

Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse



2024
T. 160



ORGANISATION DE LA SOCIÉTÉ

POUR 2024

<i>Président</i>	M.M. BILOTTE
<i>Vice-Président</i>	MME N. SÉJALON-DELMAS
<i>Rédacteur du bulletin</i>	M.L. PASSERA
<i>Secrétaire</i>	M.A. THOMAS
<i>Secrétaire chargé des relations avec la B.U. Sciences</i>	MME R. HA-MIHN-TU
<i>Relations avec le Muséum</i>	M. M. BILOTTE
<i>Trésorier</i>	M.S. AULAGNIER
<i>Membres du Conseil d'Administration</i>	MM. S. AULAGNIER, MME F. BESSON, M. BILOTTE, H. CAP, MME N. COINEAU, MME R. HA-MIHN-TU, R. MATHIEU, L. PASSERA, B. PRESSEQ, MME N. SEJALON-DELMAS, A. THOMAS
<i>Membres permanents du Comité de Lecture</i>	M. BILOTTE (Toulouse), N. COINEAU (Banyuls), Y. COINEAU (Paris), M. MOLLES (Albuquerque, USA), L. PASSERA (Toulouse), P. TASSY (Paris), A. THOMAS (Toulouse)
<i>Responsable du Site web</i>	R. MATHIEU
<i>Correspondant à la BU Sciences / UPS</i>	P. NAEGELEN et H. MORSLY
Site web : www.shnt.fr	

Nouvel adhérent :

Michel Laurin
4 Villa des Buttes Chaumont, 75019 Paris
Directeur de recherches, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

Membre bienfaiteur :

Jacques Vassal
3 allée de Bufevent, 31320 Auzeville-Tolosane

*Le Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse est indexé dans
CLARIVATE ANALYTICS / BIOSIS / Biological Abstracts / Zoological Record.*

*The Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse is indexed in
CLARIVATE ANALYTICS / BIOSIS / Biological Abstracts / Zoological Record.*

*La Société d'Histoire Naturelle de Toulouse remercie les membres permanents ou consultants
du comité de lecture qui ont eu la tâche de juger les articles de ce bulletin avant leur publication.*

bulletin de la société
d'HISTOIRE
NATURELLE
de TOULOUSE

2024

T.160

Éditorial

2024

Après 14 ans passés au service de notre société, je pars fier du travail accompli par l'équipe qui a œuvré autour et avec moi et dont un grand nombre va poursuivre avec Nathalie Séjalon-Delmas, nouvelle présidente, l'objectif fixé par les fondateurs de 1866.

Bien sûr, une révision des statuts s'est imposée dès le début de mon mandat afin de mettre aux normes actuelles les bases de notre société, dans le respect des objectifs originaux. Pour la faire connaître un site web (www.shnt.fr) a été créé et, dernièrement, ce fut une page Wikipédia. La BNF a numérisé et rendu accessible sur son site toute la production scientifique de la SHNT, du premier bulletin en 1867 au T.159 de 2019.

Au cours de ces 14 années, le bulletin est devenu plus attrayant avec une nouvelle livrée et l'introduction systématique de la couleur dans tous les articles ; les thèmes naturalistes et régionaux, voulus par les fondateurs, en ont émaillé les pages, qui se sont aussi ouvertes à des disciplines nouvelles et à des territoires lointains.

Les 150 années de vie de la société furent l'occasion de poursuivre l'œuvre monumentale de Gaston Astre en publiant la table des matières de la période 1966-2015 et d'y adjoindre une galerie des portraits des présidents qui se sont succédé pendant cette période. 2024 a vu la parution d'un nouvel ouvrage sur les « **Fondateurs et les présidents de la SHNT, de 1866 à 2024** » ouvrage qui se veut un prolongement de celui de Gaston Astre (1966) et qui complète la Galerie de portraits de 2018.

Si le bulletin de la SHNT, échangé avec 180 institutions et sociétés savantes de par le monde, reste le vecteur le plus visible de notre société, elle n'est pas invisible de la sphère toulousaine et régionale, où, en partenariat avec le Muséum et Toulouse métropole, elle produit un cycle de conférences de qualité, si l'on en juge par la fréquentation qu'il suscite. Les pages du bulletin rendent compte de leur richesse et de leur éclectisme.

L'ensemble des activités de la SHNT a toujours pu compter sur le soutien bienveillant de l'Université Paul-Sabatier, du Muséum et de la métropole toulousaine, du Conseil départemental sans qui nous ne saurions plus là.

Ce bilan positif n'aurait pas pu être dressé sans le soutien permanent des membres du bureau et du conseil, avec une mention particulière pour les rédacteurs en chef du bulletin, Alain Thomas, puis Luc Passera, qui va m'accompagner dans cette retraite éditoriale. Pendant ces 14 années la SHNT a aussi perdu de nombreux adhérents, qui étaient surtout d'éminents scientifiques ; leur disparition laisse des vides dans des disciplines naturalistes de plus en plus délaissées. La société a essayé de ne pas les oublier en publiant notices et hommages ; cette année 2024 sera, hélas, à marquer d'une pierre noire sur ce sujet.

En cette année olympique, passer le relais est de rigueur, je souhaite à notre nouvelle Présidente, la réussite dans la continuité.

Toulouse, 15 décembre 2024

Michel Bilotte

Sur deux ammonites de l'Albien du Pech Saint-Sauveur (Foix, Ariège, France)¹

par Michel Bilotte

Faculté des Sciences et Ingénierie, Université Paul- Sabatier, Toulouse 3, 118 route de Narbonne
31062 Toulouse, France.
E-mail : geoloc.meb@gmail.com

RÉSUMÉ

Deux ammonites de l'Albien de Foix (Ariège) sont présentées. L'une, retrouvée dans les collections de paléontologie de la Faculté des Sciences et Ingénierie de Toulouse (Université Paul-Sabatier), a été découverte par Leymerie d'après les indications qui l'accompagnent. L'autre provient de la collection Leymerie, déposée au Muséum de Toulouse ; outre sa valeur biochronostratigraphique, sa teinte rouge sombre, semble indiquer pour sa provenance, un niveau de condensation. Le présent travail, a pour but de présenter l'intérêt à la fois chronostratigraphique et paléoenvironnemental de ces deux pièces.

On two ammonites of the Albian of Pech Saint-Sauveur (Foix, Ariège, France)

ABSTRACT

Two ammonites from the Albian of Foix (Ariège) are presented. One, found in the palaeontology collections of the Faculty of Science and Engineering of Toulouse (Paul-Sabatier University), was discovered by Leymerie according to the accompanying indications. The other comes from the Leymerie collection, deposited at the Museum of Toulouse; in addition to its biochronostratigraphic value, its dark red tint, seems to indicate a condensation level for its provenance. The aim of this work is to present the chronostratigraphic and paleoenvironmental interest of these two pieces.

I. Introduction

Les environs de la cité de Foix (Ariège) se sont révélés intéressants du point de vue des faunes d'ammonites qui y ont été récoltées depuis le 19^e siècle. Si les récoltes se sont parfois résumées à quelques pièces isolées comme par exemple un exemplaire de *Douvilleiceras mamillatum* à la carrière de Montgaillard (C. DE LACVIVIER 1882) ou un exemplaire de *Puzosia mayoriana* (C. DE LACVIVIER 1884) à Vernajoul, d'autres gisements se sont montrés particulièrement riches, tel ceux de la Quère de Panefabe, sur le bord nord du Pech de Foix, ou celui de la Renardière, sur le bord sud du Pech Saint-Sauveur (Fig. 1). La révision des collections anciennes provenant de Panefabe, (essentiellement celles du Chanoine J.J. Pouech (1814-1892) et des nouvelles récoltes livrées par les gisements de Panefabe et de La Renardière a fait l'objet d'une étude détaillée, associant paléontologie et

sédimentologie (KENNEDY *et al.* 1997). Dans le présent article deux ammonites provenant de récoltes d'Alexandre Leymerie (1801-1878) seront présentées ; l'une surtout en raison de sa valeur historique et patrimoniale, l'autre en raison d'une caractéristique ayant une relation avec son milieu de fossilisation.

1. *Puzosia* sp. cf. *mayoriana* du site de Lespinet

Les collections de Paléontologie de la Faculté des Sciences de Toulouse, créées par Leymerie vers 1842 (Leymerie, 1855), sont maintenant sous la responsabilité du Service Commun d'Etude et de Conservation des collections Patrimoniales (SCECCP). Riches de plusieurs milliers d'objets géologiques (Paléontologie, Minéralogie, Pétrographie, ...), on est surpris que le créateur de la section « paléontologie » y soit aussi peu représenté. La raison en est que les collections de Leymerie,

¹ Accepté le 3 mars 2024

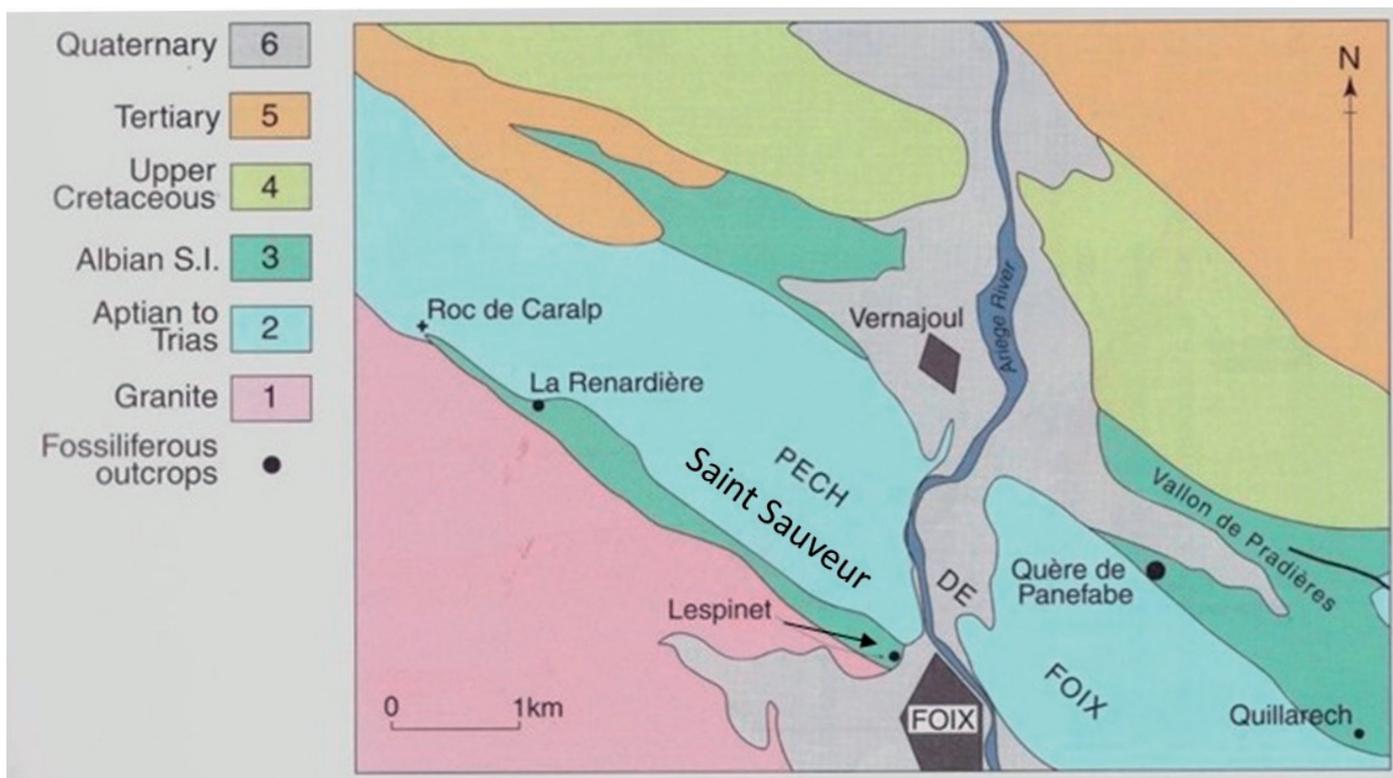


Fig. 1. Schéma de localisation géographique et géologique

riches de 9 710 pièces, furent déposées au Muséum de Toulouse, peu après son décès en 1878, par son fils Georges, le 10 octobre 1879. La pièce présentée ici, a échappé à cette donation ; elle en tire sa valeur patrimoniale. Elle porte le n° 10 418 ce qui, sur fichier de la collection Leymerie correspond à un lot de fossiles (10 405 à 10 418) enregistré le 13 décembre 1871 sous l'appellation « 14 Fossiles pyrénéens » sans autre précision. Une étiquette, jointe au fossile, aujourd'hui partiellement détruite, portait la mention : « ammonite dans les marnes ...au pied sud du Pech » ; une autre « Ammonite indéterm. Pech St. Sauveur côté sud Foix ».

1.1. Localisation

Sa provenance la plus probable serait Lespinet, lieu-dit se situant à la sortie nord-ouest de la ville de Foix (Fig. 1), en direction de Saint-Girons. Cet affleurement très réduit de marnes noires est porté sur les feuilles de Foix à 1/ 50 000 (1986) et 1/ 80 000 (CASTERAS 1976). Dans la notice de la feuille de Foix à 1/ 80 000, CASTERAS (1969) y mentionne, d'après des données historiques, la présence de *Latidorsella latidorsatum*, ammonite classique de l'Albien ; ces données sont reprises dans la notice de la feuille au 1/ 50 000 (BILOTTE *et al* 1988).

1.1.1. Description

Cette ammonite a été étudiée par W. J. KENNEDY, qui en donne la description suivante : « The main features of the ammonite are the presence of three or four constrictions, few narrow ribs on the inner flank and more numerous, crowded,

even ribs on the outer flank, ventrolateral shoulders and venter, plus a deeply incised suture line. Taken together these indicate Puzosiinae, and Puzosia sp. comparable to Puzosia mayoriana recteradiata of Collinon, 1963 (Atlas vol. x, p. 63, pl. 264, fig. 1152) Not age diagnostic probably no older than upper Middle or « Upper Albien ».

1.1.2. Discussion

L'affleurement de Lespinet occupe, sur le bord méridional du Pech Saint-Sauveur, la même situation que le gisement de La Renardière décrit par KENNEDY *et al.* (1997). Il est constitué des mêmes dépôts de marnes noires (black shales), teinte classique des marnes albiennes. Son âge s'inscrit dans la fourchette comprise entre la partie supérieure de l'Albien moyen et la partie inférieure de l'Albien supérieur. Puzosia sp. est inventoriée, dans les collections de paléontologie du SCECCP sous le n° 10 418 LEYM 01.

2. *Mortoniceras (Deiradoceras) cunningtoni*

Les marnes noires de l'Albien étaient connues de LEYMERIE (1868) qui y cite la découverte de deux ammonites : *Ammonites inflatus* et *A. latidorsatus*. Seule la première de ces deux espèces a été retrouvée. Elle est conservée au Muséum de Toulouse (Collection Leymerie), ce qui a permis sa révision taxonomique et son attribution à *Mortoniceras (Deiradoceras) cunningtoni* ; cette espèce se situe strictement dans la partie inférieure de l'Albien supérieur (sous-zone à *Cristatum*, zone à *Inflatum*). L'étiquette qui accompagne le

fossile, écrite de la main même de Leymerie, indique pour provenance « Ammonite des marnes de la base sud du Pech de Saint-Sauveur près de Foix ». C'est donc de la bande de marnes noires qui se développe entre Lespinet et la Renardière (Fig. 1) que provient cette ammonite.

Discussion

Ni la provenance, ni la détermination, ni la valeur biostratigraphique de cette ammonite ne posent problème. La pièce est un très beau moule externe sur lequel s'observe sur les trois tours externes une costulation importante et régulière et des lignes de suture bien marquées. La loge d'habitation, fragile, n'est pas conservée. Ce qui intrigue c'est sa teinte, d'un rouge très foncé tirant sur le brun. Cette teinte est inhabituelle pour un organisme

se fossilisant dans des marnes noires. L'hypothèse proposée est que cette ammonite provient, non pas des marnes noires de l'Albien, mais d'un fond durci argilo-calcaire formé dans une zone à faible taux de sédimentation consécutif à un déficit d'apports continentaux, comme cela se produit pendant des fortes remontées du niveau marin lors des transgressions majeures. Ce phénomène est particulièrement bien marqué, à la même période, sur le versant sud des Pyrénées, avec le « niveau rouge » de la Selva de Bonansa (KENNEDY & BILOTTE 2009). Pour confirmer cette hypothèse, il reste à retrouver, en place, un tel niveau rouge. Rappelons que les calcaires de Gascogne (Ecaille du Château Cathala de la zone des Ecailles de Montgaillard-Serrelongue), datés de l'Albien supérieur-Vraconnien par l'association micropaléontologique *Hensonina lenticularis*, *Orbitolina (Mesorbitolia) aperta* (BILOTTE 1985), présentent aussi une même coloration.

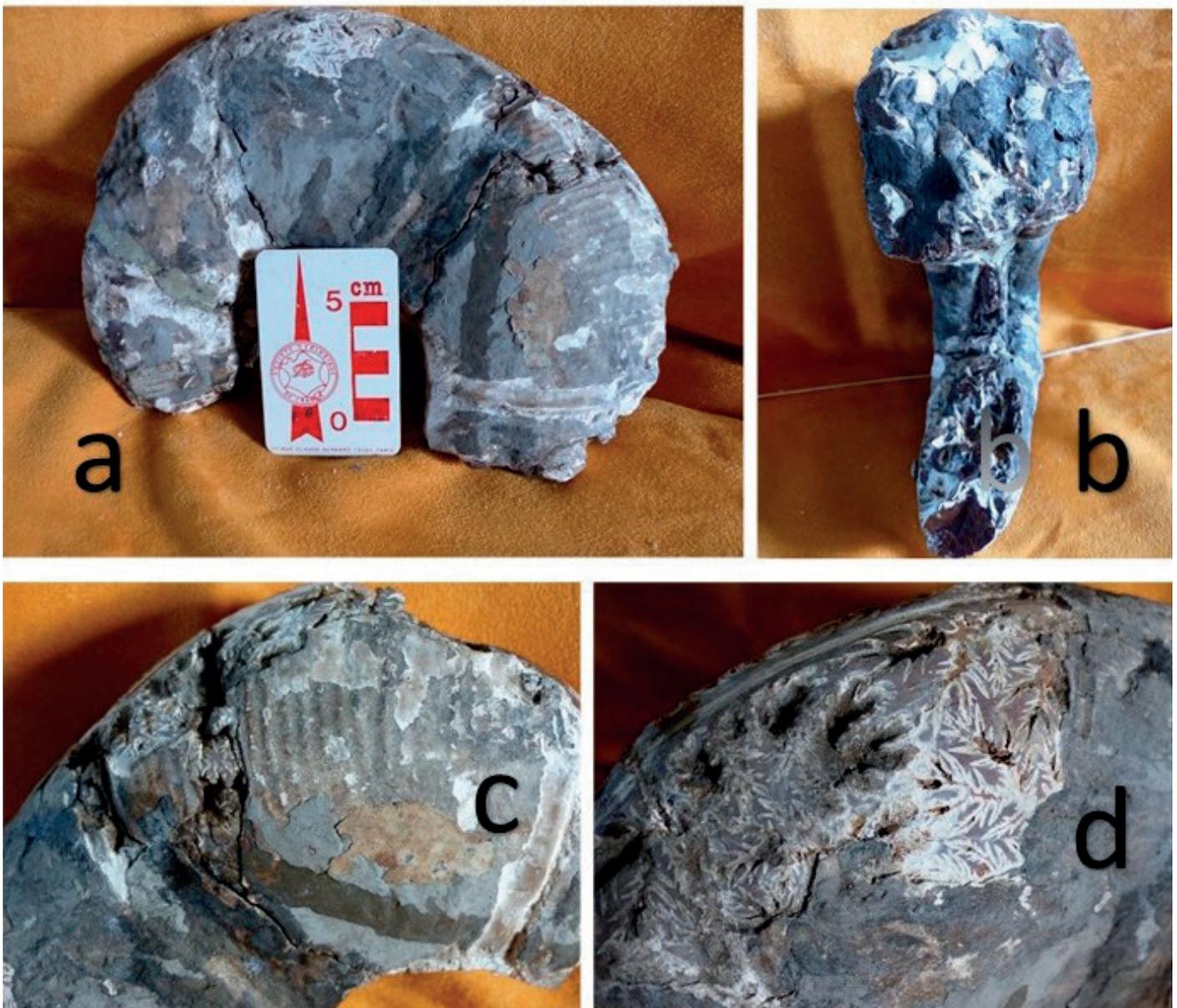


Fig. 2. *Puzosia* sp.

RÉFÉRENCES



Fig. 3. *Mortonicerias cunningtoni* MHNT.PAL.CEP.2001.90
(Muséum de Toulouse)

II. Conclusion

Le principal intérêt de cette courte étude des deux ammonites récoltées par A. Leymerie dans l'Albien du bord méridional du Pech Saint-Sauveur est d'avoir démontré que si *Puzosia* sp. provenait du faciès « marnes noires », ce n'était pas le cas de *Mortonicerias (D.) cunningtoni* ; la nature, plus calcaire, et la teinte, brun sombre, de ce fossile font penser à un dépôt de niveau de condensation formé en période de remontée du niveau marin. Seule la découverte de ce niveau peut confirmer ce qui reste pour l'instant une hypothèse.

REMERCIEMENTS

Je remercie Yves Laurent (Muséum de Toulouse) et Anne-Marie Cousin (Géosciences Environnement Toulouse) pour l'aide qu'ils m'ont fourni lors de la réalisation de cet article.

- BILOTTE, M. 1985. – Le Crétacé supérieur des plates-formes est-pyrénéennes. *Strata*, 2, 5, 1-438.
- BILOTTE, M., M. CASTERAS, B. PEYBERNÈS, J. REY, J.C. SOULA, F. TAILLEFER. 1988. – Notice explicative de la feuille de Foix à 1/50 000. *BRGM éditions*, 1-82.
- CASTERAS, M. 1969. – Notice explicative de la feuille de Foix à 1/80 000, 3^e édition. *BRGM éditions*, 1-25.
- CASTERAS, M. 1976. – Carte géologique détaillée de la France. Feuille de Foix à 1/80 000.
- Foix 1986. – Carte géologique de la France à 1/50 000. *BRGM éditions*.
- KENNEDY, W.J. & M. BILOTTE. 2009. – A revision of the cephalopod fauna of the « niveau rouge » of the Selva de Bonansa, Huesca province, Northern Spain. *Bulletin de la Société des naturalistes de Moscou, Département de géologie*, 84, 2, 39-70.
- KENNEDY, W.J., M. BILOTTE, M. HANSOTTE. 1997. – Albien ammonite faunas from Pech de Foix (Ariège, France). *Bulletin Centres de Recherches Exploration.-Production. Elf-Aquitaine*, 21, 2, 457-499.
- LACVIVIER, C. DE. 1882. – Réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Foix. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3, X, 509-666.
- LACVIVIER, C. DE. 1884. – Etudes géologiques sur le département de l'Ariège et en particulier le terrain Crétacé. *Annales des Sciences géologiques*, XV, 1-305.
- LEYMERIE, A. 1855. – Notice du cabinet minéralogique et géologique de la Faculté des Sciences de Toulouse. *Imprimerie. A. Chauvin, Toulouse*, 1-15.
- LEYMERIE, A. 1868. – Mémoire pour servir à la connaissance de la division inférieure du terrain crétacé pyrénéen. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2, 26, 277-336.

Bivalves non marins du Permien inférieur du Bassin de Najac (Aveyron, France). Découverte d'une faune à *Palaeanodonta* Amalitzky, 1895¹

par Philippe Fauré* et Bernard Delsahut**

* Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse, Allées Jules Guesde, 31000, Toulouse
philipfaure@gmail.com
** Les Cabannes, 81170
bdelsa@club-internet.fr

RÉSUMÉ

Les dépôts détritiques continentaux rouges à faciès autunien de la partie inférieure du Permien du Bassin de Najac (Aveyron, France) renferment un fin horizon de lumachelle de bivalves non marins de « type Anthracosidé » identifiés à *Palaeanodonta*. La présence de ce genre est pour la première fois documentée dans les dépôts permien de l'Europe occidentale. Son âge présumé, Sakmarien supérieur à Artinskien inférieur, permettrait de vieillir substantiellement l'âge d'apparition de ce genre, classiquement reconnu à partir de l'étage Kungurien.

Mots-clés : Bivalves non marins, *Palaeanodonta*, Permien inférieur, Autunien, Sakmarien, continental

Lower Permian non-marine bivalves from the Najac Basin (Aveyron, France). Discovery of a *Palaeanodonta* Amalitzky, 1895, fauna

ABSTRACT

Autunian-facies red continental detrital deposits from the Lower Permian of the Najac Basin (Aveyron, France) contain a thin lumachelle horizon of non-marine "Anthracosid-like" bivalves identified to *Palaeanodonta*. The presence of this genus is for the first time documented in Permian deposits in Western Europe. Its presumed age, Upper Sakmarien to Lower Artinskian, would allow the age of appearance of this genus, classically recognised from the Kungurian, to be substantially older.

Key words: Nonmarine bivalves, *Palaeanodonta*, Early Permian, Autunian, Sakmarien, continental

I. Introduction

Les dépôts molassiques du Carbonifère supérieur et du Permien livrent, dans de nombreuses régions du monde, d'abondantes populations de bivalves d'eau douce dits « de type Anthracosidé », dont la prolifération est favorisée par la multiplication, durant cette période post-orogénique, des environnements continentaux limniques, estuariens ou saumâtres. Au Carbonifère supérieur (Westphalien, Stéphanien), ils sont particulièrement nombreux dans les bassins houillers de l'Europe occidentale, en particulier de Grande-Bretagne, d'Allemagne et de France (WIER 1966-

1967), et sont le plus souvent rapportés au genre *Anthraconaia* TRUEMAN & WEIR 1946. Ils sont à nouveau très fréquents dès les parties moyenne et supérieure du Permien, avec le genre *Paleomutela* AMALITZKY 1892 et son sous-genre *Palaeanodonta* AMALITZKY 1895, mais ils prédominent cette fois dans les régions orientales de l'Eurasie (Russie, Chine) et sur le pourtour du Gondwana (Bassin du Karoo, Inde, Pakistan...) (SILANTIEV & CARTER 2015). Ils sont récemment identifiés en Amérique du Nord (LUCAS & RINEHART 2005) et dans les Alpes italiennes (SILANTIEV *et al.* 2022).

La présence de bivalves non marins dans des dépôts du

¹ Accepté le 20 juin 2024

Permien du Bassin de Najac (Aveyron) (Fig. 1) s'inscrit dans ce même contexte d'environnements continentaux post-orogéniques. Cette découverte est toutefois remarquable par sa localisation géographique, en Europe occidentale, pour la première fois décrite dans ce type de dépôt. Elle est aussi remarquable par son âge permien inférieur présumé, les couches qui les ont livrés, qui présentent un faciès autunien, pouvant vraisemblablement être attribuées à l'intervalle Sakmarien supérieur – Artinskien inférieur, période pendant laquelle aucune faune de bivalves d'eau douce n'a encore été décrite, à ce jour.

Nous discuterons également dans le présent article du contexte paléoécologique de cette découverte et de la taxinomie de ces organismes que nous avons rapportés au genre *Paleomutela*, sous-genre *Palaeonodonta*.

II. Le contexte géologique

Le Bassin de Najac se situe le long de la Faille de Villefranche-de-Rouergue (Fig. 1). Entre Le Riols et Monteils, une fenêtre d'érosion de plus de 16 km de longueur et 2 km de largeur permet aux sédiments permo-carbonifères d'affleurer en boutonnière sous le Jurassique du Causse de Quercy. Ces terrains y sont ployés en une antiforme, le Demi-dôme de Villevayre, adossée à l'est au Rouergue cristallin et recouvert à l'ouest par les sédiments mésozoïques, Trias et Jurassique, qui s'étalent au niveau du Causse du Quercy.

D'importants dépôts de Permien y sont identifiés dès les remarquables travaux de MANÈS qui montraient, dès 1836, que la formation du « *Grès Bigarré* », sous forme « *d'argiles psammitiques rouges* », succédait aux « *Grès houillers* » dans lesquels des niveaux charbonneux étaient exploités dans les années 1830 aux alentours de Laguépie (MANÈS 1836, DE BOUCHEPORN 1848, DE BOISSE 1870). BERGERON (1889) place la partie inférieure de ces dépôts dans son nouvel étage Autunien, le reste de la série correspondant pour lui « *au Rotliegende du Permien moyen* ». Comme lui, THÉVENIN (1903) reconnaît à Najac les étages Autunien (*Grès à Walchia*) et Saxonien, que GÈZE *et al.* (1969) cartographieront, dévoilant une série permienne d'environ 600 m d'épaisseur recouverte en discordance par les sédiments grés-conglomératiques du Trias. On doit à l'un des auteurs (BD) la synthèse stratigraphique la plus précise du Permo-Carbonifère du Bassin de Najac (DELSAHUT 1981, 1989). Sa cartographie est pour l'essentiel reprise sur la feuille de Najac au 1/50 000^e (BURG *et al.*, 1989).

III. Stratigraphie du Paléozoïque supérieur du bassin de Najac

Le Paléozoïque supérieur du Bassin de Najac comporte, de façon synthétique, les ensembles suivants (Fig. 2A). De bas en haut :

* *Ensemble grés-conglomératique gris (environ 100 m)* : conglomérats, grès arkosiques micacés et bancs micro-

conglomératiques massifs discordants sur le socle, intercalés à Puech Mignon de schistes noirs à niveaux charbonneux qui ont fourni à THÉVENIN (1903) une flore du Stéphanien supérieur déterminée par Zeiller. Dans d'autres sites du bassin de Najac, ce sont les faciès de pélite grise qui prédominent, par exemple, à l'ouest de Loubezac et au niveau du cimetière de Najac où une flore se rapporte au Stéphanien C (DELSAHUT, 1981, 1989).

* *Ensemble grés-conglomératique (100 m à Laguépie, se réduisant vers le nord) avec :*

- Conglomérats polygéniques rosés (5 m) discordants sur le Houiller, que suit une succession de séquences fluviales granoclassées à base conglomératique et sommet gréseux ou argilo-gréseux rouge. Ensemble non daté dont la position suggère un âge stéphano-autunien ou autunien basal.

- Pélites lie-de-vin intercalées d'argilites grises et de grès gris et rosés (La Marèze, Grauzel) dans lesquelles des associations palynologiques suggèrent une position intermédiaire entre le Stéphanien et l'Autunien basal, alors que des ostracodes (ferme de Biau) évoquent encore le Stéphanien.

* *Ensemble grés-pélimitique gris (environ 150 m)* : alternance de bancs de grès fins, massifs, de pélites gréseuses brunes litées, de siltites et d'argilites bariolées, verdâtres ou rougeâtres, parfois intercalées de shales charbonneux à débris de bois flottés. L'analyse palynologique fournit une association pour laquelle il est difficile de trancher entre le Stéphanien et l'Autunien.

* *Ensemble grés-pélimitique gris et rouge (environ 150 m)* : formation peu affleurante, difficile à délimiter géographiquement, observée au nord-ouest de Najac où elle est partiellement décapée par la discordance triasique. Ce sont des alternances de lits de grès et de pélites litées grises, vertes ou rouges, non datées.

* *Ensemble grés-pélimitique rouge (au moins 100 m)* : Ensemble gréseux à la base, majoritairement constitué dans ses parties moyenne et supérieure de pélites rouges intercalées de bancs de grès et de conglomérats. Cette formation n'affleure que dans la partie nord du dôme de Najac, dans un triangle Monteils, Najac, Mazerolles (Fig. 1C) et la coupe de La Pourtie, décrite ci-dessous, en dégage une succession lithologique assez continue (Fig. 2B).

Avec leur faciès de pélites rutilantes, ces couches n'avaient pas échappé à l'attention des auteurs qui avaient autrefois étudié le Permo-Carbonifère de Najac (MANÈS 1836, BERGERON 1889, THÉVENIN 1903 ; GÈZE *et al.* 1969). Mais, chaque fois, ils les avaient attribuées au Permien supérieur par analogie de faciès avec les pélites rouges du Saxonien.

Mais cet âge est démenti par la découverte dans cet ensemble, d'une flore à cachet nettement autunien (Permien inférieur) (DELSAHUT 1981, BROUTIN *et al.* 1983) comportant *Walchia piniformis* Sternberg, *Odontopteris dufrenoyi* Brongniart, *O. subcrenulata* Rost, *Ullmannia frumentaria* (Schlotheim) Goeppert (abondant) et *Samaropsis* sp. (Fig. 3).

Les mollusques bivalves que nous décrivons dans le présent article proviennent de la partie moyenne de cette formation (Fig. 2). Déjà signalés par DELSAHUT (1981), ils sont alors attribués à « *Anthracomya (=Anthraconaia) carbonaria* (Bronn) Goldfuss », un bivalve alors décrit dans l'assise de

des conditions sédimentaires et suggère l'existence d'une surface de ravinement.

Les dépôts sus-jacents sont essentiellement constitués d'épaisses couches de pélites rouges, tendres, intercalées de quelques bancs de grès et de conglomérats. Dans les virages de La Pourtie, la partie moyenne du groupe sédimentaire, affleure particulièrement bien, entre deux failles, sur 80 m d'épaisseur environ, le long du talus de la RD149 de Najac à Monteils et dans un arrachement situé au-dessous, permettant de réviser et de préciser sa succession lithologique. Plusieurs ensembles sédimentaires sont distingués, de bas en haut, avec un pendage de 25° vers le SW (Fig. 2B) :

- a. Argilites rouges (5 m) localement riches en matière organique et débris végétaux (*Odontopteris*), intercalées de bancs de grès grossier verdâtre à rosé en bancs compacts à stratifications irrégulières
- b. Argilites rouges mal visibles (15 m)
- c. Grès grossiers verdâtres à rosés (3 m) en bancs compacts et lentilles de conglomérat

d. Siltites rouges (15 m) affleurant dans une large ravine, puis bancs de grès fins

e. Pélites rouges puis violacées puis alternance de bancs de silt, de grès fin et d'argilite rouge microlitée souvent délitée en plaquettes, riches en matière organique, qui renferment les débris végétaux énumérés plus haut et, dans sa partie moyenne, les bivalves objets de cette étude (3 m) (Fig. 2C, D)

f. Silts microlités à stratification ondulée intercalés de lits gréseux, puis de pélites argileuses tendres desquelles dépassent parfois des lits de grès fin, toujours riche en matière organique et débris végétaux (2 m)

Suivent :

- Pélites et siltites intercalées de bancs de grès fins (12 m).
- Grès rouges fins intercalés de lits de siltite (4 m).

Après une lacune de visibilité

- Grès grossiers disposés en deux bancs massifs, puis siltites litées rouges compactes (8 m).

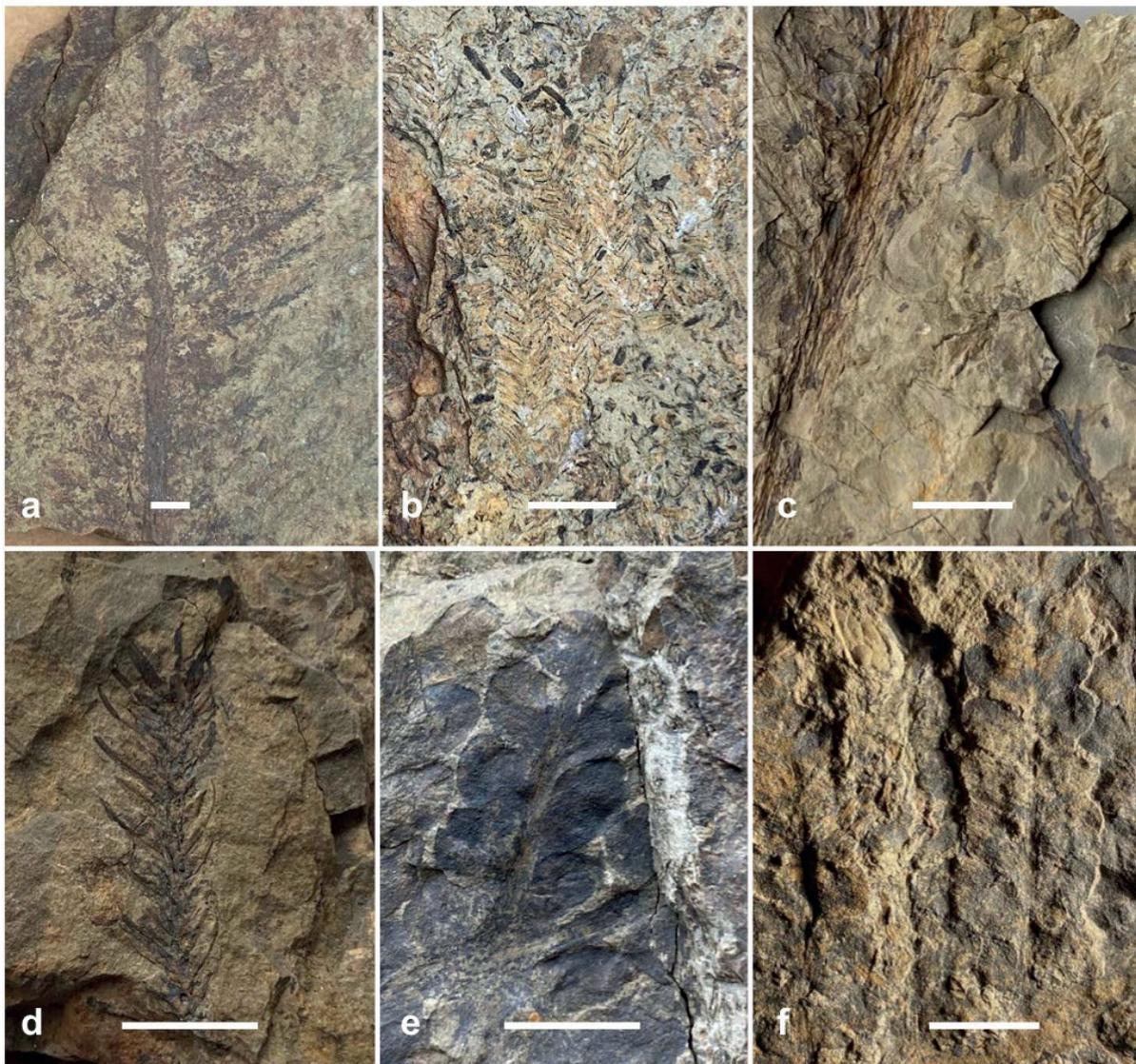


Fig. 3. Spécimens représentatifs de la macroflore de l'Autunien rouge de la coupe de La Pourtie. a : *Walchia piniformis* Sternberg ; b, c, d : *Ulmannia frumentaria* (Schlotheim) Goepper ; e, f : *Odontopteris subcrenularia* Rost. Barre d'échelle : 1 cm.

V. Description, sédimentologie et milieu de dépôt des niveaux à bivalves

Les bivalves se concentrent dans deux fins niveaux lumachelliques espacés de 10 cm, chacun d'eux n'excédant pas 0,5 cm d'épaisseur (Fig. 2C, D). L'examen de leur surface découvre des centaines de spécimens, dont la plus grande taille se situe entre 8 et 17 mm (Pl. 1). Une telle concentration de faune s'apparente au mode de conservation des lits à *Anthraconaia* du Carbonifère supérieur de Grande-Bretagne où ils sont dénommés *Musselband*. Les bivalves sont totalement absents dans les bancs adjacents.

Le sédiment est une pélite fine, litée, indurée, légèrement carbonatée, à patine rouge, cassure verdâtre (Fig. 2C, D). Son aspect sédimentologique est identique à celui des bancs adjacents et rien ne préjuge de la présence des bivalves dont la découverte a été tout à fait fortuite. Alors que les débris végétaux abondent dans cette assise, y compris dans les lits les plus proches des niveaux à bivalves, ils sont peu nombreux dans les niveaux lumachelliques proprement dits.

Ces deux lits rassemblent des individus déplacés, dont les valves sont disposées en tous sens, parallèlement à la stratification, jamais en position de vie. Les valves sont entières, jamais fragmentées, isolées ou attachées « en papillon » au niveau de la charnière (Pl. 1, 4). Plus rarement la coquille est fermée. Cela suggère une concentration de coquilles avec un transport de très faible énergie, en marge d'une étendue lacustre ou marécageuse. Aucun indice sédimentologique de traction, pas de stratification oblique, ni de ripple.

VI. Les bivalves du Permien de Najac

Nous disposons de plusieurs centaines de spécimens fortement polymorphes (Pl. 1 à 4). Les coquilles sont peu convexes, très dissymétriques, tantôt trapézoïdales (Pl. 2), tantôt très allongées et d'allure modioliforme (Pl. 3-4). Le bord cardinal est rectiligne ou légèrement arrondi et le bord palléal est droit à légèrement convexe, plus rarement concave chez certains individus allongés. Le crochet prosogyre est peu marqué. L'angle postéro-cardinal est obtus. Le côté antérieur de la coquille est court, étroit, et son rebord est arrondi. Son côté postérieur est tantôt large et arrondi, tantôt long et d'aspect tronqué à son extrémité. Rarement, il existe une carène postéro-palléale oblique au relief peu marqué. A leur extrémité, les valves des spécimens les plus allongés ne sont pas jointives (par exemple Pl. 4i, j).

L'ornementation se limite à des lignes de croissance concentriques, minces et lisses, souvent dichotomiques. L'intersection des lignes de croissance avec la marge dorsale est irrégulière avec un ou plusieurs points de convergence des lignes. Parfois un sillon plus profond signale un ralentissement de la croissance, conséquence d'un vraisemblable stress d'origine climatique. L'umbo est habituellement lisse. Il est de forme arrondie.

La charnière est, a priori, édentée sur ses deux parties antérieure et postérieure (Pl. 4a-c). Un ligament opistodétique est observable sur la charnière de plusieurs spécimens ouverts « en papillon » (Pl. 4g-j).

Nous avons attribué ce bivalve au genre *Palaeomutela* Amalitzky, 1892, sous-genre *Palaeanodonta* Amalitzky, 1895.

Malgré le fort polymorphisme des individus, nous avons considéré cette population comme monospécifique mais, compte-tenu de l'importante variabilité connue des espèces appartenant à ces deux taxons, de la faible valeur des critères morphologiques permettant de les distinguer et de la forte probabilité d'être en présence d'une espèce nouvelle endémique, nous n'avons tenté aucun rapprochement avec une espèce déjà décrite du genre.

VII. Taxinomie des bivalves d'eau douce du Permien, répartition géographique et comparaisons

Les bivalves du Permien du Bassin de Najac appartiennent au groupe des bivalves d'eau douce à saumâtre « de type Anthracosidé » qui se sont multipliés à la fin du Paléozoïque dans les bassins limniques formés à la fin de l'orogénèse hercynienne.

Ces bivalves essentiellement dulçaquicoles sont étonnamment diversifiés. Ils sont apparus à la fin du Namurien et sont particulièrement nombreux dans le Carbonifère supérieur et le Permien. Ils sont, pour les plus importants d'entre eux, regroupés dans les genres ou sous-genres plus ou moins homéomorphes *Anthraconaia*, *Paleomutela* et *Palaeanodonta*, qui appartiennent aux familles des Naiaditidae et des Palaeomutelidae. De très nombreuses espèces, morphologiquement très voisines, sont décrites par les auteurs au sein de ces trois genres et sont d'ailleurs souvent difficiles à attribuer à l'un ou l'autre d'entre eux.

La taxinomie de ces organismes est en effet limitée par la faible pertinence des critères de différenciation possibles, les homéomorphies entre les genres et entre les espèces, l'importante variabilité intraspécifique des coquilles et les variations écophénotypiques induites par les conditions d'un milieu limnique aux caractères fluctuants. Ce sont des espèces très difficiles à déterminer au plan spécifique et une grande confusion persiste encore dans la classification et la nomenclature de ces mollusques d'eau douce.

Leur large répartition paléogéographique à parfois pu permettre d'intéressantes corrélations biostratigraphiques (EAGAR 1987, SILANTIEV 2014, 2018), d'autant que les dépôts non marins du Paléozoïque supérieur sont particulièrement difficiles à synchroniser d'un bassin à un autre (SCHNEIDER *et al.*, 2020). Ces bivalves non marins sont toutefois souvent représentés par des espèces endémiques à une région limitée, ce qui réduit leur utilisation dans les corrélations stratigraphiques.

