures*, 7 : 15-28
- Chaix X. & Plicot J. (2020) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Troisième étude, *Carnets nature*, 7 : 79-93.
- Chaix X. & Plicot J. (2021) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Quatrième étude, *Carnets nature*, 8 : 53-65.
- Conrad T.A. (1858) - Description of two genera of Shells. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences 1857* : 165-166.
- Conrad T.A. (1860) - Description of new species of Cretaceous and Eocene fossils of Mississippi and Alabama. *Journal of the Academy of Sciences of Philadelphia*, ser. 2A : 275-298.
- Cossmann M. (1896 -1897) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. *Association française pour l'avancement des Sciences*, Paris, 25^e session (congrès de Carthage) : 243-269.
- Cossmann M. (1902) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (5^{ème} article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 31^e session (congrès de Montauban) : 539-557.
- Cossmann M. (1903) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (6^{ème} article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 32^e session (congrès d'Angers) : 626-632.
- Cossmann M. (1904) - Essais de Paléoconchologie comparée, 6^{ème} livraison, édit. F.R. de Rudeval, Paris. 152 p.
- Delpey G. (1938) - Gastéropodes recueillis par P.

- Sénesse dans le Santonien supérieur des Corbières. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 72 : 155-162.
- Delpy G. (1942) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe I). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 77 : 161-197.
- Dumortier E. (1859) - Lettre de M. E. Dumortier à M. d'Archiac. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2, XVI : 863-871.
- Fric A. (1893) - Studien im Gebiete des Böhmischen Kreideformation. Palaeontologische Untersuchungen der einzelnen Schichten. *Archiv für die Naturwissenschaftliche Landesdurchforschung von Böhmen*. Gregr. Prague. 9, 1 : 1-135.
- Gaab W. M. (1868) - An attempt at a revision of the two families Stromboidae and Aporrhaidae. *American Journal of Conchology*, Philadelphia, 4 : 137-149.
- Gardner J. S. (1875) - On the Cretaceous Aporrhaidae. *Geological Magazine*, London, dec. 2, 2 : 392-400.
- Geinitz H.B. (1839-1842) Charakteristik der Schichten und Petrefacten des sächsisch-böhmischen Kreidegebirgeee. Dresden et Liepzig. 116 p., 24 fig.
- Gill T. (1870) - On the Pterocerae of Lamarck and their mutual relations. *American Journal of Conchology*, Philadelphia, 5: 120-139.
- Gray J.E. (1850) - [text] in Gray M.E., Figures of molluscous animals, selected from various authors. Privately printed, London (4) : iv + 219 p.
- Kaunhowen F. (1898) - Die Gastropoden der Maestrichter Kreide. *Palaeontologische Abhandlungen*, Jena, 4 (1). 132 p.
- Kollmann H.A. (2005) - Révision critique de la Paléontologie française, Alcide d'Orbigny, Backhuys édit., Leyden, Pays-Bas : 1-239.
- Kollmann H.A. (2009) - A late Cretaceous Aporrhaidae dominated gastropod assemblage from Gosau group of the Plötzach Alm near Kramsach (Tyrol, Austria). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 111A : 33-72.
- Mantell G.A. (1822) - The fossils of the South Downs ; or illustrations of the Geology of Sussex. London : xiv+327 p.
- Meek F.B. & Gaab W.M. (1864) - Paleontology of California : Carboniferous and Jurassic Fossils. *Geological Survey of California*, 1 : 1-243.
- Orbigny A. d' (1842-1843) - Paléontologie française, Terrains crétacés. (II) : Gastéropodes. édit. Arthus-Bertrand (Paris) :1-456.
- Pechelintsev V.F. (1963) - Mesozoic biochronology of the Crimean Highlands. *Izdat Akad. Nauk. S.S.S.R., Moskva-Leningrad*. 130 p. (en russe).
- Popenoe W.P. (1963) - Cretaceous Aporrhaidae from California: Aporrhainae and Arrhoginae. *Journal of Paleontology*, 57 (4) : 742-765.
- Rafinesque C.S. (1815) - Analyse de la nature, ou tableau de l'univers et des corps organisés, Palerme. 224 p.
- Reuss A.E. (1845) - Die Versteinerungen der Böhmischen Kreideformation, Stuttgart. 148 p.
- Roussel J. (1885) - Note sur le Crétacé supérieur et le Tertiaire des départements de l'Ariège et de l'Aude. *Bulletin de la société ariégeoise des Sciences, Lettres et Art*, (I) : 327-337.
- Sowerby J. & J. de C. (1822-1832) - The Mineral Conchology of Great-Britain; or coloured figures and descriptions of those remains of testaceous animals and shells, which have been preserved at various times and depths in the earth, London.
- Stoliczka F. (1865) - Eine Revision der Gastropoden der Gosauschichten in den Ostalpen. *Sitzungsberichter der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Class der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, Wien, 52, 1 :104-223.
- Tate R. (1867) - On the so-called Rostellariae of the calcareous rocks, with a descriptive catalogue of the British species. *Geological and Natural History Repertory*, S.J. Mackie edit., London, 1865-1867 : 93-102.
- Termier G. (1954) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe II). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 89 : 323-382.
- Wieneke U. www.stromboida.de (consulté le 10/11/2021)
- Weinzetti V. (1910) - The gastropods of the Czech Cretaceous. *Palaeontographica Bohemiae*, Praha, 8. 56 p. (en tchèque).
- Zekeli F. (1852) - Die Gastropoden der Gosaugebilde. *Abhandlungen der Kaiserlich - Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, Wien, 2 : 1-124.