Ces constatations doivent nous inciter à la plus grande prudence quant à leur utilisation pour la biostratigraphie du Permien.

7.1. Genre *Palaeomutela* et sous-genre *Palaeanodonta*

Ordre Actinodontida Douvillé, 1912

Superfamille Palaeomuteloidea Lahusen, 1897



Pl. 1. **a-b.** : Surface du niveau lumachellique supérieur (niveau e de la coupe de La Pourtie) montrant la densité des coquilles de *Palaeonodonta*, leur disposition en tous sens, les valves isolées ou attachées par la charnière. **c.** Po 2 : spécimens de 7 à 9 mm ; **d.** Po 45 : spécimens de 7,5 à 10 mm. Les échantillons appartiennent à la collection Fauré et Delsahut, conservée au Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse. Photographies et composition des planches de Ph. Fauré.

Famille Palaeomutelidae Lahusen, 1897 emend. SILANTIEV 2015 in SILANTIEV & CARTER 2015

Genre *Palaeomutela* Amalitzky, 1892

Espèce-type *Palaeomutela verneuili* Amalitzky, 1892

Sous-genre *Palaeanodonta* Amalitzky, 1895

Espèce-type *Unio castor* Eichwald, 1860

Palaeomutela et *Palaeanodonta* apparaissent à la limite entre le Permien inférieur et le Permien moyen, à la fin de l'étage Kungurien (Cisuralien supérieur) (voir Fig. 4) et disparaissent à la limite Permien-Trias (SILANTIEV 2014, 2018). Une cinquantaine d'espèces sont décrites durant les étages Wordien et Capitanien.

Les espèces rapportées au sous-genre *Palaeanodonta* sont largement répandues dans le Permien continental moyen et supérieur semi-aride et leur répartition est très large (EAGAR 2005, SILANTIEV & CARTER 2015, SILANTIEV 2014, 2018) : Russie cis-ouraliennne ; Sibérie ; Chine ; Inde ; Pakistan ; Bassin du Karoo d'Antarctique, d'Afrique australe et orientale, d'Amérique du Sud, des Iles Falkland et de Madagascar ; Amérique du Nord (LUCAS *et al.*, 2006). Élargissant à la fois dans l'espace et dans le temps la répartition des deux genres, ils sont récemment décrits dans le Kungurien inférieur (partie supérieure du Permien inférieur) de l'Amérique du Nord (LUCAS & RINEHART 2005) et des Alpes méridionales italiennes (SILANTIEV *et al.* 2022). Cette dernière citation est la seule description de ces genres dans le Permien inférieur d'Europe occidentale, à relativiser toutefois par sa localisation sud-téthysienne que les reconstitutions paléogéographiques éloignent, à la fin du Paléozoïque, de façon importante de l'ouest-européen. Seule citation en Europe occidentale nord-téthysienne, celle de « bivalves de type *Palaeanodonta* » dans le Permien supérieur à faciès Saxonien des Grands-Causses (Aveyron, France) (GAND *et al.* 1995), ces fossiles n'ayant pas, à notre connaissance, fait l'objet d'une étude paléontologique détaillée.

Palaeomutela et *Palaeanodonta* sont contemporains et quasiment homéomorphes. Ils ne se distinguent que par la morphologie de leur charnière qui est de type nettement pseudotexadonte pour le genre *Palaeomutela* (SILANTIEV 1998) alors que la charnière du sous-genre *Palaeanodonta* est édentée ou ne comporte que quelques dents émoussées toujours difficiles à mettre en évidence (SILANTIEV & CARTER 2015). Mais les conditions de l'observation de ce seul critère distinctif sont rarement réunies. Quelques détails ornementaux énumérés par SILANTIEV & CARTER (2015) permettent toutefois de les distinguer.

7.2. Comparaisons avec le genre *Anthraconaia*

Le sous-genre *Palaeanodonta*, peut se révéler parfois difficile à différencier de certains spécimens d'*Anthraconaia* (TRUEMAN & WEIR 1946). Ce genre est à prendre en considération dans l'étude de nos faunes du Permien continental du bassin de Najac car, bien que surtout représenté dans les bassins limniques du Carbonifère supérieur d'Europe occidentale, certaines espèces atteignent le Permien inférieur (étage Assélien) (EAGAR 1975, KOZUR 1980). De plus, il s'agit alors de spécimens « atypiques » représentés par des coquilles trapézoïdes, au côté antérieur plus long, souvent quasi homéomorphes de *Palaeanodonta* (WEIR 1966-67).

Quatre-vingt-seize espèces d'*Anthraconaia* (= *Anthracomya*) (Superfamille Prokopievskioidea Vokes, 1967 ; Famille Naiaditidae Scarlato & Starobogatov, 1979 ; espèce type *Anthraconaia adamsii* Salter, 1861) sont décrites à ce jour (source MolluscaBase 2024), pour le plus grand nombre dans le Carbonifère supérieur : le Westphalien de Grande Bretagne (TRUEMAN & WEIR 1946, WIER 1966-67) ; le Stéphaniens de France (BABIN 1966, 1985, MALVEZY *et al.* 2000, GAND *et al.* 2003), d'Allemagne occidentale (THÉOBALD 1952, WATERLOT 1934, BABIN 1966, EAGAR 1987), du Portugal, d'Espagne (EAGAR & WIER 1971), de Pologne, du Kazakhstan, du Donets, mais aussi d'Amérique du Nord (Pennsylvanie et Arizona) (ROGERS 1965).

Dans le Permien, les représentants du genre sont pour l'essentiel décrits dans le « Unter-Rotliegende » d'Allemagne occidentale (PRUVOST 1930, WATERLOT 1934, STAECHÉ 1963, BOY 1976, KOZUR 1980) (Assises de Kusel) assimilable à l'Autunien inférieur, dont l'âge assélien est attesté par SCHNEIDER *et al.* (1982) et TRUMPER *et al.* (2023), mais aussi de Norvège (DIX & TRUEMAN 1935), de Tchéquie (STAMBERG & ZAJIC 2008) et d'Amérique du Nord (Pennsylvanie) (EAGAR 1975). « *Anthracomya cf. goldfussi* » est aussi citée dans le faciès autunien des Pyrénées catalanes par LUCAS & GISBERT (1981).

Le genre disparaît à la fin de l'Autunien et laisse la place au genre *Palaeanodonta* (EAGAR 2005).

Les caractéristiques externes d'*Anthraconaia* comprennent une coquille initiale au contour triangulaire, des lignes de croissance minces, lisses, non dichotomiques, avec une intersection régulière des lignes de croissance avec la marge dorsale, permettant classiquement de distinguer ce genre des *Palaeanodonta* (SILANTIEV & CARTER 2015).

VIII. Âge des bivalves du bassin de Najac

Comme dans tous les bassins de l'Europe occidentale, les faciès et les environnements continentaux rendent difficile la corrélation des contenus floristiques et faunistiques continentaux avec la charte chronostratigraphique internationale globale établie dans des séries marines, reposant sur la stratigraphie des foraminifères (fusulines), des conodontes ou des ammonoïdes (COHEN *et al.* 2013). Il en résulte que le découpage du Permien européen en trois « étages » Autunien, Saxonien, Thuringien, qui prévalait jusqu'aux années 1990 (DELSAHUT 1981, 1989), reste encore couramment utilisé (Fig. 4).

En raison du manque de marqueur biostratigraphique de précision, l'âge des formations rouges du Permien de Najac est difficile à préciser (DELSAHUT 1981, BROUTIN *et al.* 1983). Les données paléobotaniques et palynologiques permettent de corréler les couches rouges de La Pourtie, qui renferment les bivalves décrits dans cet article, avec la partie supérieure des dépôts continentaux européens à faciès autunien. Ce faciès, qui termine la série permienne de Najac, existe également dans plusieurs autres bassins du Massif Central (Fig. 4).

Les datations radiométriques et un meilleur étalonnage des formations continentales permienne, grâce notamment à l'étude des ichnofaunes de Tétrapodes et des entomofaunes,

Charte chronostratigraphique internationale				Étages continentaux	Unités lithologiques		
					Bassin de Najac Cette étude	Bas. de St-Affrique Gand, 1993	Bassin de Lodève Michel <i>et al.</i> 2015 Schneider <i>et al.</i> 2020
PERMIEN	Lopingien	Changhsingien	252.2	Thuringien			
		Wuchiapingien	254.2				
	Guadalupien	Capitanien	259.8	Saxonien		Pélites de Saint-Pierre	Fm. La Lieude
		Wordien	265.1				
		Roadinien	268.8				
	Cisuralien	Kungurien	272.3	Autunien			Fm. Salagou
		Artinskien	279.3			Congl. de Belmont	Fm. Rabejac
		Sakmarien	290.1		Ens. grésopéltique rouge	Grès du Dourdou	Fm. Viala
		Assélien	295.5		Ens. grésopéltique gris et gris et rouge	Pélites de Saint-Rome	Fm. Tulière-Loiras
			298.9		Ens. conglomératique de base		Fm. Usclas-St. Privas
CARBONIFERE	Pennsylvanien	Gzhélien	303.7	Stéphanien	Ens. gris		Fm. Graissessac
		Kasimovien	307				
		Moscovien		Westphalien			

Fig. 4. Schéma de corrélation entre la charte internationale des étages (COHEN *et al.* 2013, modifiée 2021) et les étages continentaux (MONTANEZ & POULSEN 2013). Proposition de corrélation entre les formations lithologiques identifiées dans le Stéphano-Permien des environs de Najac et les formations identifiées dans le Bassin de Saint-Affrique (GAND 1993) et le Bassin de Lodève (MICHEL *et al.* 2015, SCHNEIDER *et al.* 2020). **Cerclé de rouge** : la formation qui renferme les bivalves objets de cette étude.

ont maintenant bien établi que les faciès autuniens d'Europe occidentale, que l'on place en équivalence du Rotliegende inférieur, pourraient représenter une tranche de temps étendue de la partie supérieure du Gzhélien jusqu'à la partie inférieure de l'Artinskien, pour les dépôts les plus récents (DEROIN *et al.* 2005, COHEN *et al.* 2013, PELLENARD *et al.* 2017) (Fig. 4).

Dans le Bassin de Najac, en l'absence de datation radiométrique et de fossiles ou empreintes d'organismes, la seule approche de la datation des formations permienne est celle de la comparaison des faciès et de leur évolution avec ceux des autres bassins permien proches, appartenant à la périphérie du Massif Central, par exemple les bassins de Lodève et de Saint-Affrique dont les formations sont les mieux étalonnées (Fig. 1A).

La précision des corrélation entre les bassins sédimentaires doit être relativisée par le caractère diachrone des faciès détritiques qui caractérisent les groupes sédimentaires. De plus, les datations radiométriques absolues et les données paléontologiques restent encore difficiles à accorder et sont

souvent en contradiction, au sein d'un même bassin (par exemple GAND 1993 et POUJOL *et al.* 2023 dans le bassin de Saint-Affrique), de même qu'elles sont difficiles à accorder entre deux bassins comme, par exemple, le Bassin de Saint-Affrique et celui de Lodève (POUJOL *et al.* 2023, SCHNEIDER *et al.* 2006, 2020) malgré les évidences lithostratigraphiques, voire ichnostratigraphiques.

La comparaison des séries de Najac avec celle des bassins de Saint-Affrique, de Rodez et de Lodève permet toutefois d'utiles indications qui, bien que spéculatives, autorisent une approche de l'âge des formations de l'Autunien rouge de Najac (Fig. 4).

– Dans le Bassin de Saint-Affrique, c'est avec la formation des Grès du Dourdou, que leur corrélation est la plus évidente. Les datations absolues de POUJOL *et al.* (2023) troublent depuis peu le schéma établi (MAUGENEST & VINCHON 1989, GAND & HAUBOLD 1984, GAND 1993, HÜBNER *et al.* 2011) mais ne remettent pas fondamentalement en cause l'âge Cisuralien de cette assise.

– Dans le Bassin de Rodez, l’analogie de faciès de la série rouge de Najac est maximale avec la partie supérieure du « groupe de Salabru » (BOURGES, 1988, FUCHS & BECQ-GIRAUDON 1989, MOREAU & GAND 2022).

– Dans le bassin de Lodève, la meilleure concordance avec l’Autunien rouge de Najac se trouve dans la Formation du Viala, que les données ichnologiques des Tétrapodes (CHATEAUNEUF & GAND 1989, GAND 1993, GAND *et al.* 2000) et les datations absolues situent dans la partie supérieure du Sakmarien et la partie inférieure de l’Artinskien (SCHNEIDER *et al.*, 2006, 2020, MICHEL *et al.* 2015) (Fig. 4).

C’est l’âge que nous attribuons ici aux bivalves provenant des dépôts rouges à faciès autunien de Najac.

IX. Environnement de dépôt

À la transition Carbonifère-Permien (étages Gzhélien à Assélien), le climat évolue progressivement vers une lente aridification. L’Assélien (« faciès autunien gris ») est majoritairement représenté par des dépôts de plaine d’inondation, sous un climat humide encore favorable à la persistance d’une végétation abondante. Au Sakmarien (« faciès autunien rouge »), les auteurs s’accordent sur la persistance d’un climat humide (SCHNEIDER *et al.* 2006, MICHEL *et al.* 2015), mais les environnements sont plus contrastés avec la juxtaposition de faciès deltaïques, des conglomérats et des grès grossiers fluviatiles, des argilites de plaine d’inondation et des dépôts lacustres périodiques ou de playa, dans lesquels se sont transitoirement épanouis de nombreux bivalves d’eau douce. L’arrière-pays reste très végétalisé, en témoigne l’abondance de la matière organique et des débris de végétaux dans ces formations.

X. Conclusion

Un assemblage de bivalves d’eau douce de « type Anthracosidé » est pour la première fois documenté dans les molasses post-hercyniennes continentales du Permien inférieur de l’ouest de l’Europe.

Nous avons ici attribué ces bivalves au genre *Palaeomutela*, sous-genre *Palaeanodonta*. Il existe une telle confusion dans la taxonomie des bivalves non marins du Paléozoïque supérieur et l’originalité de notre faune est telle, au plan biostratigraphique comme paléogéographique, que nous n’avons tenté aucun rapprochement avec d’autres espèces du genre connues par ailleurs.

Ces bivalves se regroupent en un double horizon lumachellique au sein des couches rouges de la partie terminale des dépôts à faciès autunien supérieur des environs de Najac (coupe de La Pourtie, Monteils, Aveyron). Par comparaison avec des formations homologues des Bassins de Saint-Affrique, de Rodez et de Lodève, ces dépôts relèvent du Permien inférieur, étage Sakmarien supérieur à Artinskien supérieur.

La présence de *Palaeanodonta* dans la partie occidentale de l’Europe au Permien élargi l’aire de répartition de ce taxon à des régions dans lesquelles il n’avait pas été signalé à ce jour.

L’âge Sakmarien supérieur à Artinskien inférieur (partie moyenne du Cisuralien) présumé de ces bivalves de « l’Autunien rouge », les démarque nettement des autres faunes de bivalves non marins dont l’âge est bien documenté par ailleurs. Il vient combler une vide stratigraphique entre la fin des associations à *Anthraconaia*, inconnues plus haut que l’Assélien, et les faunes à *Paleomutela-Palaeanodonta*, qui apparaissent classiquement à la fin de l’étage Kungurien.

REMERCIEMENTS

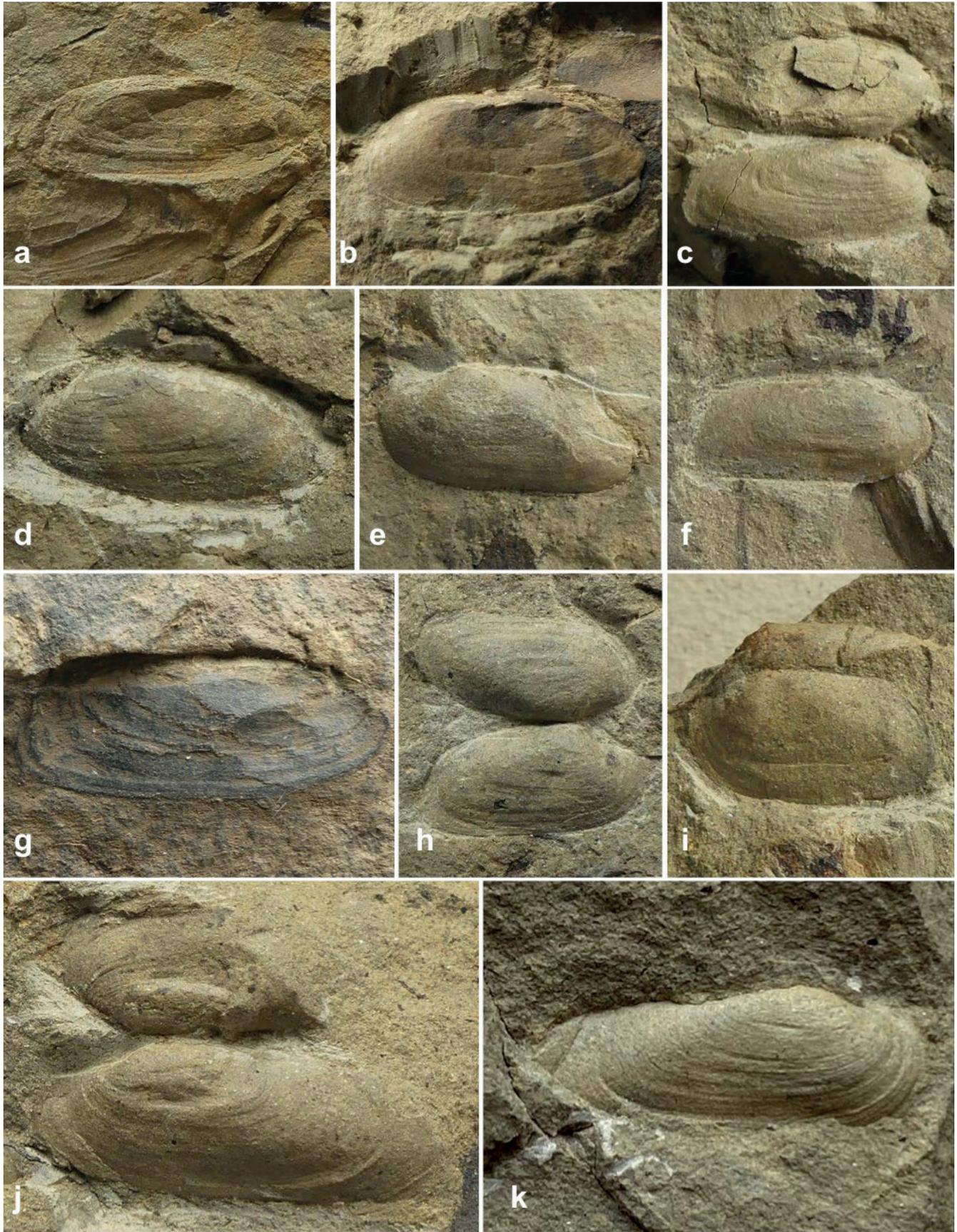
Nous remercions Vladimir Silantiev d’avoir volontiers examiné notre matériel. Merci à Claude Majesté-Menjoulas, à Jacques Magontier et à Michel Bilotte pour les remarques qui ont permis l’amélioration du manuscrit.

RÉFÉRENCES

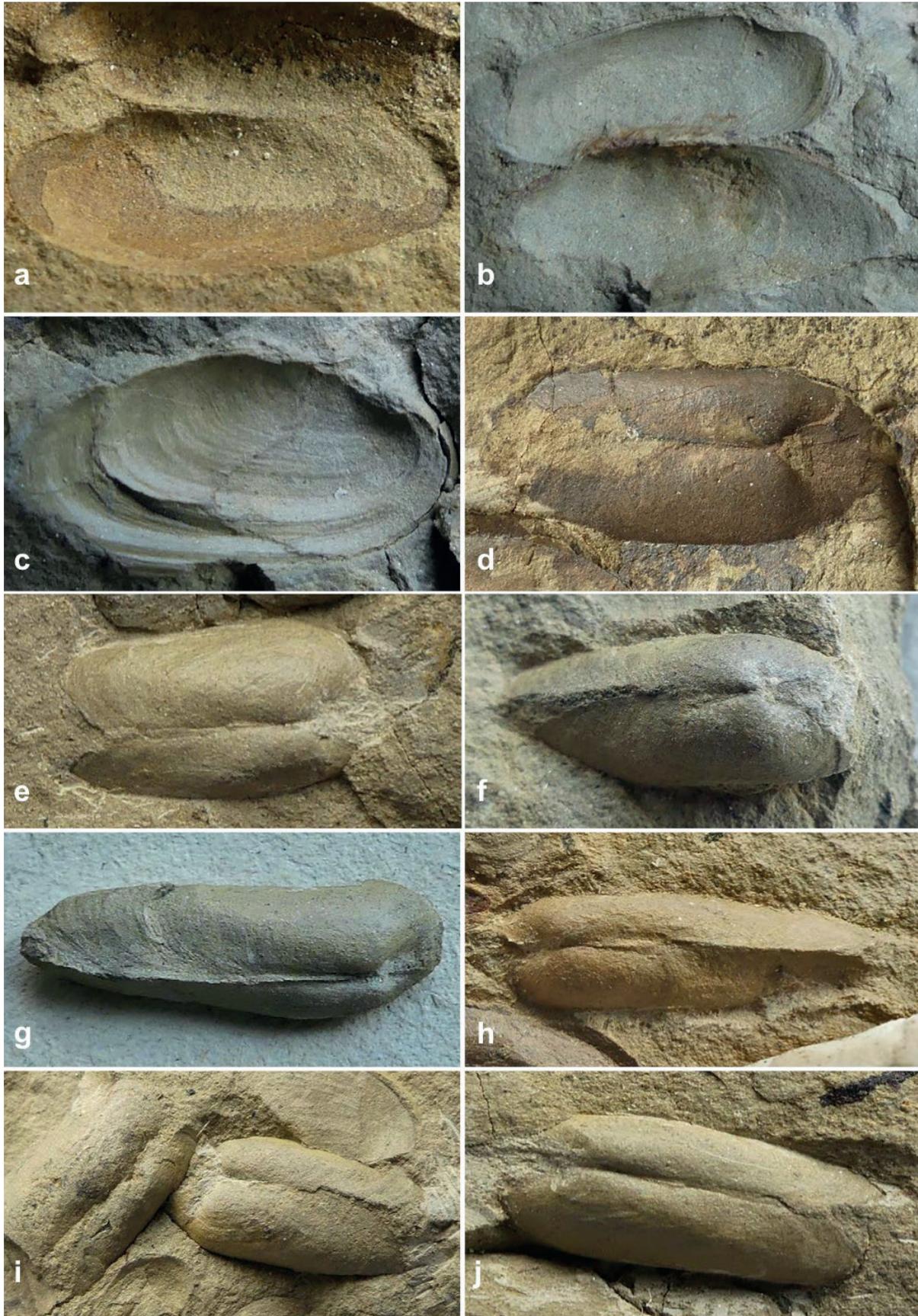
- AMALITZKY, V.P. 1892. – Über die Anthracosien der Permformation Russlands. *Palaeontographica*, 39, 125-214.
- AMALITZKY, V.P. 1895. – Comparison of the Permian freshwater Lamellibranchiata from Russia with those from the Karoo System of South Africa. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 51, 337-351.
- BABIN, C. 1966. – Mollusques bivalves et céphalopodes du Paléozoïque armoricain. *Imprimerie commerciale et administrative*, Brest. 470 pp.
- BABIN, C. 1985. – Le genre *Anthraconaia* (Bivalvia, Myalinidae) dans le Stéphanien de Montceau-les-Mines (Saône et Loire, France). *Bulletin de la Société d’Histoire naturelle d’Autun*, 115, 49-58.
- BERGERON, J. 1889. – Étude géologique du Massif ancien situé au Sud du Plateau central. *Masson éd., Paris*. 355 pp.
- BOISSE, A.D. de. 1870. – Esquisse géologique du département de l’Aveyron. *Imprimerie nationale*, Paris. 409 pp.
- BOUCHEPORN, BERTRAND de, R.C.F. 1848. – Explication de la carte géologique du département du Tarn. *Imprimerie nationale*, Paris. 114 pp.
- BOURGES, Ph. 1988. – Sédimentation alluviale et tectonique extensive dans le Permien du détroit de Rodez (Aveyron, France). *Strata*, Toulouse, 2, 9. 186 pp.
- BOY, J.A. 1976. – Überblick über die Fauna des saarpfälzischen Rotliegenden (Unter-Perm). *Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen*, 5, 13-85.
- BROUTIN, J., J.-J. CHATEAUNEUF, B. DELSAHUT, J. DOUBINGER, & P. VETTER. 1983. – Flore et microflore des terrains autuniens situés entre Réalmont, Najac et la Grésigne (Quercy et Albigeois). *Comptes-Rendus de l’Académie des Sciences*, Paris, 297, II, 753-758.
- BURG, J.P., M. GUILLAUME, B. ALABOUVETTE & G. ASTRUC. 1989. – Carte géologique de France (1/50 000), feuille de Najac (906). Notice explicative. Orléans, B.R.G.M.
- CHATEAUNEUF, J.-J. & G. GAND. 1989. – Stratigraphie, in Châteauneuf J.-J. & Farjanel G. (éds), Synthèse géologique des bassins permien français. *Mémoire du Bureau de Recherches géologiques et minières*, 128, 159-179.



Pl. 2. Variabilité des *Palaeonodonta* de l'Autunien rouge de la coupe de La Pourtie (niveau e) : a. Po 21.1 : 11 mm ; b. Po 5 : 8 mm ; c. Po 19 : 12 mm ; d. Po 31 : 8 mm ; e. Po 2 : 13 mm ; f. Po 11 : 11 mm ; g. Po 3 : 11,5 mm ; h. Po 8 : 9 mm ; i. Po 10 : 7 mm ; j. Po 14 : 14 mm ; k. Po 16 : 16 mm ; l. Po 21.2 : 13 mm ; m. Po 13.1 : 10 mm ; n. Po 6 : 17,5 mm ; o. Po 21 : 9 mm.



Pl. 3. Variabilité des *Palaeonodonta* de l'Autunien rouge de la coupe de La Pourtie (niveau e) : a. Po 34 : 11 mm ; b. Po 7.1 : 15 mm ; c. Po 22 : 11 mm ; d. Po36 : 12,5 mm ; e. Po 15 : 11,5 mm ; f. Po 9 : 10 mm ; g. Po 30 : 18 mm ; h. Po 12 : 8,5 à 10 mm ; i. Po24 : 11,5 mm ; j. Po35 : 17,5 mm ; k. Po 4 : 16,5 mm.



Pl. 4. *Palaeonodonta* de l'Autunien rouge de la coupe de La Pourtie (niveaux). a-c : vues internes des valves montrant la charnière ; d-j : Vues du côté cardinal de coquilles fermées. a. Po 44 : 13 mm ; b. Po 41 : 15,5 mm ; c. Po 1 : 15,5 mm ; d. Po 7.2 : 12 mm ; e. Po 20.2 = 10 mm ; f. Po 40 : 13 mm ; g. Po 39 : 15,5 mm ; h. Po 13.2 : 11 mm ; i. Po 20.1 : 12 mm ; j. 20.3 : 11 mm.

- COHEN, K.M., S.C. FINNEY, P.L. GIBBARD, & J.-X. FAN. 2013 update 2021. – The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Épisodes*, 36, 199-204.
- DELSAHUT, B. 1981. – Dynamique du bassin de Carmaux (Tarn) et géologie du Stéphano-permien des environs (entre Réalmont et Najac). Étude préliminaire à la recherche de la houille. Thèse de 3^e cycle, Toulouse. 232 pp.
- DELSAHUT, B. 1989. – Le Permien de la Grésigne et des environs (Quercy - Albigeois) in Châteauneuf J.-J. & Farjanel G. (éds), Synthèse géologique des bassins permien français. *Mémoire du Bureau de Recherches géologiques et minières*, 128, 85-89.
- DEROIN, J.P., J. BROUTIN, G. CASSINIS, G. GAND, C. HENDERSON, L. MENNING, & A. VACHARD. 2005. – Permien. *Annales de la Société géologique du Nord*, 11, 2, 159-167.
- DIX, E. & A.E. TRUEMAN. 1935. – Non-marine lamellibranchs from the upper palaeozoic rocks of Semsvik in Asker. *Norsk Geol. Tidsskrift*, 15, 25-32.
- EAGAR, R.M.C. 1975. – Some nonmarine bivalve faunas from the Dunkard Group and underlying measures, in *The Age of the Dunkard: Proceedings of the First I. C. White Memorial Symposium*, Barlow, J.A., ed., 23-67.
- EAGAR, R.M.C. 1987. – The shape of the Upper Carboniferous non-marine bivalve *Anthraconaia* in relation to the organic carbon content of the host sediment *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 78, 177-195.
- EAGAR, R.M.C. 2005. – Nonmarine and limnic bivalves. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 30, 55-85.
- EAGAR R.M.C. & J. WEIR. 1971. – Some Spanish Upper Carboniferous non-marine bivalve faunas: a preliminary statement with emphasis on facies in north-west Spain and Britain. *Trabajos de Geologia*, 3, 87-99.
- EICHWALD, d'E. 1860. – *Lethaea Rossica ou Paléontologie de la Russie*. Vol. 1. Ancienne Période. Schweizerbart. 1657 pp.
- FUCHS, Y. & J.-F. BECQ-GIRAUDON. 1989. – Le Permien du détroit de Rodez, in Châteauneuf J.-J. & Farjanel G. (éds), Synthèse géologique des bassins permien français. *Mémoire du Bureau de Recherches géologiques et minières*, 128, 94-99.
- GAND, G. 1993. – La palichnofaune des Vertébrés tétrapodes du bassin permien de St-Affrique (Aveyron) : comparaisons et conséquences stratigraphiques. *Géologie de la France*, 3-4, 41-56.
- GAND, G. & H. HAUBOLD. 1984. – Traces de vertébrés du Permien du bassin de Saint-Affrique (description, datation, comparaison avec celles du bassin de Lodève). *Géologie méditerranéenne*, 11, 321-348.
- GAND, G., J. GARRIC, G. DEMATHIEU & P. ELLENBERGER. 2000. – La palichnofaune de vertébrés tétrapodes du Permien supérieur du bassin de Lodève (Languedoc-France). *Palaeovertebrata*, 29, 1-82.
- GAND, G., J. LAPEYRIE, J. GARRIC, A. NEL, J. SCHNEIDER & H. WALTER. 1997. – Découverte d'Arthropodes et de bivalves inédits dans le Permien continental (Lodévois, France). *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 325, 891-898.
- GAND, G., J. GALTIER, J. GARRIC, J. SCHNEIDER, F. KÖRNER & O. BÉTHOUS. 2003. – Les bassins carbonifère de Graissessac et permien de Lodève (Languedoc, France). Livret-guide de l'excursion n° 3 du 7 mai 2001. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Autun*, 185, 7-40.
- GÈZE, B., A. CAVAILLÉ & P. COLLOMB. 1969. – Carte géologique de Rodez au 1 80 000^e. 2^e édition.
- GRIGNAC, C. 1983. – Contribution à l'étude des sédiments détritiques post-hercyniens de la bordure SW du Massif Central (France). Thèse UPS, Toulouse. 211 pp.
- HÜBNER, N., F. KÖRNER & J. SCHNEIDER. 2011. – Tectonics, climate and facies of the Saint-Affrique Basin and correlation with the Lodève Basin (Permian, Southern France). *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 162, 157-170.
- KOZUR, H. 1980. – Beitrage zur Stratigraphie des Perms, Teil III (2), Zur Korrelation der iibenviegen kontinentalen Ablagerungen des obersten Karbons und Perms vo Mittel- und Westeuropa. *Freib Forschungsh.*, 384, 69-172.
- LUCAS, C. & J. GISBERT. 1981. – Eléments nouveaux pour l'évolution des paysages du Grès rouge pyrénéen du Permien au Trias (sédimentation terrigène continentale). *C.R. 106^e congrès national des Sociétés Savantes*, Perpignan, F. III, 351-362.
- LUCAS, S.G. & L.F. RINEHART. 2005. – Nonmarine bivalves from the Lower Permian (Wolfcampian) of the Chama Basin, New Mexico. *New Mexico Geological Society*, 56th Field Conference Guidebook, Geology of the Chama Basin, 283-287.
- LUCAS, S.G., J.W. SCHNEIDER, & G. CASSINIS. 2006. – Non marine Permian biostratigraphy and biochronology: An introduction, *Nonmarine Permian Biostratigraphical Biochronological. Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 265, 1-14.
- MALVEZY, T., C. BABIN, & J. BARROIS. 2000. – Les bivalves. Collections du Musée d'Histoire naturelle de Lille. *Annales de la Société géologique du Nord*, 8, 2, 3-18.
- MANÈS, M. 1836. – Mémoire géologique et statistique sur les terrains de grès avec houille, dans les départements du Tarn et de l'Aveyron. *Annales des Mines*, 3, X, 147-191.
- MAUGENEST, M.C. & C. VINCHON. 1989. – Le Permien de Saint-Affrique, in Châteauneuf J.-J. & Farjanel G. (éds), Synthèse géologique des bassins permien français. *Mémoire du Bureau de Recherches géologiques et minières*, 128, 100-105.
- MONTANEZ, I. & C. POULSEN. 2013. – The Late Paleozoic Ice Age: An Evolving Paradigm. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 24.1-24.28.
- MICHEL, L., N. TABOR, I. MONTAÑEZ, M. SCHMITZ & V. DAVYDOV. 2015. – Chronostratigraphy and Paleoclimatology of the Lodève Basin, France: Evidence for a pan-tropical aridification event across the Carboniferous-Permian boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 430, 118-131.
- MOREAU, J.-D. & G. GAND. 2022. – New data on the Permian ecosystem of the Rodez Basin : ichnofauna (traces of protostomians, tetrapods and fishes), jellyfishes and plants from Banassac-Canilhac (Lozère, southern France). *Geodiversitas*, 44 (31), 975-987.
- PELLENARD, P., G. GAND, M. SCHMIDT, J. GALTIER, P. BROUTIN & J.S. STÉYER. 2017. – High-precision U-Pb Zircon ages for explosive volcanism calibrating the NW European continental Autunian stratotype. *Gondwana Research*, 51, 118-136.
- POUJOL, M., M. MERCUZOT, M. LOPEZ, S. BOURQUIN, O. BRUGUIER, E. HALLOT & L. BECCALE. 2023. – Insights on the Permian tuff beds from the Saint-Affrique Basin (Massif Central, France): an integrated geochemical and geochronological study. *Comptes Rendu. Géoscience*, 355 (S2), 137-161.
- PRUVOST, P. 1930. – La Faune continentale du terrain Houiller de la Belgique. *Mémoires du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique*, 44, 218-256.
- ROGERS, M.J. 1965. – A revision of the species of non-marine Bivalvia from the Upper Carboniferous of Eastern North America. *Journal of Palaeontology*, 39, 4, 663-687.

- SCHNEIDER, J.W., F. KÖRNER, M. ROSCHER & U. KRONER. 2006. – Permian climate development in the northern peri-Tethys area. The Lodève basin, French Massif Central, compared in a European and global context. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240, 161-183.
- SCHNEIDER, J.W., S.G. LUCAS, F. SCHOLZE, S. VOIGT, L. MARCHETTI, H. KLEIN, S. OPLUŠTIL, R. WERNEBURG, V.K. GOLUBEV, J.E. BARRICK, T. NEMYROVSKA, A. RONCHI, M.O. DAY, M. O., SILANTIEV, R. RÖSSLER, H. SABER, U. LINNEMANN, V. ZHARINOVA, & S. SHEN. 2020. – Late Paleozoic-early Mesozoic continental biostratigraphy links to the Standard Global Chronostratigraphic Scale. *Palaeoworld*, 29, 186-238.
- SILANTIEV, V.V., 1998. - New data on the Upper Permian Non-marine Bivalve *Palaeomutela* in European Russia. Bivalves. An Eon of Evolution - Paleobiological Studies Honoring Norman D. Newell Edited by Paul A Johnston and James W. Haggart), University of Calgary Press, Calgary, 1998, 437- 442.
- SILANTIEV, V.V. 2014. – Permian Nonmarine Bivalve Zonation of the East European Platform. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 22, 1-27.
- SILANTIEV, V.V. 2018. – Permian nonmarine Bivalve Mollusks: Review of Geographical and Stratigraphic. *Palaeontological journal*, 47, 707-729.
- SILANTIEV, V.V. & J.G. CARTER. 2015. – Permian non-marine bivalves *Palaeonodonta* Amalitzky, 1895: the position in the modern system of Bivalvia. *Paleontological Journal*, 49, 1125-1141.
- SILANTIEV, V.V., L. MARCHETTI, A. RONCHI, P. SCHIROLI, F. SCHOLZE, & M. URAZAEVA. 2022. – Permian non-marine bivalves from the Collio and GunCina formations (southern alps, italy) : revised biostratigraphy and palaeobiogeography. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia (Research in Paleontology and Stratigraphy)*, 128(1), 43-67.
- STAECHER, K. 1963. – Übersicht über die Fauna des deutschen Rotliegenden (Unteres Perm). *Suttgarter Beiträge zur Naturkunde*, 96, 1-12.
- STAMBERG, S. & J. ZAJIC. 2008. – Carboniferous and Permian faunas and their occurrence in the limnic basins of the Czech Republic. *Muzeum východních Čech v Hradci Králové*, 43-46.
- THÉOBALD, N. 1952. – Aperçu géologique du territoire de la Sarre. *Publication de l'Université de Sarre*. 80 pp.
- THÉVENIN, A. 1903. – Étude géologique de la bordure sud-ouest du Massif Central. *Bulletin du Service de la Carte géologique de France*, 95, XIV, 253-554.
- TRUEMAN, A.E. & J. WEIR. 1946. – The British Carboniferous nonmarine Lamellibranchia. Part. 1. *Paleontological Society*, London, 99, 1-8.
- TRUMPER, S., B. VOGEL, S. GERMANN, R. WERNEBURG, J.W. SCHNEIDER, A. HELLWIG, U. LINNEMANN, M. HOFMANN & R. RÖBLER. 2023. – Decoding the drivers of the deeptime welland biodiversity: insights from the Early Permian tropical ecosystem. *Palaeontology*, 2023, e12652, 1-39.
- WATERLOT, G. 1934. – Bassin houiller de la Sarre et de la Lorraine. II. Faune fossile. Étude de la faune continentale du terrain houiller Sarro-Lorrain. *Études des gites et minéraux de France*. 317 pp.
- WEIR, J. 1966-1967. – A monograph of the British Carboniferous non-marine Lamellibranchia. *Palaeontographical Society*, London, XI, 321-372 ; XII, 373-413.

Le bois de Pouciquot (Toulouse, France), une richesse fongique insoupçonnée au cœur de la ville¹

par Patricia Jargeat*, Hervé Gryta**, et tous les étudiants du master Biologie Végétale (promos 2017 à 2022)

Centre de Recherche sur la Biodiversité et l'Environnement, UMR 5300,
Université Paul-Sabatier 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 9

*patricia.jargeat@univ-tlse3.fr

** herve.gryta@univ-tlse3.fr

RÉSUMÉ

Les espaces verts urbains constituent des îlots de fraîcheur et contribuent au bien-être des citoyens. Ce sont cependant des espaces artificiels et entretenus. Ce n'est pas le cas du bois de Pouciquot, petite enclave de nature à Toulouse. Ce bois s'est mis en place au cours des cinquante dernières années, selon une dynamique qui ne doit rien aux activités humaines. Il abrite une importante diversité végétale et animale, très inattendue, entre bâtiments de l'université Paul-Sabatier et Canal du Midi. Des champignons s'y développent également mais, en raison de l'évolution du climat toulousain, la production de sporophores est de plus en plus rare. Afin d'estimer la richesse fongique de cet espace, des ectomycorhizes, organes mixtes plante-champignon formés sur les racines des arbres, ont été récoltées tous les ans entre 2016 et 2021. Les champignons ont été identifiés à l'aide de techniques moléculaires (PCR et séquençage). Il s'avère que les arbres du bois de Pouciquot interagissent avec plus de 80 espèces de champignons, appartenant à des genres communs au niveau des racines mais peu visibles (*Tomentella*, *Sebacina*, *Tuber*). Plus surprenant, les espèces méditerranéennes *Xerocomellus sarnarii* et *Clavulina iris* var *iris* sont également présentes et illustrent l'influence climatique méditerranéenne de plus en plus marquée à Toulouse.

Mots clés : mycorrhizes, barcode, biodiversité, écosystème urbain

Pouciquot wood (Toulouse, France), an unsuspected fungal richness in the heart of the city

ABSTRACT

Urban green spaces are islands of freshness and contribute to the well-being of city dwellers. They are, however, artificial and well-maintained. This is not the case with the Pouciquot wood, a small enclave of nature in Toulouse. This wood has developed over the last fifty years in a dynamic that owes nothing to human activity. It hosts an unexpected diversity of plants and animals, nestled between the Paul-Sabatier University buildings and the Canal du Midi. Fungi also thrive here, but due to changes in Toulouse's climate, sporophore production is becoming increasingly rare. To estimate the fungal richness of this area, ectomycorrhizae, mixed plant-fungus organs formed on tree roots, were collected every year between 2016 and 2021. The fungi were identified using molecular techniques (PCR and sequencing). It turns out that the trees in Pouciquot wood interact with over 80 species of fungi, belonging to genera that are common at root level but not very visible (*Tomentella*, *Sebacina*, *Tuber*). More surprisingly, the Mediterranean species *Xerocomellus sarnarii* and *Clavulina iris* var *iris* are also present, illustrating the increasingly marked Mediterranean climatic influence in Toulouse.

Keywords: mycorrhizae, barcoding, biodiversity, urban ecosystem

I. Introduction

À l'heure où plus de la moitié de la population mondiale vit dans des villes de plus en plus impactées par le réchauffement climatique, la préservation et la création d'espaces verts urbains devient une priorité. La végétation, notamment les arbres, et le sol des parcs urbains facilitent le stockage de

l'eau de pluie et atténuent les effets d'îlots de chaleur grâce à l'ombrage et à l'évapo-transpiration des plantes. Ces parcs constituent ainsi des îlots de fraîcheur et apportent un réel bien-être à la population. Toutefois, ces espaces sont souvent artificiels, constitués d'espèces végétales ornementales, d'origine exotique et surtout, sont régulièrement entretenus. La biodiversité « ordinaire », celle qui nous entoure sans que

¹ Accepté le 7 octobre 2024

nous la remarquons, en est largement impactée. Il existe cependant encore des zones végétalisées beaucoup moins sollicitées par les activités humaines et dans lesquelles une faune et une flore plus sauvages peuvent de développer. Dans le grand Toulouse, un tel espace arrive à se maintenir, entre Toulouse et Ramonville-Saint-Agne. Il s'agit du bois de Pouciquot, qui constitue une enclave d'environ 17 ha de nature au cœur de la ville et de ses infrastructures. Ce bois a été classé ZNIEFF récemment car il abrite une diversité faunistique et floristique remarquable (POTTIER 2018), liée à la proximité du canal du Midi et à la présence d'un minuscule cours d'eau, le Saint-Agne. On peut par exemple y entendre des loriots, des mésanges, des crapauds accoucheurs mais on y croise aussi des couleuvres vertes et jaunes, des couleuvres à collier, des lézards verts, des renards, des écureuils roux et même des blaireaux et au moins un lièvre. Des petites mares hébergent, entre autres, tritons palmés, tritons marbrés et salamandres tachetées.

L'histoire de ce bois est assez récente et il représente un bel exemple de colonisation naturelle. A partir du XVII^e siècle, le seul espace arboré au milieu des champs cultivés et des vignes était le parc du château de Lespinet-Lasvignes, propriété de Jean-Matthias de Riquet, qui avait ainsi un accès privilégié au canal conçu par son père, Pierre-Paul Riquet. Ce château est actuellement occupé par une compagnie républicaine de sécurité civile. Il est interdit d'accès et reste ainsi un espace arboré important. Les premiers bâtiments de l'université Paul-Sabatier ont émergé dans cette zone au début des années 1960 et c'est en fait à partir des années 1970 - 1980 que le bois de Pouciquot s'est implanté, de part et d'autre du parc du château (Figure 1). Il a connu sa surface d'occupation maximale dans les années 1990, avec un important taux de recouvrement. Actuellement, une grande partie de cette surface est occupée par la station de métro Ramonville et le petit Saint-Agne est quasiment entièrement canalisé dans des conduits en béton.

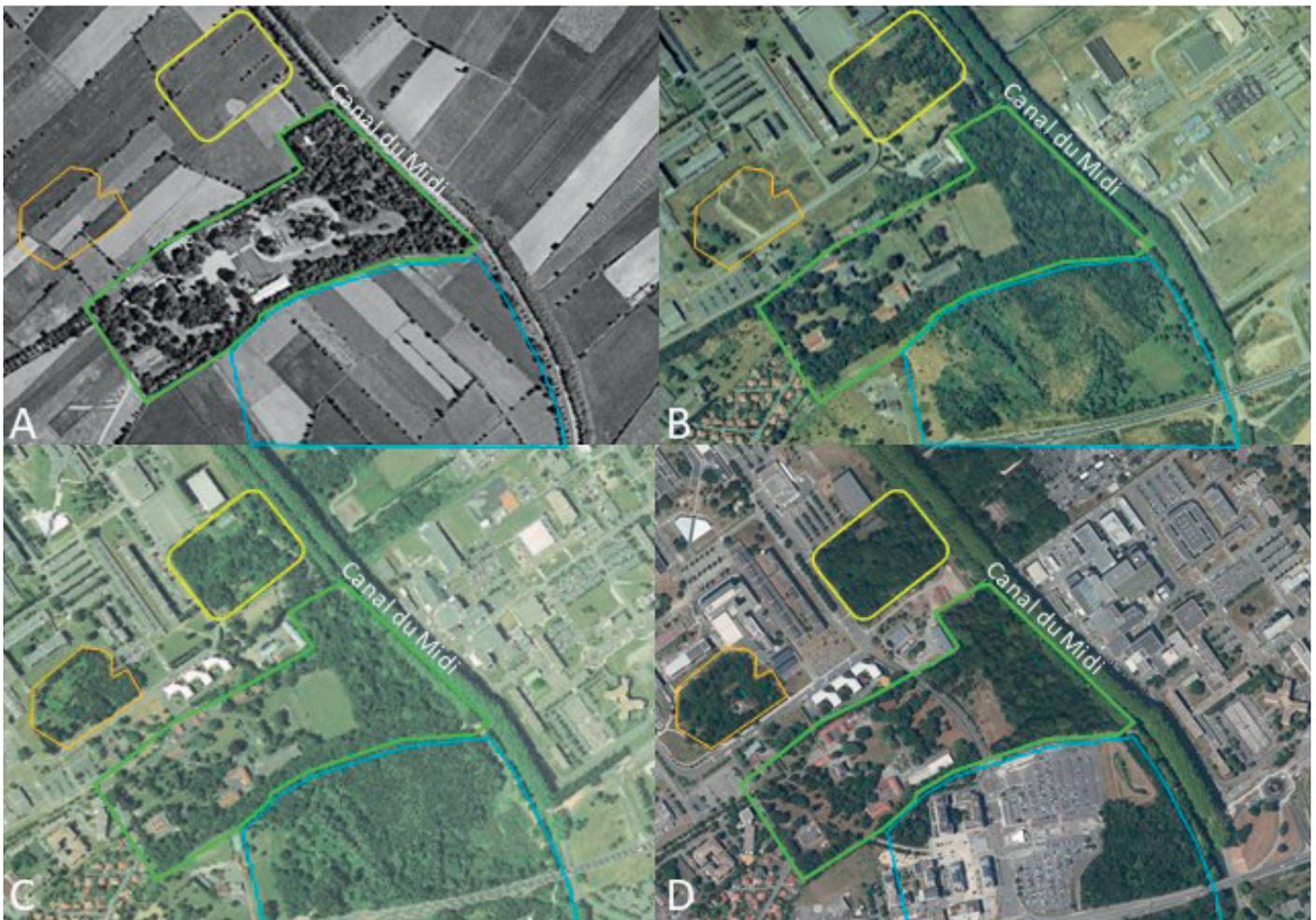


Fig. 1. Evolution du bois de Pouciquot de 1950 à 2020. Photographies aériennes de l'Institut Géographique National (<https://remonterletemps.ign.fr/>). A : 1950. B : 1981. C : 1998. D : 2020.

Zone délimitée en jaune : notre étude dans le bois de Pouciquot

Zone délimitée en bleu : autre partie du bois de Pouciquot à Ramonville-Saint-Agne

Zone délimitée en vert : domaine de Lespinet-Lasvignes (compagnie de CRS)

Zone délimitée en orange : petite parcelle laissée en libre évolution et devenue bosquet de peupliers blancs et chênes pubescents

II. Composition végétale et biodiversité fongique de la zone inventoriée

La partie de ce bois que nous avons inventoriée représente 2.2 ha et se situe sur le campus de l'université Paul-Sabatier, coincée entre le canal du Midi, les bâtiments de recherche et d'enseignement et le château de Lespinet-Lasvignes (Figure 1). Dans les années 1970, cette parcelle était aménagée en jardin, vergers et pépinière (Figure 2). Il en reste quelques traces éparses, sous forme de petits bassins et de petites serres en ruine. La présence d'espèces exotiques comme le cyprès chauve (*Taxodium distichum*), conifère de la famille des Cupressacées, emblématique de la Louisiane (Etats-Unis) témoigne de ce passé. Actuellement, cette parcelle est dominée par le peuplier blanc (*Populus alba*) et le chêne pubescent (*Quercus pubescens*) mais, avec les hivers de plus en plus doux et les étés de plus en plus secs, signes du changement climatique, de jeunes chênes verts (*Quercus ilex*) commencent à prendre de l'ampleur. Ce petit bout de nature est d'une grande richesse botanique mais qu'en est-il de la fonge ? De nombreux travaux arrivent à la conclusion qu'en zone urbaine, la diversité fongique est nettement plus faible qu'en zone rurale (NEWBOUND *et al.* 2010) mais le bois de Pouciquot est tout à fait particulier car la recolonisation s'est faite naturellement.

Au gré de quelques sorties, la redoutable *Amanita phalloides*, le sympathique *Auricularia auricula-judae*, de discrets *Inocybe geophylla* ou de très colorés *Sarcoscypha coccinea*, et *Laetiporus sulphureus* ont été observés au sol ou sur les troncs des arbres. Récemment, nous avons trouvé le très rare *Mycena chlorinosma* (CAZABONNE *et al.* 2021). La première observation en France métropolitaine de cette espèce originaire des Tropiques date de 1937, dans les serres du Parc de la Tête d'Or à Lyon (69). Depuis il n'a été observé que deux fois, à Hyères (83) sur du bois pourri d'Eucalyptus et donc à Toulouse (CAZABONNE *et al.* 2021). Cette trouvaille représente un vestige de la période où la pépinière occupait cet espace.

La liste des champignons observés n'est bien sûr pas exhaustive mais les conditions climatiques ne sont pas, ou plutôt ne sont plus, favorables aux champignons. Les fructifications de champignons sont certes de plus en plus rares mais nous pouvons espérer que les mycéliums, partie pérenne et cachée des champignons, soient toujours présents dans le sol ou dans des substrats divers. Ainsi, un inventaire basé sur les mycéliums et les parties souterraines des champignons pourrait donner une vision plus complète de la diversité fongique présente. La caractérisation de la diversité des champignons décomposeurs, dont les mycéliums sont dans le sol ou le bois, nécessiteraient des techniques d'analyse de l'ADN environnemental, longues et coûteuses. En revanche, la diversité des champignons ectomycorhiziens peut facilement être étudiée en récoltant des ectomycorhizes. Il s'agit d'organes mixtes plante-champignon, présents sur les racines et observables à la loupe (Figure 5D). Une ectomycorhize est formée par une seule espèce de champignon, et un système racinaire portant des centaines de mycorhizes peut abriter des centaines d'espèces de champignons. Ainsi, il a été montré qu'un individu de *Populus tremula* abritait 122 espèces de champignons ectomycorhiziens et les estimations vont jusqu'à plus de 200 (BAHRAM *et al.* 2011). Ces champignons appartiennent aux groupes des Ascomycètes et des Basidiomycètes. Les plus connus mais pas les plus communs sont les truffes, les amanites, les girolles, les cèpes et autres bolets. Ces champignons ne se maintiennent que s'ils sont associés à des arbres, ce qui explique qu'ils ne sont observables que dans les bois et forêts. Ils sont indispensables au bon développement de leurs hôtes et en retour, bénéficient de conditions de vie plus favorables. Ils améliorent la nutrition en eau et en sels minéraux des arbres et les protègent contre les organismes pathogènes du sol. Ils sont également capables de piéger et/ou dégrader divers polluants (métaux lourds, hydrocarbures). Ils sont donc indispensables aux plantes poussant en milieux urbains et contribuent à l'équilibre de l'écosystème.

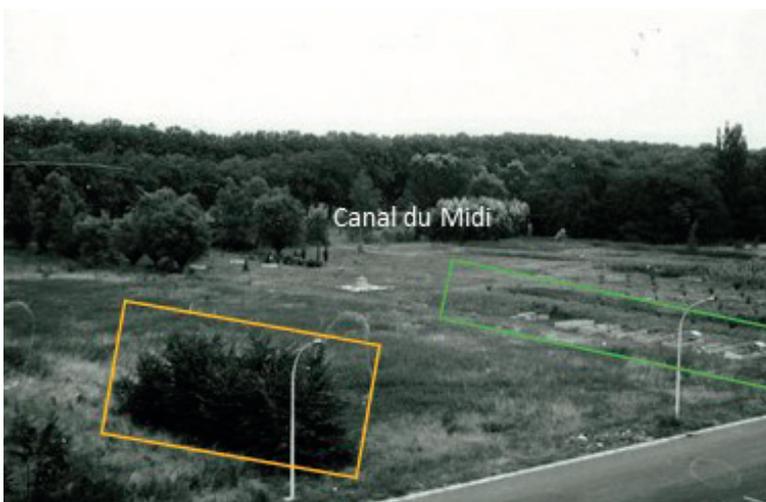


Fig. 2. Notre site d'étude en 1970. Photographie de Hélène Cups (fonds documentaire de l'Université Toulouse 3 et photographie aérienne de l'Institut Géographique National (<https://remonterletemps.ign.fr/>).

Cadres orange et vert : pour se repérer sur la photographie aérienne par rapport à la photographie à plat

Afin d’avoir une idée de la diversité des champignons ectomycorhiziens présents dans le bois de Pouciquot, dans la petite parcelle correspondant aux anciens jardins et pépinières, un suivi a été mis en place en 2017. Le travail a été réalisé avec les étudiants du master Biologie Végétale de l’Université Toulouse 3, de janvier 2017 à juin 2024.

III. Identification par barcoding et inventaire des champignons ectomycorhiziens

Pour identifier le champignon formant une ectomycorhize, le *barcoding*, technique d’identification moléculaire basée sur l’ADN, comparable à celles utilisées par la police scientifique, est mis en œuvre. Le marqueur choisi par la communauté internationale pour réaliser le *barcoding* des champignons est une portion de l’ADN ribosomique : l’*Internal Transcribed Spacer* (ITS) (SCHOCH *et al.* 2012). La séquence de cette portion d’ADN est identique ou quasiment chez les individus d’une même espèce tandis qu’elle varie entre espèces. Ainsi la séquence ITS est l’équivalent d’un code-barre (*barcode*) propre à chaque espèce. La comparaison de la séquence ITS obtenue pour une ectomycorhize avec une banque de séquences de référence peut permettre de donner un nom au champignon présent dans cette ectomycorhize.

Des racines ont été récoltées aux mois de janvier 2017 à 2022 (six prélèvements), au mois de juin 2018 et en janvier et juin 2024 (total de neuf prélèvements), sur différentes espèces

d’arbres : surtout sur *Populus alba* et un peu sur *Quercus pubescens*, *Carpinus betulus* et *Tilia* sp. Sur ces racines, préalablement lavées à grande eau, un total de 845 mycorhizes (687 en janvier et 158 en juin) a été prélevé sous loupe binoculaire. L’ADN total (plante + champignon) est extrait à l’aide du *WIZARD® genomic DNA purification kit* (Promega). La portion ITS est amplifiée par la technique de *Polymerase Chain Reaction* (PCR) à l’aide des amorces ITS1F (GARDES et BRUNS 1993) et ITS4 (WHITE *et al.* 1990). Les échantillons présentant un signal positif sont envoyés à la société Eurofins Genomics (Ebersberg et Cologne, Allemagne) pour être séquencés.

Les séquences sont éditées à l’aide du logiciel *BioEdit* (HALL 1999) et corrigées manuellement. Une analyse phylogénétique est menée à l’aide des logiciels MEGA X (KUMAR *et al.* 2018) et GENEIOUS® 6.1.8 (<https://www.geneious.com>) pour regrouper les séquences identiques ou très similaires. Ceci permet de délimiter des OTUs (Operational Taxonomic Unit) correspondant chacune à une espèce fongique dans cette étude. Pour identifier le champignon correspondant à chaque OTU, les séquences sont confrontées à la base de données GenBank (National Center for Biotechnology Information, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), via l’interface BLAST (ALTSCHUL *et al.* 1997). Le seuil choisi pour une identification au rang de l’espèce est de 99% d’identité. En dessous de ce seuil, l’identification est faite au rang du genre.

Ainsi, pour 546 mycorhizes sur 845 analysées (64.6%), le champignon a été identifié au moins au rang du genre. Pour 516

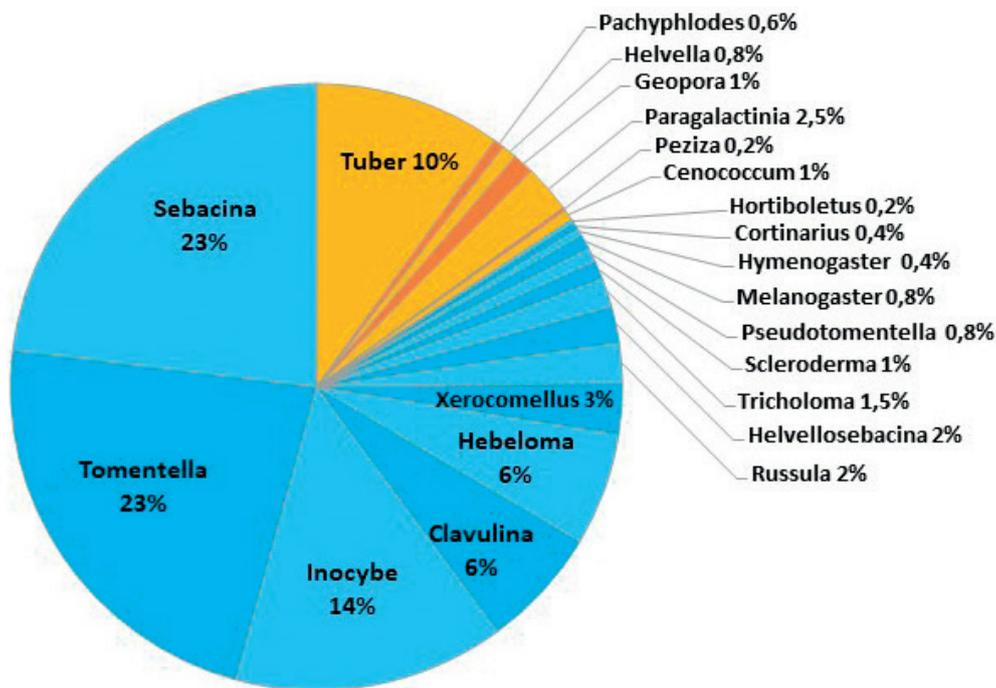


Fig. 3. Proportions des différents genres de champignons ectomycorhiziens trouvés dans le bois de Pouciquot, identifiés par une analyse moléculaire d’ectomycorhizes, exprimées en pourcentage de mycorhizes de chaque genre par rapport au nombre total (516) de mycorhizes analysées avec succès.

Orange : genres appartenant aux Ascomycètes
 Bleu : genres appartenant aux Basidiomycètes

mycorhizes, il s'agit bien de champignons ectomycorhiziens, appartenant majoritairement aux Basidiomycètes (435 mycorhizes) et le reste (81 mycorhizes) aux Ascomycètes. Les 30 autres mycorhizes abritent des champignons appartenant à l'ordre des Héliotiales (Ascomycètes), considérés comme des endophytes racinaires mais pas vraiment mycorhiziens.

Les champignons ectomycorhiziens trouvés se répartissent dans 21 genres (Figure 3) dont 14 genres de Basidiomycètes et sept d'Ascomycètes. En nombre de mycorhizes, les genres les plus présents sont *Sebacina* (119 mycorhizes), *Tomentella* (117 mycorhizes), *Inocybe* (74 mycorhizes), qui sont tous trois des Basidiomycètes et le genre *Tuber* (51 mycorhizes), qui appartient aux Ascomycètes.

En terme de diversité, 83 OTUs ont été délimitées dont 24 ont pu être identifiées au rang de l'espèce (*Clavulina iris* var *iris*, *Cenococcum geophilum*, *Geopora cervina*, *Hebeloma rostratum*, *Hebeloma mesophaeum*, *Hebeloma sacchariolum*, *Inocybe flavobrunnescens*, *Inocybe tiburtina*, *Inocybe semifulvata*, *Inocybe griseovelata*, *Inocybe hirtella*, *Pachyphlodes citrina*, *Paragalactinia succosa*, *Paragalactinia michelii*, *Peziza ostracoderma*, *Russula subterfucata*, *Russula amoenolens*, *Russula praetervisa*, *Sebacina cystidiata*, *Helvellosebacina helvelloides*, *Tricholoma scalpturatum*, *Tuber brumale*, *Xerocomellus sarnarii*, *Hortiboletus rubellus*). Des espèces fongiques ectomycorhiziennes observées dans le bois de Pouciquot sous leur forme sporophores (*Leccinum duriusculum*, *Inocybe geophylla*) ou en d'autres points du campus (*Paxillus ammoniavirescens*, *Lactarius semisanguifluus*) n'ont pas été retrouvées au niveau des racines échantillonnées.

Pour le genre *Tuber*, l'identification est possible au niveau de complexe d'espèces (*Tuber rufum* avec 2 OTUs et *Tuber maculatum*).

Pour les Basidiomycètes, le genre *Tomentella* est le plus diversifié (24 OTUs) puis ce sont les genres *Sebacina* (11 OTUs) et *Inocybe* (11 OTUs). Pour les Ascomycètes, les genres *Tuber* (5 OTUs) et *Paragalactinia* (3 OTUs) sont les plus diversifiés (Figure 4).

IV. Les champignons ectomycorhiziens du bois de Pouciquot : du classique et des originalités

Comme le bois de Pouciquot est tout à fait unique par son histoire et sa composition végétale, notre inventaire est difficilement comparable à d'autres études. Il est toutefois possible de dire que, malgré sa jeunesse et surtout sa situation en milieu urbain, qui laisse supposer une importante contamination des sols, il se révèle particulièrement riche en espèces de champignons ectomycorhiziens. En effet, un total de 83 OTUs représente une grande diversité, nettement supérieure à celle observée dans une plantation de peupliers sur sols contaminés aux métaux lourds de la région parisienne (9 OTUs) ou dans une forêt autrichienne de peupliers contaminée par du zinc et du cadmium (54 OTUs) (LACERCAT-DIDIER *et al.* 2016, KRATA *et al.* 2008). Dans ces deux études, les OTUs appartiennent, entre autres, aux genres *Peziza*,

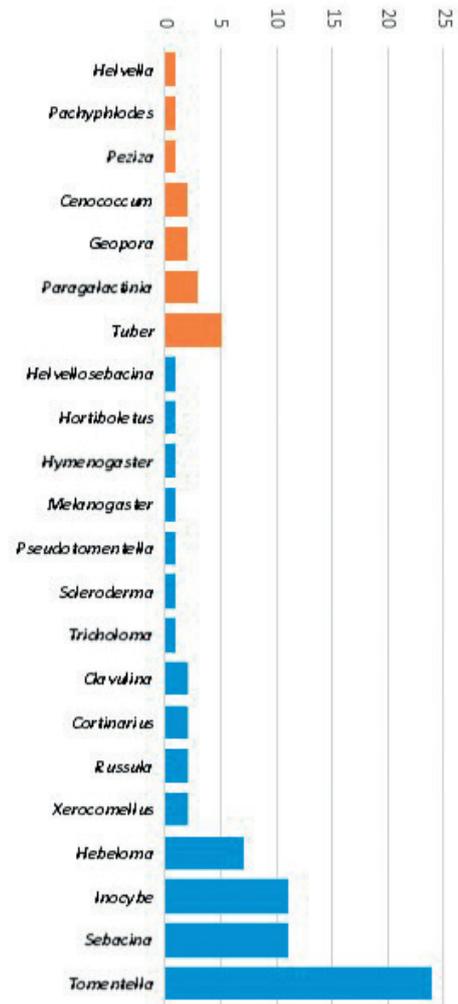


Fig. 4. Nombre d'espèces/OTUs par genres, délimitées par une analyse phylogénétique des séquences ITS. Orange : genres appartenant aux Ascomycètes. Bleu : genres appartenant aux Basidiomycètes.

Geopora, *Tuber*, *Hebeloma*, *Inocybe* et *Tomentella*, genres retrouvés dans le bois de Pouciquot. Cette diversité est cependant plus faible que celle retrouvée dans une forêt naturelle et ancienne d'Estonie où un peuplier peut abriter jusqu'à 200 OTUs (BAHRAM *et al.* 2011). Toutefois, plusieurs genres et certaines espèces observés dans cette forêt préservée sont les mêmes que ceux du bois de Pouciquot : *Cenococcum geophilum*, *Clavulina*, *Cortinarius*, *Geopora cervina*, *Hebeloma*, *Inocybe*, *Peziza*, *Russula* et surtout *Sebacina* et *Tomentella*, les deux genres qui, là aussi, sont les plus diversifiés.

Le genre *Tomentella* qui domine la communauté du bois (23% des mycorhizes et 29% des OTUs identifiées) est peu connu du grand public car les structures reproductrices sont peu visibles (Figure 5A). Pourtant, il représente jusqu'à 38% des espèces ectomycorhiziennes d'un système racinaire (ZHU *et al.* 2024). Du fait de ces sporophores ayant peu de caractères discriminants, tout comme dans le genre *Tuber* dont

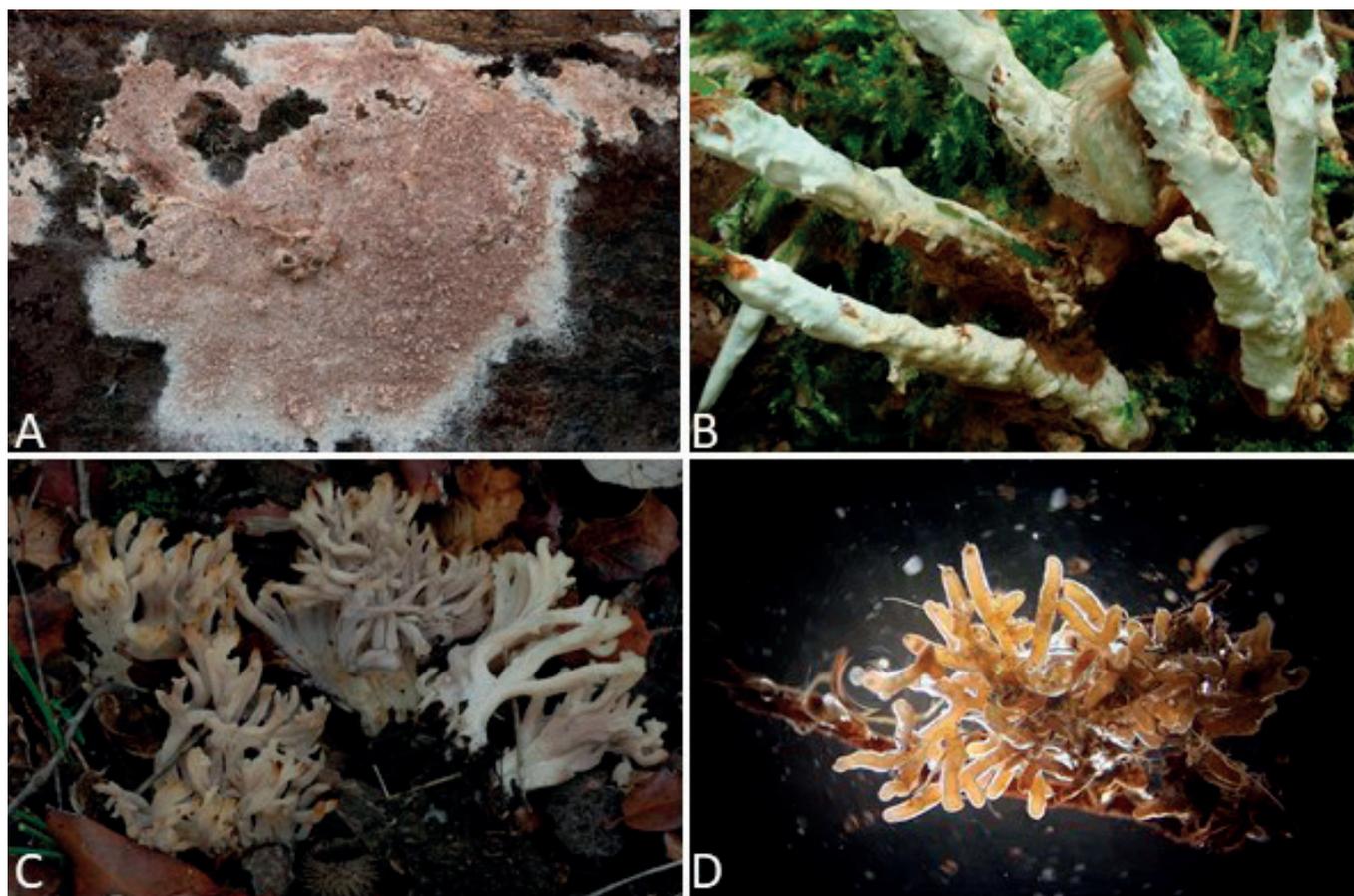


Fig. 5. Photographies de sporophores de

A : *Tomentella cinerascens* et B : *Sebacina incrustans* (François Valade, Société Mycologique de France)

C : *Clavulina iris* (Pierre-Arthur Moreau, université de Lille)

D : Bouquet d'ectomycorhizes de *Tillia* sp./*Xerocomellus sarnarii* (bois de Pouciquot, Christian Faucher, Université de Toulouse)

les sporophores sont souterrains, les espèces sont encore mal délimitées et c'est par des analyses phylogénétiques qu'il est possible d'en évaluer la diversité. Ainsi, une analyse génétique un peu ancienne estimait à au moins 180 le nombre d'espèces de truffes (BONITO *et al.* 2010). C'est sans doute plus. Ce genre à une répartition mondiale et est associé à un très large spectre d'hôtes mais l'écologie et la répartition des espèces sont encore peu documentées (BONITO *et al.* 2010).

Quant aux tomentelles, il est actuellement impossible d'en estimer le nombre d'espèces car chaque nouvelle étude de communautés fongiques ectomycorhiziennes basée sur du *barcoding* révèle de nouvelles séquences et donc de nouvelles OTUs qui sont potentiellement de nouvelles espèces. Le genre *Tomentella* est sans doute le genre de champignons ectomycorhiziens le plus présent dans le monde, en milieu tempéré mais aussi sous les tropiques. Par exemple, c'est le genre dominant et l'un des plus diversifiés dans une forêt de *Dicymbe corymbosa* (Fabacées, Césalpinoidées) du Guyana (SMITH *et al.* 2017). Ces champignons sont considérés comme des pionniers, qui vont coloniser les milieux les plus pauvres en nutriments pour les plantes. Comme ce aussi des décomposeurs très efficaces, ils vont nettement contribuer à la nutrition de la plante et vont ainsi l'aider à s'installer dans des milieux peu favorables.

Des sporophores de *Sebacina*, deuxième genre le plus présent, ont été observées dans le bois mais très rarement. En fait, ils ressemblent à un mouchoir en papier bien humide (Figure 5B) et ne sont donc pas identifiés comme appartenant à un champignon basidiomycète. Les *Sebacina* représentent un groupe très diversifié, initialement connu pour vivre en interaction avec les orchidées. En fait, ces champignons ont un très large spectre d'hôtes (OBERWINKLER *et al.* 2013) et il n'est pas surprenant de les retrouver dans cet écosystème. Les genres *Inocybe* et *Hebeloma* sont ubiquistes, très communs, même en ville où il est fréquent de les observer dans les parcs. Par exemple, sur le campus de l'université, une magnifique population de *Hebeloma crustuliniforme* réapparaît tous les ans sous le même cèdre. *Hebeloma mesophaeum*, *Tuber rufum*, *Geopora cervina* et *Peziza ostracoderma* sont des champignons communs mais ce qui est intéressant, c'est qu'ils ont également été trouvés par LACERCAT-DIDIER *et al.* (2016) associés à des peupliers en zone contaminée, en région parisienne. Il s'agit peut-être d'espèces bien adaptées à des sols pollués. Parmi les autres champignons identifiés au rang de l'espèce, *Cenococcum geophyllum* est sans doute l'espèce la plus commune, la plus abondante et la plus étudiée (BAHRAM *et al.* 2011). Elle ne produit pas de sporophores mais est très facilement reconnaissable sur les racines car elle forme

des mycorhizes noires, hérissées de longs poils. Dans notre étude, elle est cependant loin d'être majoritaire. *Tricholoma scalpturatum*, a été observé par ailleurs sur le campus, sous forme de sporophores. Cette espèce est commune en Europe, associée à différentes espèces d'arbres (JARGEAT *et al.* 2010). Ce champignon est commun dans les environs du bois, puisque nous l'avons également observé plusieurs fois à Ramonville-Saint-Agne. A l'inverse, *Pachyphlodes citrina* est une espèce rarement observée, classée sur la liste rouge des champignons menacés d'Auvergne-Rhône-Alpes (source INPN). Il forme des sporophores souterrains, ressemblant à des truffes, qui sont consommés par les animaux qui assurent ainsi la dispersion de l'espèce. *Hortiboletus rubellus* est un très joli bolet, couleur framboise, qui comme son nom l'indique (*hortus* = jardin) est un habitué des lieux anthropisés. Il a par exemple été retrouvé associé à des tilleuls, dans la ville de Padoue, en Italie (ALZETTA *et al.* 2012).

Toutes ces espèces de champignons ont participé à la colonisation du bois de Pouciquot. Ils ne viennent sans doute pas de loin car le parc du château de Lespinet-Lasvignes est planté d'arbres plus que centenaires dont les racines abritent sans aucun doute une grande diversité de champignons ectomycorhiziens. Ils se sont propagés en même temps que leurs hôtes et ont contribué à l'installation des peupliers et chênes.

Par contre, la présence de *Xerocomellus sarnarii* et de *Clavulina iris*, cette dernière retrouvée quasiment tous les ans, nous a beaucoup surpris. Ce sont des espèces décrites récemment et dont il n'existe que quelques observations en Europe, associées au chêne pubescent, au chêne vert et au chêne liège. Le GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*), système mondial d'information sur la biodiversité, répertorie 66 occurrences de *X. sarnarii*, en Italie, Grèce, Géorgie, France, Chypre, Iran, Portugal (<https://www.gbif.org/fr/species/7425837>). En France, il a été observé à Pézilla-de-Conflent, dans les Pyrénées-Orientales (séquence KM247624, source GenBank) et à Mérindol, dans le Vaucluse (séquence MH011926, spécimen PAM11112710, associé à *Q. pubescens*, source GBIF). Il est très étonnant de le trouver dans le bois de Pouciquot car d'après les auteurs de cette espèce, ce champignon préfère les zones non perturbées (ARIYAWANSA *et al.* 2015).

Toujours d'après le GBIF (<https://www.gbif.org/species/10847941>), il y a actuellement 145 observations référencées pour *Clavulina iris* dans toute l'Europe (Espagne, Italie, Grèce, Israël, Iran, Montenegro, Turquie, Chypre, Estonie, République Tchèque, ...). D'après les auteurs de cette espèce, la variété *iris* serait caractéristique de l'est de la Méditerranée alors que la variété *occidentalis* serait présente à l'ouest et au nord. En France, *C. iris* var *occidentalis* a été observée en Corse, dans le Vaucluse et à Pézilla-de-Conflent, associée au chêne vert (CROUS *et al.* 2019). Mais c'est la première observation de *C. iris* var *iris*.

Donc, en France, ces deux espèces n'avaient été jusqu'à présent observées qu'en région méditerranéenne, sous chênes verts et pubescents. Dans notre étude, elles sont *a priori* associées au peuplier blanc, l'essence que nous avons ciblée dans la plupart des travaux réalisés. En 2024, il a également

été montré que *X. sarnarii* est associé au tilleul (Figure 5D). Ces espèces fongiques ont certainement un spectre d'hôtes plus large que celui pressenti et pourraient s'associer à des essences peu sélectives quant à leurs partenaires fongiques.

Le développement rapide des chênes verts ces dernières années dans le bois de Pouciquot illustre bien l'évolution du climat toulousain vers une dominance de l'influence méditerranéenne, ce que confirme la présence de *C. iris* var *iris* et *X. sarnarii*. La question qui se pose est : comment ces deux espèces se sont-elles retrouvées à Toulouse ?

V. Conclusion

Pour conclure, en 8 ans de suivi dans une petite parcelle du bois de Pouciquot, nous avons mis en évidence une communauté fongique ectomycorhizienne très diversifiée alors que ce bois est âgé de moins de 50 ans. Les champignons s'installent donc en même temps que les arbres et sont indispensables au processus de colonisation d'espaces ouverts et peu accueillants pour les plantes. Chaque année, de nouvelles espèces et/ou OTUs étaient identifiées et il est certain que si nous élargissons le terrain d'étude, d'autres espèces seront mises en évidence. A l'échelle des genres, cette communauté semble peu originale mais, au rang de l'espèce, *X. sarnarii* et *C. iris* var *iris* constituent la surprise la plus intéressante. Ils sont une preuve de plus d'une influence méditerranéenne de plus en plus nette à Toulouse.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Christian Faucher, maître de conférences au CRBE (Université Paul-Sabatier) pour sa magnifique photo de mycorhizes, Pierre-Arthur Moreau, maître de conférences à la Faculté de Pharmacie de l'université de Lille et François Valade, de la Société Mycologique de France pour leurs photos. Un grand merci à Nathalie Séjalon-Delmas, directrice du Jardin Botanique Henri-Gaussen (Toulouse) pour m'avoir invitée à rédiger cet article et pour la photographie de la pépinière en 1970.

RÉFÉRENCES

- ALTSCHUL, S.F., T.L. MADDEN, A.A. SCHÄFFER, J. ZHANG, Z. ZHANG, W. MILLER & D.J. LIPMAN. 1997. – Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25: 3389 - 3402.
- ALZETTA, C., L. SCATTOLIN, C. SCOPEL & S.M. ACCORDI. 2012. – The ectomycorrhizal community in urban linden trees and its relationship with soil properties. *Trees*, 26: 751 - 767.
- ARIYAWANSA, H.A., K.D. HYDE, S.C. JAYASIRI *et al.* 2015. – Fungal diversity notes 111–252 – taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal Diversity*, 75: 27 - 274.
- BAHRAM, M., S. PÖLME, U. KÖLJAG & L. TEDERSOO. 2011. – A single European aspen (*Populus tremula*) tree individual may potentially harbour dozens of *Cenococcum geophyllum* ITS genotypes and hundreds of species of ectomycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology*, 75: 313 - 320.

- BONITO, G.M., A.P. GRYGANSKYI, J.M. TRAPPE & R. VILGALYS. 2010. – A global met-analysis of *Tuber* ITS rDNA sequences: species diversity, host associations and long-distance dispersal. *Molecular Ecology*, 19: 4994 -5008.
- CAZABONNE, J., H. COCHARD, H. GRYTA & P. JARGEAT. 2021. – Une nouvelle récolte du rare *Mycena chlorinosma* (Agaricales, Mycenaceae) en France. *Bulletin de la Société Mycologique de France*, 137 : 85 - 99.
- CROUS, P.W. *et al.* 2019. – Fungal Planet description sheets: 951 - 1041. *Persoonia*, 43: 223 - 425.
- GARDES, M. & T.D. BRUNS. 1993. – ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae. *Molecular Ecology*, 2: 113 - 118.
- HALL, T. A. 1999. – BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41: 95 - 98.
- JARGEAT, P., F. MARTOS, F. CARRICONDE, H. GRYTA, P.-A. MOREAU & M. GARDES. 2010. – Phylogenetic species delimitation in ectomycorrhizal fungi and implications for barcoding: the case of the *Tricholoma scalpturatum* complex (Basidiomycota). *Molecular Ecology*, 19: 5216 - 5230.
- KRPATA, D., U. PEINTNER, I. LANGER, W.J. FITZ & P. SCHWEIGER. 2008. – Ectomycorrhizal communities associated with *Populus tremula* growing on a heavy metal contaminated site. *Mycological Research*, 112: 1069 - 1079.
- KUMAR, S., G. STECHER, M. LI, C. KNYAZ & K. TAMURA. 2018. – MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35: 1547 - 1549.
- LACERCAT-DIDIER, L., C. BERTHELOT, J. FOULON, A. ERRARD, E., MARTINO, M. CHALOT & D. BLAUDEZ. 2016. – New mutualistic fungal endophytes isolated from poplar roots display high metal tolerance. *Mycorrhiza*, 26 : 657 - 671.
- NEWBOUND, M., M.A. MCCARTHY & T. LEBEL. 2010. – Fungi and the urban environment : A review. *Landscape and Urban Planning*, 96: 138 -145.
- OBERWINKLER, F., K. RIESS, R. BAUER, M.-A. SELOSSE, M. WEISS, S. GARNICA & A. ZUCCARO. 2013. – Enigmatic sebacinales. *Mycological Progress*, 12 : 1-27.
- POTTIER, G. 2018. – Bois de Pouciquot, ZNIEFF continentale de type I. Inventaire national du patrimoine naturel. INPN, SPN - Muséum National d'Histoire Naturelle, 6 p. <https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/730030559.pdf>
- SCHOCH, C.L., K.A. SEIFERT, S. HUHDORF, V. ROBERT, J.L. SPOUGE, A. LEVESQUE, & W. CHEN. Fungal Barcoding Consortium. 2012. – Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 16: 6241 - 6246.
- SMITH, M.E., T.W. HENKEL, G.C. WILLIAMS, M.C. AIME, A.K. FREMIER & R. VILGALYS. 2017. – Investigating niche partitioning of ectomycorrhizal fungi in specialized rooting zones of the monodominant leguminous tree *Dicymbe corymbosa*. *New Phytologist*, 215: 443 - 453.
- WHITE, T.J., T. BRUNS, S.J.W.T LEE & J.L. TAYLOR. 1990. – Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, New York.
- ZHU, Y.-Q., X.-L. LI, D.-X. ZHAO, Y.-L. WEI & H.-S. YUAN. 2024. – Four new species of *Tomentella* (Telephorales, Basidiomycota) from subtropical forest in southwestern China. *Journal of Fungi*, 10: 440.

Lithofaciès et traces fossiles des Grès de Celles dans leur localité-type (Flysch santono-campanien, zone nord-pyrénéenne, Ariège, France)¹

par Elie-Jean Debroas

36 chemin de la Fontaine Saint-Sernin, 31670 Labège. E-mail : elie.debroas@orange.fr

RÉSUMÉ

Cette première analyse sédimentologique détaillée des Grès de Celles dans leur localité type précise d'abord les caractères de leurs lithofaciès et confirme qu'ils constituent bien le flysch et la série à turbidites qui étaient respectivement annoncés et admis depuis 1933 et 1972. Leurs nombreux lithofaciès, une vingtaine, montrent qu'ils résultent non seulement d'une sédimentation catastrophique prédominante à l'origine de turbidites pélitiques à gréseuses, mais également d'une sédimentation permanente subordonnée par décantation d'hémipélagites carbonatées, les deux étant parfois resédimentées sous forme de slumps et de débrites dans lesquelles peuvent apparaître des sédiments extra-bassinaux plus anciens (calcaires et marnes de plate-forme). Certains de ces faciès indiquent que cette sédimentation s'est effectuée entre le niveau de compensation des carbonates et la base d'action des vagues de tempête. Leurs associations sont semblables à celles des faciès de frange et de lobe de dépôt des systèmes sableux et boueux anciens de milieu marin profond. Cette analyse montre ensuite qu'aux deux seules traces fossiles déjà connues de ce flysch, il faut rajouter une vingtaine de nouvelles parmi lesquelles les unes sont propres aux sédimentations hémipélagique et turbiditique en milieu marin profond alors que les autres sont ubiquistes mais souvent associées aux précédentes.

Mots clés : Flysch, turbidites, hémipélagites, traces fossiles, Santonien-Campanien, Pyrénées, Grès de Celles, France

Lithofacies and fossil traces of the Grès de Celles in their type locality (Santonian-Campanian flysch, northern pyrenean zone, Ariège, France)

ABSTRACT

This first detailed sedimentological analysis of the Grès de Celles in their type locality first clarifies the characters of their lithofacies and confirms that they do indeed constitute the flysch and the turbidite series that were respectively announced and accepted since 1933 and 1972. Their numerous lithofacies, about twenty, show that they result not only from a predominant catastrophic sedimentation responsible for pelitic to sandstone turbidites but also from a permanent sedimentation subordinated by settling of carbonate hemipelagites, both of which are sometimes resedimented in the form of slumps and debrites in which older extra-basin sediments (limestone and platform marl) may appear. Some of them indicate that this sedimentation occurred between the carbonate compensation level and the base of action of the storm waves. Their associations are similar to those of fringe and depositional lobe facies of ancient deep marine sand and muddy systems. This analysis then shows that to the only two fossil traces already known of this flysch, we must add about twenty new ones, some of which are specific to hemipelagic and turbiditic sedimentations in a deep marine environment, while the others are ubiquitous but often associated with the previous ones.

Key words : Flysch, turbidites, hemipelagites, trace fossils, Santonian-Campanian, Pyrénées, Grès de Celles, France

I. Introduction

Les Grès de Celles ont été définis à la fin du XIX^e siècle (GARRIGOU 1865 et 1866). Ils ont ensuite été tenus pour marins, d'abord littoraux d'après leurs débris de bois, leurs « *Nereites* » et une « lumachelle d'huîtres » (CAREZ 1903-1909, fasc. III), puis profonds de type flysch par leur analogie avec celui de la Maurienne (RAMIÈRE DE FORTANIER 1933) et enfin de type série à turbidites par analogie avec celles décrites dans le Flysch à

fucoides gréseux de Saurat situé à une quinzaine de kilomètres au sud-ouest (LANAU 1971, SOUQUET & LANAU 1972). Mais depuis, si des indications locales fragmentaires sur certains de leurs nombreux caractères sédimentologiques étaient fournies par plusieurs travaux essentiellement cartographiques, micropaléontologiques, stratigraphiques et structuraux sur la région de Celles (GUBLER & VATAN 1943, TOMASI 1965, CISZAK 1973, BILOTTE 1985, BILOTTE *et al.* 1987), aucune analyse

¹ Accepté le 14 octobre 2024

détaillée ne leur avait été consacrée pour inventorier leurs caractères sédimentologiques, les décrire et les interpréter. La validité de l'analogie unanimement admise entre leurs propres conditions de sédimentation et celles du flysch en général avait même été questionnée « *En adoptant le terme de faciès flysch, nous avons voulu désigner ces terrains crétacés supérieurs par leur caractéristique essentielle : cela implique-t-il que nous ayons des conditions de sédimentation analogues à celles qui régissent le dépôt du flysch en général ou que nous ayons des conditions plus particulières ? Nous manquons d'éléments pour résoudre ce problème sédimentologique qui sort d'ailleurs du cadre de notre travail* » (TOMASI 1965, p. 135).

Cette première analyse sédimentologique détaillée des Grès de Celles et de leur substratum de Flysch gris a précisément pour objectif de fournir les données nécessaires à la résolution de leurs conditions de sédimentation locales. Elle a été effectuée de 1995 à 1999 sur leur coupe type de Celles qui est la plus complète bien que ses affleurements discontinus exposent seulement un quart de leur épaisseur totale (TISSEYRE 1996, KOËSS 1996, THIVET 1997). Le lever des profils sédimentologiques des onze meilleurs affleurements, de 8 à 38 m d'épaisseur, disponibles sur cette coupe a permis d'effectuer les observations nécessaires pour préciser la nature et les mécanismes de transport et de dépôt de leurs lithofaciès, l'orientation de leurs paléocourants, la nature des surfaces et des produits des érosions locales, l'association de leurs lithofaciès en flyschs péliito-gréseux, gréso-pélitique et gréseux et les milieux de dépôt correspondant ainsi que la nature et l'intérêt paléocologique de leurs traces fossiles.