Accepté le 6 novembre 2021

Publié en ligne (pdf) le 13 décembre 2021

CARNETS NATURES

- Hua Stéphane et Pennetier Elisabeth & Gérard.** A juvenile *Steneosaurus* in the Callovian of Normandy (France); a genus too hastily consigned to the wastebasket?
Carnets natures, 2021, vol. 8 1-8
- Turin Guy.** Les ammonites du « Lias calcaire » (Jurassique inférieur) des chaînes subalpines méridionales de la Durance aux environs de La Saulce (Hautes-Alpes, France).
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 9-25
- Bertrand Jean et Ector Luc.** Étude préliminaire des diatomées des Cistudes d'Europe (*Emys orbicularis* Linnaeus, 1758) des Étangs de La Brenne, France.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 27-39
- Buffetaut Eric, Angst Delphine, Claude Julien, Tong Haiyan, Amoros André, Boschetto Damien, Chenet Jean-Pierre, Clavel Didier, Maggia Bruno, Roques Thomas et Sèbe Stéphane.** Les niveaux à vertébrés fossiles du Crétacé supérieur de Castigno et Combeville (Villespassans, Hérault) : historique et nouvelles découvertes.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 41-55
- Tschocke Christian et Boulet Laurent.** Suivi de la date de première apparition d'*Ophrys occidentalis* (Scappaticci) Scappaticci et Demange.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 57-60
- Chaix Xavier et Plicot Jérôme.** Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Quatrième étude.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 61-73
- Cazabonne Jonathan, Ferrieres Michel et Menos Jean-Louis.** A First Contribution to the knowledge of Mycetozoa from Aveyron (France).
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 75-89
- Fauré Philippe.** Les conglomérats tertiaires (Éocène, Oligocène) du Tarn dans le contexte de l'avant-pays des Pyrénées. Historique, contexte géodynamique.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 91-101
- Fauré Philippe et Guibert Bernard.** Le Jurassique inférieur (Pliensbachien, Toarcien) des environs de Boussagues, dans le bassin mésozoïque de Bédarieux (Hérault, France). Aperçu stratigraphique.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 103-110
- Chaix Xavier et Plicot Jérôme.** Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Cinquième étude.
Carnets natures, 2021, vol. 8 : 111-122