II. Les Grès de Celles

1. Contexte géologique régional

Ce flysch gréseux santono-campanien est le dernier des flyschs qui se sont accumulés dans le sillon nord-pyrénéen des flyschs autrement dit à la surface de la frontière des plaques Europe et Ibérie. Il succède au Flysch noir albo-cénomaniens, au Flysch gris céno-mano-turonien et au Flysch à fucoïdes turono-coniacien et il se distingue de ces deux derniers flyschs qui sont carbonatés, par sa composition silico-clastique témoin d'un changement majeur de leurs sources d'alimentation. Il est également postérieur au magmatisme alcalin, au métamorphisme thermique « pyrénéen » et aux premiers plissements synsédimentaires puis synschisteux qui se développent dans la frontière Europe/Ibérie au cours de son fonctionnement en transtension sénestre entre 107 et 85 Ma. Par contre, conformément à son âge à cheval sur la limite Santonien/Campanien établie à 83.6±0.2 Ma (Commission Stratigraphique Internationale 2023), ce dernier flysch nord-pyrénéen précède puis accompagne les tout premiers stades de l'inversion structurale fini crétacée en compression subméridienne de cette frontière qui à partir de 85 Ma va déterminer son écrasement et son lent soulèvement responsables d'un déplacement de la sédimentation vers le Nord dans le sillon sous-pyrénéen campano-maestrichtien qui s'individualise sur le bord méridional subsident de la plaque Europe (DEBROAS 1992, DEBROAS & AZAMBRE 2012).

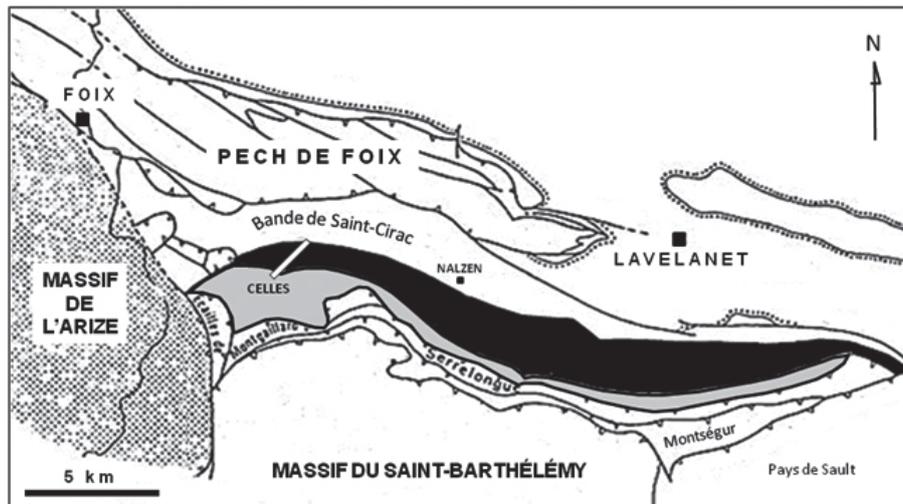
2. Localisation, lithostratigraphie, âge et conditions d'observation

Les Grès de Celles affleurent essentiellement dans la partie médiane du « bassin de Nalzen », la partie déprimée de la zone nord-pyrénéenne ariégeoise qui sépare le massif paléozoïque du Saint-Barthélémy, au sud, et le chaînon mésozoïque du Pech de Foix, au nord. Ce sont les terrains les plus récents de la « lame de Celles-Montferrier », l'unité structurale médiane du bassin de Nalzen, dans laquelle ils s'étirent sur une vingtaine de kilomètres de long pour une largeur variable de 3000 à quelques centaines de mètres (BILOTTE 1975, FOIX 1986 et 1988, LAVELANET 1984 et 1988, BILOTTE *et al.* 1987, fig. 1). Mais, dans cette région verdoyante de basses montagnes boisées, dont l'altitude varie de 500 à 987 m, leurs affleurements naturels (lit des ruisseaux) ou artificiels (talus des routes et des pistes) sont rares, généralement de dimensions restreintes et de qualité médiocre (dépôts superficiels, altération). Les carrières qui les ont exploités près de Celles jusqu'au début du XX^e siècle sont depuis longtemps abandonnées. Les affleurements étudiés il y a 30 ans sont aujourd'hui couverts de végétation.

Depuis les premières observations dont ils ont été l'objet, leur constitution et leur âge ont donné lieu à d'innombrables interprétations litho et biostratigraphiques dont les plus récentes, de 1933 à 1993, ont été comparées (BILOTTE 2011). La présente étude utilise toutefois une interprétation ultérieure (BILOTTE & DEBROAS *in* MONOD *et al.* 2014). Pour leur lithostratigraphie, elle fait correspondre les Grès de Celles au « terrain composé d'alternance de grès et d'argiles schisteuses... dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à deux mètres » que l'on rencontre « en allant de Celles vers l'Est... jusqu'à l'entrée de la plaine de Leychert » conformément à leur définition originelle (GARRIGOU 1865 et 1866). Pour leur biostratigraphie, alors qu'à la suite de nombreux travaux sur leur microfaune essentiellement planctonique ils étaient attribués au Coniacien - Santonien - Campanien (GUBLER & VATAN 1943, CASTERAS 1957, TOMASI 1965, CISZAK 1973, BILOTTE 1985, 2011, BILOTTE *et al.* 1987), elle les attribue maintenant au Santonien moyen-supérieur pour tenir compte du rajeunissement de leur base au Santonien moyen imposé par une révision de l'extension stratigraphique du genre *Sigalia* réduite au seul Santonien moyen-supérieur (NEDERBRAGT 1991, ROBASZYNSKI & CARON 1995). Du point de vue structural, leur coupe-type de Celles les expose en série renversée et moyennement pentée vers le sud-ouest entre les « Marnes de Péchiquelle » d'âge turonien à coniacien et sans doute santonien inférieur qu'ils surmontent normalement, et le chevauchement de Nalzen qui les sépare tectoniquement des « Marnes de Saint Cirac » d'âge santono-campanien. Les trois ensembles suivants s'y superposent (fig. 2) :

- des **Grès de Celles inférieurs** (ex « Grès de Celles » proprement dits) qui sont épais de 300 à 400 m et attribués au Santonien moyen-supérieur ;

- des **Grès de Celles moyens**, qui sont épais de quelques dizaines de mètres et qui associent un « mégaslump » constitué essentiellement par des Grès de Celles resédimentés et latéralement vers l'Est par un « mégaslide » constitué d'olistolites (mégablocs) resédimentés de calcaire et de



Couverture des Flyschs nord-pyrénéens

- Maestrichtien supérieur discordant et Cénozoïque
- Campano-Maestrichtien de la bande de Saint-Cirac

Flyschs du sillon nord-pyrénéen (Bassin de Nalzen)

- Grès de Celles santonien moy.-campanien *p.p.* | **Lame de Celles-Montferrier**
- Flysch gris turono-santonien inf.
- Flysch noir albo-cénomaniens des écaïlles de Montgaillard-Serre-longue

Substratum des Flyschs nord-pyrénéens

- Mésozoïque anté-flysch du Pech de Foix, des écaïlles de Montségur et du P. de Sault
- Paléozoïque et cristallophyllien des massifs nord-pyrénéens

Fig. 1. Localisation de la localité type des Grès de Celles

marnes de plate-forme antérieurs au Grès (BILOTTE 2011) ;
 – des **Grès de Celles supérieurs** (ex « Grès de la Jourdane », ou encore « Grès de Nalzen ») qui sont épais de 300 à 400 m et attribués au Santonien supérieur – Campanien *p.p.*

Ces grès qui avaient donc été attribués à un flysch grâce à leur « analogie avec le flysch de Maurienne » (RAMIÈRE DE FORTANIER 1933), ont ensuite été considérés comme un « Flysch gréseo-marneux » (TOMASI 1965) puis comme un « Flysch gréseux » (FOIX 1988). Ils étaient alors assimilés au « Flysch à fucoides » turono-coniacien de la zone nord-pyrénéenne centrale (SOUQUET 1969, SOUQUET & LANAU 1972, BILOTTE *et al.* 1987) coniacien-santonien inférieur ? Cependant cette assimilation s’est avérée obsolète avec le rajeunissement ultérieur de leur base au Santonien moyen-supérieur qui a fait apparaître, d’une part, que compte tenu de leur nouvel âge les Grès de Celles ne sont pas contemporains du Flysch à fucoides mais postérieurs, et, d’autre part, que Flysch gris et Flysch à fucoides qui à l’Ouest de l’Ariège se superposent sous les Grès de Celles sont également des équivalents latéraux puisque ici même c’est le Flysch gris localement représenté par les Marnes de Péchiquelle d’âge turonien à coniacien-santonien inférieur qui est surmonté directement par les Grès de Celles.

A défaut d’une coupe continue des 800 m de ce flysch

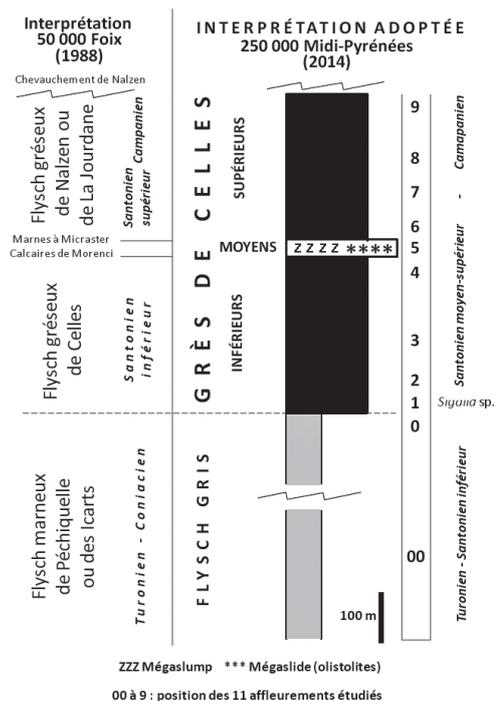


Fig. 2. Lithostratigraphie des Grès de Celles et position stratigraphique des 11 affleurements analysés

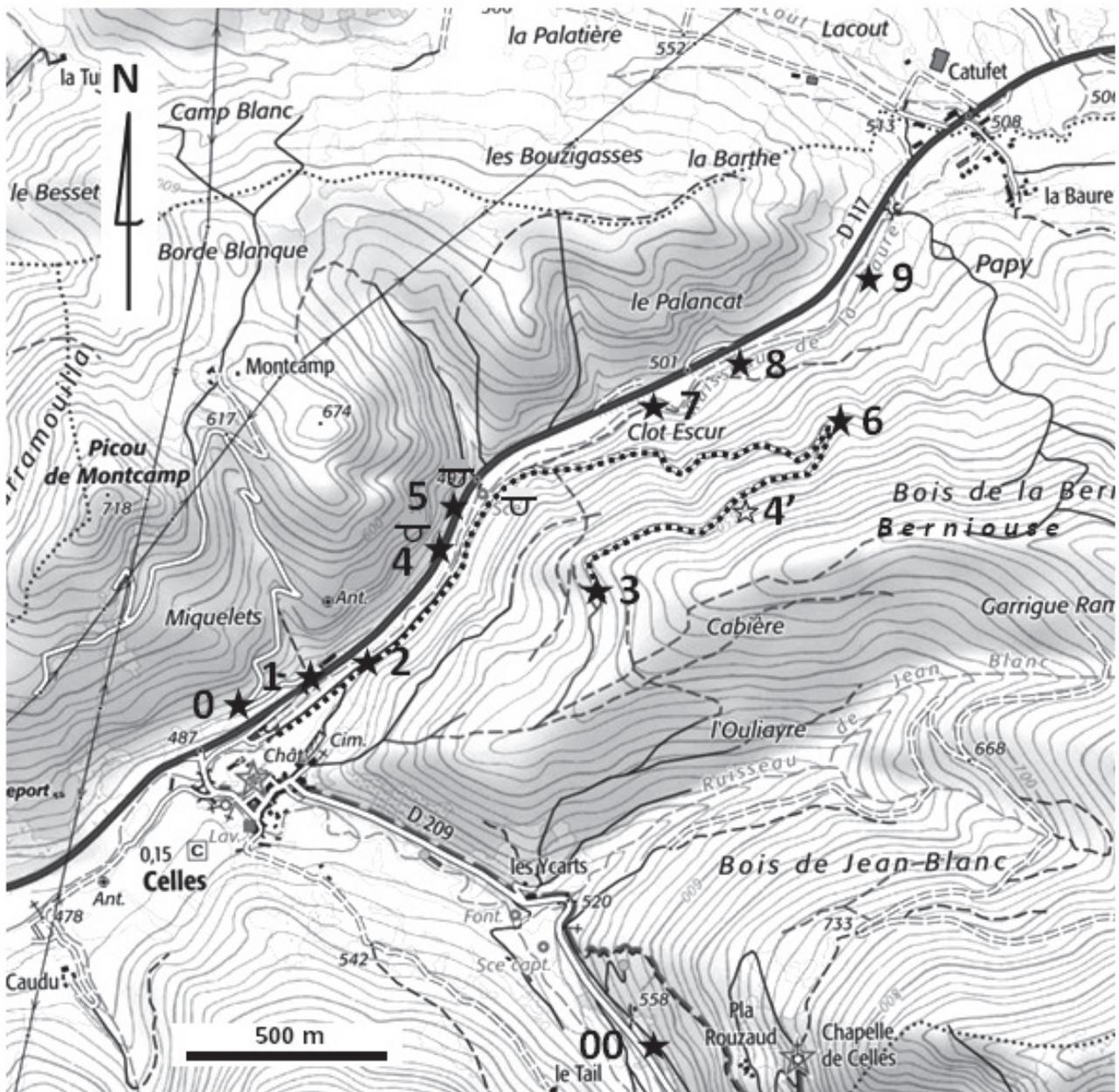


Fig. 3. Localisation de la coupe des Grès de Celles et des affleurements analysés sur le fond topographique du Géoportail.

gréseux qui permettrait de suivre avec précision son l'évolution verticale, cette coupe de Celles est la seule qui permette au moins d'entrevoir la succession verticale discontinue de neuf affleurements de 8 à 38 m d'épaisseur respectivement situés dans le lit du ruisseau de La Baure (affl. 2, 7, 8 et 9) puis sur les talus de la RD 117 de Foix à Lavelanet (affl. 4 et 5), du départ de la route de Celles à Montcamp (affl. 1 ; Pl. 1, fig. 1) et de la piste du Bois de la Berniouse (affl. 3 et 6 ; fig. 2 et 3). Sur la même piste un affleurement 4' de moins bonne qualité a également été plus sommairement examiné. L'épaisseur cumulée de ces affleurements atteint 200 m soit seulement un quart des 800 m de l'épaisseur totale de la formation. Enfin, pour permettre une comparaison avec le Flysch gris sous-jacent, deux affleurements de ce dernier ont également été examinés, l'un dans sa partie moyenne sur la RD 209 de

Celles à Freychenet (affl. 00) et l'autre à son sommet sur route de Celles à Montcamp (affl. 0).

3. Caractères lithologiques généraux

3.1. Grès

Gris, de teinte claire et à patine superficielle jaunâtre, ce sont des quartzarénites micacées dont les quartz mono ou polycristallins sont associés à d'abondants micas, de rares grains de feldspath et de micrites à Pithonelles. Leur ciment est calcaire. Divers minéraux lourds d'origine granitique y ont été signalés (zircon, tourmaline, rutile, grenat dans les Grès inférieurs et les mêmes à quelques variations près avec l'apparition de minéraux d'origine métamorphique vers l'ouest (staurotide, andalousite, disthène) dans les Grès supérieurs (GUBLER & VATAN 1943). Leurs grains subanguleux

ou anguleux sont fins à grossiers et ils peuvent parfois atteindre la taille des granules et des graviers. Par ailleurs, le Flysch gris sous-jacent se distingue des Grès de Celles par ses calcarénites.

3.2. Marnes

Ce sont essentiellement des marnes sombres parfois légèrement silteuses et le plus souvent esquilleuses (Pl. 1, fig. 2). Elles renferment de 15 à 30 % de quartz, 40 à 50 % de calcite, le reste étant de l'argile (TOMASI 1965).

3.3. Calcaires

Il s'agit essentiellement de marno-calcaires gris clairs relativement indurés et compacts (Pl. 1, fig. 2) ou bien parfois de calcaires marneux de même teinte mais plus indurés ou encore de micrites, gris-beige assez clair et à patine d'altération plus ou moins brune ou rougeâtre.

4. Analyse des faciès

Les onze affleurements précédents ont fait l'objet d'une analyse sédimentologique détaillée de leur faciès sur le terrain. Les caractères de chacun des bancs d'un affleurement ont ainsi été observés séparément et dessinés schématiquement pour dresser son « profil sédimentologique » conformément à la méthode d'analyse préconisée par BOUMA (1962). Ces profils illustrent donc graphiquement l'ensemble des caractères visibles de chacun des bancs de l'affleurement, à savoir dans le meilleur des cas : son épaisseur, sa lithologie, sa granulométrie et son évolution verticale, sa géométrie externe, sa structure interne, ses traces de paléocourants, ses fossiles et traces fossiles (fig. 4).

Sept lithofaciès principaux ont ainsi pu être distingués et désignés par leur lithologie en s'inspirant de la nomenclature descriptive de GHIBAUDO (1992). Certains d'entre eux ont été subdivisés en sous faciès dont les caractères ont permis de reconnaître les diverses séquences de BOUMA (1962) et certains des faciès de Mutti & Ricci Lucchi (MUTTI & RICCI LUCCHI 1975, MUTTI 1979), de Pickering (PICKERING *et al.*, 1989) ou de Stow (STOW *et al.* 1996). Leurs modes de transport et de dépôt ont enfin pu être envisagés d'après les interprétations admises par les mêmes auteurs.

4.1. Les lithofaciès

4.1.1. Marno-calcaires et calcaires marneux (C)

Leurs bancs clairs sont tabulaires et d'une épaisseur très mince à moyenne (Pl. 1, fig. 2). Elle varie de 2 à 15 cm dans les Grès de Celles inférieurs et de 1 à 3 cm dans les Grès de Celles supérieurs. Massifs, peu ou moyennement bioturbés et à microfaune marine planctonique parfois associée à de rares ostracodes, ils sont assimilables au faciès G de Mutti & Ricci-Lucchi (fig. 4), au faciès G2 de Pickering et aux hémipélagites de Stow. Ces sédiments « mixtes » résultent vraisemblablement du mélange de boues carbonatées biochimiques d'origine planctonique qui se sont décantées depuis les abords de la surface, et de boues terrigènes qui sont apportées par des courants de surface ou des courants de turbidité de faible concentration. La présence de ces hémipélagites est quasiment permanente mais elle est nettement plus importante dans les

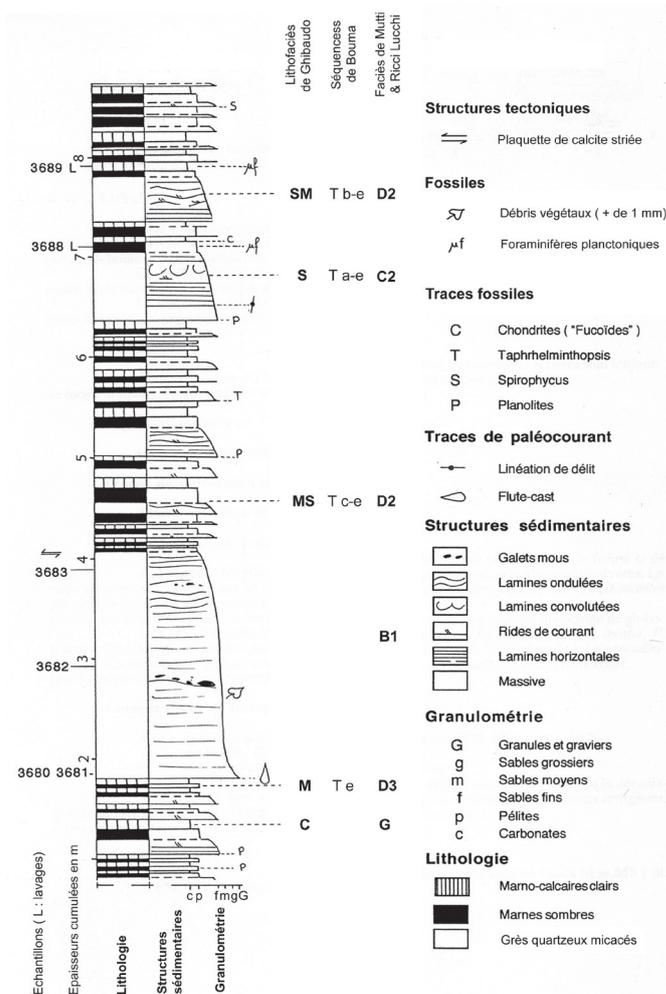


Fig. 4. Profil sédimentologique de la partie inférieure de l'affleurement 1

Grès de Celles inférieurs que dans les supérieurs où elles sont très faiblement représentées voire absentes. Elles indiquent un dépôt sous-marin au-dessus du niveau de compensation des carbonates qui pour l'Atlantique nord sur lequel s'ouvre le sillon des flyschs nord-pyrénéens, est estimé à une profondeur d'environ 2500 m vers 85 Ma soit au Santonien (KUHN & MOULLADE 1991). Elles sont le plus souvent interstratifiées avec les faciès M et MS des Grès de Celles inférieurs (fig. 4, 5).

4.1.2. Marnes (M)

Elles forment des couches sombres tabulaires dont l'épaisseur très mince à mince varie de 2 à 10 cm dans les Grès de Celles inférieurs et de 1 à 8 cm dans les Grès de Celles supérieurs. Bien qu'essentiellement massives, elles présentent parfois quelques lamines horizontales de grès fins au-dessus de leur surface basale. Elles peuvent ainsi être rapprochées des séquences Te et parfois Td-e de Bouma équivalentes du faciès D3 de Mutti & Ricci Lucchi (fig. 4). Elles correspondent donc vraisemblablement à des sédiments transportés en suspension turbulente par des courants de turbidité de faible concentration, déposés par des courants de traction d'énergie décroissante

puis, à l'arrêt de ces derniers, par décantation.

4.1.3. Séquences marno-sableuses (MS)

Ces séquences aux couches tabulaires ont une épaisseur qui varie de 3 à 25 cm dans les Grès de Celles inférieurs et 1 à 58 cm dans les supérieurs. Entre leurs discontinuités granulométriques basale et sommitale planes elles associent des grès fins à moyens diversement laminés auxquels succèdent progressivement des marnes sombres massives toujours plus abondantes que les grès (soit un rapport sable/argile inférieur à 1). Les lamines des grès peuvent être soit uniquement horizontales (d), soit à rides de courant puis horizontales (cd), soit horizontales inférieures, à rides de courant et ondulées à horizontales supérieures (bcd). Elles correspondent à des séquences de Bouma tronquées par la base Td-e, Tc-e et Tb-e et au faciès D2 de Mutti & Ricci Lucchi (fig. 4). Elles résultent donc d'un transport par courant de turbidité de faible concentration et d'un dépôt par courant tractif d'énergie décroissante (lamines horizontales b d'écoulement de haut-régime ; rides de courant c et lamines horizontales d d'écoulement de bas régime décroissant) puis à l'arrêt par décantation.

Sur l'affleurement 4 inférieur et sur son équivalent 4' de la piste du Bois de La Bernieuse, ainsi que sur l'affleurement 7 de rares bancs minces de grès à rides et au sommet ondulé sont associés avec des marnes massives mais sans passage continu entre les deux. Dans le contexte, la nature des rides n'étant pas précisée, une telle association qui paraît analogue au faciès E de Mutti et Ricci Lucchi évoque les dépôts résiduels de courant tractif après le *by-pass* d'un courant de turbidité. Cependant, elle pourrait également correspondre à des sédiments remaniés par des vagues de tempêtes (cf séquences sableuses S) ?

4.1.4. Séquences sablo-marneuses (SM)

Elles sont comparables aux précédentes sauf qu'à leur base peuvent apparaître des grès grossiers à moyens, massifs et plus ou moins granoclassés (a) et que leurs grès y sont plus abondants que leurs marnes (rapport sable/argile supérieur à 1). Leur épaisseur varie de 1 à 92 cm dans les Grès de Celles inférieurs et de 3 à 165 cm dans les supérieurs. Aux séquences de Bouma tronquées par la base Tc-e, Tb-e (Pl. 1, fig. 3) s'ajoutent des séquences complètes Ta-e et des séquences tronquées par le sommet Ta-c, Ta-b et Ta qui correspondent aux faciès D1 et C2 de Mutti & Ricci Lucchi (fig. 4). Leur transport s'effectue par des courants de turbidité de concentration variable engendrant parfois à leur base des érosions devenues apparentes grâce à la présence de traces de paléocourants. Leur dépôt s'effectue soit par prise en masse de la couche basale à forte densité granulaire dite de collision intergranulaire (Ta) soit par un courant tractif d'énergie décroissante puis par décantation. Les lamines convolutées qui déforment parfois les grès à rides de courant « c », sont postérieures à la sédimentation (Pl. 1, fig. 3) ; elles résultent de la pression exercée au-dessus d'elles soit par le passage d'un courant de turbidité, soit par le poids des sédiments sus-jacents, cette surpression déclenche la liquéfaction du sable gorgé d'eau par thixotropie qui permet la déformation des lamines.

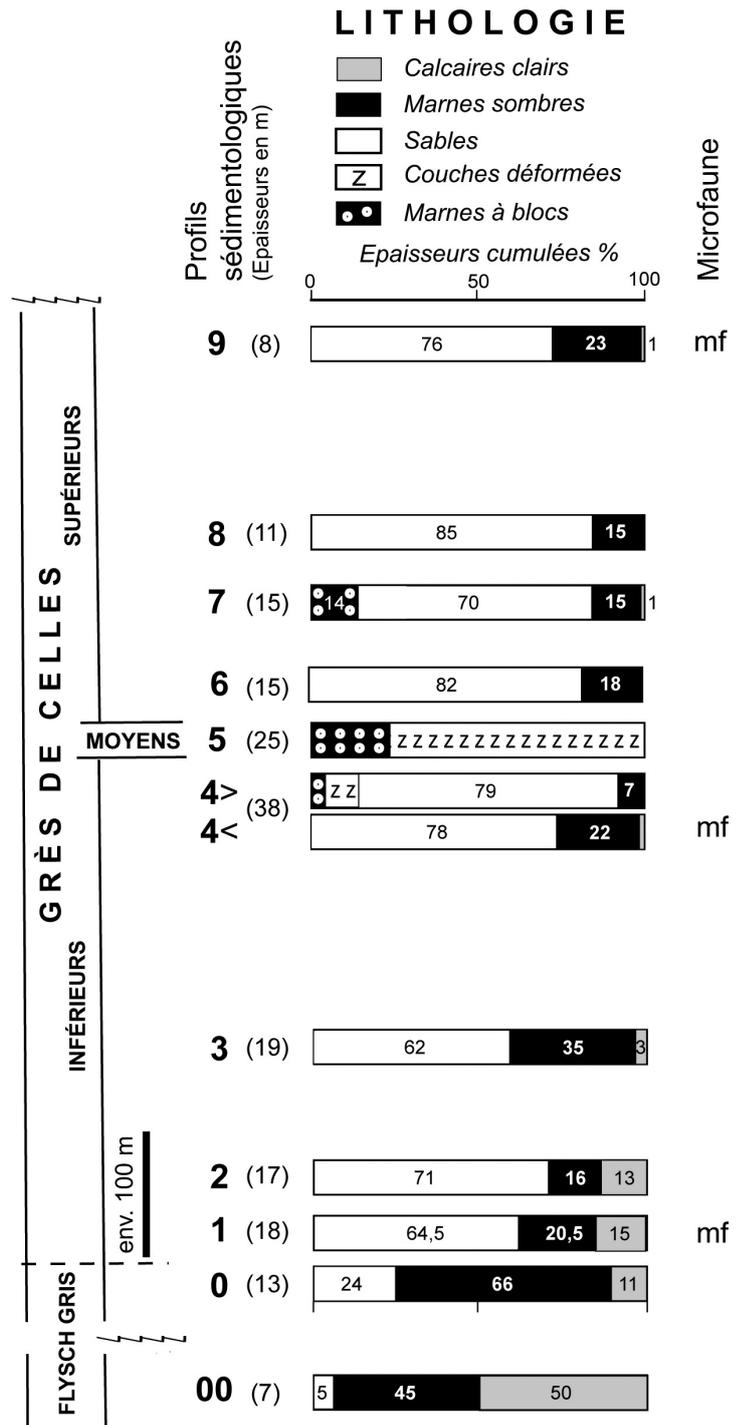
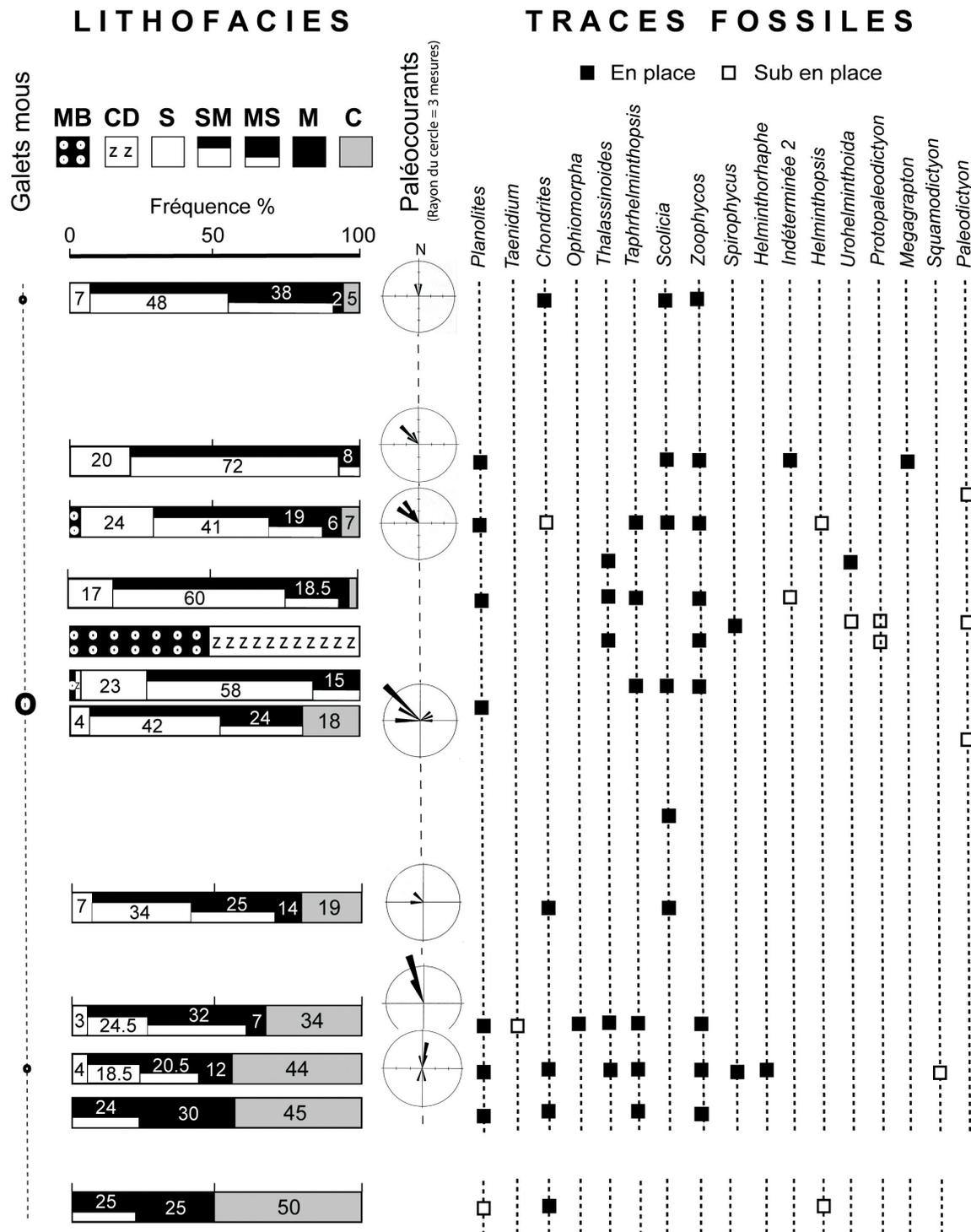


Fig. 5. Lithologie, lithofaciès, paléocourants et traces fossiles des Grès de Celles dans leur localité-type

4.1.5. Séquences sableuses (S)

Dans ces dernières, les marnes ne sont plus que très peu représentées et peuvent même être absentes par amalgame des bancs de grès superposés (rapport sable/argile très supérieur à 1). L'épaisseur de ces séquences épaisses à très épaisses varie de 44 à 230 cm dans les Grès de Celles inférieurs et de 7 à 170 cm dans les supérieurs. Dans les Grès inférieurs, l'une d'elles



exceptionnelle est extrêmement épaisse, elle débute par 1,5 m de granules, petits graviers de quartz et petits « galets mous » liés par une rare matrice marneuse sombre, et atteint une épaisseur totale de 4 m (au nord de l’affleurement 2, le long de la piste qui suit la rive gauche de La Baure). Leur organisation interne est variée et elle permet d’y reconnaître des séquences de Bouma Tb-e, Ta-e, Ta-b et Ta. Leurs intervalles (b) à lamines horizontales sont caractérisés par leur épaisseur mais sont dépourvus de structures d’échappement d’eau en

coupelles (*dish structures*). Leurs intervalles (a) massifs, épais et à grain grossier à très grossier renferment parfois des « galets mous » mais ils sont dépourvus des figures de charge basales (*load casts*) parfois présentes dans les faciès C1 et B1 de Mutti & Ricci Lucchi.

Un cas unique de banc de grès grossier à moyen et à grandes lamines obliques apparaît localement à la partie supérieure de l’affleurement 4 (Pl. 1, fig. 4). Ce banc, épais d’environ 1 m et d’apparence tabulaire, montre la succession de lamines

horizontales à petits « galets mous » sur une vingtaine de centimètres puis de grandes lamines obliques sur 50 à 60 cm et enfin des lamines horizontales d'épaisseur variable. Quelques centimètres de marnes le surmontent au-dessus d'une discontinuité granulométrique. Ce banc évoque un Faciès B2 de Mutti & Ricci Lucchi dans lequel les grès fins à lamines horizontales moulent et compensent le relief des dunes typiques de ce faciès à la place de ses pélites massives. Toutefois, ces dernières le surmontent au-dessus d'une discontinuité granulométrique sommitale.

4.1.6. Marnes à blocs (MB)

Sombres et massives comme les précédentes (M), ces marnes s'en distinguent par les débris hétérométriques (paillettes de micas, grains, granules voire graviers de quartz ; galets et blocs de grès ou de calcaires) qu'elles renferment en proportion variable et qui sont généralement non jointifs et inorganisés au sein de bancs épais à extrêmement épais (de 45 cm à quelques mètres). La nature de leurs débris conduit à distinguer deux types de débrites, l'un à débris intrabassinaux seuls (grès et parfois hémipélagites calcaires) sur les affleurements 4 et 7, l'autre à débris intrabassinaux et extrabassinaux (grès et Calcaire de Morenci) sur l'affleurement 5. Leurs caractères permettent d'y reconnaître le faciès A2 de Mutti & Ricci Lucchi ou ceux A 1.2 de Pickering et F3 de Stow. Elles correspondent donc à des débrites mises en place par des écoulements de débris (« *debris flow* ») ou de boue (« *mud flow* ») dans lesquels le transport des débris est assuré par la cohésion de la boue (mélange de marne et d'eau) qui les enveloppe tout en s'écoulant jusqu'à leur arrêt par prise en masse. Ces écoulements de débris correspondent à l'avant dernier stade de dissociation des masses de flysch resédimentées et déformées par glissement sur le fond marin. Le dernier stade correspond à une suspension turbulente des particules c'est-à-dire à un courant de turbidité qui peut donc déposer une turbidite au-dessus de la débrite. Ces débrites sont exceptionnelles sur cette coupe de Celles avec seulement 5 bancs sur les quelques 900 bancs d'hémipélagites et de turbidites observés ; deux sont épaisses de 115 et de 45 cm sur l'affleurement 4 supérieur, une de quelques mètres sur le 5 et enfin, deux de 95 et 120 cm sur le 7.

4.1.7. Couches déformées (CD)

Ce sont les couches du flysch qui sont plissées, fracturées et diversement dissociées jusqu'à l'état de fragments très hétérométriques (des blocs aux grains) ainsi qu'emballées dans une matrice de marnes gréseuses inégalement développée. Interstratifiées entre des couches intactes, ces couches déformées sont tout à fait similaires au faciès F de Mutti & Ricci Lucchi ou au faciès F2 de Pickering ; il s'agit donc de « *slumps* » qui représentent les produits de la resédimentation par glissement gravitaire du matériel intrabassinal contemporain. Les faciès du flysch resédimenté dans ces slumps ne paraissent pas différents de ceux de leur encaissant. Comme les débrites, ces slumps sont exceptionnels avec seulement trois bancs sur les 900 hémipélagites et turbidites observées sur la coupe de Celles. Ils apparaissent seulement sur les affleurements 4 et 5. Sur le 4, avec deux couches

tabulaires simples l'une épaisse de 45 cm et l'autre de 2,70 m. Sur le 5, la troisième couche est extrêmement épaisse, environ 25 m. Cette dernière constitue un mégaslump composite (fig. 6) car à son sommet apparaissent d'abord les quelques mètres déjà mentionnés de la débrite à petits blocs de calcaires bioclastiques beiges à microfaciès et algues des calcaires du Turonien moyen, puis plus haut, des marnes plus claires que celles du flysch et qui paraissent correspondre aux Marnes à *Micraster* du Coniacien - Santonien inférieur (BILOTTE 2011). Ces dernières appartiennent vraisemblablement à un olistolite c'est-à-dire à un mégabloc comparable à ceux de même nature qui affleurent à une centaine de mètres plus à l'est sur la rive opposée du ruisseau de La Baure dans le prolongement oriental du mégaslump. Le premier qui est attribué à un olistolite depuis 1965 (TOMASI 1965 ; CASTERAS 1969), est constitué par des calcaires ocres à *Romaniceras ornatisimum* du Turonien moyen (BILOTTE 2011), anciennement exploités par une petite carrière ; il serait long d'une quarantaine de mètres et épais de 7 à 8 m (CASTERAS 1933, p. 305). Le second correspond aux 5 mètres de Marnes à *Micraster* du Coniacien - Santonien inférieur qui affleurent sur quelques dizaines de mètres le long du talus de la piste du Bois de La Bernieuse (KOËSS 1996, BILOTTE 2011) en association avec des marnes à blocs. Ces éléments extrabassinaux sont plus anciens que le flysch et donc plus indurés que lui, ils ont été fragmentés par des déformations cassantes sans subir de déformations internes souples ; leur mode de glissement qui est donc distinct de celui du flysch resédimenté, est qualifié de « *sliding* ».

Ces mégablocs constituent l'extrémité occidentale de l'ensemble de mégablocs de même nature qui sépare les Grès de Celles inférieurs et supérieurs sur toute la longueur de la lame de Celles-Montferrier. Traditionnellement tenus pour deux formations en place (Calcaires de Morenci et Marnes à *Micraste*, (BILOTTE 1985), ils ont ensuite été considérés comme resédimentés (PEYBERNÈS *et al.* 1984) puis attribués à une mégaturbidite (SOUQUET & PONS 1985). Toutefois, si leur resédimentation ne fait aucun doute compte tenu de leur âge plus ancien que celui du flysch, leur attribution à une mégaturbidite est contredite par l'absence de la turbidite d'épaisseur variable (4 à 40 m) qui couronne ce type de dépôt exceptionnel dont l'épaisseur totale peut atteindre jusqu'à 200 mètres (LABAUME *et al.* 1983). Nous lui préférons donc l'appellation de mégaslump sur la coupe de Celles et plus à l'Est celle de mégaslump en fonction de la nature prédominante du matériel resédimenté (flysch ou mégablocs) et de son processus de mise en place.

4.2. Les traces de paléocourant.

Elles apparaissent en relief à la base des bancs de grès sous la forme de moulages (*casts*) des traces en creux diversement allongées qui résultent de l'érosion plus ou moins profonde du substratum boueux du bassin (*marks*) lors du passage d'un courant de turbidité. Les unes sont les traces d'affouillement du fond par le courant lui-même, leur surface courbe et leur dissymétrie indique le sens du paléocourant (*flute-casts*). Les autres sont dues à l'action érosive d'objets transportés par le courant et contrairement aux précédentes, leur surface est plus ou moins striée et irrégulière. Parmi elles, les

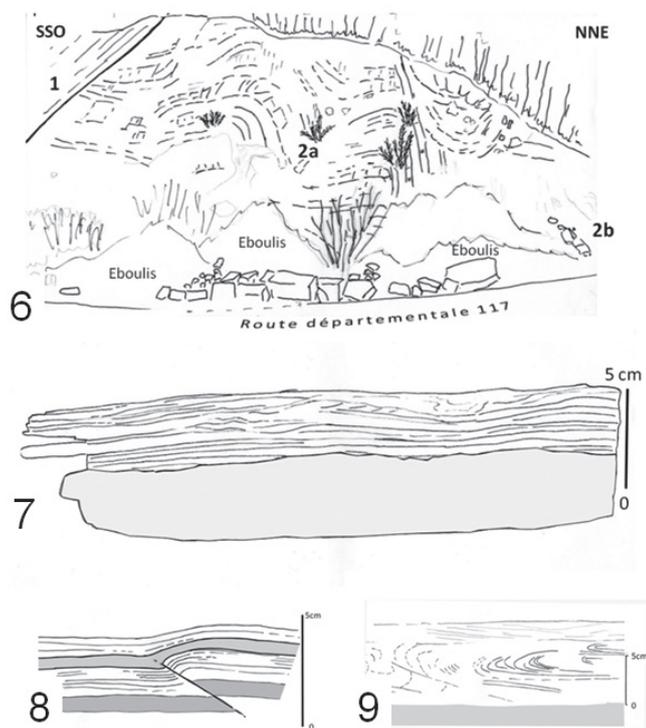


Fig. 6. Affleurement du Mégaslump des Grès de Celles moyens sur le bord de la route départementale 117 (d'après diapositives de Mars 1996). 1 : Grès de Celles inférieurs en série inverse ; 2 : Grès de Celles moyens resédimentés ; 2a : Plis et faille synsédimentaires des Grès slumpés ; 2b : Marnes à blocs des Grès dissociés par coulée de débris renfermant des fragments des Calcaires de Morenci.

Fig. 7. Stratification en mamelon (« *hummocky cross stratification* ») des lamines d'un mince banc de calcarénite du Flysch gris aux abords de l'affleurement 00 (EJD 3755).

Fig. 8. Amortissement synsédimentaire d'une petite faille inverse au sommet d'un banc de calcarénite laminée du Flysch gris aux abords de l'affleurement 00 (d'après diapositive de janvier 1998).

Fig. 9. Boucles de slump dans un mince banc de marne du Flysch gris aux abords de l'affleurement 00 (d'après diapositive de février 1998).

dissymétriques qui indiquent le sens du courant, sont dues aux objets qui percutent le fond (traces d'impact ou *prod casts*) alors que les symétriques indiquent seulement sa direction car elles résultent du rebond d'objets sur le fond (courtes traces de rebond ou de ricochet, les *bounce casts*) ou bien de leur trainage (longues traces de trainage ou cannelures, les *groove casts*). Les traces d'affouillement rencontrées sur les affleurements 1, 2, 4, 7, 8 et 9 sont de loin les plus nombreuses par rapport à celles d'objet rencontrées seulement sur l'affleurement 4 et au-dessus du 5. Sont également visibles, mais moins fréquemment, les linéations de délit (*parting lineations*) qui apparaissent à la surface des lamines planes parallèles des grès lorsqu'elles ont été délitées (sur les affleurements 1 et 4) et dont l'allongement indique la direction de l'écoulement. La

remise à l'horizontale de ces diverses traces a été effectuée par une simple rotation autour d'un axe horizontal faite de repères tectoniques (axes de plis, linéations d'intersection...). Malgré le faible nombre d'observations, de deux à dix par affleurement (fig. 5), le sens des paléocourants ainsi restitués varie de S-N à E-O. L'alimentation des Grès de Celles est donc essentiellement d'origine sud-orientale et surtout elle ne subit pas d'évolution verticale majeure. Néanmoins, des écoulements transverses SO-NE apparaissent localement sur l'affleurement 4. En outre, sur le même affleurement, la base d'un bloc éboulé montre également plusieurs grandes traces d'impact (*prod casts*) centimétriques à décimétriques qui indiquent des écoulements de sens opposé selon deux directions faisant un angle de 30 à 45° ainsi que de petites traces en crochet (*hook casts*) centimétriques (Pl. 1, fig. 5). De telles traces sont produites sur un fond boueux très peu érodé par un mouvement de va-et-vient de l'eau et des particules en suspension qui s'accompagne d'une dérive latérale. Elles sont typiques d'une légère action des vagues sur le fond. En l'absence de tempestites et des surfaces d'érosion notables qui les accompagnent, ces traces sont l'indice d'une bathymétrie minimale des eaux du bassin qui s'avère ainsi voisine de la base d'action des vagues de tempête qui est comprise entre 30 et 200 mètres selon l'intensité des tempêtes. Cette donnée s'accorde avec le milieu de vie des ostracodes des Grès de Celles supérieurs de la coupe de Nalzen (TOMASI 1965) qui peuvent être considérés comme liés aux eaux de la zone aphotique (B. Andreu, communication orale), une zone dont la bathymétrie augmente lorsque la turbidité des eaux décroît et qui ici peut donc être tenue pour maximale compte tenu des eaux le plus souvent calmes et claires du fond de ce bassin (150 à 200 mètres ?).

4.3. Les surfaces et les produits des érosions locales du fond marin

4.3.1. Les surfaces d'érosion

Les surfaces d'érosion planes et très peu profondes propres à la base de la plupart des bancs de grès des faciès SM et S et sur lesquelles peuvent apparaître ponctuellement les traces de paléocourants ainsi que le cas une érosion plus large et plus profonde à l'origine de l'amalgame de deux bancs de grès ont déjà été évoquées. Il faut les compléter par le cas de deux surfaces d'érosion plus profondes et plus localisées qui ont été observées sur le seul affleurement 4 supérieur. La première est une surface d'érosion tabulaire dont le fond à peu près plat est entaillé dans les marnes d'une séquence SM (60 cm de grès et 15 cm de marnes) sur au moins un mètre de large avec une profondeur d'une dizaine de centimètres et un escarpement bordier abrupt. Elle est comblée et nivelée par la base d'un banc de grès grossier à moyen et à lamines horizontales qui est épais de 1,3 mètre. La seconde est entaillée sur une quarantaine de centimètres de profondeur au toit de grès grossiers et microconglomératiques (Pl. 1, fig. 6). Elle expose un bord concave tapissé de débris de marnes sombres (« galets mous »), un remplissage par un banc de grès lenticulaire et un drapage par une séquence grés-marneuse de 20 cm d'épaisseur.

4.3.2. Les « galets mous »

Cette appellation traditionnelle désigne les fragments de marne sombre (*clay chips* ou *mudstone clasts*) dont la taille varie du millimètre au décimètre et qui sont parfois présents au sein des bancs de grès. Ils résultent de l'érosion de boues déjà partiellement compactées et consolidées qui faute de pouvoir se diluer se fragmentent puis sont emportées à l'état de débris. S'ils peuvent encore se rencontrer sur le bord de la surface d'érosion comme on l'a observé dans un cas, on les retrouve aussi plus à l'aval à différents niveaux au sein des bancs de grès massifs qui les renferment avec une concentration variable voire dans un banc de l'affleurement 9 occuper une large partie de son épaisseur (45 cm). Leur position au sein des bancs de grès massifs est considérée comme un indice indicatif de leur distance de transport relative, les galets mous voisins de la base du banc témoignent d'un transport moindre que ceux situés en son milieu ou à son sommet (MUTTI & NILSEN 1981). Sur l'affleurement 1, ils apparaissent au-dessus d'une surface d'amalgame à la base d'une Ta-b sableuse de 1,20 m, avec une taille qui varie de 5 à 20 cm (Fig. 4 ; Pl. 1, fig. 7), à la base de 2 Ta-e sableuses de 1,80 m et de 45 cm. Sur l'affleurement 2, à la base d'une Tb-e de 15 cm, leur taille ne dépasse pas le centimètre. Ils sont absents sur le 3. Par contre, ils sont particulièrement fréquents sur l'affleurement 4 où sur les 103 turbidites des 38 mètres du profil on les rencontre une dizaine de fois et le plus souvent à la base des bancs qui les renferment avec une taille de 1 à 5 centimètres (fig. 5).

4.4. Les fossiles

Les seuls fossiles observables sur le terrain sont les débris végétaux cités depuis les premières observations. Ils sont fréquents dans les grès à lamines parallèles où ils apparaissent sous formes d'abondantes particules sombres et parfois charbonneuses de taille variable le plus souvent millimétrique mais aussi centimétrique et exceptionnellement décimétrique (Pl. 1, fig. 8). En 1884, C. de Lacvivier signalait même qu'une « grande et belle empreinte de tige cannelée » y a été observée. Quelques granules d'ambre ont également été trouvés sur l'affleurement 7.

Bien que les microfaunes aient déjà été étudiées (TOMASI 1965, BILOTTE 1985) et que leur recherche n'ait donc pas fait partie des objectifs de cette étude, la réalisation de quelques lavages et lames minces à la base, au milieu et au sommet des Grès de Celles a permis de (re)trouver une microfaune de foraminifères planctoniques et benthiques souvent mal conservée, car encroutée (J. Magné, communication orale) avec en particulier le genre *Sigalia* présent dès la base des Grès (fig. 5).

A leur base, sur l'affleurement 1, une hémipélagite marno-calcaire (lav. 3689) renferme de fréquents globotruncanidés (*Marginotruncana pseudolinneiana*, *M. sinuosa*), un rare hétérohélicidé (*Sigalia* ?), des Pithonelles (*P. ovalis*, *P. spherica*) et quelques ostracodes (*Bairdia*, *Cytherella*). Dans les marnes sommitales d'une Ta-e du faciès S (lav. 3688) on retrouve des globotruncanidés mais ils sont moins nombreux que ceux du faciès C (*Marginotruncana pseudolinneiana*, *M. cf. sinuosa*, *Dicarinella concavata*) et encore associés à un hétérohélicidé (*Sigalia* ?).

En leur milieu, sur l'affleurement 4 inférieur, une hémipélagite marno-calcaire (lav. 3715) a livré quelques globotruncanidés (*Marginotruncana pseudolinneiana*, *M. sinuosa*, *Dicarinella concavata*) et une marne turbiditique (lav. 3714) seulement (*Marginotruncana pseudolinneiana*, *M. sinuosa*).

A leur sommet, sur l'affleurement 9, les marnes Te et Td-e de plusieurs faciès M minces (lav. 3823) ont fourni de rares *Globotruncana linneiana* et *G. sp* qui sont associés à des benthiques arénacés mal conservés (déformés) *Bathysiphon sp.*, *Rhizammina sp.*, *Ammodiscus cretacea*, *Haplophragmoides cf. foliacea*, *H. sp.*, *Gaudryina*, *Tritaxia sp.*, *Marsonnella cf. oxycona*. Dans les marnes sommitales d'un faciès SM de type Ta-e ont été retrouvés *Ammodiscus cf. cretacea*, *Bathysiphon sp.*, *Haplophragmoides sp.*, *Gaudryina*, *Marsonnella* et trouvé *Textulariella*.

5. L'évolution verticale des flyschs et de leurs milieux de dépôt

Malgré les lacunes d'observation précédemment signalées, la succession des deux profils sédimentologiques du Flysch gris et des neuf des Grès de Celles permet de proposer une première ébauche de leur évolution verticale. Elle se fonde sur les variations de leur composition lithologique exprimée en pourcentage d'épaisseur cumulée de chaque lithologie ainsi que sur celles de leurs associations de lithofaciès exprimée en pourcentage de leur fréquence (Fig. 5).

5.1. Les turbidites et les hémipélagites

Elles constituent l'essentiel du Flysch gris et des Grès de Celles dans lesquels elles s'associent en proportion très variable dans quatre types de flysch qui se succèdent sans discontinuité apparente au sein d'un même système d'alimentation sud-orientale attesté par l'orientation assez constante de ses paléocourants. Leurs milieux de sédimentation et leur évolution sont envisagés en fonction de la similitude constatée entre leurs caractères et ceux du modèle général des dépôts de lobe d'un système de dépôt sableux et boueux en mer profonde établi pour le flysch éocène sud-pyrénéen (MUTTI & NORMARK 1987, 1991).

5.1.1. Flysch pélitique

Il correspond à l'affleurement 00 analysé dans la partie moyenne du Flysch gris. Les pélites représentent 95 % de son épaisseur avec une égale fréquence de 50 % de turbidites marneuses et marno-gréseuses et 50 % d'hémipélagites. Les grès paraissent être essentiellement des calcarénites. De tels dépôts évoquent ceux d'une **plaine sous-marine de bassin sous-alimenté**. Toutefois, un mince banc de calcarénites fines (3 cm) éboulé au pied de l'affleurement 00 qui montre au-dessus d'un banc de micrite et d'une base érosive nette et faiblement ondulée, un ensemble de fines lamines à ondulations d'amplitude centimétrique et de 20 cm de longueur d'onde de type « en mamelon » (*hummocky cross stratification* ; EJD 3755 ; fig. 7). Une telle structure est un nouvel indice d'une légère action des vagues sur le fond. En outre, des éléments manifestement resédimentés ont été signalés dans ce flysch. D'abord, au Sud de Celles, près des Icards, des « hippurites

fragmentées » tenues pour turoniennes (GARRIGOU 1866). Ensuite, 12 km plus à l'Ouest, près de Péchiquelle, des blocs resédimentés de calcaire à Caprinidés et à Orbitolines du Cénomaniens qu'accompagnent des microbrèches à débris de schistes paléozoïques, de calcaires graveleux et de dolomie (TOMASI 1965, BILOTTE 1985). Les deux sont l'indice de la proximité de pentes voire d'escarpements du substratum anté-flysch qui toutefois ne paraissent pas générer de resédimentation notable du flysch et témoignent donc plutôt d'une bordure du bassin plutôt que d'un relief interne. Enfin, deux déformations synsédimentaires très peu apparentes ont également été rencontrées à proximité de l'affleurement 00. La première est une microfaille dont le faible rejet inverse décale de 1 cm un lit gréseux massif puis s'amortit dans les sédiments laminés sus-jacents (fig. 8). La seconde correspond aux charnières de petits plis d'un slump qui affecte un unique lit de pélites de seulement 8 cm d'épaisseur (fig. 9).

5.1.2. Flysch péli-to-gréseux

Il constitue l'affleurement 0 situé au sommet du Flysch gris. Les pélites y représentent encore 76% de son épaisseur totale avec 65% de marnes et seulement 11% d'hémipélagites dont la fréquence atteint néanmoins 45 %. Ses 24 % de grès sont liés à des turbidites marneuses et marno-gréseuses dont les fréquences respectives sont de 30 et 24 %. Parmi les 118 séquences observées quatre séquences marno-gréseuses d'épaisseur légèrement supérieure à 1 mètre apparaissent de façon aléatoire. L'arrivée en proportion non négligeable de ces turbidites marneuses et marno-gréseuses tronquées par la base suggère une sédimentation « distale » à la **frange d'un système de dépôt sableux et boueux** en cours de progradation sur la plaine sous-marine.

5.1.3. Flysch gréso-pélitique

Il est exposé dans les affleurements 1 à 4 inférieur des Grès de Celles inférieurs et dans l'affleurement 9 des Grès de Celles supérieurs. Les pélites n'y représentent plus qu'environ un tiers à un quart de son épaisseur totale (38 à 23 %) avec de 35 à 16 % de marnes et de 15 à 1 % d'hémipélagites dont la fréquence baisse de 44 à 18 %. L'enrichissement irrégulier en grès de 62 à 78 % de son épaisseur totale est lié à la fréquence croissante des turbidites gréso-marneuses (de 18 à 42 %) et à l'apparition des turbidites gréseuses (de 3 à 7 %). Ces diverses turbidites montrent parfois la succession stratocroissante de 3 ou 4 séquences qui évoque celle des cycles de compensation (MUTTI & SONNINO 1981) mais elles montrent également des successions strato-décroissantes. Enfin, parmi ces turbidites largement prédominantes apparaissent de façon aléatoire quelques turbidites S très épaisses (Tb-e de 1, 1.25, 1.65 m et Ta-e de 1,85 m sur l'affleurement 1 ; 1.50 mètre sur le 2 ; 1.40, 1.45 mètre sur le 3 ; 1,45 et 1.50 mètre sur le 4 inférieur). Deux d'entre elles sont amalgamées par une surface d'érosion surmontée de grès à galets mous sur l'affleurement 1. La large prédominance des turbidites marno-gréseuses à gréseuses de ce flysch gréso-pélitique s'accorde avec une sédimentation au niveau de la **partie distale des lobes de dépôt d'un système de dépôt sableux et boueux**.

5.1.4. Flysch gréseux

Il correspond à l'affleurement 4 supérieur situé au sommet des Grès de Celles inférieurs ainsi qu'aux affleurements 6 à 8 des Grès de Celles supérieurs. Les grès constituent de 79% à 85 % de son épaisseur, les marnes de 15 à 7%, les hémipélagites de 1 à 0 %. La fréquence des turbidites S est de 20 à 24%, celle des SM de 40 à 72 %, des MS de 38 à 8 %, M de 6 à 0 %. Les slumps y apparaissent seulement deux fois avec 14% de son épaisseur pour une fréquence de 3 et 5 %. Le développement des turbidites sablo-marneuses et gréseuses est conforme à une sédimentation de **lobe de dépôt d'un système de dépôt sableux et boueux**. Dans cet ensemble, l'affleurement 4 supérieur se distingue des autres par la présence supplémentaire de deux surfaces d'érosion tabulaires, de nombreux bancs à galets mous et d'un faciès B2 de Mutti & Ricci Lucchi. Il permet ainsi d'envisager une éphémère sédimentation de type **partie proximale de lobe de dépôt**.

5.2. Les débrites, les slumps et les mégablocs

Ces dépôts de resédimentation qui remanient le flysch et des dépôts carbonatés de plate-forme plus anciens, ne constituent qu'une très faible part des Grès de Celles comme nous l'avons précédemment constaté. Leurs rares apparitions dans les flyschs gréso-marneux et gréseux sont aléatoires et semblent donc indépendantes de l'évolution intrabassinale du système sablo-marneux. Ainsi, ils paraissent plutôt résulter d'événements extrabassinaux exceptionnels qui dans le contexte régional sont vraisemblablement attribuables à l'activité tectonique régionale. Malgré son importance, la mise en place du mégaslump-mégaslides des Grès de Celles moyens n'entraîne pas de changement de sédimentation spectaculaire mais seulement la disparition des surfaces d'érosions et des galets mous abondants.

III. Les traces fossiles des Grès de Celles

Les Pyrénées sont bien connues pour les traces fossiles abondantes de leurs flyschs crétacés et tertiaires de la côte basco-cantabrique (AZPEITIA MOROS 1933 ; GOMEZ DE LLARENA 1954, CRIMES 1973,1977, KRUIT *et al.* 1975, MATHEY 1986) et du flysch éocène sud-pyrénéen (UCHMAN 2001, HEARD & PICKERING 2007). Néanmoins, ces traces n'ont été qu'assez rarement mentionnées dans les flyschs crétacés nord-pyrénéens dont les affleurements sont plus exigus et de moins bonne qualité et où seulement deux d'entre elles ont été citées dès la fin du XIX^e siècle. D'abord, les « *Fucoïdes* » qui y sont assez répandues pour avoir été remarquées en Ariège depuis 1863 (LEYMERIE 1863, RAMIÈRE DE FORTANIER 1933), puis pour avoir donné leur nom au « Flysch à fucoïdes » d'abord considéré comme Carbonifère (CARALP 1899), puis tenu pour Cénomaniens et enfin en partie réservé au Turonien-Coniacien (SOUQUET 1969). Ensuite, des traces qui ont d'abord été remarquées dans les Hautes-Pyrénées près de Bagnères-de-Bigorre où elles étaient présentées comme des moulages de grands annélides et déjà justement nommées *Scolicia prisca* d'après M.A. de Quatrefages (FROSSARD 1876), puis qui ont été ultérieurement retrouvées en Ariège dans les carrières

des Grès de Celles et à leurs abords, mais qualifiées de « *Nereites* » et encore considérées comme celles de grands annélides (de LACVIVIER 1884) puis comme des pistes ou des terriers de vers (RAMIÈRE DE FORTANIER 1933, JACOB *et al.* 1950, TOMASI 1965). Plus récemment, outre les « *Fucoïdes* » et les « *Nereites* » (qualifiés d'« *Helminthoides* »), *Rhizocorallium*, *Zoophycos*, *Spirophyton* et *Paléodictyon* ont également été signalées dans les flyschs sénoniens des Pyrénées-Atlantiques (DELOFFRE 1965). Enfin, *Paleodictyon* a également été trouvée dans le Flysch gris cénomano-turonien des Hautes-Pyrénées (Bagnères-de-Bigorre 1989).

1. Les traces observées

Les observations réalisées au cours du lever des profils sédimentologiques ont permis de retrouver facilement les deux traces précédentes qui sont les plus fréquentes, et surtout d'en découvrir une vingtaine de nouvelles généralement moins fréquentes et souvent mêmes rares avec parfois une unique représentante. Ces traces sont localisées sur la figure 5 et illustrées sur les planches 2 à 6. Leur détermination sommaire, le plus souvent au niveau des ichnogènes, et leur brève description dans l'ordre des groupes morphologiques proposés par KSIĄZKIEWICZ (1977) et UCHMAN (1995) ont été réalisées en fonction des travaux utilisés à l'époque de leur découverte à la fin des années 90 et au tout début des années 2000. Les exemplaires prélevés de ces traces sont notés EJD 3000 et suivants et ceux seulement photographiés sur place EJD 3000 et suivants, constituent la collection E.-J. Debroas déposée dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

1.1. Traces elliptiques

Cardioichnus SMITH & CRIMES 1983. Hyporelief gréseux convexe de forme ovale, long de 9,5 cm et large de 4 cm. Sa surface présente une légère dépression centrale. L'exemplaire unique a été photographié sur la base d'un banc de grès déplacé au nord de l'affleurement 0 (dans la zone de passage du Flysch gris au Grès de Celles). Il occupe l'extrémité de l'hyporelief convexe bilobé et sinueux d'un *Taphrhelminthopsis* (*Scolicia strozzi*) de 90 cm de long, non prélevé (EJD 3745 ; Pl. 2, fig. 1). Il correspond au moulage de l'empreinte d'un oursin irrégulier limnivoire mort sur place à l'extrémité de son terrier (PLAZIAT & MAHMOUDI 1988).

1.2. Traces simples

Planolites NICHOLSON 1873. Exoreliefs gréseux, cylindriques, de 2 à 3 mm de diamètre, jusqu'à 10 cm de long observables, rectilignes à flexueux, à peu près horizontaux, massifs, dépourvus de paroi et non ramifiés. Ils sont présents dans les marnes de presque tous les affleurements où elles n'apparaissent parfois qu'en section transverse. Un exemplaire photographié en place sur l'affleurement 1 (EJD 3754 ; Pl. 2, fig. 2).

Hyporeliefs gréseux cylindriques, de 2 à 3 mm de diamètre, jusqu'à 25 cm de long observables, flexueux, à peu près horizontaux, massifs, avec de rares ramifications. Un exemplaire prélevé sur l'affleurement 7 (EJD 3845).

Ces traces correspondent au rétro-remplissage des terriers

d'organismes limnivoires vermiformes de milieux aquatiques très variés. Elles sont en effet connues du Protérozoïque à l'actuel et considérées comme abondantes des milieux continentaux à offshore profond, mais absentes des plages et rares dans l'avant-plage supérieure (GÉRARD & BROMLEY 2008). Elles sont souvent signalées dans les flyschs.

Taenidium HEER 1877. Court segment d'un endorelief gréseux arqué de 7 à 8 mm de large. Sur une longueur de 9 cm le délitage des lamines de grès fins offre une section longitudinale qui expose sa structuration par des ménisques courbes. Un exemplaire unique trouvé déplacé sur l'affleurement 2 (EJD 3748 ; Pl. 2, fig. 3). Cette trace correspond au rétro-remplissage actif du terrier d'un organisme limnivoire vermiforme de milieux aquatiques très variés. Elle est connue du Paléozoïque inférieur à l'actuel et reconnue comme abondante dans les milieux fluviaux et lagunaires, et commune de l'avant-plage supérieure à l'offshore profond (GÉRARD & BROMLEY 2008). Elle est également présente dans les flyschs (UCHMAN 1995, 2001).

1.3. Traces ramifiées

Chondrites VON STERNBERG 1833. Ces traces fréquentes dans le Flysch gris et les Grès de Celles correspondent aux « *impressions végétales* » de LEYMERIE (1863) ou aux « *empreintes végétales très fines impossibles à détacher* » de RAMIÈRE DE FORTANIER (1933) c'est-à-dire aux « *Fucoïdes* » des anciens auteurs. Il s'agit en fait de terriers d'alimentation dont les ramifications arborescentes de géométrie variée se développent horizontalement en rayonnant à partir d'un terrier vertical (HÄNTZSCHEL 1975). Elles sont dues à l'activité d'organismes limnivoires inconnus de l'endofaune benthique susceptibles de vivre à l'interface aérobie/anoxie comme les organismes chimiosymbiotiques (UCHMAN 1999). Elles sont connues du Cambrien inférieur à nos jours et considérées comme communes dans les milieux marins de baies, de lagunes et d'avant-plage moyenne à inférieure et abondantes dans ceux de l'offshore supérieur au bassin (GÉRARD & BROMLEY 2008). Elles sont également bien représentées dans les flyschs crétacés et tertiaires (CRIMES 1977, KSIĄZKIEWICZ 1977, UCHMAN 1995, 1999, 2001) et présentes dans les sédiments profonds actuels (EKDALE *et al.* 1984, GAILLARD 1991b).

Chondrites 1. Endoreliefs très ramifiés avec un angle de ramification voisin de 45° et des branches rectilignes larges de 0.5 à 1 mm et de longueur variable 0.5 à 30 mm. Ils sont aplatis dans les lamines de grès fin ou de silts de l'intervalle « d » des turbidites mais plus fins et plus sombres ils sont de nature distincte (marnes noires ? ; EJD 3753 et 3758, Pl. 2, fig. 4 et 5) ou bien plus clairs (marmo-calcaire ? ; EJD 3757 ; Pl. 2, fig. 6).

Chondrites 2. Endoreliefs ramifiés avec un angle de ramification voisin de 45° et des branches larges de 0.5 à 1 mm qui apparaissent en sections transverses elliptiques abondantes dans les calcaires marneux des hémipélagites du Flysch gris et qui s'en distinguent par leur nature différente car plus sombre (marnes noires ?). En place sur l'affleurement 00, prélevé (EJD 3740).

Chondrites 3. Endoreliefs densément ramifiés avec un angle de ramification voisin de 45° et des branches légèrement incurvées, larges de 0.5 à 1 mm qui sont plus clairs que le

calcaire hémipélagique à patine rougeâtre dans lequel elles apparaissent en grand nombre. En place sur l’affleurement 9 (EJD 3766 ; Pl. 2, fig. 7).

Ophiomorpha LUNDGREN 1891. Hyporelief gréseux convexe, cylindrique massif, d’un diamètre de 6 à 7 mm et dont la surface est couverte de granules de 2 mm de diamètre. Un unique fragment de 5 cm de long trouvé déplacé sur l’affleurement 2 associé à *Scolicia strozzi* (EJD 3746, Pl. 2, fig. 8). Les granules superficiels correspondent aux pelotes fécales qui tapissaient la paroi du terrier. Elles sont connues du Jurassique à nos jours et considérées comme abondantes sur les plages, communes dans les baies et lagons d’arrière-plage et dans l’avant-plage supérieure (GÉRARD & BROMLEY 2008). Elles sont également signalées dans les flyschs crétacés et tertiaires (CRIMES 1977, UCHMAN 1995, 1999, 2001).

Thalassinoides EHRENBERG 1944. Hyporeliefs gréseux convexes, cylindriques, massifs, à surface lisse, d’un diamètre variable et ramifiés selon trois formes de taille et de géométrie distinctes, chacune en exemplaire unique.

Thalassinoides 1. Diamètre de 10 mm avec de légers changements de direction accompagnés de ramifications en Y tous les 2, 5 ou 10 cm. Trouvée en place sur l’affleurement 1, non prélevée (EJD 3752, Pl. 3, fig. 1)

Thalassinoides 2. Diamètre de 5 à 6 mm avec des ramifications en Y rayonnant sur une dizaine de centimètres à partir d’un point central non conservé. Trouvée en place sur l’affleurement 5, non prélevée (EJD 3762, Pl. 3, fig. 2).

Thalassinoides 3. Diamètre de 8 mm qui zigzague régulièrement tous les 2,5 cm en se ramifiant à chaque changement de direction. Trouvée déplacée dans la petite carrière abandonnée au nord de l’affleurement 5 (EJD 3710, Pl. 3, fig. 3).

Les *Thalassinoides* sont connues du Cambrien à l’actuel et considérées comme abondantes dans les baies, les lagunes et l’avant-plage moyen à inférieur, communes dans l’avant-plage supérieur, rares en milieu continental et sur les plages et enfin abondantes à rares dans l’offshore supérieur (GÉRARD & BROMLEY 2008). Elles sont également présentes dans certains flyschs crétacés et tertiaires (CRIMES 1977, UCHMAN 1995, 2001).

Ophiomorpha et *Thalassinoides* sont considérées comme des terriers d’habitation (*Domichnia*) de crustacés décapodes suspensivores et limnivores (crabes, crevettes) des milieux littoraux où ils peuvent constituer des réseaux tridimensionnels plus ou moins denses de galeries horizontales et verticales. Les deux sont parfois associées dans le même réseau. Ces réseaux et leurs galeries verticales qui les mettent en communication avec la surface n’ont pas été observés dans les Grès de Celles, où toutefois des terriers verticaux ou subverticaux qui pourraient vraisemblablement correspondre à ces galeries, ont été observés dans quelques bancs de grès des affleurements 4 inférieur et 7. Le transport de ces crustacés avec les sédiments et leur capacité à survivre quelques jours en milieu profond (UCHMAN 1999) peut expliquer la présence de leurs terriers, peu fréquents et jamais bien développés, dans les Grès de Celles. Mais il a est également possible que ces ichnogenres présentent des espèces distinctes adaptées à chaque milieu (exemple d’*O. rudis* propre aux turbidites, UCHMAN 2001).

1.4. Traces sinueuses non ramifiées

Ces traces abondantes qui étaient traditionnellement attribuées à des pistes de vers qualifiées de « *Nereites* », sont les seules des grès de Celles à avoir été illustrées (TOMASI 1965, photos des pl. VIII, fig. 19 et pl. X, fig. 24). Depuis, ces photos permettaient d’y reconnaître *Scolicia* et *Taphrohelminthopsis* (HÄNTZSCHEL 1975) qui sont deux des formes de construction et de conservation des terriers d’oursins irréguliers limnivores de type spatangidés (SMITH & CRIMES 1983, PLAZIAT & MAHMOUDI 1988, UCHMAN 1995). En effet, *Taphrohelminthopsis* est conservée à la base alors que *Scolicia* l’est au sommet des sables turbiditiques, ce qui signifie que les premières sont antérieures à leur dépôt, autrement dit contemporaines des hémipélagites sous-jacentes et que les secondes sont postérieures à leur dépôt. Ces terriers d’échinides sont connus du Crétacé à nos jours et ils sont considérés comme abondants dans le domaine d’avant-plage moyen, communs dans les baies et les lagunes et rares dans l’offshore (GÉRARD & BROMLEY 2008). Ils sont toutefois bien connus dans les flyschs crétacés et tertiaires (CRIMES 1977, KSIĄZKIEWICZ 1977, UCHMAN 1995, 2001) comme dans les sédiments actuels (HOLLISTER *et al.* 1975). Actuellement ces traces sont attribuées au même ichnogenre *Scolicia* DE QUATREFAGES 1849 qui comporte les deux ichnospecies suivantes (UCHMAN 1995) :

Scolicia strozzi (SAVI & MENEGHINI 1850). Ces ex *Taphrohelminthopsis* sont des hyporeliefs gréseux convexes, horizontaux, bilobés, à surface lisse, irrégulièrement sinueux et de 13 à 30 mm de large. En place sur les affleurements 0 (EJD 3745 ; Pl. 2, fig. 1) et 1 (EJD 3834 ; Pl. 3, fig. 4) et déplacé sur le 2 (EJD 3748 ; Pl. 2, fig. 8). Cette trace correspond au moulage de la base du remplissage des terriers creusés près de la surface des hémipélagites puis emportés par le passage du courant de turbidité avant d’être moulé par son sable.

Scolicia prisca DE QUATREFAGES 1849. Ce terrier est abondant dans les Grès de Celles où il apparaît dans sables fins à lamines horizontales du sommet des turbidites sous les trois formes suivantes.

Scolicia prisca 1. Epirelief marno-gréseux, convexe, horizontal et irrégulièrement sinueux, large de 30 mm et avec une surface lisse dont l’axe est souligné par un relief de 2 mm de large qui associe une mince crête bordée de deux étroits sillons (EJD 3843 ; Pl. 3, fig. 5). Il correspond à la forme externe de la partie supérieure du remplissage d’un terrier qui a été dégagée des sédiments fins encaissants (silt, pélite).

Scolicia prisca 2. La surface horizontale d’un plan de cassure proche du sommet d’un banc de grès montre une suite continue de traces arquées plus sombres que le sédiment encaissant, régulièrement espacées, larges d’environ 35 mm, peu épaisses et se terminant latéralement en pointe (EJD 3764 ; Pl. 3, fig. 6). Elles correspondent à la section médiane horizontale du remplissage d’un terrier du type précédent qui a parfois été qualifiée de « *Laminites* » (UCHMAN 1995).

Scolicia prisca 3. Epireliefs gréseux concaves horizontaux, plus ou moins sinueux, dont la largeur constante peut varier de 10 à 50 mm selon les exemplaires. Le relief correspondant est peu profond par rapport à sa largeur, densément segmenté transversalement et subdivisé longitudinalement en trois

parties par un cordon central plus ou moins en relief entre deux étroits sillons pas toujours apparents. De part et d'autre de ce cordon, ses flancs en pente sont accidentés de « plaquettes » d'épaisseur millimétriques et qui sont faiblement inclinées et régulièrement imbriquées dans le sens de son allongement. Un des nombreux exemplaires rencontrés présente l'intérêt d'être associé avec l'endorelief « *Scolicia prisca* 1 » préservé à l'une de ses extrémités ; trouvé déplacé sur l'affleurement 4' (EJD 3776 ; Pl. 3, fig. 7). Il correspond à la forme interne de la partie inférieure d'un terrier qui expose les restes de son rétroremplissage segmenté associant le cordon fécal déformé de l'oursin et les sédiments qu'il a déplacé par son avancée ; le pendage des « plaquettes » bordières de ce remplissage indique le sens de déplacement de l'oursin. Ces *Scolicia prisca* sont parfois responsables d'une bioturbation intense des lamines au sommet d'un banc gréseux (EJD 3768 ; Pl. 3, fig. 8). Elles peuvent également s'y retrouver associées à *Zoophycos* (EJD 3749).

1.5. Traces à « spreite »

Zoophycos MASSALONGO 1855. Il s'agit des traces composites assez abondantes qui se rencontrent dans les sables fins à lamines horizontales du sommet des turbidites. Elles sont formées par le déplacement horizontal ou subhorizontal d'un terrier cylindrique périphérique en forme de boucle. Ce déplacement est enregistré par la bioturbation complète des lamines horizontales qu'il traverse en y déterminant une lame structurée par des lamelles courbes redressées parallèles à la paroi du terrier (le « spreite »). Le sommet de ces lamelles correspond à la surface visible du « spreite » sur laquelle les irrégularités de leur parallélisme permettent de distinguer des épisodes de fouissage successifs de l'organisme limnivoire constructeur inconnu. Elles sont connues du Précambrien à l'actuel. Au Mésozoïque, elles sont abondantes de l'avant-plage moyenne à l'offshore inférieur puis communes jusqu'au sommet du talus (GÉRARD & BROMLEY 2008). Bien qu'emblématique de l'ichnofaciès *Zoophycos* qui est associé aux talus continentaux (FREY *et al.* 1990, PEMBERTON *et al.* 1992), elles sont également présentes dans divers flyschs crétacés et tertiaires (par exemple CRIMES 1977, KSIĄZKIEWICZ 1977, CRIMES *et al.* 1981, D'ALESSANDRO *et al.* 1986, UCHMAN 1995, 1999, 2001) et actuellement sur les pentes bordières du bassin des Loyauté vers 1700 à 1800 mètres de profondeur (GAILLARD 1991b). Trois formes distinctes ont été rencontrées à Celles.

Zoophycos 1. Endorelief horizontal au sein des lamines horizontales délitées de grès fin du sommet d'une turbidite. Il montre l'empreinte en creux d'un cordon périphérique cylindrique d'un diamètre de 4 à 5 mm qui dessine un U large de 40 mm et long d'une douzaine de centimètres. Entre ses branches, les lamines horizontales du grès sont remplacées par les lamelles du « spreite » redressées, arquées plus ou moins parallèles avec le fond du U puis entre elles lorsqu'elles viennent s'appuyer obliquement contre ses branches rectilignes. Trouvé déplacé sur l'affleurement 2 (EJD 3747, Pl. 4, fig. 1) associé à un autre exemplaire plus large et plus court (5 x 7 cm) et sur l'affleurement 1 (EJD 3759, Pl. 4, fig. 2). Le dessin du U présente une nette courbure sur les

exemplaires des déblais d'une petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 (EJD 3749 et MH/EJD 3751, Pl. 4, fig. 3) et au-dessus du 5 dans celui des déblais d'une petite carrière abandonnée (M. Hansotte, communication orale ; collection M. Hansotte, Pl. 4, fig. 3 ; MH/EJD 3751).

Zoophycos 2. Endorelief gréseux cylindrique d'un diamètre de 2 à 4 mm associé aux fines stries flexueuses plus ou moins parallèles du « spreite », au sein d'un édifice plus ou moins développé dans les lamines de grès fin du sommet des turbidites. Observé sous la forme d'un édifice complet de forme hélicoïdale d'une trentaine de cm de diamètre et de 1 à 2 ou 3 tours très rapprochés lorsqu'il est complet. Trouvé en place sur l'affleurement 2 (EJD 3775, Pl. 4, fig. 4) et sur le 7 (EJD 3781 ; Pl. 4, fig. 5 ; prélevé cet échantillon n'a pas pu être conservé à cause de sa désagrégation complète en quelques années). Déplacé sur l'affleurement 6 (J. Thivet, communication orale, JT/EJD 3844 ; Pl. 4, fig. 6).

Zoophycos 3. Cette troisième forme montre enfin l'association des deux formes précédentes dans le même édifice. Trouvé déplacé au pied de l'affleurement 5 (EJD 3826 ; Pl. 4, fig. 7). De cette association résulte l'attribution à *Zoophycos* de la forme 1 bien qu'elle ressemble à *Rhizocorallium*.

1.6. Traces spiralées

Spirophycos bicornis (HEER 1877). Hyporeliefs gréseux, convexes, semi-cylindriques, à surface légèrement granuleuse et d'un diamètre de 13 mm qui débute par une spire serrée dextre ou senestre puis devient plus ou moins courbe ou sinueuse sur une longueur conservée atteignant 30 cm. Trouvé en place sur l'affleurement 1 (EJD 3690 ; Pl. 4, fig. 8). D'autres exemplaires de morphologie et de taille voisines ont également été photographiés en place sur quatre niveaux du même affleurement (EJD 3741, 3838, 3839, 3840) et sur un banc de la carrière au-dessus de l'affleurement 5 (EJD 0000). Ces traces sont aussi présentes dans divers flyschs carbonifères à Eocènes (CHAMBERLAIN 1971, CRIMES 1977, KSIĄZKIEWICZ 1977, CRIMES *et al.* 1981) où elles ont été attribuées au moulage de l'empreinte du cordon fécal d'un ver marin entéropneuste qui a été emporté par le passage du courant de turbidité porteur du sable du moulage (KERN 1980). Ces entéropneustes et leur cordon fécal sont également connus dans les eaux profondes actuelles (BOURNE & HEEZEN 1965, HOLLISTER *et al.*, 1975, GAILLARD 1991 a et b).

1.7. Traces méandriformes simples

Helminthopsis HEER 1877. Hyporeliefs gréseux hémicylindriques convexes de 2 à 3 mm de diamètre qui dessinent des méandres subhorizontaux, larges, irréguliers, de 31 à 44 mm d'amplitude et d'espacement voisin de 15 mm, non ramifiés. Deux exemplaires incomplets prélevés, l'un trouvé déplacé sur le Flysch gris de l'affleurement 00 (EJD 3771), l'autre également déplacé sur les Grès de l'affleurement 7 (EJD 3780 ; Pl. 5, fig. 1). Les contours de ce dernier correspondent à ceux de *H. abeli* KSIĄZKIEWICZ 1977 (WETZEL & BROMLEY 1996). Ces terriers antérieurs au dépôt des grès sont connus du Cambrien à l'actuel dans les flyschs où ils sont communs et ils sont propres à des organismes eurybathes sans doute des vers marins polychaetes ou priapulien (UCHMAN 1995).

Helminthorhapse SEILACHER 1977. Hyporeliefs gréseux hémicylindriques convexes de 1 mm de diamètre non ramifiés aux méandres subhorizontaux, serrés, irréguliers, d'amplitude et d'espacement variables respectivement voisins de 15 à 25 mm et de 2 à 4 mm. Deux exemplaires assez mal conservés photographiés en place sur l'affleurement 1, non prélevés (EJD 3741; Pl. 5, fig. 2 et EJD 3763). Ces traces sont fréquentes dans les flyschs crétacés et tertiaires. Elles correspondent à des terriers superficiels vides qui ont été décapés par l'érosion du courant de turbidité porteur du sable qui les a moulés. Ils font partie du groupe des graphoglyphes (c'est-à-dire *Urohelminthoïda*, *Paleodictyon*, UCHMAN 1995) qui est propre à l'ichnofaciès *Nereites* représentatif des traces du milieu marin profond des flyschs (FREY *et al.* 1990, PEMBERTON *et al.* 1992).

Trace indéterminée 1. Hyporelief gréseux cylindrique convexe de 1 mm de diamètre aux méandres subhorizontaux irréguliers de 1 à 2 cm d'amplitude et d'espacement voisin de 5 mm, non ramifié. Exemple unique mal conservé, photographié en place sur l'affleurement 1, non prélevé (EJD 3747; Pl. 5, fig. 3).

Trace indéterminée 2. Hyporeliefs gréseux cylindriques convexes de 1.5 mm de diamètre aux méandres subhorizontaux, irréguliers, d'amplitude et d'espacement très variables dont les branches sinueuses se croisent parfois sur deux niveaux distincts et présentent de rares ramifications. Deux exemplaires trouvés déplacés sur l'affleurement 8 (EJD 3778 et 3779; Pl. 5, fig. 4).

1.8. Traces méandriformes ramifiées

Urohelminthoïda appendiculata HEER 1877. Hyporelief gréseux hémicylindrique convexe de 1 à 2 mm de diamètre dont les méandres horizontaux sont serrés, réguliers, rectilignes ou incurvés avec une direction qui varie de 60°, de même écartement que leur diamètre, et d'une amplitude de l'ordre de 50 mm. Exemple unique trouvé déplacé entre les affleurements 4 supérieur et 5 (EJD 3691; Pl. 5, fig. 5).

Urohelminthoïda dertonensis SACCO 1888. Hyporelief gréseux hémicylindrique convexe de 3 mm de diamètre aux méandres lâches, irréguliers et rectilignes ou incurvés, avec une direction qui varie de 45°, d'écartement variable de 3 à 6 mm, et dont l'amplitude irrégulière varie de 50 à 80 mm. Leurs ramifications correspondent à de courts appendices de même diamètre qui s'incurvent vers le haut dans la boucle de chaque méandre en s'alignant sur une des branches du méandre. Exemple unique photographié en place sur l'affleurement 7, non prélevé (EJD 3691'; Pl. 5, fig. 6).

Ces *Urohelminthoïda* sont des représentantes emblématiques de l'ichnofaciès *Nereites* qui est considéré comme propre au milieu marin profond des flyschs (FREY *et al.* 1990, PEMBERTON *et al.* 1992). Elles sont connues depuis le Jurassique et sont encore présentes dans les eaux profondes actuelles mais l'organisme qui les a produites n'a pas encore été observé (GAILLARD 1991a et b). Elles correspondent au moulage de terriers superficiels vides qui ont été décapés par l'érosion du courant de turbidité porteur du sable qui les a moulés. Ces terriers qui communiquent avec les eaux sus-jacentes par leurs ramifications verticales sont considérés comme des terriers

d'élevage (*agrichnia*) dans lesquels leur auteur consomme le voile bactérien qui se développe sur leur paroi.

1.9. Traces en réseau

Protopaleodictyon KSIAZKIEWICZ 1958. Hyporeliefs gréseux cylindriques de 0.5 à 1 mm de diamètre irrégulièrement sinueux et ramifiés qui ébauchent un réseau subhorizontal très discontinu à cause d'une réalisation inachevée ou de l'érosion de certains segments ? Sa maille incomplète est voisine de 4 à 10 mm. Deux exemplaires déplacés, l'un trouvé sur l'affleurement 5 associé à *Urohelminthoïda* (EJD 3691; Pl. 5, fig. 5) et l'autre au nord de cet affleurement 5 dans les déblais d'une petite carrière abandonnée (EJD 3854; Pl. 5, fig. 7). Rencontrées dans les flyschs carbonifères, crétacés et tertiaires (Kern, 1978; Uchman, 2001).

Megagraption KSIAZKIEWICZ 1968. Hyporeliefs gréseux hémicylindriques convexes de 3 à 4 mm de diamètre dont le tracé courbe à sinueux se ramifie selon un angle droit ou aigu pour esquisser un réseau horizontal aux mailles irrégulières et incomplètes de 30 à 50 mm de large (Pl. 5, fig. 8). Cinq exemplaires respectivement trouvés déplacés sur : l'affleurement 4' (EJD 3732); au nord de la RD 117, face aux affleurements 7 et 8, au lieu-dit « Le Palancat » (EJD 3842); sur l'affleurement 8 (EJD 3777, 3780 et 3782, Pl. 5, fig. 8). Leur tracé paraît correspondre à celui de *M. submontanum* (AZPÉTTIA MOROS 1933) d'après la révision d'UCHMAN (1999). Traces propres aux eaux profondes des flyschs sans doute depuis le Carbonifère inférieur et sûrement du Cénomaniens à l'Eocène (UCHMAN 1999).

Squamodictyon VIALOV & GOLEV 1960. Hyporelief gréseux hémicylindrique convexe 4 à 5 mm de diamètre dont les segments courbes et ramifiés dessinent un réseau horizontal aux mailles « en écaille de poisson » de largeur irrégulière variant de 30 à 50 mm. Un seul exemplaire trouvé éboulé au pied de l'affleurement 1 (EJD 3876; Pl. 6, fig. 1). Cette trace considérée comme un sous-genre de *Paleodictyon* (SEILACHER 1977 in UCHMAN, 1995, 1999) est connue dans les flyschs carbonifères (CHAMBERLAIN 1971) à éocènes (CRIMES 1977).

Paleodictyon MENEGHINI 1850. Hyporeliefs gréseux hémicylindriques convexes de taille variable dont les cordons rectilignes dessinent un réseau horizontal aux mailles hexagonales « en nid d'abeilles ». Trois exemplaires.

Les deux premiers présentent un diamètre de 0.5 mm pour une maille régulière de largeur millimétrique. Les deux ont été trouvés déplacés, l'un sur l'affleurement 4' (EJD 3731, Pl. 6, fig. 2), l'autre dans les déblais de la petite carrière abandonnée au nord de l'affleurement 5 (EJD 3774; Pl. 6, fig. 3). Les très faibles dimensions de leurs cordons et de leur maille conduisent à les rapprocher de *P. minimum* SACCO 1888 ou de *P. latum* VIALOV & GOLEV 1965 d'après la classification morphométrique d'UCHMAN (1995).

Le troisième a un diamètre de 1 mm pour une maille subhexagonale de forme irrégulière et de taille variable de 3 à 5 mm. Bien que sa maille soit de taille inférieure, son irrégularité évoque celle de *P. imperfectum* de SEILACHER 1977, un rapprochement informel compte tenu des réserves UCHMAN (1995). Trouvé déplacé en rive droite de La Baure dans le thalweg situé en face l'affleurement 7 (J.-J. Pétris,

communication orale ; JJP/EJD 3756 ; Pl. 6, fig. 4).

Ces *Megagraption* et *Paleodictyon* font également partie des traces emblématiques de l'ichnofaciès *Nereites* (FREY *et al.* 1990, PEMBERTON *et al.* 1992) qui est propre au milieu marin profond des flyschs. Néanmoins, quelques *Paleodictyon* ont aussi été exceptionnellement signalées en eaux peu profondes (HÄNTZPERGUE & BRANGER 1992). Les *Paleodictyon* sont également présentes dans les eaux profondes actuelles où elles ont été photographiées et même prélevées sans que l'organisme qui les a produites ait pu être observé (GAILLARD 1991a et b). Elles correspondent à des terriers vides qui communiquent avec les eaux sus-jacentes par leurs galeries verticales (très rarement conservées dans l'ancien car le plus souvent érodées) et dans lesquels leur auteur consomme les microorganismes piégés et/ou le voile bactérien qui se développe sur leur paroi. Ils correspondent à des terriers d'élevage (*agrichnia*).

2. L'intérêt paléocéologique des traces

Malgré leur observation en nombre limité, l'ensemble des traces précédentes témoigne d'une certaine diversité des activités biologiques qui sont à l'origine d'une bioturbation d'intensité inégale des sédiments et qui sont produites par trois faunes distinctes respectivement liées aux sédiments hémipélagiques, turbiditiques ou aux deux à la fois de l'environnement marin profond des Grès de Celles (fig. 10).

2.1. Les traces témoins de la diversité des activités biologiques

Traces d'habitation (*Domichnia*). Les *Ophiomorpha* et *Thalassinoides* sont les terriers d'habitation des crustacés décapodes suspensivores (Crabes, crevettes) qui se nourrissent des particules en suspension près du fond.

Traces d'alimentation (*Fodinichnia*). Les *Scolicia strozzi* (ex *Taphrhelminthopsis*) et *prisca* sont les terriers d'alimentation construits par le fouissage d'oursins irréguliers

limnivores près de la surface des boues hémipélagiques ou des sables turbiditiques pour se nourrir de la matière organique qu'ils renferment. *Zoophycos*, *Planolites*, *Taenidium*, *Chondrites*, sont également des terriers d'alimentation d'organismes limnivores vermiformes inconnus qui exploitent aussi les sédiments sableux ou boueux.

Traces de locomotion (*Repichnia/Pascichnia*). Les *Spirophycus* sont les moulages de pistes des vers entéropeustes limnivores qui sont conservées à la surface des boues hémipélagiques grâce au cordon fécal qu'ils laissent derrière eux.

Traces de mort (*Taphichnia*). *Cardioichnus* fournit le cas rare du moulage de l'empreinte d'un oursin irrégulier limnivore décédé à l'extrémité de son terrier avant d'être emporté par un courant de turbidité.

Traces de culture (*Agrichnia*). *Helminthorhapse*, *Urohelinthoïda*, *Megagraption*, *Squamodictyon*, *Paleodictyon* sont des terriers vides à la géométrie complexe qui communiquent avec la surface des sédiments et les eaux du fond marin par leur galeries verticales. En parcourant ces terriers leurs auteurs peuvent consommer les microorganismes qui y ont été piégés et/ou le voile bactérien qui se développe sur leur paroi. Ce sont donc de véritables terriers de culture qui se rencontrent essentiellement dans les eaux profondes actuelles (photos, prélèvements) où l'organisme qui les produit n'a pas encore pu être observé.

2.2. Les traces témoins de la bioturbation inégale des sédiments

Dans la plupart des cas les diverses activités biologiques des auteurs des traces que l'on vient d'évoquer perturbent peu la structure des sédiments dont la bioturbation est insignifiante à l'exception de trois cas. D'une part sur toute l'épaisseur des hémipélagites où la densité des *Chondrites*

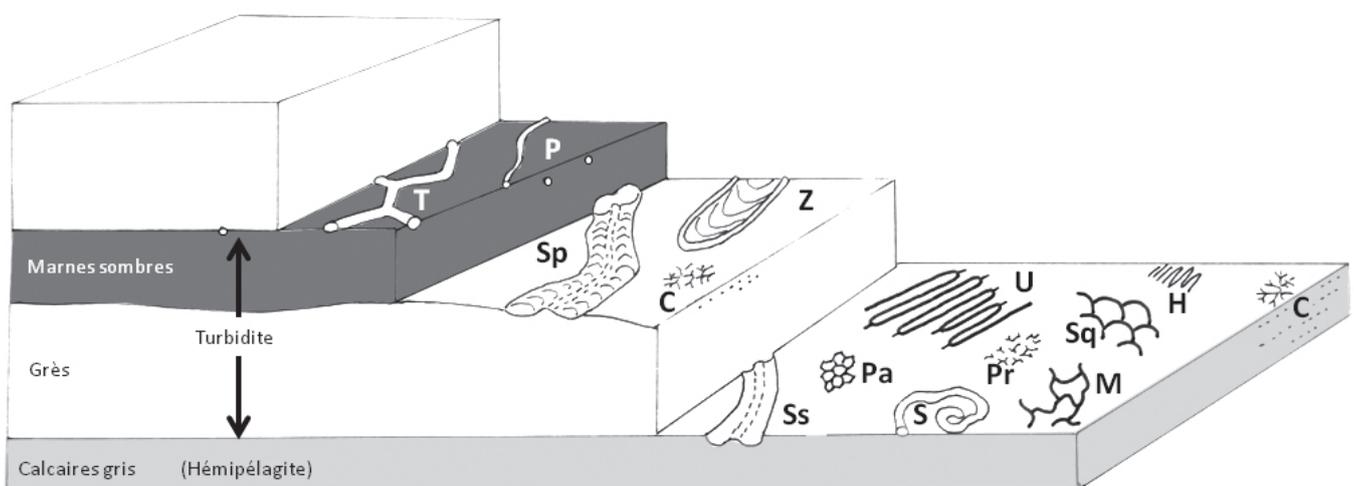


Fig. 10. Représentation synthétique schématisée de la position des traces fossiles dans les Grès de Celles (Echelle libre). Légende – C : *Chondrites* ; H : *Helminthorhapse* ; M : *Megagraption* ; P : *Planolites* ; Pa : *Paleodictyon* ; Pr : *Protopaleodictyon* ; S : *Spirophycus* ; Sp : *Scolicia prisca* ; Sq : *Squamodictyon* ; Ss : *Scolicia strozzi* ; T : *Thalassinoides* ; U : *Urohelinthoïda* ; Z : *Zoophycus*.

est parfois importante (Pl. 1, fig. 7), et, d'autre part, sur le sommet des turbidites que les *Zoophycos* perturbent au moins ponctuellement compte tenu de la faible surface d'observation disponible de l'ordre de leur diamètre, alors que les *Scolicia* plus petits mais très rapprochés peuvent le déstructurer entièrement (Pl. 5, fig. 8).

2.3. Les traces témoins des trois faunes particulières

La position des traces observée en hypo, endo et épireliefs des grès turbiditiques et en endoreliefs des marnes turbiditiques et des marno-calcaires hémipélagiques permet de distinguer les trois faunes particulières qui sont présentes dans le bassin flysch des Grès de Celles (fig. 10).

2.3.1. La faune des boues hémipélagiques

Outre les microorganismes épi et endobenthiques qui vivaient sur le fond ou près de sa surface, ce sont des organismes vermiformes inconnus qui en constituent l'essentiel. Ils y ont laissé les rares traces suivantes : *Helminthorhapha*, *Trace indéterminée 1*, *Urohelminthoida*, *Megagraption*, *Squamodictyon* et *Paleodictyon*. Elles correspondent toutes à des terriers de culture géométriquement complexes qui étaient creusés dans la tranche superficielle des boues hémipélagiques où ils restaient vides et ouverts sur les eaux sus-jacentes par leurs galeries verticales avant d'être décapés par le courant de turbidité à l'origine de la destruction de leurs galeries verticales puis du moulage de leurs galeries horizontales par le dépôt des sables turbiditiques. Ils sont caractéristiques de l'ichnofaciès *Nereites* qui est propre aux eaux marines profondes, bien oxygénées et le plus souvent calmes mais régulièrement soumise à l'agitation temporaire des courants de turbidité (FREY *et al.* 1990, PEMBERTON *et al.* 1992).

Deux autres organismes peu abondants et qui vivaient également à la surface des boues ou à sa proximité leur sont associées. Les premiers sont les vers Entéropeustes. détritivores et limnivores, ils se déplaçaient sur le fond en laissant derrière eux leur cordon fécal qui était emporté par les courants de turbidité mais connu grâce au moulage de leur empreinte par le sable à l'origine des *Spirophycus*. Les seconds sont les oursins irréguliers limnivores dont le déplacement produisait des terriers peu profonds. Ils étaient eux aussi emportés par les courants de turbidité en laissant les empreintes déprimées de leurs bases bilobées qui une fois moulées par le sable donnaient les *Scolicia strozzi* (*Taphrhelminthopsis*). De plus, l'un de ces oursins, vraisemblablement mort sur place, a laissé sa propre empreinte dont le moulage a donné le *Cardioichnus*.

Cette faune des hémipélagites est donc assez diversifiée mais peu abondante. Elle est adaptée aux longues périodes calmes de son milieu au cours desquelles les nutriments relativement peu abondants proviennent du plancton des eaux superficielles après une lente décantation. Elle correspond à une communauté de spécialistes, les « stratèges K », qui est caractérisée par des effectifs faibles aux durées de vie prolongées (UCHMAN 1995, GALL 1994).

2.3.2. La faune des sables turbiditiques

Dans les sables fins laminés du sommet des turbidites des organismes vermiformes limnivores inconnus ont creusé et rempli les nombreux terriers d'alimentation qui constituaient les édifices simples ou spiralés des *Zoophycos*. Un autre organisme vermiforme limnivore inconnu y a creusé un terrier courbe plus simple mais dont le rétroremplissage est structuré par les ménisques du *Taenidium*. Des oursins irréguliers limnivores y ont également creusé les très nombreux terriers sinueux au rétroremplissage complexe des *Scolicia prisca* qui sont parfois à l'origine de la bioturbation totale du sédiment.

Dans les sables de la base des turbidites des crustacés décapodes suspensivores, crabes, crevettes, sont responsables des terriers d'habitation assez rares et peu développés des *Thalassinoides* et des *Ophiomorpha*. Ces crustacés vivent essentiellement dans les milieux littoraux où leurs terriers très développés peuvent former des réseaux denses et complexes. Leur faible densité de peuplement en milieu profond et leurs terriers peu développés ont été expliqués par leur transport avec les sables turbiditiques et par leur capacité à y survivre quelque temps.

À l'inverse de la faune précédente cette faune des sables turbiditiques est donc assez peu diversifiée mais souvent plus abondante. Elle exploite les nutriments apportés en quantité par les courants de turbidité et correspond ainsi à une communauté d'organismes opportunistes, les « stratèges r », qui se développent en grand nombre pour exploiter les ressources disponibles avant de disparaître lorsqu'elles sont épuisées (UCHMAN 1995, GALL 1994).

2.3.3. La faune commune aux boues et aux sables

D'autres organismes vermiformes limnivores inconnus ont également creusé et rempli les nombreux terriers d'alimentation correspondants aux *Planolites* et aux *Chondrites* qui se développent aussi bien dans les boues hémipélagiques que dans les sables et les boues turbiditiques. Auxquels il faut sans doute ajouter des oursins irréguliers limnivores bien qu'ils puissent appartenir à des espèces distinctes propres à chacun des deux milieux de vie comme c'est le cas pour les *Ophiomorpha* (UCHMAN 1995).

La distribution des traces fossiles des Grès de Celles en trois groupes s'avère ainsi assez semblable à celle des sédiments des plaines sous-marines et des lobes de dépôt d'autres flyschs alpins. Des flyschs à hémipélagites carbonatées qui se sont eux aussi déposés au-dessus du niveau de compensation des carbonates comme par exemple celui du « Groupe de Hecho » des Pyrénées méridionales qui s'est déposé à l'Eocène entre 600 et 2000 m de profondeur (UCHMAN 2001) ou de la « Formation Marnoso-Arenacea » des Apennins septentrionaux d'âge miocène (UCHMAN 1995). Mais aussi des flyschs dont les hémipélagites ne sont plus carbonatées et qui se sont donc accumulés au-dessous du niveau de compensation des carbonates tels ceux du Gurnigel et du Schlieren des Alpes Suisses qui se sont déposés du Maastrichtien à l'Eocène à des profondeurs comprises entre 2500 et 5000 m (CRIMES *et al.* 1981, GALL 1994).

IV. Conclusion

L'ensemble des données nouvelles présentées lève le doute qui avait été émis sur la validité de l'analogie entre les conditions de sédimentation admises pour les Grès de Celles et celles des flyschs en général (TOMASI 1965) mais qui depuis n'avait jamais été discuté. En effet, maintenant, il est doublement établi que sur leur coupe-type les Grès de Celles sont bien un flysch et plus précisément une série à turbidites et à hémipélagites. D'abord, par la reconnaissance de leurs divers lithofaciès et de leurs modes de mise en place respectifs, à l'origine d'hémipélagites, de diverses turbidites, de débrites, de slumps et de mégablocs, ainsi que par celle de leurs associations distinctes à l'origine de flyschs péliogréseux, grésopélique et gréseux qui sont semblables à celles des sédiments de plaine sous-marine et de lobes de dépôt des systèmes sous-marins gréseux et péliques qui progradent en eaux profondes. Ensuite, par la mise en évidence de la variété insoupçonnée de leurs traces fossiles dont certaines sont caractéristiques du milieu marin profond alors que d'autres appartiennent le plus souvent à des milieux marins moins profonds mais sont classiquement associées aux premières. Enfin, la diversité et la complémentarité de ces deux types de données ont conduit à proposer l'inscription de l'affleurement 1 (Grès de Celles inférieurs dans le village de Celles) à l'inventaire national du patrimoine géologique de l'Ariège. Ses intérêts sédimentologique, paléontologique et pédagogique, lui ont permis d'être retenu parmi les sites géologiques ariégeois d'intérêt patrimonial régional auxquels ont été attribuées deux étoiles sur trois (DEBROAS 2016).

Ainsi, il y a environ 85 Ma, les Grès de Celles s'accumulaient dans des eaux relativement profondes, de 150 à 200 m à la partie supérieure du milieu marin profond, dans lesquelles régnaient une obscurité totale, une pression hydrostatique forte, une température basse de seulement quelques degrés et une alternance de longues périodes calmes et de brefs épisodes d'agitation. Les premières étaient propices à la lente décantation de faibles épaisseurs centimétriques des boues hémipélagiques calcaires et marneuses et duraient sans doute des mois ou des années. Les seconds duraient seulement quelques heures à quelques jours et étaient induits par l'arrivée des courants de turbidité qui érodaient plus ou moins la surface des boues antérieures avant de les enfouir sous les épaisseurs très variables, centimétriques à plurimétriques, de sable et de boue qu'ils transportaient et que déposaient des courants tractifs de vitesse décroissante puis une lente décantation. A l'arrivée de chaque courant de turbidité les rares organismes de la faune propre au milieu marin profond et calme qui vivaient en surface et à proximité de ces boues hémipélagiques, étaient exterminés par déplacement et/ou enfouissement puis remplacés par ceux plus nombreux des milieux moins profonds sans doute en partie apportés avec les sables et les boues turbiditiques ou attirés par l'afflux de nutriments. Avec le retour au calme, les nouvelles boues de décantation étaient progressivement recolonisées à partir des zones voisines non perturbées par les courants et dont les organismes avaient été épargnés. Cette alternance monotone était parfois interrompue par une faible action de la base des vagues sur le fond et par des bouleversements plus importants liés à la resédimentation du flysch sous forme de débrites et

de slumps ainsi qu'à celles de carbonates plus anciens sous forme d'ensemble de mégablocs. L'intervention aléatoire de ces derniers événements catastrophiques indépendants de l'évolution du système sédimentaire était vraisemblablement liée à l'activité sismique de la frontière des plaques Europe et Ibérie soumise aux débuts de son écrasement.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Michel Bilotte qui est doublement à l'origine de cette note. D'abord pour lui avoir fait découvrir les flyschs du verdoyant bassin de Nalzen en 1974 puis surtout pour l'avoir récemment invité à mettre en forme ses données inédites et incomplètes acquises sur les Grès de Celles, essentiellement entre 1995 et 1999, afin de présenter les résultats de leur première analyse sédimentologique détaillée dans leur localité-type dont les trop rares affleurements avaient été si peu étudiés. Il remercie également : Mathias Tisseyre et Julien Thivet pour leur participation efficace au lever laborieux puis à l'analyse fastidieuse des profils sédimentologiques des Grès de Celles ; Laurent Koëss pour les précisions qu'il a apportées sur les mégablocs des Marnes à *Micraster* de la piste du Bois de la Berniouse ; Eric Metge, pour sa mise au point sur les foraminifères agglutinants néocrétacés de l'Atlantique nord (Metge 1999) ; Jean Magné † pour la détermination des foraminifères pélagiques et benthiques récoltés dans ce flysch ; Bernard Andreu pour celle de ses trop rares ostracodes et pour ses précisions sur leur milieu de vie ; Michel Hansotte † et Jean-Jacques Pétris qui m'ont respectivement confié un *Zoophycos* et un *Paleodictyon* de leur collection.

RÉFÉRENCES

- AZPEITIA MOROS, F., 1933. – Datos para estudio paleontológico del Flysch de la Costa Cantabrica y de algunos otros puntos de España. *Boletín Instituto Geológico y Minero de España*, 53, 1-65.
- Bagnères-de-Bigorre (1989). Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000, 1053 ; Crétacé supérieur de la zone sous-pyrénéenne par E.-J. Debroas. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières. éditions.*
- BILOTTE, M. 1975. – Le Crétacé supérieur du « Bassin de Nalzen » (Pyrénées ariégeoises). *Compte rendu sommaire de la Société géologique de France*, fasc. 4, 95-97.
- BILOTTE, M. 1985. – *Le Crétacé supérieur des plateformes Est-Pyrénéennes*. Thèse d'Etat, Université Toulouse, *Strata*, sér. 2, vol. 5, 438 pp.
- BILOTTE, M. 2011. – Faunes et faciès carbonatés resédimentés au toit des Grès de Celles (Crétacé supérieur du bassin de Nalzen – Ariège, France). Inventaire, révision et signification. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, t. 145, p. 67-75, 3 figs., 1 tabl., 1 pl.
- BILOTTE, M., E.-J. DEBROAS, P. BABY, G. CROUZET, J. DERAMOND, M. BONNEMAISON & D. GIOT. 1987. – Rôle des chevauchements nord-pyrénéens et des massifs de l'Arize et du Saint-Barthélémy dans l'évolution tecto-sédimentaire et la structure des bassins flyschs du Crétacé. *Géologie Profonde France 3*, thème 6, *Doc. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans*, n° 143, 3-43.
- BOUMA, A.H. 1962. – Sedimentology of some flysch deposits. A

- graphic approach to faciès interpretation. *Elsevier*, Amsterdam, 168 pp., 30 figs.
- BOURNE, D.W. & B.C. HEEZEN. 1965. – A wandering enteropneust from the abyssal Pacific and the distribution of « spiral » tracks on the sea floor. *Science*, 150, 60-63.
- CARALP J. 1899. – Sur le Flysch à Fucoides de la Bellongue et du bassin d'Oust (Pyrénées). *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 3, t. XXVII, 436-443.
- CAREZ, L. 1903-1909. – La Géologie des Pyrénées françaises. 6 fascicules. *Mémoires de la carte géologique de France*.
- CASTERAS, M. 1933. – Recherches sur la structure du versant nord des Pyrénées centrales et orientales. *Bulletin du Service de la carte géologique de France*, t. 37, n° 189, 525 pp.
- CASTERAS, M. 1957. – Celles (Grès de...). *Lexique stratigraphique international*, vol I EUROPE, Fasc. 4aVI, 85-86.
- CASTERAS, M. 1969. – *Carte géologique France (1/80 000), Notice explicative – Feuille de Foix (253)*. Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans. 25 pp.
- CHAMBERLAIN, C.K. 1971. – Morphology and ethology of trace fossils from the Ouachita Mountains, Southeast Oklahoma. *Journal of Paleontology*, vol. 45, n° 2, 212-246, 3 pls., 8 text-figs.
- CISZAK, R. 1973. – *Etude géologique de la partie orientale du chaînon du Pech de Foix et du « Bassin de Nalzen »*. Thèse 3^e cycle, Toulouse, 99 p., 10 pls.
- Commission Internationale de Stratigraphie, 2023. - Charte chronostratigraphique internationale, www.stratigraphy.org.
- CRIMES, T.P. 1973. – From limestones to distal turbidites: a faciès and trace fossil analysis in the Zumaya flysch (Paleocene-Eocene), North Spain. *Sedimentology*, 20, 105-131.
- CRIMES, T.P. 1977. – Trace fossils of an Eocene deep-sea fan, northern Spain. In Crimes T.P. & Harper J.C. eds, « Trace fossils 2 », *Geological Journal Special. Issue 9*, 71-90, 2 figs., 4 tabl., 7 pls.
- CRIMES, T.P., R. GOLDRING, P. HOMEWOOD, J. VAN STUIJVENBERG, W. WINKLER. 1981. – Trace fossil assemblages of deep-sea fan deposits, Gurnigel and Schlieren flysch (Cretaceous-Eocene, Switzerland). *Eclogae geologicae Helvetiae.*, vol. 74/3, 953-995, 13 figs., 3 tabl. et 4 pls.
- D'ALESSANDRO, A., A.A. EKDALE, M. SONNINO. 1986. – Sedimentologic significance of turbidite ichnofaciès in the Saraceno Formation (Eocene), Southern Italy. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 56, n° 2, 294-306, 9 figs.
- DEBROAS, E.-J. 1992. – La zone nord-pyrénéenne du gave d'Ossau au Salat – in Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées, vol.3 : Cycle alpin : Phénomènes alpins, Chapitre 22 Tectonique alpine, *Coédition AGSO et Bureau de Recherches géologiques et minières, Orléans* (2018), 220-256, 22 figs.
- DEBROAS, E.-J. 2016. – Grès santoniens de Celles. *Inventaire national du patrimoine géologique de l'Ariège*, fiche MPY 1058, 12 figs.
- DEBROAS, E.-J. & B. AZAMBRE. 2012 – Des brèches aux lherzolites, la mise en place des lherzolites dans les fossés albo-cénomaniens du Flysch noir de la Ballongue et d'Aulus (zone nord-pyrénéenne, Ariège) – Livret-guide d'excursion AGSO 9 et 10 juin 2012, 120 pp., 193 figs. - Livret-guide numérique d'excursion complétant les données des cartes géologiques Aspet (Debroas *et al.*, 2016) et Aulus (Colchen *et al.*, 1997 ; Ternet *et al.*, 1997) à 1/50 000. 9 et 10 juin 2012, *Géologie de la France*, n° 1, 2016, p. 3-5, <http://geolfrance.brgm.fr/brechtes-aux-lherzolites-mise-en-place-lherzolites-fosses-flysch-noir-albo-cenomaniens-ballongue>
- DELOFFRE, R. 1965. – Etude géologique du Flysch crétacé supérieur entre les vallées de l'Ouzom et du Gave de Mauléon (Basses-Pyrénées). *Thèse Doctorat Sciences Naturelles*, Université de Paris, 265 pp., 69 figs., XXVIII pls., 2 pls h.-t.
- EHRENBERG, K. 1944. – Ergänzende Bemerkungen zu de seinertzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschrieben Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. *Paläontologische Zeitschrift*, 23, 345-359.
- EKDALE, A.A., R.G. BROMLEY, S.G. PEMBERTON. 1984. – Ichnology. Trace fossils in sedimentology and stratigraphy. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course n° 15*, 316 pp.
- Foix (1986). – Carte géologique de la France à 1/50 000, 1075 ; Explorations et tracés des terrains secondaires et tertiaires par M. Casteras, J. Rey, P. Souquet, B. Peybernès, M. Bilotte, R. Ciszak, M. Buis. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans éditions*.
- Foix (1988). – Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000, 1075 ; Crétacé supérieur et Paléogène inférieur ; Structure du bassin de Nalzen par M. Bilotte. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans éditions*.
- FREY, R.W., S.G. PEMBERTON, T.D.A. SAUNDERS. 1990. – Ichnofaciès and bathymetry: a passive relationship. *Journal of Paleontology*, 64, (1), 155-158, 1 fig.
- FROSSARD, E. 1876. – La Scolitia prisca. *Bulletin Société Ramond, Explorations Pyrénéennes*, Société Ramond, Bagnères-de-Bigorre, 73-76.
- GALL, J.-C., 1994. – *Paleoécologie. Paysages et environnements disparus*. Masson éd., 211-216.
- GAILLARD, C. 1991a. – Recent organism traces and ichnofaciès on the deep-sea floor off New-Caledonia, southwestern Pacific. *Palaios*, V. 6, 302-315.
- GAILLARD, C. 1991b. – Bioturbation et biocorrosion. In *L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (Programme Envimarges)*. Documents et travaux IGAL, Paris, n° 15, 167-181, 3 pls. h.-t.
- GARRIGOU, F. 1865. – Aperçu géologique sur le bassin de l'Ariège. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e sér., t. XXII, 473-513.
- GARRIGOU, F. 1866. – Etude géologique de l'étage turonien le long du versant nord de la chaîne des Pyrénées. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e sér., t. XXIII, 419-434.
- GÉRARD, J. & R. BROMLEY. 2008. – Ichnofabriès in clastic sediments. Applications to sedimentological core studies. *Total, Association des Sedimentologues Français, Repsol*, 97 pp.
- GHIBAUDO, G. 1992. – Subaqueous sediment gravity flow deposits: practical criteria for their description and classification. *Sedimentology*, 39, 424-454.
- GOMEZ DE LLARENA, J., 1954. – Observaciones geologicas en el Flysch Cretacico-Nummulítico de Guipúzcoa. *I. Monografía del Inst. « Lucas Mollado »* 13, 1-98, Madrid.
- GUBLER, Y & A. VATAN. 1943. – Rythmes de sédimentation dans les zones de Nalzen, du Pech de Foix, et du Dreuilhe (Ariège) pendant les temps crétacés. *Bulletin de la Société géologique de France*, 5^e sér., t. XIII, 299-332, 1 fig., 2 tabl., 2 pls.
- HANTZPERGUE, P. & P. BRANGER. 1992. – L'ichnogène Paleodictyon dans les dépôts néritiques de l'Oxfordien supérieur Nord-Aquitaine (France). *Géobios*, 25, 195-205.
- HANTZSCHEL, W. 1975. – Trace fossils and Problematica. In Teichert C. (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellaneous, supplement 1*. Geological Society of America and The University of Kansas, Boulder Colorado and Lawrence Kansas, 269 pp.

- HEARD, T.G. & K.T. PICKERING. 2007. – Trace fossils as diagnostic indicators of deep-marine environments, Middle Eocene Ainsa-Jaca basin, Spanish Pyrenees. *Sedimentology*, doi: 10.1111/j.1365-3091.2007.009922.x
- HEER, O. 1877. – Flora Fossilis Helvetiae. *Vorweltliche Flora des Schweiss*. 182 pp., Zurich (J. Wurster & Comp.).
- HOLLISTER, C.D., B.C. HEEZEN & K.E. NAFE. 1975. – Animal Traces on the deep-sea Floor. In R.W. Frey (ed.) *The study of trace fossils*. Springer Verlag, 493-510.
- JACOB, C., M. CASTERAS, E. DALLONI, E. RAGUIN. 1950. – Foix, n°253, *Carte géologique détaillée de la France 1/80 000*, 2^e éd.
- KERN, J.P. 1980. – Origin of trace fossils in Polish Carpathian flysch. *Lethaia*, V. 13, 347-362.
- KRUIT, C., J. BROUWER, G. KNOX, W. SCHOLLNBERGER, A. VAN VLIET. 1975. – Une excursion aux cônes d'alluvions en eau profonde d'âge tertiaire près de San Sebastian (Province de Guipuzcoa, Espagne). IX^e Congrès International de Sédimentologie, Nice (France), Livret-guide de l'excursion Z-23. 75 pp.
- KOËSS, L. 1996. – Les Marnes à *Micraster heberti* du lambeau du Bastié et du bassin de Nalzen (Ariège). Mémoire de Maîtrise de Sciences de la Terre, Université Paul-Sabatier - Toulouse III, 63 pp., 37 figs.
- KSIAZKIEWICZ, M. 1977. – Trace fossils in the flysch of the Polish Carpathians. *Palaeontologia Polonica*, n° 36, 208 pp., 45 figs., 17 tabl., 28 pls. h-t.
- KUHNT, W. & M. MOULLADE. 1991. – Quantitative analysis of Upper Cretaceous abyssal agglutinated foraminiferal distribution in the North Atlantic. Paleooceanographic implications. *Revue de Micropaleontologie*, V. 34, n° 4, 313-349.
- LABAUME, P., E. MUTTI, M. SÉGURET & J. ROSELL. 1983. – Mégaturbidites carbonatées du bassin turbiditique de l'Eocène inférieur et moyen sud-pyrénéen. *Bulletin de la Société géologique de France*, (7), XXV, 6, 927-941.
- LACVIVIER, C. de 1884. – Études géologiques sur le département de l'Ariège et en particulier sur le terrain crétacé. *Annales des Sciences géologiques*, t. XV, 305 pp., 5 pls., 1 carte géologique.
- LANAU, M. 1971. – *Le Crétacé supérieur nord-pyrénéen des bassins de Soueix, Oust-Massat et Saurat (Ariège)*. Thèse 3^e cycle, Université de Toulouse, 111pp., 18 figs., 10 pls.
- Lavelanet (1984). Carte géologique de la France à 1/50 000, 1076 ; Explorations et tracés des formations antérieures à l'Ilerdien par P. Souquet, B. Peybernès, M. Bilotte, J.-P. Bousquet, R. Ciszak, F. Marty. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans éditions*.
- Lavelanet (1988). Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000, 1076 ; Description des terrains secondaires du Cénomaniens au Maastrichtien et structure des terrains au Nord du chevauchement du Pays de Sault par M. Bilotte. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans éditions*.
- LEYMERIE, A. 1863. – Étude géognostique de la vallée de l'Ariège. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e sér., t. XX, 245-291.
- LUNDGREN, B. 1891 – Studier öfver fossilförhande Iösa block. *Geologiska Föreningen i Stockholm i Förhandlingar* 13: 111-121, Stockholm.
- MASSALONGO, A. 1855. – *Monografia delle nereidi fossili del Monte Bolca*. 35 pp., Verona (Antonelli).
- MATHEY, B. 1986. – *Les flyschs crétacé supérieur des Pyrénées basques. Age, anatomie, origine du matériel, milieu de dépôt et relations avec l'ouverture du Golfe de Gascogne*. Thèse Sciences, Université de Bourgogne, 403 pp., 124 figs.
- METGE, E. 1999. – *Intérêt paléocéologique des foraminifères agglutinants profonds du Crétacé supérieur du domaine nord-atlantique*. Mémoire de Maîtrise de Sciences de la Terre, Université Paul-Sabatier - Toulouse III. 78 pp., 42 figs., 6 tabl., 5 pls.
- MONOD, B. *et al.* 2014. – Carte géologique numérique à 1/250 000 de la région Midi-Pyrénées. Notice technique. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans /RP-63650-FR*, 160 pp., 23 figs., 1 pl. hors-texte.
- MUTTI, E. 1979. – *Turbidites et cônes sous-marins profonds*. In Homewood P.(ed.) « Sedimentation détritique (fluviale, littorale et marine) », Institut de Géologie, Université de Fribourg, Suisse, 353-419.
- MUTTI, E. & F. RICCI-LUCCHI. 1975. – *Turbidite Faciès and Faciès Associations*. In *Examples of Turbidite Facies and Facies Associations from Selected Formations of the Northern Apennines* (E. Mutti *et al.*, Eds.) Field Trip Guidebook A-11, p. 21-26. 9th International Association of Sedimentologists Congress, Nice.
- MUTTI, E. & T.H. NILSEN. 1981. – *Significance of Intraformational Rip-Up Clasts in the Deep-Sea Fans Deposits*. International Association of Sedimentologists 2nd European regional Meeting, Bologne. Abstr., 117-119.
- MUTTI, E. & M. SONNINO. 1981. – *Compensation cycles: A Diagnostic Feature of Turbidite Sandstone Lobes*. International Association of Sedimentologists 2nd European regional Meeting, Bologne. Abstr., pp. 120-123.
- MUTTI, E. & W.R. NORMARK. 1987. – *Comparing Examples of Modern and Ancient Turbidite Systems: Problems and Concepts*. In: *Marine Clastic Sedimentology: Concepts and Case Studies* (Ed. by J.K. Legget & G.G. Zuffa), 1-38. Graham and Trotman, London.
- MUTTI, E. & W.R. NORMARK. 1991. – *An Integrated Approach to the Study of Turbidite Systems*. In : *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidites Systems* (Ed. by P. Weimer & M.H. Link), 75-106. Springer-Verlag, New York.
- NEDERBRAGT, A.J. 1991. – Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (Foraminifera). *Micropaleontology*, 37: 329-372.
- NICHOLSON, H. A. 1873. – Contribution of the errant annelids of the older Paleozoic rock. *Proceedings of the Royal Society of London*. 21: 288-290 and *Geological Magazine* 10: 309-310.
- PLAZIAT, J.-P. & M. MAHMOUDI. 1988. – Trace fossils attributed to burrowing echinoids: a revision including new ichnogenus and ichnospecies. *Geobios*, V. 21, 209-233.
- PEMBERTON, S.G., J.A. MACÉACHERN & R.W. FREY. 1992. – *Trace Fossil Facies Models: Environmental and Allostratigraphic Significance*. In *Facies Models, Response to sea level change*, R.G. Walker & N.P. James eds, Geological Association of Canada, 47-72, 25 figs.
- PEYBERNÈS, B., PH. PONS, J.C. ROUX & P. SOUQUET. 1984. – Apports de l'étude des terrains secondaires à l'appréciation du degré d'allochtonie du massif de l'Arize. Programme Géologie Profonde de la France 1, thème 6. *Documentation Bureau de Recherches Géologiques et Minière*, 81-6, p. 23-37.
- PICKERING, K.T., R.N. HISCOTT & F.J. HEIN. 1989. – *Deep marine environments. Clastic sedimentation and tectonics*. Unwin Hyman, London, 416 pp.
- QUATREFAGES, M.A. DE, 1849. – Note sur la *Scolicia prisca* (A. de Q.) annélide fossile de la craie. *Annales des Sciences Naturelles*, 3 sér., Zoologie 12, 2265-2266. Paris.
- RAMIÈRE DE FORTANIER, E. 1933. – Les terrains crétacés entre Foix

- et Bélesta. Etude Stratigraphique et Tectonique. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, t. 65, 369-468, 2 pls.
- ROBASZYNSKI, F. & M. CARON. 1995. – Foraminifères planctoniques du Crétacé : commentaire de la zonation Europe-Méditerranée. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 166, n° 6, 681-692.
- SACCO, F. 1888. – Note di Paleocnologia Italiana. *Atti della Società Italiana di Scienze Naturali*, 3, 151-192, Milano.
- SAVI, P. & G.G. MENEGHINI. 1850. – *Osservazioni stratigrafiche e paleontologiche concernati la geologia delle Toscane e dei paesi limitrofi*. Appendix in Murchison R.I. : Memoria sulla struttura geologica delle Alpi, degli Apennini e dei Carpazi. 246-528, Firenze (Stamperia granucale).
- SEILACHER, A. 1977. – Pattern analysis of *Paleodictyon* and related trace fossils. In: Crimes, T.P. & Harper, J.C. (eds). Trace fossils 2. *Geological Journal*, Special Issue 9, 289-334, Liverpool.
- SMITH, A.B. & T.P. CRIMES. 1983. – Trace fossils formed by heart urchins - a study of *Scolicia* and related traces. *Lethaia*, 16, 79-92.
- SOUQUET, P. 1969. – Nouvelles observations stratigraphiques sur le Crétacé supérieur de l'Ariège et de la Haute-Garonne. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, sér. D, t. 269, 2491-2493.
- SOUQUET, P. & M. LANAU. 1972. – Contribution à l'étude des flyschs nord-pyrénéens : le flysch ardoisier et le flysch à fucoïdes des bassins internes ariégeois. *Compte rendu sommaire de la Société géologique de France*, fasc.4, 18-19, 2 figs.
- SOUQUET, P. & PH. PONS. 1985. – Allochtonie du massif nord-pyrénéen de l'Arize : hypothèse d'un chevauchement sur une série turbiditique d'âge sénonien. Programme Géologie Profonde de la France 2, thème 6. *Documentation Bureau de Recherches Géologiques et Minière*, 95-6, 19-27.
- STENBERG, G.K. 1833. – Versuch einer geognostich-botanischen Darstellung des Flora der Vorwelt. IV Heft. 48 pp., Regensburg (C.E. Brenck).
- STOW, D.A.V., H.G. READING & J.D. COLLINSON. 1996 – *Deep seas. In Sedimentary environments : Processes, Facies and Stratigraphy*. H.G. Reading ed, Blackwell Science, 395-453.
- TISSEYRE, M. 1996. – *Analyse des faciès des Grès de Celles, Flysch santonien de la zone nord-pyrénéenne ariégeoise, dans leur localité type*. Mémoire de Maîtrise de Sciences de la Terre, Université Paul-Sabatier - Toulouse III. 50 pp., 28 pls.
- THIVET, J. 1997. – *Analyse des faciès des Grès de la Jourdan, Flysch sénonien de la zone nord-pyrénéenne, sur la coupe de Celles (Ariège)*. Mémoire de Maîtrise de Sciences de la Terre, Université Pau- Sabatier - Toulouse III. 56 pp., 32 figs.
- TOMASI, P. 1965. – *Contribution à l'étude géologique du bassin de Nalzen (Ariège)*. Thèse 3^e cycle, Université Montpellier. 246 pp., 32 figs., 11 pls. h.t., 45 pls. photo, 1 carte 20 000.
- UCHMAN, A. 1995. – Taxonomie and paleoecology of flysch trace fossils : The Marnoso-arenacea Formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). *Beringeria*, Würzburg, 15, 3-115, 33 text-figs, 16 pls.
- UCHMAN, A. 1999. – Ichnology of the Rhenodanubian Flysch (Lower Cretaceous-Eocene) in Austria and Germany. *Beringeria*, Würzburg, 25, 67-173, 26 text-figs, 15 tabs., 20 pls.
- UCHMAN, A. 2001. – Eocene flysch trace fossils from the Hecho Group of the Pyrenees, northern Spain. *Beringeria*, Würzburg, 28, 3-41, 3 text-figs, 14 pls.
- VIALOV, O.S. & B.T. GOLEV. 1960. – K sistematike *Paleodictyon*. *Akad. Nauk USSR, Doklady*. 134, 175-178, 1 fig.
- VIALOV, O.S. & B.T. GOLEV. 1965. – O drobnom podrazdeleni gruppy *Paleodictyonidae*. *Byulletin Moskovskovo Obshchestva Ispytately Prirody, Otdiel Geologicheskoy*, 41, 93-114, Moskva.
- WETZEL, A & R.G. BROMLEY. 1996. – Re-evaluation of the ichnogenus *Helminthopsis* – A new look at the type material. *Paleontology*, vol. 39, Part 1, 1-19, 7 figs., 1 tabl.

Planche 1

Echelles utilisées : marteau (33 x 18.5 cm) et bouchon d'objectif (5 cm)

- Fig. 1. L'affleurement des Grès de Celles dans leur village éponyme (affl. 1, au carrefour de la route départementale 117 et de la route de Montcamp ; photographié en Juillet 1995... actuellement, il est largement masqué par la végétation)
- Fig. 2. Les deux types de pélites des Grès de Celles sur l'affleurement 1. En haut, marne sombre massive feuilletée (Faciès M turbiditique) et, en bas, marno-calcaire clair massif et compact (Faciès C hémipélagique)
- Fig. 3. Séquence de Bouma Tb-e en série inverse sur l'affleurement 2. De bas (à gauche) en haut (à droite), elle montre sa discontinuité basale plane, les grès moyens à lamines horizontales (b), les grès à rides dont les lamines sont convolutées (c), les grès fins à lamines horizontales (d) et les marnes sombres sommitales peu épaisses (e). Au-dessus on reconnaît des hémipélagites plus claires
- Fig. 4. Banc de grès épais à grandes stratifications obliques en série inverse de l'affleurement 4 supérieur. De bas (à gauche, en haut) en haut (à droite, en bas) on distingue la discontinuité basale, les grès massifs à galets mous, les grès à lamines horizontales, les grès à grandes stratifications obliques, une discontinuité, des grès à lamines subhorizontales et une discontinuité sommitale surmontée de marnes sombres qui occupent le joint de stratification sur lequel repose le marteau
- Fig. 5. Moulage de traces d'impact d'objets (*Prod casts*) à la base d'un bloc de grès éboulé de l'affleurement 4. Ces traces indiquent des écoulements de sens opposé (vers le haut en bas et vers le bas en haut) et dont la direction fait un angle voisin de 30 à 45. Elles sont associées aux 4 petites traces en crochet (*Hook casts*) numérotées de 1 à 4 qui résultent d'un mouvement alternatif et d'un déplacement latéral des eaux sur le fond. Les deux témoignent d'une légère action des vagues de tempête sur le fond
- Fig. 6. Bord latéral d'une surface d'érosion tabulaire peu profonde de l'affleurement 4 supérieur. L'essentiel de son remplissage est assuré par le banc lenticulaire sur lequel le marteau (encerclé) est posé
- Fig. 7. Gros galets mous de marne sombre dans les grès massifs de la base d'une turbidite complète Ta-e de l'affleurement 1
- Fig. 8. Grands débris végétaux ligniteux et charbonneux à la surface d'un bloc éboulé, de l'affleurement 4



Planche 2

Echelles utilisées : marteau (33 x 18.5 cm) et bouchon d'objectif (5 cm) et allumette (5 cm)

Fig. 1. *Cardioichnus* (C) et *Scolicia strozzi* (T : ex *Taphrhelminthopsis*). A la base d'un banc de grès de l'affleurement 0

Fig. 2. *Planolites*. Dans les marnes sombres turbiditiques de l'affleurement 1

Fig. 3. *Taenidium* (T). A la surface d'un fragment déplacé de grès fins laminés du sommet d'une turbidite de l'affleurement 2 (EJD 3748)

Fig. 4. *Chondrites 1*. A la surface d'une lamine horizontale de silt marneux du sommet d'une turbidite de l'affleurement 1 (EJD 3753)

Fig. 5. *Chondrites 2*. A la surface d'une lamine horizontale de grès fin du sommet d'une turbidite de l'affleurement 1 (EJD 3758)

Fig. 6. *Chondrites 3*. A la surface d'une lamine horizontale de grès fin du sommet d'une turbidite de l'affleurement 1 (EJD 3757)

Fig. 7. *Chondrites 4*. A la surface d'un mince banc de micrite hémipagique de l'affleurement 1 (EJD 3766)

Fig. 8. *Ophiomorpha* (O) et *Scolicia strozzi* (T : ex *Taphrhelminthopsis*). A la base d'un fragment déplacé de banc de grès turbiditique de l'affleurement 2 (EJD 3748). Le diamètre de l'*Ophiomorpha* est de 6 à 7mm ; la largeur du *Taphrhelminthopsis* de 14 à 15 mm

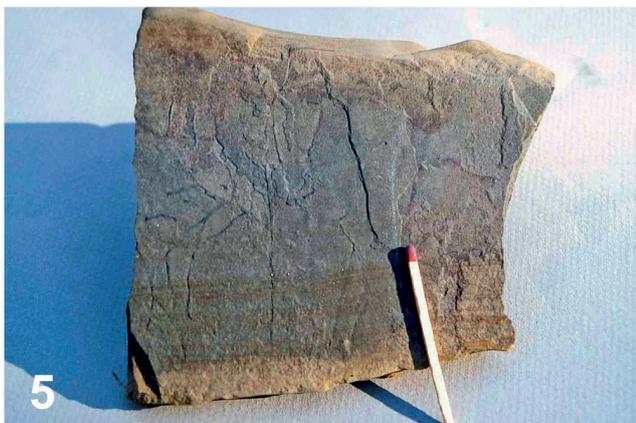
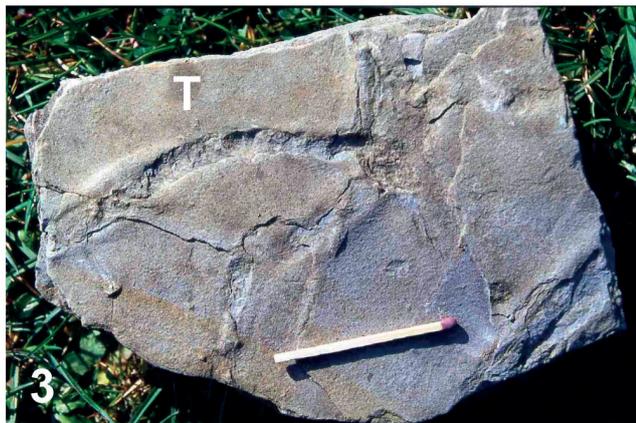


Planche 3

Echelles utilisées : marteau (33 x 18.5 cm) et bouchon d'objectif (5 cm) et allumette (5 cm)

Fig. 1. *Thalassinoides* 1. A la base d'un banc de grès turbiditique de l'affleurement 1 (EJD 3752)

Fig. 2. *Thalassinoides* 2. A la base d'un banc de grès turbiditique resédimenté de l'affleurement 5 (EJD 3762)

Fig. 3. *Thalassinoides* 3. A la base d'un bloc de grès déplacé dans la petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 (EJD 3710)

Fig. 4. *Scolicia strozzi* (ex *Taphrhelminthopsis*). A la base d'un banc de grès turbiditique de l'affleurement 1 (EJD 3834)

Fig. 5. *Scolicia prisca* 1. Surface supérieure d'un terrier complet sur les lamines ondulées de grès fin au sommet d'un fragment de turbidite déplacé de l'affleurement 8 (EJD 3843)

Fig. 6. *Scolicia prisca* 2 (« *Laminites* »). Section médiane d'un terrier près du sommet d'un bloc de grès déplacé dans la petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 (EJD 3764)

Fig. 7. *Scolicia prisca* 3 et 1. Surface inférieure du terrier au sommet d'un bloc gréseux déplacé sur l'affleurement 4' (EJD 3776). Dans l'angle supérieur gauche, le terrier complet est conservé sous sa surface supérieure

Fig. 8. Surface supérieure d'un banc de grès entièrement bioturbée par les *Scolicia*. Fragment gréseux déplacé dans la petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 (EJD 3768)

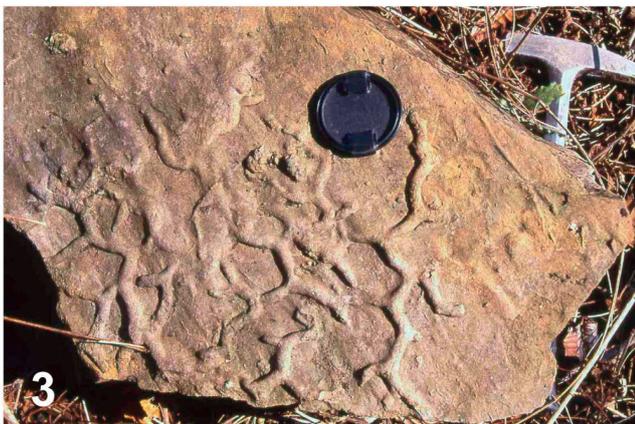


Planche 4

Echelles utilisées : bouchon d'objectif (5 cm) et allumette (5 cm)

- Fig. 1. *Zoophycos 1*. Au sommet d'un banc de grès déplacé sur l'affleurement 2 (EJD 3747). Cet exemplaire permet d'observer le développement rectiligne d'un terrier simple au sein de lamines horizontales de grès fin
- Fig. 2. *Zoophycos 1*. Au sommet d'un banc de grès déplacé sur l'affleurement 1 (EJD 3759)
- Fig. 3. *Zoophycos 1*. Au sommet d'un banc de grès déplacé dans les déblais de la petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 (MH/EJD 3751)
- Fig. 4. *Zoophycos 2*. Au sommet d'un banc de grès de l'affleurement 2 (EJD 3775). Cet exemplaire permet également d'observer le développement circulaire de ce terrier au sein de lamines horizontales de grès fin
- Fig. 5. *Zoophycos 2*. Au sommet d'un banc de grès de l'affleurement 7 (EJD 3781). Dans le quart inférieur gauche on distingue la superposition d'au moins deux tours de spire de ce terrier
- Fig. 6. *Zoophycos 2*. Au sommet d'un banc de grès déplacé sur l'affleurement 6 (JT/EJD 3844). Noter les stades de croissance du terrier matérialisés par le non parallélisme des stries à la surface du spreite
- Fig. 7. *Zoophycos 3*. Au sommet d'un banc de grès déplacé au pied de l'affleurement 5 (EJD 3826). Dans le quart inférieur droit on distingue la superposition d'au moins 4 tours de spire de ce terrier
- Fig. 8. *Spirophyucus bicornis*. A la base d'un banc de grès de l'affleurement 1 (EJD 3690)

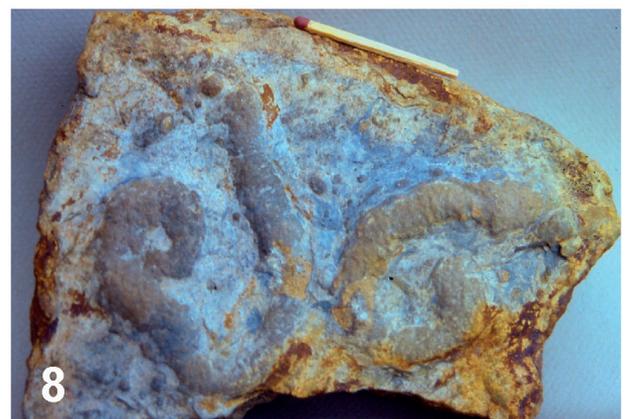


Planche 5

Echelles utilisées : marteau (33 x 18.5 cm) et bouchon d'objectif (5 cm) et allumette (5 cm)

Fig. 1. *Helminthopsis abeli* ? A la base d'un banc de grès déplacé sur l'affleurement 7 (EJD 3780)

Fig. 2. *Helmintorhappe*. A la base d'un banc de grès en place sur l'affleurement 1 (EJD 3741). Le croquis réalisé d'après photo rend illustre mieux le tracé de ce terrier mal conservé

Fig. 3. *Trace indéterminée 1*. A la base d'un banc de grès en place sur l'affleurement 1 (EJD 3742). Le croquis réalisé d'après photo complète le tracé incomplet de ce terrier mal conservé

Fig. 4. *Trace indéterminée 2*. A la base d'un banc de grès de l'affleurement 8 (EJD 3779)

Fig. 5. *Urohelmintoida appenninica*. A la base d'un banc de grès déplacé entre les affleurements 4 supérieur et 5 (EJD 3691). A noter la présence *Protopaleodictyon* ? autour de l'allumette

Fig. 6. *Urohelmintoida dertonensis*. Photographié en place à la base d'un banc de grès de l'affleurement 7 (EJD 3691)

Fig. 7. *Protopaleodictyon* ? A la base d'un banc de grès déplacé dans les déblais de la petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 (EJD 3854)

Fig. 8. *Megagraption submontanum* ? A la base d'un banc de grès déplacé sur l'affleurement 8 (EJD 3782)

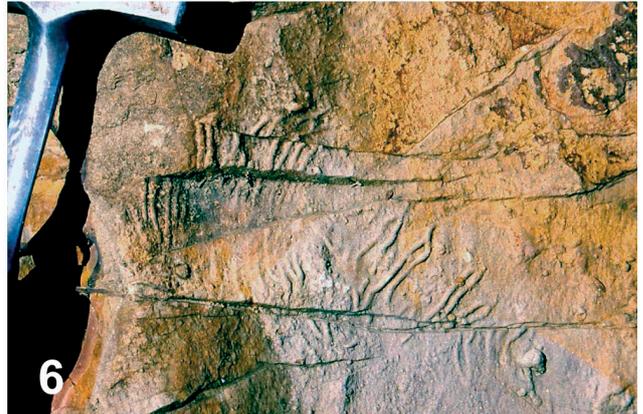
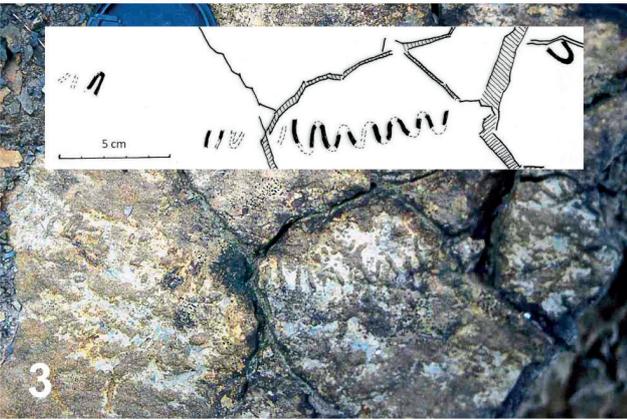




Planche 6

Echelle utilisée : allumette (5 cm)

Fig. 1. *Squamodictyon*. A la base d'un banc de grès éboulé au pied de l'affleurement 1 (EJD 3876)

Fig. 2. *Paleodictyon*. A la base d'un banc de grès éboulé au pied de l'affleurement 4' au bord de la piste du Bois de La Berniouse (EJD 3731)

Fig. 3. *Paleodictyon*. A la base d'un banc de grès déplacé dans les déblais de la petite carrière abandonnée au-dessus de l'affleurement 5 au bord de la RD 117 (EJD 3774)

Fig. 4. *Paleodictyon*. A la base d'un banc de grès déplacé dans un petit thalweg situé au nord de la RD 117 et en face de l'affleurement 7 situé sur la rive opposée de la Baure (JPP/EJD 3756)

Conférence présentée le 18 octobre 2023

Les zoonoses : des maladies du futur ?

par S. Boullier* & P. Bessière**

* Unité mixte INRAE-ENVT, INTHERES, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
23 chemin des Capelles 31300 Toulouse
E-Mail severine.boullier@envt.fr

** Unité mixte INRAE-ENVT, IHAP Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
23 chemin des Capelles 31300 Toulouse
E-Mail pierre.bessiere@envt.fr

INRAE

envt | école
nationale
vétérinaire
toulouse

IHAP



Les zoonoses sont des maladies ou des infections qui sont naturellement transmissibles des animaux vertébrés à l'être humain. Causées par des virus, des bactéries, des parasites ou des prions, elles représentent 60% des maladies infectieuses humaines.



Les agents pathogènes s'adaptent aux espèces qu'ils infectent et passer de l'animal à l'homme n'est pas une mince affaire : de nombreuses étapes doivent être franchies, ce qui explique que de nouvelles zoonoses n'apparaissent pas tous les jours.

Premièrement, un contact entre un être humain et un animal infecté est nécessaire. Il peut s'agir de contacts directs ou indirects (via les déjections, les sécrétions respiratoires, ou encore, par l'intermédiaires d'arthropodes piqueurs, comme les tiques et les moustiques). Deuxièmement, pour être zoonotique, l'agent pathogène doit être capable de rentrer dans nos cellules. Ces dernières arborent à leur surface de très nombreuses protéines, qui sont enchâssées dans la membrane plasmique : certaines d'entre elles jouent un rôle de serrures, qui peuvent permettre aux agents pathogènes de rentrer. Tous les agents pathogènes n'ont pas les mêmes clefs, et toutes les cellules n'ont pas les mêmes serrures : par exemple, les cellules de notre appareil respiratoire supérieur (trachée, gorge, nez etc.) n'ont pas de serrures

compatibles avec les virus influenza aviaires, alors qu'elles ont des serrures compatibles avec les virus influenza de la grippe humaine saisonnière. Mais parfois, une clef qui n'est pas parfaitement adaptée arrive à crocheter une serrure... Enfin, l'agent pathogène doit être capable de se multiplier dans notre organisme : c'est bien beau de pouvoir pénétrer nos cellules, mais s'il n'y a pas de multiplication, il n'y aura ni infection, ni maladie.

Pour bien comprendre l'histoire des zoonoses, il est nécessaire de remonter plusieurs dizaines de milliers d'années en arrière, à l'époque de la Préhistoire. L'espérance de vie était très basse : et pour cause, mourir était particulièrement facile. Nos ancêtres vivaient dans un monde sans antibiotiques et sans vaccins, avec des conditions d'hygiène plus que discutables, et devaient chasser pour se nourrir. Pourtant, la diversité des maladies infectieuses était bien

plus faible qu'aujourd'hui. Tout allait changer au Néolithique, avec le début de la domestication des animaux. L'être humain, jusque-là chasseur-cueilleur, allait se sédentariser et développer agriculture et élevage. Alors qu'il ne rencontrait que ponctuellement des animaux, il s'appropriait à entretenir des contacts durables et étroits avec certains d'entre eux, notamment les ruminants, offrant là une occasion rêvée à plusieurs bactéries, comme celles causant la brucellose ou encore, la tuberculose. Toutefois, les conditions n'étaient pas encore optimales pour les agents pathogènes zoonotiques : nous vivions en sociétés isolées, avec peu de contacts entre elles, et la dynamique démographique était faible. Si une zoonose apparaissait, les chances qu'elle arrive à diffuser dans la population humaine étaient minces. Il est même probable que de nouvelles maladies aient émergé, mais faute

d'hôtes naïfs à infecter, disparurent.

Au cours des siècles suivants, la population humaine allait fortement s'accroître. Nos ancêtres allaient construire de vastes cités, toujours plus belles, mais toujours plus densément peuplées, entraînant notamment deux conséquences : la possibilité aux agents pathogènes d'infecter plus de monde, et une interface avec les animaux sauvages plus grande. L'exemple le plus frappant pour illustrer cette période de notre histoire est la peste noire : les rats des villes allaient servir d'interface entre les rongeurs sauvages (chez qui la bactérie responsable de la peste circulait fortement) et l'homme, contribuant ainsi fortement à la diffusion de ce qui allait être une des pires maladies de notre histoire.

En parallèle de l'accroissement de la population, le développement des transports connut un essor considérable. C'est par exemple grâce à eux que



Fig. 1. Diffusion de la grippe espagnole. Les premiers foyers et les foyers de la deuxième vague de la pandémie sont représentés par des cercles rouges et violets respectivement. Les lignes de propagation de la première et de la deuxième vague de la pandémie sont représentées par des lignes pointillées violettes et des lignes pleines rouges, respectivement. Source : NICKOL ET KINDRACHUK, 2019

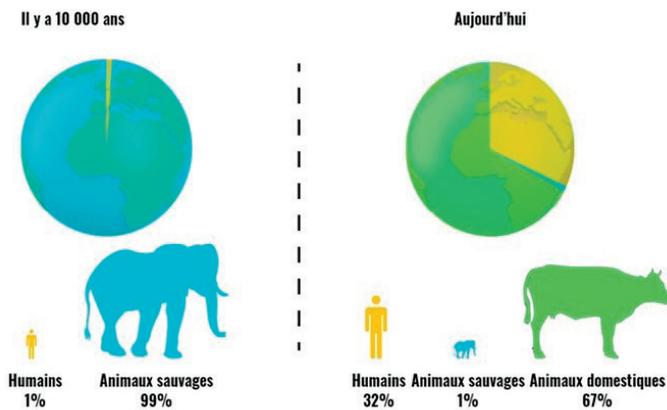


Fig. 2. Diminution drastique de la proportion d'animaux sauvages. © Pierre Bessièr

les conquistadors apportèrent la variole et la rougeole sur le continent américain. Sans les trains, les avions et les paquebots, la grippe espagnole aurait probablement eu un impact bien moindre (à la fin de la première guerre mondiale, de nombreux soldats infectés rentrèrent dans leur pays d'origine sur la même période de temps, facilitant la diffusion du virus) (Fig. 1).

Ce qui nous amène à notre époque, où toutes les conditions sont réunies pour que de nouvelles maladies apparaissent. Certes, les dernières avancées

scientifiques en vaccinologie ont été considérables, mais nous sommes 8 milliards d'individus sur Terre, nous vivons dans un monde ultra connecté, et nous n'avons de cesse d'empiéter sur le monde sauvage. Que ce soit pour développer la production d'huile de palme, rechercher des hydrocarbures, bâtir de nouvelles villes, la Nature recule. Les animaux sauvages, qui représentaient 99% des vertébrés à l'aube de l'humanité, n'en représentent plus que 1% (Fig. 2). Les forêts tropicales sont notamment des puits

de biodiversité : elles abritent de très nombreuses espèces animales, certaines encore inconnues, mais également de très nombreux virus et bactéries au potentiel zoonotique. En venant empiéter sur la nature, nous risquons de nous mettre à leur contact. Ajoutons à cela la défiance à l'égard de la science, et en particulier à l'égard des vaccins, ce phénomène étant extrêmement marqué en France, qui est peut-être le pays où les gens rechignent le plus à les utiliser.

Des solutions sont là pour prévenir la prochaine pandémie, ou du moins en minimiser les conséquences : limiter la déforestation (en prenant notamment garde à ce qu'on achète pour se nourrir ou construire nos bâtiments), ne pas cautionner la capture d'animaux sauvages (en évitant d'acheter des animaux de compagnie exotiques par exemple) et essayer de garder confiance en la Science, même si notre pays est celui où la défiance à l'égard des vaccins est la plus forte (Fig. 3). Que de nouvelles maladies zoonotiques émergent au cours des prochaines décennies est une quasi-certitude. Les efforts de chacun permettront, ou non, d'éviter d'y laisser trop de plumes.

Selon une étude de l'institut Gallup pour l'ONG médicale Wellcome, réalisée en 2018 dans 144 pays

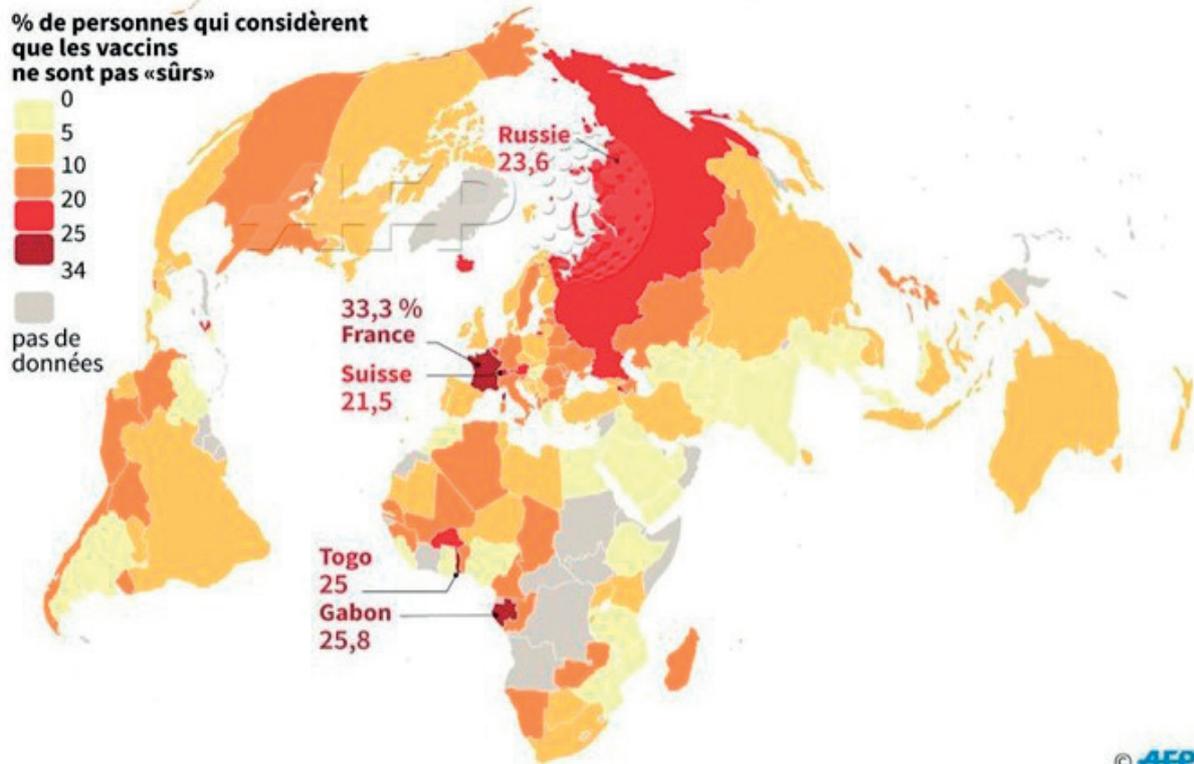


Fig. 3. Défiance à l'égard des vaccins. Source : AFP

Conférence présentée le 17 janvier 2024

Métamorphoses végétales et animales

par Claire van Beek

E-Mail : vanbeek@free.fr



La définition du mythe pose problème. C'est un sujet abondamment traité et discuté. En grec, le mot signifie parole et récit. Contentons-nous d'y entrer, de nous engager dans ces histoires d'autrefois, où le surnaturel intervient. Des récits à usage collectif, produits et diffusés à l'intérieur de sociétés dont les membres étaient à la fois les créateurs et les destinataires de ce bien commun

qu'ils partageaient. Comme les mythes des autres civilisations, les mythes grecs appartenaient d'abord à la culture orale et étaient transmis en même temps que le langage. Par les femmes en particulier, car ce sont les femmes qui apprennent à parler aux enfants.

À vrai dire nous ne pouvons plus que les lire, dans les écrits qui ont survécu à la fin de l'Antiquité. De surcroît, ces mythes grecs, nous devons les lire d'abord en latin. Car le texte principal qui nous y donne accès n'est pas en grec, mais en langue latine. Il est l'œuvre d'Ovide, qui a regroupé dans un immense poème les récits traditionnels de changements surnaturels de forme ou de matière, subis par des humains, du fait d'une intervention divine. Le titre qui figure en tête de son poème, *Metamorphoseon Liber Primus*, titre mi-grec mi-latin, annonce clairement son projet : chanter en latin des histoires grecques et inscrire les mythes romains dans cette continuité culturelle. La

métamorphose, événement surnaturel, qui se produit par l'effet d'une intervention divine. Tous les dieux possèdent ce don. Ils l'exercent tantôt sur eux-mêmes, tantôt sur les autres vivants.

Les Olympiens pratiquent les deux types d'opération. Ils se métamorphosent pour venir à la rencontre des humains, prenant les traits d'un familier, d'un inconnu, ou une forme animale. *Athéna*, dans *L'Odyssée*, se fait successivement semblable à *Mentor* pour guider *Télémaque*, à une fillette qui renseigne *Ulysse* en Phéacie, à une hirondelle posée sur une poutre pour assister au massacre des Prétendants. Lorsqu'elle apparaît à *Ulysse* sous les traits d'une grande et belle femme, son aspect est plus proche de ce qui semble une norme : la façon dont les artistes la représentent. Mais ce n'est qu'un paraître. L'anthropomorphisme, s'il est majoritaire, n'est que l'un des possibles. Les dieux sont par nature invisibles et

chacune de leurs épiphanies nécessite une « mise en forme » qui peut être conçue comme métamorphose.

Parallèlement les dieux transforment à tour de bras les humains qui ont la malchance de se trouver sur leur chemin, de leur déplaire ou de trop leur plaire. *Jupiter* se fait taureau pour enlever *Europe*, et transforme en génisse son amante *Io*, afin de la soustraire à la jalousie de *Junon*.

Le résultat de la métamorphose fournit un autre mode de classification : métamorphose animale, végétale ou pétrification. Les deux derniers cas ne concernent que les humains. Ils en sont les victimes. Jamais une divinité n'a la fantaisie de se transformer en plante ou en rocher. La métamorphose est réversible, mais les dieux accordent rarement cette faveur à leurs victimes. *Io* a la chance de récupérer son corps de femme. La magicienne *Circé*, menacée par *Ulysse*, rend aux marins grecs leur forme humaine. Pour leurs propres métamorphoses, les dieux font ce qu'ils veulent... sauf les divinités marines, dont la polymorphie cyclique peut être stoppée par un mortel, s'il connaît la formule : enserrer la taille de l'adversaire d'une prise circulaire, jusqu'à ce que la divinité, immobilisée, se fixe dans l'anthropomorphisme. Ainsi fait *Pélée* pour obliger *Thétis* à l'épouser.

Très exceptionnellement la métamorphose fait accéder les mortels à la condition divine : les apothéoses, telle celle d'*Héraclès*, et les catastérismes, c'est-à-dire les transformations en astres ; ces constellations peuplent toujours nos ciels nocturnes, Orion, Andromède et Persée, la Grande Ourse, etc. Les métamorphoses végétales sont donc spécifiques aux mortels. Ils les subissent à la suite d'une rencontre avec les dieux et le plus souvent à cause du désir que les dieux ressentent pour eux.

I. Daphné

Apollon, le plus beau des dieux, fait partie des malchanceux. On lui connaît certes des succès. Avec les Muses il eut quelques enfants. Celles-ci sont déesses, filles de *Zeus* comme lui-même. De surcroît il est leur chef de chœur. Avec les humaines, le bilan est mitigé.



C'est avec *Daphné* qu'il connut son échec le plus douloureux. Ce fut aussi, dit Ovide, son premier amour, à la suite d'une vengeance de *Cupidon*. Comme *Apollon* se moquait de l'arc du petit dieu, celui-ci décocha deux flèches : l'une dorée, l'autre de plomb, la première pour faire naître l'amour, l'autre pour le mettre en fuite. Celle-ci sur *Daphné*, celle-là sur *Apollon*. Le dieu s'enflamme sur le coup pour la belle fille qui, s'adonnant à la chasse, repousse tous ses prétendants. *Apollon* l'aborde, essaie de la convaincre en faisant valoir ses titres. Elle s'enfuit ; il la poursuit. Cela devient une chasse.

Sur le point d'être rattrapée, elle implore les dieux de la délivrer de ce corps trop séduisant. « Sa prière à peine achevée, une lourde torpeur envahit ses membres, une mince écorce entoure sa poitrine tendre, ses cheveux s'allongent et deviennent feuillages, ses bras des rameaux ; son pied si véloce se fixe au sol par d'inertes racines, sa tête forme cime ; d'elle il ne reste que l'éclat. *Phoebus* l'aime toujours et posant sa main sur le tronc sent encore battre le cœur sous l'écorce récente. »

II. Hyacinthe

Apollon aime tant le bel *Hyacinthe* qu'il en délaisse sa lyre et son arc. L'accompagnant à la chasse, il porte ses filets et retient ses chiens. L'amour l'a rendu esclave du jeune Spartiate. Ensemble ils s'exercent aussi à la palestre et au lancer du disque. Il lui enseignera la musique, la divination, la palestre, et lui permettra même de conduire son attelage de cygnes. *Apollon* y montre sa force, envoyant très haut le disque à travers les nuages. Il lance comme un dieu. Lorsque l'objet retombe, *Hyacinthe* se précipite étourdiment pour le ramasser, avide de jouer à son tour. Mais le disque rebondit et le frappe au visage. *Hyacinthe* s'effondre. *Apollon* le reçoit, tente vainement de le ranimer. Rien n'y fait. Comme une fleur, déjà, dit Ovide, le garçon se flétrit et meurt. *Apollon* s'accuse et dit son désespoir. Mais est-ce une faute d'aimer ? Et puisque le sort ne permet pas au dieu de mourir avec son amant, il lui promet une immortalité... florale. Sur l'herbe imprégnée par le sang du mourant

naît aussitôt une fleur, qui aurait l'air d'un lis, dit le poète, n'était sa couleur pourpre, et dont les pétales, marqués de l'inscription AIAI (toujours, en Grec), rappellent éternellement la douleur d'*Apollon* et sa plainte.

III. Syrinx, filles-arbres

Le schéma de l'histoire de *Daphné* se retrouve dans celle de *Syrinx*. Elle non plus n'est pas une fille ordinaire. C'est une naïade, une nymphe aquatique, l'une de ces créatures intermédiaires qui ne sont pas immortelles comme les dieux, mais vivent plus longtemps que les humains. Elle est très belle, aussi belle que *Diane*, à qui elle s'est vouée, voulant rester vierge comme sa déesse et chassant comme elle. Maligne, elle réussit à échapper aux avances des êtres salaces qui hantent les forêts d'Arcadie, divinités et satyres... jusqu'au jour où elle a affaire au dieu *Pan*.

Dès qu'il aperçoit la belle et chaste *Syrinx*, il s'élançait et la prend en chasse, jusqu'au bord d'un fleuve où elle se réfugie, suppliant ses sœurs aquatiques de la métamorphoser. Et *Pan* croit saisir le corps de la nymphe alors qu'il n'entreint que des roseaux. Précisons dès maintenant que pour l'Antiquité le roseau appartient à la catégorie des arbres.

« Tandis qu'il soupirait », raconte Ovide, le mouvement de l'air dans les roseaux avait produit un son ténu, semblable à une plainte ; surpris par cet art singulier et cette voix si douce, il déclare : « Voilà comment je m'entretiendrai avec toi. » Et coupant des cannes de taille inégale, il les assemble avec de la cire et invente la syrinx, ou flûte de Pan, qui devient l'instrument des bergers. Ce mythe étimologique est un mythe d'invention : les roseaux préexistent puisque *Syrinx* s'y réfugie et s'y fond, faisant corps avec la roselière.

L'histoire des Héliades met en scène un autre type de situation. Elles sont filles du Soleil – *Hélios* – et sœurs de *Phaëton*. Ce garçon imprudent réussit à obtenir de son père la permission de conduire son char, le char du soleil. Au bout d'un moment, effrayé par l'altitude et, ajoute Ovide, par les animaux du zodiaque qui le menacent, il perd le

contrôle de l'équipage. Descendant trop bas, il commence à mettre le feu à la Terre épouvantée, si bien que *Zeus* pour éviter une catastrophe universelle est contraint de le foudroyer. Il tombe dans le fleuve Éridan – actuellement le Pô –, où les Naïades enterrent ses restes. Ses sœurs retrouvent son tombeau et lui rendent les honneurs funèbres. Elles pleurent tant et si longtemps qu'elles s'enracinent, se couvrent d'écorce, de feuilles et de branches. Et leur mère qui tente d'intervenir ne peut que leur arracher du sang. « Arrête, mère, je t'en prie, c'est notre corps que tu déchires en cet arbre [...]. De leur écorce coulent des larmes et des branches nouvelles ruissellent des gouttes d'ambre qui durcissent au soleil. Recueillies par le fleuve limpide, elles serviront de parure aux femmes romaines. » Ovide ne donne pas le nom de l'arbre, le peuplier, selon la tradition, considéré comme sécrétant une résine qui se durcit en électron ou ambre, croyance qui provoquera l'indignation de Pline.

Leur histoire appartient de surcroît à une autre catégorie : celle de la métamorphose survenant à la suite d'un deuil infini, comportement non conforme aux exigences sociales ; le deuil doit prendre fin. On accompagne les morts un temps, puis il faut revenir vers la vie. Ce mythe est donc parallèle à celui de *Niobé*, qui, endeuillée par la mort de ses enfants et inconsolable, est transformée en un rocher pleurant sans fin. On pourrait ajouter que l'histoire des Héliades correspond à une représentation des arbres qui pleurent, tel qu'est pour nous le saule

III. Myrrha

L'histoire de *Myrrha* est de loin la plus horrible, dit Ovide, « un amour plus terrible que la haine ». L'affaire se passe à Chypre, dans l'île d'Aphrodite. *Myrrha* est amoureuse de son père, le roi *Cinyras*. Sa beauté lui attire pourtant de nombreux prétendants. Lorsque son père lui demande qui elle aimerait prendre pour époux, elle répond simplement : « Quelqu'un comme toi. » Sa passion, restée secrète, va la conduire au suicide. Elle est sur le point de se pendre lorsque sa nourrice réussit à lui faire avouer son amour monstrueux et lui ménage

une entrevue incognito avec son père, profitant de l'absence de la mère, occupée aux fêtes de *Déméter*. Celui-ci s'unit donc à sa fille, dans l'obscurité, et la féconde immédiatement. Le crime se répète plusieurs nuits jusqu'à ce que le père, désireux de connaître enfin son amante, fasse apporter un flambeau : il reconnaît sa fille et, horrifié, tire son épée pour la tuer. Elle s'enfuit, et finit par invoquer les dieux de la soustraire à la vie et à la mort, afin de ne souiller ni la terre ni les Enfers. Elle est exaucée : « La terre recouvre ses jambes, ses ongles se fendent et des racines en sortent obliquement, support d'un tronc élancé. Ses os deviennent du bois qui conserve au milieu sa moelle ; son sang se transforme en sève, ses bras en grosses branches, ses doigts en petites, sa peau devient écorce dure [...]. Elle se laisse aller et son visage est englouti par l'écorce. Et bien qu'elle ait perdu avec son corps sa sensibilité de jadis, elle pleure encore et de l'arbre suintent des gouttes tièdes [...]. »

Elle leur donne son nom et l'on parlera à tout jamais de la myrrhe. La myrrhe que les rois mages apportèrent à la naissance de Jésus, qui valait aussi cher que l'or à cette époque.

Ce n'est plus le refus de l'amour, mais son contraire, l'excès d'une passion déviante, qui entraîne la métamorphose.

Le châtement, proportionnel à la faute, aboutit à la création de l'arbre à myrrhe, dont les valeurs et les usages sont fortement associés aux parfums et à la liturgie religieuse. À un geste exceptionnellement horrible correspond une utilisation particulièrement importante.

IV. Adonis (Anémone)

L'histoire n'est pas finie, puisque *Myrrha* est enceinte. L'enfant grandit sous l'écorce, l'arbre enfle en son milieu, puis se courbe et gémit telle une parturiente. Il finit par se fendre pour accoucher d'un beau bébé, que les Naïades recueillent, déposent sur l'herbe tendre, et baignent dans les larmes douloureuses de sa mère, la myrrhe. Cet enfant, *Adonis*, intégrera la série des garçons fleurs. Fils de *Myrrha*, né du tronc gonflé de l'arbre à myrrhe, *Adonis* fait partie de la troupe

des garçons fleurs. Cet enfant, fruit de l'inceste d'une fille avec son père, est si beau que *Vénus – Aphrodite* – s'en éprend immédiatement et en fait son très jeune amant. On raconte aussi qu'elle l'a d'abord dissimulé dans un coffre et confié à *Perséphone – Proserpine* –, la reine des Enfers, pour qu'elle l'y cache. Mais *Perséphone* s'en est éprise aussi et n'a pas voulu le rendre. *Aphrodite* s'est plainte à *Zeus*, qui a tranché en accordant l'enfant à *Aphrodite* un tiers de l'année, un tiers à *Perséphone* et le reste à *Adonis* lui-même, qui a choisi de passer ce tiers-là aussi avec *Aphrodite*.

Adonis vit ainsi les deux tiers de l'année avec la déesse de l'Amour et de la Beauté. L'amour d'*Aphrodite* pour *Adonis* est symétrique de celui de *Zeus* pour *Ganymède*. Jusqu'à un certain point du moins. En s'entichant d'un très jeune enfant, *Aphrodite* semble avoir vécu la version féminine de « l'amour des garçons ». Mais elle n'a pas interrompu le développement d'*Adonis*, comme *Zeus* l'a fait pour *Ganymède*, installé dans une éternelle prépuberté. *Adonis* a atteint l'âge limite de dix-huit ou dix-neuf ans. Il est le jeune époux de la déesse. De fait, comme tout jeune homme, il va à la chasse, activité obligée mais périlleuse, qui inquiète fort *Aphrodite*. Follement amoureuse, la déesse accable le garçon de conseils, lui recommande la prudence, craignant un accident. L'accident est provoqué par un sanglier, qu'*Adonis* débusque imprudemment et blesse, mais qui, rendu furieux, se retourne contre lui. *Adonis* s'enfuit, mais le sanglier le rejoint et l'éventre. La déesse s'était éloignée, prise par ses obligations cultuelles.

Elle entend les plaintes du mourant, fait demi-tour sur son attelage de cygnes, et ne peut que recueillir le dernier soupir de son bien-aimé. Pour éterniser sa douleur, du sang d'*Adonis* elle fait naître une fleur : « une fleur couleur de sang, une fleur dont la durée est brève [...] car trop fragile en sa légèreté, elle est emportée par le vent qui lui donne son nom ». C'est l'anémone (le vent se dit en grec *anemos*). Ovide décrit le processus de la métamorphose comme une recette magique : la déesse verse un nectar parfumé sur le sang qui se met à bouillonner et, en une heure, l'éclosion de la fleur sanglante se produit.

V. Narcisse

Le plus connu des jeunes héros qui donnent naissance à des fleurs est sans conteste *Narcisse*. Il est connu surtout par les *Métamorphoses*. Mais un auteur grec contemporain d'Ovide livre en un résumé succinct l'épure de la légende :

À Thespies, en Béotie, non loin de l'Hélicon, vivait un garçon très beau, qui dédaignait *Éros*. Le schéma est exemplaire : *Narcisse* refuse l'amour. C'est une faute contre *Éros*, le plus puissant des dieux, car il faut répondre à l'amour. Mépriser un dieu est une faute d'hubris, d'orgueil et d'impiété. Ironiquement le châtement est symétrique et inverse de la faute, comme le reflet sur l'eau. *Narcisse* qui refuse la réciprocité de l'ouverture sur autrui est condamné à la réflexivité, dans une clôture sur lui-même. « À la place du corps on trouva une fleur au cœur jaune safran, entouré de pétales blancs », dit Ovide. Il s'agit donc d'une substitution plutôt que d'une métamorphose, ou bien, s'il y a eu métamorphose, ou surgissement de la fleur hors du sang versé, nul n'y assiste, pas même le poète. Ovide ajoute le personnage d'*Écho*. Cette nymphe, dont le bavardage intempestif retenait autrefois *Junon* pour l'empêcher de prendre *Jupiter* en flagrant délit d'adultère, avait été condamnée par la déesse à ne pouvoir que répéter la fin des paroles d'autrui. Passionnément éprise de *Narcisse*, *Écho* lui donne l'illusion d'entendre son double reflété lui répondre. C'est bien son doublet, mais sonore. Elle finit par se dessécher d'amour et devient un rocher résonnant : c'est l'écho. « L'invention » d'Ovide est conforme aux théories scientifiques atomistes qui mettent en parallèle la vue et l'audition.

Mais c'est trop tard. Son double l'a capturé et contaminé au point de l'entraîner aux Enfers, où, précise Ovide, il continue à chercher son reflet dans le Styx. Ovide a inventé le narcissisme. Rapidement le mythe subira un renversement : l'amour de soi-même, qui était son châtement, deviendra sa faute, à partir des néoplatoniciens. *Narcisse* dès lors sera coupable de n'aimer que lui-même. Tandis qu'initialement sa faute est

l'absence totale d'amour. Une faute contre *Éros*.

De fait les Anciens attribuaient des propriétés apaisantes à l'odeur capiteuse du narcisse. En faisant un rapprochement entre le nom du narcisse et le mot qui signifie engourdissement : narké, origine de la narcose et du narcotique.

Cette valeur quasi hypnotique de la fleur du narcisse est présente assez tôt, dans l'aventure de *Coré*. Pour aider son frère *Hadès* à enlever leur nièce, fille de leur sœur *Déméter*, *Zeus* fit croître dans la prairie où la jeune fille jouait avec ses compagnes une fleur nouvelle, « brillant d'un éclat merveilleux, qui frappa d'étonnement tous ceux qui la virent [...] et au parfum de cette boule de fleurs, tout le vaste ciel sourit. Éblouie, la jeune fille tendit ses deux bras pour saisir le beau jouet [...] mais la terre s'entrouvrit », livrant passage au char du dieu ravisseur. Le narcisse, inventé par ruse, pour piéger *Coré*, la Jeune Fille divine, agit par fascination, à la fois visuelle, comme dans le cas du héros *Narcisse*, et odorante, comme une drogue. C'est de fascination visuelle que meurt *Narcisse*.

Tous ces héros mythiques ne deviennent ni des femmes ni des hommes adultes, mais des arbres et des fleurs. Ces histoires mettent l'accent sur ce qui est en cause : le refus d'assumer le rôle que la culture leur assigne, celui de reproductrice, pour les femmes, de façon juste et droite, hors des tentations de la fermeture incestueuse. La leçon

vaut aussi bien pour les « coureuses » qui fuient l'ouverture sur autrui que pour les « pleureuses » qui se renferment dans un deuil familial sans fin. Ne l'oublions pas, le mythe a une fonction éducative.

La concession que le ciel accorde aux vœux de ces fuyardes peut paraître une réprobation implicite de la méthode violente, puisque les agresseurs divins sont frustrés. Mais, comme si les torts étaient partagés entre le violeur et l'objet de son désir, la femme est condamnée à sortir de l'humanité. Elle reste de bois devant les avances du mâle : qu'elle le devienne donc. *Daphné* devient un accessoire rituel : la plante favorite du dieu, indispensable à son culte.

Quant à *Syrinx*, elle devient le bois dont on fait les flûtes, instrument aux usages multiples, y compris religieux. Les arbres que ces filles deviennent, sont des espèces à fût droit, à silhouette rectiligne et élancée, lauriers, peupliers, pins et sapins. La beauté de la fille, « fleur fraîche parmi les fleurs », est, somme toute, plus durable. La beauté féminine n'est vraiment menacée que par les rides et les cheveux blancs. Des épigrammes s'amuse à chanter les cas exceptionnels de femmes encore séduisantes à la soixantaine... Tandis que le charme du garçon, limité à la prépuberté, est irrémédiablement condamné par la poussée de la barbe.

Les noms de fleurs, rappelons-le, sont en grec majoritairement masculins, sur le plan linguistique. Cependant le mot « fleur » lui-même, *anthos*, est neutre, comme d'ailleurs celui de l'arbre,

dendron ; mais en latin *arbor* est féminin, *flos* masculin, ce qui est conforme au genre grammatical de la majorité des espèces. Si l'arbre paraît relever plutôt d'une symbolique globalement féminisée, il serait erroné de penser en contrepoint la fleur comme une notion exclusivement masculine. Sur le plan symbolique, la fleur est le modèle esthétique par excellence, l'image de la beauté éphémère, abondamment exploitée par la poésie, ainsi que sur le plan figuratif. Les dieux et les défunts reçoivent des fleurs, mais les vivants s'en parent aussi à la moindre occasion. Le commerce des fleurs, la fabrication et la vente des couronnes et guirlandes constituent une activité reconnue. Un marché aux fleurs occupe une section de l'agora d'Athènes, ainsi que d'autres cités. Les professions de tresseurs et de marchands de couronnes sont attestées en grec et en latin, *stephanoplokos* et *coronarius*, au moins à partir du IV^e siècle. Image parlante pour nous de la brièveté de la vie humaine et de sa destruction inéluctable dans la mort. Pour les Anciens, la fleur ne dure que le temps de la fête. Elle est si fragile que l'on en viendra, à Rome surtout, à faire des couronnes aux pétales d'écaille, d'étoffes de soie et, bien sûr, de bronze et d'or ciselés. Fragile et éphémère, la fleur est étroitement associée à la vie brève des humains.

Alors, comme le dit Voltaire, il faut « cultiver notre jardin » !

Conférence présentée le 16 septembre 2024

Les Glaciers, sentinelles du changement climatique

par Etienne Berthier

Glaciologie au CNRS – LEGOS - Observatoire Midi Pyrénées – Université de Toulouse
<http://etienne.berthier.free.fr/>



Etienne Berthier est glaciologue au CNRS et mène ses recherches au LEGOS (Observatoire Midi-Pyrénées) depuis 2007. Grâce aux images des satellites d'observation de la Terre, il étudie l'évolution des glaciers de montagnes et des calottes glaciaires afin de mieux comprendre leurs réponses aux changements climatiques et quantifier leur contribution à la hausse du niveau des mers. E. Berthier a aussi participé à plusieurs campagnes de terrain dans les Andes, en Alaska ou en Himalaya. Il a été responsable scientifique du projet SPIRIT (SPOT 5 stereoscopic survey of Polar Ice: Reference Images and Topographies) et pilote actuellement le Pléiades Glacier Observatory (<https://www.legos.omp.eu/pgo/>). Il a publié plus de 140 articles dans des revues à comité de lecture et contribué à

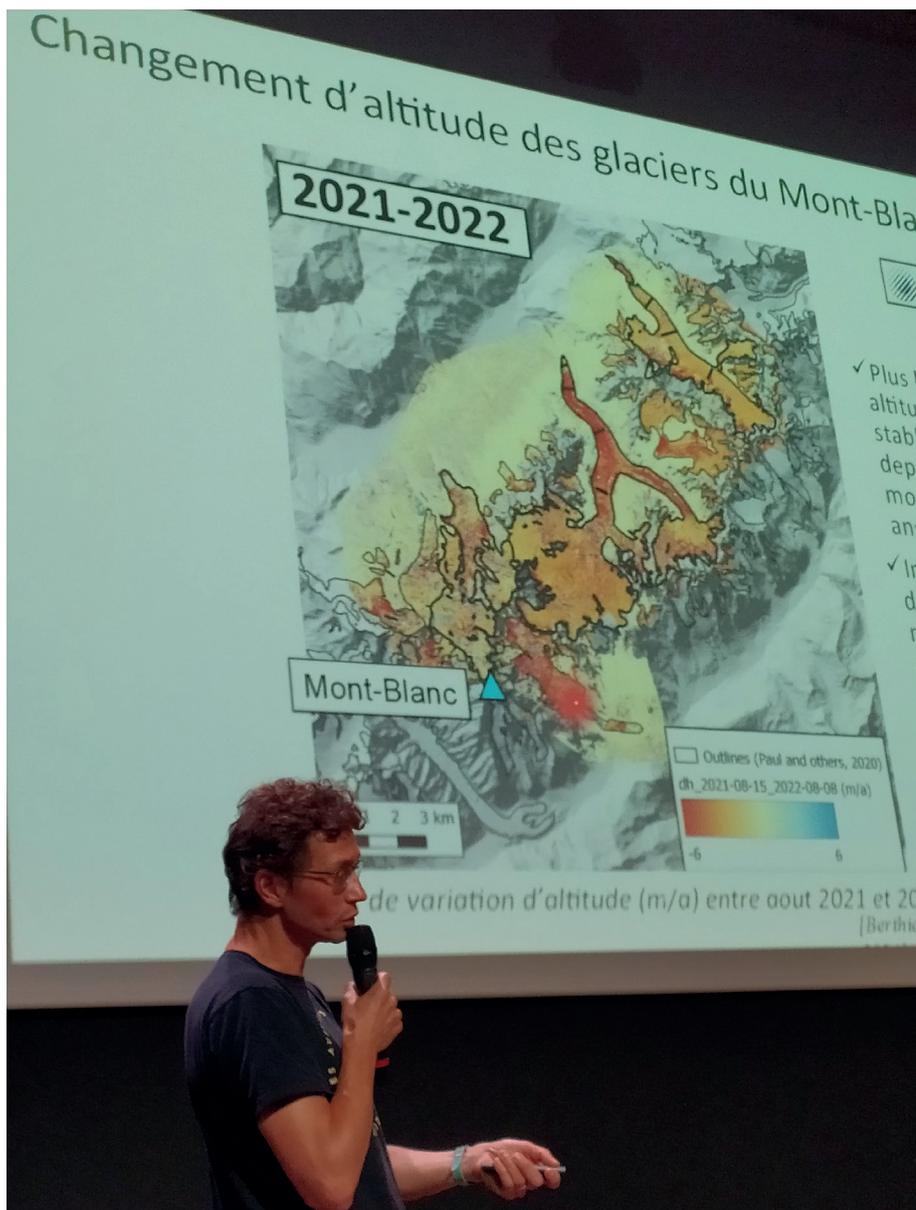
plusieurs ouvrages de vulgarisation. Il est aussi éditeur scientifique pour les journaux The Cryosphere, Annals of Glaciology et La Météorologie.

icônes du changement climatique au cœur de régions polaires ou montagneuses en rapide mutation, les glaciers de montagne jouent un rôle intégrateur et révélateur des variabilités interannuelles du climat. Ils sont aussi d'importants contributeurs à la hausse du niveau des mers.

Si les quelques 200 000 glaciers disséminés à la surface du globe (hors calottes polaires) perdent en moyenne de la masse depuis la fin du petit âge de glace (~1850), leur fonte depuis 1990 peut être attribuée en majorité (70%) aux émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique. La contribution hydrologique des glaciers au débit des

rivières est aussi de mieux en mieux comprise. Elle est significative lorsque la fonte glaciaire (estivale) est déphasée des périodes de précipitations. Les glaciers jouent donc un rôle clef dans certains bassins versants arides des Andes ou d'Asie Centrale.

Mais comment étudier 200 000 glaciers repartis partout sur Terre dans des contrées souvent difficiles d'accès ? Corde, crampons, piolets, sont toujours de mise mais sont désormais complétés par les images à très haute résolution des satellites. Les glaciologues déploient donc une vaste panoplie de moyens pour étudier ces malades, les glaciers, au chevet desquels ils sont penchés. Cette conférence permet de voyager à travers les grandes régions glaciaires pour prendre conscience de l'impact des activités humaines sur l'état de santé



des glaciers de la planète. L'occasion aussi d'éclairer le public sur les rouages de la méthode scientifique.

Le service d'observation GLACIOCLIM

L'évolution des glaciers est l'un des indicateurs importants sélectionnés par le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC) pour situer la variabilité et les tendances climatiques au cours du dernier siècle. Les glaciers constituent désormais un indicateur climatique essentiel pour le passé comme pour le futur. A ce titre, le «Service National d'Observation» GLACIOCLIM (SNO de INSU) assure le suivi de neuf sites dans le monde (Alpes, Andes et Antarctique), auxquels s'ajoutent trois glaciers

(Népal, Pyrénées et Svalbard) dans le contexte de l'Observatoire de la Cryosphère CRYOBSCLIM rattaché à l'Infrastructure de Recherche OZCAR. Ces sites représentent des zones climatiques variées. <https://glacioclim.osug.fr/>

Les glaciers des Pyrénées

Dans les Pyrénées, l'adieu aux glaciers : « Ils ne seront plus là d'ici une dizaine d'années ». Les dix-sept derniers glaciers du massif devraient disparaître, d'ici une dizaine d'années, sous l'effet du réchauffement climatique. Leur superficie a déjà été réduite de 93 % depuis le milieu du XIX^e siècle, un indicateur d'un bouleversement plus

large des écosystèmes.

Niché au cœur des Hautes-Pyrénées, le glacier des Oulettes de Gaube se meurt, victime du réchauffement climatique. Des experts explorent la fonte alarmante de ces masses glaciaires et ses conséquences irréversibles sur le paysage pyrénéen. Une démarche essentielle pour comprendre un phénomène environnemental inquiétant et son impact sur notre futur. Au milieu des glaciers menacés de disparition par les températures record de l'été, des espèces des Pyrénées comme le desman, un petit mammifère aquatique, ou les chamois, voient leur écosystème perturbé par les conséquences du réchauffement climatique, selon des experts.

https://www.lemonde.fr/planete/article/2024/10/03/dans-les-pyrenees-l-adieu-aux-glaciers-ils-ne-seront-plus-la-d-ici-une-dizaine-d-annes_6342165_3244.html?lmd_medium=al&lmd_campaign=envoye-par-appli&lmd_creation=android&lmd_source=default

https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/dans-les-pyrenees-les-glaciers-deposent-le-bilan_173009

https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/glaciers-menaces-faune-et-flore-en-danger-les-pyrenees-en-plein-bouleversement_165599

L'UNESCO alerte sur la disparition de glaciers inscrits au Patrimoine mondial d'ici 2050

De nouvelles données de l'UNESCO mettent en évidence la fonte accélérée des glaciers des sites du Patrimoine mondial. Les glaciers d'un tiers des sites concernés devraient disparaître d'ici 2050. Néanmoins, il est encore possible de sauver les deux autres tiers, si la hausse des températures mondiales n'excède pas 1,5°C par rapport à la période préindustrielle. Ce sera un enjeu majeur de la COP27.

Une étude massive de presque tous les glaciers de la Terre révèle une tendance dévastatrice



La fonte des glaciers du monde a presque doublé de vitesse au cours des 20 dernières années et contribue davantage à l'élévation du niveau de la mer que la fonte des calottes glaciaires du Groenland ou de l'Antarctique, selon l'étude mondiale des fleuves de glace la plus complète jamais entreprise. Les scientifiques affirment que le réchauffement climatique dû à l'homme est à l'origine de la perte accélérée des glaciers partout dans le monde, ce qui affectera les régions côtières de la planète et créera des risques majeurs d'inondation pour les centaines de millions de personnes qui vivent en aval de ces « châteaux d'eau naturels ».

<https://up-magazine.info/planete/climat/108972-lunesco-alerte-sur-la-disparition-de-glaciers-inscrits-au-patrimoine-mondial-dici-2050/>

<https://up-magazine.info/planete/climat/87150-une-etude-massive-de-presque-tous-les-glaciers-de-la-terre-revele-une-tendance-devastatrice/>

«Les articles en ligne ont été sélectionnés par Elodie Guiraud, documentaliste au Muséum d'histoire naturelle de Toulouse».

Conférence présentée le 6 novembre 2024

L'acoustique des cétacés

par Nadège Gandilhon

Cétologue et biologiste marin - E-Mail : ngandilhon75@gmail.com

Docteure en Biologie marine, Nadège Gandilhon est cétologue, spécialisée en physiologie et interactions des cétacés. Elle a travaillé en Guadeloupe sur l'abondance et la distribution des cétacés comme chercheur à l'Université des Antilles, au laboratoire de biologie marine (UMR BORÉA, MNHN Paris) puis comme responsable scientifique du Sanctuaire des Mammifères Marins AGOA. Elle a fondé et développé l'ONG BREACH en Méditerranée qu'elle a pilotée pendant 15 ans et est aujourd'hui membre scientifique de trois associations (Golfe du Lion, Guadeloupe et Madagascar) dédiées à la protection de cette mégafaune. Elle est membre expert du Groupe Outremer français de l'IUCN. Nadège s'intéresse à la compréhension et limitation des impacts sur les mammifères marins, et en particulier à la sensibilité auditive de ces espèces marines face au bruit des activités humaines dans les océans. Dirigeante d'un cabinet d'expertises, elle intervient sur ces sujets auprès d'entreprises privées ou d'administrations publiques.



d'Alembert
Institut Jean Le Rond d'Alembert

Les cétacés, inclus dans les Artiodactyles, se divisent en deux sous-ordres : les odontocètes (cétacés à dents) et les mysticètes (cétacés à fanons). Ils regroupent 93 espèces dans le monde. Ces mammifères marins sont dotés de spécialisations sensorielles (vue, toucher, audition, goût et odorat) avec des comportements et des structures sociales distinctes, évoluant grâce à des

échanges acoustiques sophistiqués qui fascinent et interrogent les scientifiques depuis de longues années.

I. La communication vocale chez les cétacés : un rôle primordial

Tous les cétacés sont vocalement actifs et ont la capacité d'émettre des sons

d'intensité acoustique et de fréquences variées. Ces émissions sonores jouent des rôles cruciaux pour structurer leur groupe, se repérer, s'alimenter, socialiser, coopérer, se reproduire et pour l'apprentissage des jeunes. Les odontocètes, qui comprennent notamment les dauphins, les orques et les cachalots, utilisent un langage à base de clics pour l'écholocation et des sifflements pour la communication et les interactions sociales. Parmi les mysticètes, les baleines à bosse émettent des chants complexes.

1. Le chant des baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*)

Les baleines à bosse mâles (Fig.1) chantent pendant la saison de reproduction. La structure complexe de ces chants avec des fréquences variant

entre 20 Hz et 10 kHz a été décrite en 1971 par Roger PAYNE et Scott McVAY. Ils sont constitués d'une succession de vocalisations, appelées unités sonores, formant des phrases, que la baleine va répéter sous forme de leitmotivs évoluant dans le temps. Bien que ces sons aient d'abord été interprétés comme des appels pour attirer les femelles, Peter TYACK (1984) a montré que celles-ci avaient tendance à rester à distance voire à s'en éloigner. Ces découvertes suggèrent que les chants servent plutôt à délimiter les territoires entre mâles ou à impressionner des concurrents lors de leurs stratégies d'accouplement. Ces chants participent aussi à la transmission culturelle lors de leurs migrations entre les aires d'alimentation et celles de reproduction (KENNEDY *et al.*, 2014).

La production des chants repose sur la vibration de membranes situées au niveau des cartilages aryténoïdes et un sac laryngé qui agit comme résonateur (REIDENBERG & LAITMAN 2007, GANDILHON *et al.* 2015), grâce à un flux d'air régulé, permettant aux baleines de faire varier la fréquence et la complexité des sons émis, décrit dans un nouveau modèle de production des chants pour la baleine à bosse (ADAM *et al.* 2013).

Une des questions actuelles au sujet de ces vocalisations est la recherche de la signature vocale individuelle de ces grandes baleines.

2. Le langage socialement sophistiqué du grand dauphin (*Tursiops truncatus*)

Les grands dauphins (Fig.2), cétacés à dents, produisent trois types de sons distincts : les clics pour l'écholocation, les sifflements pour les interactions sociales, et les sons pulsés utilisés notamment pour la recherche de nourriture et les comportements agressifs (JANIK 2009). Les clics, produits par la vibration des lèvres phoniques situées sous l'évent, sont focalisés par le melon, une masse graisseuse permettant de rendre ces émissions sonores plus directives, par exemple pour scanner finement une cible. Les échos reçus en retour permettront, au dauphin, d'informer sur sa taille, sa texture et éventuellement ses déplacements.



Fig. 1. Baleine à bosse mâle

D'autre part, chaque individu a un sifflement qui lui est propre, comme une signature acoustique unique, un « nom » qu'il utilise pour s'identifier. Ainsi, ces cétacés peuvent se reconnaître même après plusieurs années de séparation, signe d'une mémoire sociale exceptionnelle. Des recherches plus récentes montrent qu'ils utilisent également cette signature pour se présenter à d'autres groupes, renforçant les liens sociaux au sein de leurs interactions acoustiques (KING *et al.* 2013).

3. Diversité sonore et « clans acoustiques » de l'orque (*Orcinus orca*)

L'orque, avec le répertoire vocal le plus étendu des odontocètes, utilise une variété de sons allant des sifflements aigus aux clics et glapissements, couvrant une bande fréquentielle de 0,1 à 40 kHz. Ces émissions sonores leur permettent d'interagir au sein de groupes sociaux fortement structurés. Les orques possèdent des adaptations acoustiques spécifiques, rendant leur étude indispensable pour comprendre leurs interactions intra et inter groupes.



Fig. 2. Grands dauphins



Fig. 3. Orques ibériques

Fig. 4. Le cachalot *Physeter macrocephalus*

Le concept de « clan acoustique », introduit par YURK & BARRETT-LENNARD *et al.* (2002), définit des groupes d'orques partageant un répertoire commun de sons. Plus récemment, on peut citer l'apport de l'intelligence artificielle utilisée pour classer plus de 200 000 vocalisations, dans le projet « Orca Slang » (BERGLER *et al.*, 2021). Cette méthode vise à analyser les modulations complexes des sons et comprendre les dynamiques sociales et écologiques de ces clans (Fig.3).

4. Un générateur acoustique unique chez le cachalot (*Physeter macrocephalus*)

Les cachalots produisent plusieurs types de clics, dont les « *Regular clicks* » pour l'écholocation, les « *Codas* » pour la communication sociale, et les « *Creaks* » utilisés pendant la chasse

ainsi que les « *Trumpet calls* », signaux courts, légèrement harmoniques. Les *codas*, émis principalement par les femelles et les jeunes, sont des séquences structurées indiquant une probable identification individuelle ou celle du clan social (WHITEHEAD, fin des années 1980). Les clics d'écholocation, puissants et directionnels, permettent aux cachalots de localiser leurs proies à grande distance. Il est intéressant de noter que ces clics sont en fait une succession de plusieurs pulsations très proches les unes des autres, et que les temps entre ces pulsations sont proportionnels à la taille de la tête. Cela permet aux biologistes, par allométrie, d'estimer la taille d'un individu. L'organe du spermaceti chez le cachalot sert à focaliser les clics d'écholocation, en dirigeant les ondes sonores grâce à sa structure lipidique. Des chercheurs

comme HAL WHITEHEAD et PETER TYACK ont contribué à la compréhension de ces mécanismes ainsi que l'équipe du Professeur OLIVIER ADAM depuis 2003.

II. L'audition des cétacés : une sensibilité auditive fragile dans un monde bruyant

L'audition est le sens le plus important dans la survie des cétacés. Ils sont classés en trois groupes auditifs selon leur sensibilité aux fréquences : basses, hautes et très hautes fréquences (SOUTHALL *et al.* 2019). Les activités humaines génèrent des sons sous-marins qui peuvent en effet perturber leur audition et affecter leurs comportements, allant de la désorientation à la surdité temporaire ou permanente. L'augmentation des bruits d'origine humaine dans les océans pose aujourd'hui des défis pour la conservation de ces espèces, rendant urgent le besoin de limiter la pollution sonore dans les océans.

III. Etudier pour mieux comprendre et protéger

L'étude des sons émis par les cétacés est cruciale pour évaluer l'impact des activités humaines et développer des mesures de conservation. Des hydrophones fixes ou mobiles permettent de capturer leurs sons, d'analyser leurs répertoires et de mieux comprendre leur présence et leurs migrations, mais également d'autres dispositifs tels que le Cétoscope (DOH *et al.* 2023), qui identifie les locuteurs dans les groupes de dauphins évoluant au large de l'île de la Réunion (Océan Indien) ; le voilier autonome MMSUV créé pour collecter des données environnementales et acoustiques sans impact sur le milieu marin (projet européen MARTERA) ou encore des tags posés sur les baleineaux à Madagascar (Cétamada) documentant des interactions entre mère et petit, dont l'importance de la communication pour le développement des jeunes cétacés.

Les cétacés jouent un rôle fondamental dans l'écosystème marin comme « espèces parapluie ».

Leurs comportements sociaux et leurs vocalisations, rendus complexes par

des millions d'années d'évolution, en font des espèces à la fois fascinantes et vulnérables. Loin du mythe du « monde du silence », les océans résonnent de leurs chants, clics et sifflements mais également de la pollution sonore croissante dans les océans qu'il est urgent de limiter et réguler afin de garantir la survie de ces mammifères marins.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre partenaire de recherches :

Pr. Olivier Adam, Institut d'Alembert, Sorbonne Université¹

Merci pour leur contribution : BREACH Méditerranée², CETAMADA³, Les Peuples de La Mer⁴, BREACH Antilles⁵, TERRE-MER-VEILLE⁶ et ABYSS⁷.

RÉFÉRENCES

- ADAM, O., D. CAZAU, N. GANDILHON, B. FABRE, J.T. LAITMAN & J.S. REIDENBERG. 2013. – New Acoustic Model for Humpback Whale Sound Production. *Applied Acoustics*, 74 (10), 1182-1190. doi: 10.1016/j.apacoust.2013.03.007.
- BERGLER, C., E. LAMBERT, G. FRITSCH, L.N. KLOPPER & F.H. JENSEN. 2021.– Orca Slang: Using Deep Learning for Classification of Killer Whale Vocalizations. *Proceedings of the Acoustical Society of America*, 149 (5), 3243-3252. doi:10.1121/10.0006370.
- DOH, Y., B. ECALLE, F. DELFOUR, C. PANKOWSKI, G. COZANET, G. BECOUARN, M. OVIZE, B. DENIS & O. ADAM. 2023. – Performance assessment of the innovative autonomous tool CETOSCOPE© used in the detection and localization of moving underwater sound sources. *J. Mar. Sci. Eng.*, 11, 960. <https://doi.org/10.3390/jmse11050960>.
- GANDILHON, N., O. ADAM, D. CAZAU, J.T. LAITMAN & J.S. REIDENBERG. 2015. – Two New Theoretical Roles of the Laryngeal Sac of Humpback Whales. *Marine Mammal Science*, 31(2), 774-781. doi:10.1111/mms.12181.
- JANIK, V. 2009. –Acoustic Communication in Delphinids: Individual Whistles as Signature Calls. *Animal Behaviour*, 78 (4), 923-928. doi: 10.1016/j.anbehav.2009.07.039.
- KENNEDY, A. S., A.N. ZERBINI, O. VASQUEZ, N. GANDILHON, P.J. CLAPHAM & O. ADAM. 2014. – Local and migratory movements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) satellite tracked in the North Atlantic Ocean, *Canadian Journal of Zoology*, 92: 8-17.
- KING, S., L. SAYIGH, R. WELLS, W. FELLNER & V. JANIK. 2013. – Vocal copying of individually distinctive signature whistles in bottlenose dolphins. *Proceeding. Biological sciences / The Royal Society*. 280. 20130053. 10.1098/rspb.2013.0053.
- PAYNE, R. & S. McVAY. 1971. – Songs of Humpback Whales. *Science*, 173 (3997), 585-597. doi:10.1126/science.173.3997.585.
- REIDENBERG, J. S. & J.T. LAITMAN. 2007. – Discovery of a Low-Frequency Sound Source in Mysticeti (Baleen Whales): Anatomical Establishment of a Vocal Fold Homolog. *The Anatomical Record*, 290 (6), 745-759. doi:10.1002/ar.20544.
- SOUTHALL, B. L., A.E. BOWLES, W.T. ELLISON, J.J. FINNERAN, R.L. GENTRY, C.R. GREENE JR., D. KASTAK, D. KETTEN, D.R. MILLER, P.E. NACHTIGALL, W.J.
- RICHARDSON, J.A. THOMAS & P.L. TYACK. 2019. – Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals*, 45 (2), 125-232. doi:10.1578/AM.45.2.2019.125.
- TYACK, P.L. 1984. – *Acoustic Communication in Cetaceans: Impact of Ambient Noise on Acoustic Communication in Baleen Whales*. In Payne, R. (Ed.), *Communication and Behavior of Whales* (pp. 228-247). Boulder, CO: Westview Press.
- WHITEHEAD, H. 1985. – *Sperm Whales: Social Evolution in the Ocean*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- YURK, H., L. BARRETT-LENNARD, J. FORD & C. MATKIN. – 2002. Cultural transmission within maternal lineages: vocal clans in resident killer whales in southern Alaska. *Animal Behaviour*. 63. 1103-1119. 10.1006/anbe.2002.3012.

¹ <https://sciences.sorbonne-universite.fr/structures-de-recherche/dalembert>

² www.facebook.com/associationbreach/

³ www.cetamada.org

⁴ www.lespeuplesdelamer.com

⁵ www.facebook.com/breachantilles/

⁶ <https://terre-mer-veille.com>

⁷ www.abyss-oi.com

Conférence présentée le 18 décembre 2024

Une agriculture écologiquement intensive fait-elle sens ?

par Jean-Pierre Sarthou

Agronomie et Environnement UMR 1248 INRAE/Toulouse INP/ENSAT
E-Mail : jean-pierre.sarthou@toulouse-inp.fr



I. Analyse de la Disponibilité Alimentaire Mondiale

L'Humanité fait face à plusieurs défis critiques, et celui d'assurer notre sécurité alimentaire dans le contexte de changements globaux que nous connaissons et voyons s'amplifier, n'en est pas le moindre. Avec une population humaine sur Terre estimée à 9 milliards d'habitants en 2050, il est impératif d'augmenter la production agricole mondiale d'environ 70 % afin d'éradiquer non seulement la sous-nutrition mais aussi la malnutrition (causées par des inégalités socio-économiques d'accès aux ressources, par des conflits politiques mais aussi des systèmes alimentaires

inefficaces). Néanmoins, l'option d'une augmentation des rendements dans les pays développés n'est pas pertinente car une part importante de la production y est dirigée vers l'alimentation animale ou d'autres usages non alimentaires, comme la production de biocarburants. De plus, l'intensification des systèmes de production agricoles conventionnels, qui privilégient la seule productivité surfacique et par unité de main d'œuvre via un usage intense d'intrants de synthèse et d'énergie fossile (directe et indirecte), se fait au détriment de la santé des écosystèmes et donc *in fine* de la nôtre : dégradation des sols, perte de biodiversité, contamination des ressources en eau par des produits chimiques et des fertilisants, et conséquences sanitaires avec l'émergence de maladies liées à l'exposition aux pesticides et à la consommation de leurs résidus/

métabolites secondaires.

A l'heure où non seulement les risques mais aussi les coûts environnementaux, sanitaires et sociaux (sur le monde agricole) de l'agriculture industrielle sont bien identifiés (ils sont estimés à environ 15 000 milliards USD par an au niveau mondial), et jugés incompatibles avec une conception holistique de la vie (concept *One Health*), nous plaçons pour un modèle agroécologique mondialisé, basé sur l'intensification des services écosystémiques. Ce modèle intègre la préservation des écosystèmes et notamment du climat avec les besoins de production alimentaire, et non seulement garantit un avenir durable mais génère aussi des bénéfices économiques estimés à 10 000 milliards USD par an au niveau mondial, par rapport au système agro-industriel actuel.

II. Se nourrir d'exemples d'agriculture écologiquement intensive

Plusieurs exemples concrets d'initiatives agroécologiques réussies à travers le monde, illustrent les avantages de ces systèmes et pratiques. Ces études de cas démontrent que des approches intégrées peuvent améliorer la productivité tout en préservant les écosystèmes.

1. Synergie entre cultures annuelles et pérennes en Afrique subsaharienne

L'association d'arbres de la famille des Fabacées (dite des légumineuses) avec des cultures vivrières annuelles a montré des résultats prometteurs. Cette combinaison a permis d'améliorer la fertilité des sols, la résistance aux maladies des cultures et l'augmentation de leurs rendements. Les synergies créées par cette méthode profitent non seulement aux cultures vivrières, mais favorisent également une meilleure santé globale de l'écosystème, contribuant ainsi à la durabilité à long terme.

2. Restauration de sols dégradés en Éthiopie

En Éthiopie, de nouvelles pratiques de pâturage et d'apports de biomasse ont été mises en œuvre pour restaurer la fertilité des sols. Cette approche a conduit à une augmentation des rendements agricoles et à une amélioration de la capacité de rétention d'eau des sols. Ces résultats illustrent comment des interventions adaptées peuvent restaurer des terres gravement dégradées, offrant un modèle de résilience face aux défis climatiques.

3. Pâturage dynamique en Argentine

Ce système a permis d'augmenter la productivité des prairies naturelles tout en préservant la biodiversité. En adaptant les pratiques de pâturage en fonction des saisons et de la régénération des plantes, les agriculteurs peuvent maintenir un équilibre entre la production animale et la santé des écosystèmes, démontrant ainsi que la

gestion adaptative est essentielle dans les systèmes agricoles modernes.

4. Aménagement de paysages régulateurs de ravageurs en France

La réintroduction de haies et d'espaces naturels dans une exploitation céréalière de l'Aisne a favorisé la biodiversité et contribué à la régulation des ravageurs, tout en favorisant la biodiversité cynégétique. Ces pratiques soulignent l'importance d'une approche holistique dans la gestion des terres agricoles, permettant de renforcer la résilience des systèmes tout en réalisant des économies substantielles.

5. Régénération des sols dans les Deux-Sèvres

Un agriculteur dans cette région a réussi à améliorer la santé de ses sols et à réduire sa dépendance aux intrants (engrais, produits phytosanitaires) grâce à des pratiques de non-labour et à une gestion appropriée des cultures. Cet exemple démontre que des approches innovantes et durables peuvent mener à des améliorations significatives de la qualité du sol, tout en maintenant une très importante rentabilité économique, ce qui est crucial pour l'acceptation de ces méthodes par les agriculteurs.

III. Un nécessaire changement de paradigme

Il est impératif d'opérer un changement de paradigme en agriculture et de passer d'une logique court-termiste de profit à une vision holistique et sur le long terme privilégiant le respect des équilibres écologiques. Il est en effet important de considérer l'agriculture comme un système vivant, façonné par des millénaires de pratiques paysannes, et de promouvoir des systèmes qui assurent la durabilité et la résilience face aux défis futurs. Au-delà de cette vision voire sensibilité écologique à développer, il faut également apprendre à remettre en question le prisme par lequel nous apprécions la performance des systèmes de production. Alors qu'implicitement nous considérons que l'augmentation de la taille moyenne

des parcelles et des exploitations agricoles (tendance actuelle au niveau mondial) va forcément de pair avec une augmentation de leur productivité et qu'elle est donc souhaitable, le paradoxe de Carter nous apprend que la relation inverse (*i.e.* diminution des rendements avec l'augmentation de ces tailles moyennes) s'applique dans de nombreux pays du monde, dont 20 en Europe ! La perception première d'une meilleure productivité avec cette évolution vers des paysagers *modernes* ne vaut donc que pour la productivité de la main d'œuvre (est-elle d'ailleurs un progrès social... ?), mais pas pour celle dont dépend la souveraineté alimentaire de tout pays et qui impacte jusqu'à la santé de ses habitants et de ses écosystèmes. Il est ainsi capital de ne pas se tromper d'objectifs à cause d'un prisme biaisé par les promesses et souvent prouesses il est vrai, de systèmes *ultra-technologisés*, déployés sur des parcelles et dans des paysages qu'ils ont fortement contribué à façonner pour accroître en premier lieu la puissance et la rapidité de travail des agriculteurs, pour *in fine*, réalisons-le bien, nous procurer une alimentation à des prix (assez) abordables mais permettant malgré tout aux industriels intermédiaires de la transformation et de la distribution, de réaliser des marges économiques lucratives...

L'avènement d'une agriculture écologiquement intensive par le passage à des pratiques agroécologiques est donc bien une nécessité pour répondre aux défis du XXI^e siècle. Pour ce faire, une mobilisation collective est nécessaire, pour sensibiliser les agriculteurs, les citoyens, les chercheurs et les dirigeants politiques à l'importance de l'agroécologie pour la durabilité d'une production alimentaire respectant les limites écologiques de la planète. De notre capacité à adapter nos pratiques aux défis environnementaux tout en répondant aux besoins humains fondamentaux, dépendent le bien-être et la santé des générations futures et donc l'avenir de nos sociétés.

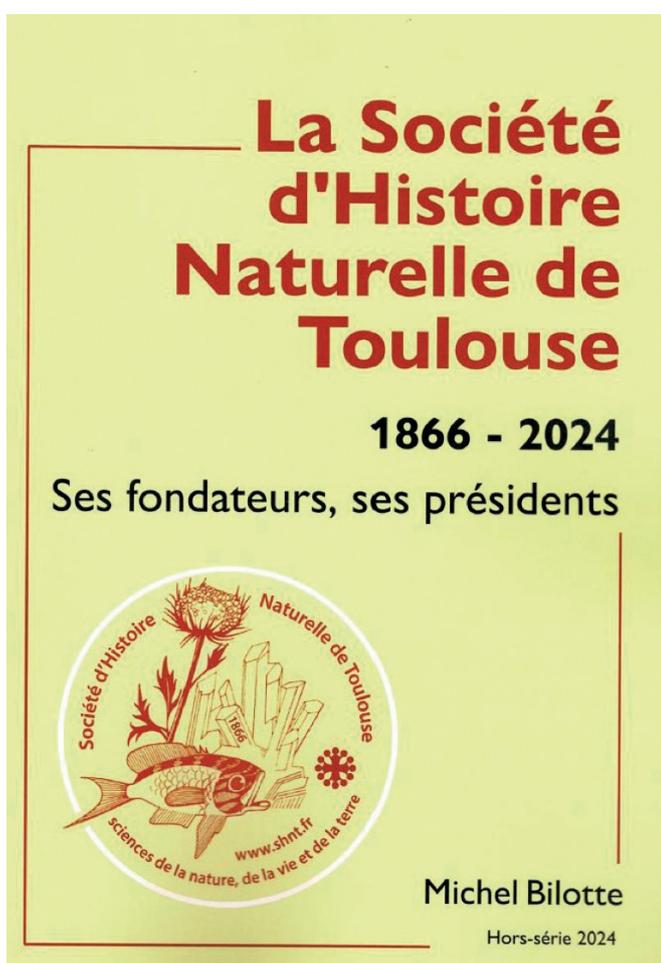


De l'agrégat de sol au paysage, le vivant est au cœur de la transition agroécologique.

Erratum

L'analyse de M. Laurin du livre *Tolkien et les sciences* (coordonné par Roland Lehoucq, Loïc Mangin & Jean-Sébastien Steyer eds.; illustrations d'Arnaud Rafaelian) qui a été publiée dans le tome 159 de ce bulletin comportait une erreur de mise en page. Sur la page 4 de l'article (page 162 du tome), deux paragraphes ont été fusionnés par erreur. La phrase commençant par « François Marchal discute des vrais hobbits... » aurait dû débiter un nouveau paragraphe. Une version électronique (pdf) corrigée de l'article est disponible sur HAL (donc, en accès libre) à l'url suivante : <https://hal.science/CR2P/hal-04534177v1>

La Société d'Histoire Naturelle de Toulouse 1866 - 2024



La SHNT a le plaisir de vous informer de la parution d'un ouvrage consacré aux fondateurs et aux président(e)s de la SHNT.

Créé en 1866 par 20 personnalités toulousaines qui souhaitaient un lieu d'échange et de débats sur de nombreuses sciences en émergence en cette moitié du 19^e siècle, la SHNT a vu se succéder à sa tête de nombreuses personnalités éminentes du monde scientifique toulousain.

Cet ouvrage se veut un complément à la remarquable synthèse produite par Gaston Astre en 1966 à l'occasion du Centenaire de la société. Malgré quelques manques, il permet de faire la connaissance visuelle de nombre de ces personnages, 11 fondateurs sur 20 et 61 présidents sur 69, qui ont créé puis qui se sont succédé à la tête de la société. Nombre d'entre eux étaient aussi membres de l'Académie des Sciences Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse ; quelques-uns le furent de l'Académie des Jeux Floraux.

L'ouvrage, de 136 pages, est publié en tant que hors-série du bulletin de la SHNT, dont il se démarque par son format livre qui rappelle l'ouvrage du Centenaire de 1966. Il est proposé au prix de 15 € (+ frais de port: 6,30 € pour la France).

Commande à adresser à :

Michel Bilotte, geoloc.meb@gmail.com **Chèque à l'ordre** de la SHNT à adresser à : Michel Bilotte, 2 allées des Glycines, 31520 Ramonville Saint-Agne

Narcisse Giani 1947-2024



Hommage de Michel Bilotte

Narcisse Giani est né le 3 octobre 1947 à Saint-Amans-des-Cots, en Aveyron, dans une modeste famille ouvrière, d'une mère aveyronnaise et d'un père immigré italien, originaire de Toscane. Il tenait ce prénom « Narcisse » pour le moins atypique, de son père lui-même prénommé Narciso.

A Entraygues, où la famille vivait, il a fréquenté l'école laïque, l'école de la République ce dont il a toujours été très fier. Il s'est nourri des apprentissages prodigués par son maître Monsieur Galut dont il aimait à rappeler les qualités de droiture et son soutien sans faille. Mais aussi les livres de bibliothèque conseillés et prêtés pour les vacances, l'ouverture sur le Monde qu'il lui avait apporté et dont il était reconnaissant. Narcisse a suivi ensuite le cursus de collégien, interne au collège de Mur-de-Barrez, lycéen au Lycée Foch de Rodez avant d'intégrer à Toulouse l'Université Paul-Sabatier

pour des études de Biologie. Il ne quittera plus l'Université puisqu'il deviendra à son tour enseignant-chercheur dans cette même université qui l'avait formé. Il a consacré ses travaux de recherche à la découverte et à l'étude d'une espèce de vers aquatiques, les Oligochètes. Ce qui l'a conduit à arpenter les Pyrénées notamment en vallée d'Aure pour les récolter dans les différents lacs (Orédon, Capdelong...) mais aussi dans les grottes des Pyrénées ou d'Aveyron, dans la France entière et à l'étranger. Enfin il a également travaillé dans les nombreuses mares des Causses du Quercy. Plus tard, il participera à la formation d'autres chercheurs dans ce domaine. Tous souligneront sa discrétion et son souci des autres, son sens de l'humour teinté parfois d'une pointe d'ironie.

C'est aussi à l'Université qu'il rencontrera Dany et qu'ils s'installeront à St Orens-de-Gameville où grandiront leurs deux enfants Bruno et Myriam. Eux-mêmes suivront la trace de leur père et deviendront à leur tour enseignants. Adeptes du camping, ils ont parcouru avec leurs enfants et leurs neveux de nombreux chemins. De ces balades et pérégrinations, en montagne, en forêts, à la mer, ils ont ramené des échantillons de roche, des fossiles, des photos de plantes, d'insectes et d'animaux.

Narcisse était un naturaliste passionné, faisant dès l'adolescence du baguage d'oiseaux. Plus tard à l'université il a animé des sorties pédagogiques pour les étudiants afin de découvrir les plantes, toutes sortes d'animaux et surtout les oiseaux.

Puis vint la retraite, et ce furent le jardinage, la taille des arbres, le bricolage, les coups de main pour aider les enfants à s'installer. Les petits-enfants l'occupèrent aussi beaucoup. Léo d'abord qui a maintenant 7 ans. Léo et son grand-père témoignaient d'une admiration réciproque qui faisait dire à Léo encore il y a peu « je vais demander à Papy parce que lui, il sait tout ». Ce fut ensuite Amalia et ses 18 mois. Narcisse s'émerveillait tous les jours des progrès du bébé dans sa conquête de l'autonomie et du Monde...

C'est au Conseil d'administration de l'UFR SVT, où



j'avais été élu au début des années 2000, que j'ai fait la connaissance de Narcisse Giani. En tant que président du Conseil pédagogique, il intervenait souvent pour informer les membres du CA des décisions prises au CP. Dans les présentations qu'il nous fit à maintes occasions, j'appréciais la rigueur de ses analyses, la clarté de ses présentations. Pas de grands discours mais des exposés de faits précis qui n'appelaient pas la contradiction, ce qui changeait de certains débats interminables du CA. J'ai retrouvé Narcisse en 2010 lorsque les locaux que j'occupais sur les allées Jules-Guesde furent restitués à la ville de Toulouse. Alors Pr. émérite, l'université me trouva un bureau dans le bâtiment 4R3 et je devins ainsi son voisin. En 2011 je fus élu président de la SHNT dont Narcisse était membre. Cette proximité nous permit de mieux nous connaître. Narcisse aimait la géologie et fossiles et cailloux émaillaient nos discussions. Si j'étais moins curieux en ce qui concernait les oligochètes, j'aimais l'entendre évoquer ses expéditions par tous les temps dans les lacs pyrénéens. D'autres fois c'est de jardinage dont il était question, de son voyage dans les Bardenas Réales, d'une période de baguage d'oiseaux qui n'avait pas été extraordinaire ... En 2017, j'avais décidé de rendre, dans les pages du bulletin, un hommage aux cinq membres de la SHNT morts lors du conflit 1914-1918. Narcisse s'investit complètement dans la recherche des documents militaires et nous pûmes présenter un article en commun dans le bulletin de 2018. Très pudiques sur ses problèmes de santé il abordait parfois son intolérance au gluten qui le privait de plaisirs gourmands et surtout de ses problèmes thyroïdiens si difficiles à maîtriser.

Puis, le 4R3 fut désaffecté, et tous les deux, nous quittèrent les lieux. Les échanges devinrent de plus en plus rares, limités aux visites qu'il me faisait quand je lui annonçais la parution

du bulletin de la société auquel il était toujours très attaché. Il me saluait en me parant toujours du titre de « président ». L'annonce de son décès en ce début d'année 2024 aura mis fin à cette relation mais, dans mes pensées, Narcisse aura toujours sa place.

Hommage d'Eric et Anne-Marie Tabacchi

Eric. J'ai croisé Narcisse pour la première fois alors que j'étais encore adolescent au bord du Lac d'Orédon, mais ne l'avais pas alors identifié comme un chercheur et enseignant. Bien plus tard, lors de mon premier cycle universitaire avec Anne-Marie, nous avons suivi les cours et TP de zoologie, d'une précision stupéfiante, de celui que nous surnommions affectueusement «Le Ténor» (« non, je ne parlerai pas plus fort, si vous voulez m'entendre commencez par faire silence !»). Retour à Orédon pour les stages d'hydrobiologie de Vielle-Aure. Toujours étudiant, j'ai intégré en 1985 le laboratoire d'hydrobiologie, alors dirigé par Eugène Angelier, pour un DESU avec Alain Thomas sur les relations macrofaune épigée et macrofaune souterraine. J'ai eu l'opportunité d'échanger longuement avec Narcisse, notamment sur la taxonomie et l'écologie des Oligochètes. C'est à cette occasion que j'ai découvert que derrière la carapace apparemment fragile de ce personnage timide se cachait en fait un naturaliste complet envahi par la passion des objets de la Nature. Narcisse et Eugène ont soutenu, contre vents et marées (on voulait m'obliger à faire de la bactériologie), mon intégration en DEA dans le domaine naturaliste. Je ne serai pas dans mon actuel laboratoire sans leur action. La complicité discrète qui est née de ces premières années ne nous a pas quitté jusque dans mes travaux de thèse où Narcisse répondait présent à mes sollicitations avec une humilité déconcertante eu égard à ses immenses connaissances, et au-delà. Son humour permanent, aussi discret qu'incisif, ne l'a jamais quitté.

Eric & Anne-Marie. Il a, plus tard, soutenu la candidature de mon épouse Anne-Marie à un poste de Maître de Conférences de l'UPS. Jusqu'à sa retraite, il a partagé avec elle les couloirs et les bureaux du bâtiment 4R3. IL a même fait (discrètement) partie de mon équipe dans les laboratoires Ladybio, puis Ecolab.

Durant ces dernières années, c'est avec un plaisir immense que nous revoyions Narcisse, une à deux fois par an sur les bords de la Garonne, lors des sorties de biogéographie désormais organisées par Anne-Marie après le départ de Narcisse. Nous avons alors découvert, en compagnie notamment de Bernard Chanchus, de Jean Joachim et de Michel Fontané, une nouvelle facette de notre collègue, le Narcisse ornithologue.

Hommage de Enrique Martínez Ansemil professeur émérite, Université de A Coruña

Narcisse Giani, maître et ami

Janvier 1979, 26 ans, quelques mois après la soutenance de ma thèse de 3^{ème} cycle à l'Université d'Aix-Marseille III, je visite pour la première fois le laboratoire d'hydrobiologie de l'UPS. Je voulais relancer ma recherche dans le domaine de l'hydrobiologie et je cherchais à me spécialiser dans la connaissance d'un groupe taxonomique encore inconnu



chez moi, en Espagne. La proximité et la gentillesse de Jean-Noël Tourenq, un reconnu chercheur du CNRS, génial et très sympathique, qui avait fait partie de mon jury de thèse à Marseille, était à l'origine de cette visite. Jean-Noël me présente Narcisse comme un excellent chercheur, spécialisé en oligochètes aquatiques, qui pourrait s'occuper de moi si nous étions tous les deux d'accord. À la sortie de la réunion, et vu qu'au premier abord la timidité de Narcisse aurait pu me faire penser qu'il était quelqu'un de distant, Jean-Noël me dit: « ne t'inquiète pas couillon, malgré son air d'ours en soucis Narcisse est un type très chouette et je suis sûr que vous allez travailler très bien ensemble et que tu vas apprendre beaucoup avec lui ».

Sans plus tarder, nous nous sommes mis tous les trois à planifier mon apprentissage et la recherche qui devrait m'amener à la soutenance de ma thèse de doctorat en Espagne et de ma thèse d'état en France. Puis, je rentre chez moi pour faire une première série de prélèvements et je retourne à Toulouse pour les étudier. Narcisse s'occupe de moi d'une façon vraiment très généreuse, il met toutes ses connaissances et tous ses moyens matériels à ma portée, et il s'ouvre immédiatement à une relation d'amitié. Notre première publication ensemble porte sur la description de *Protuberodrilus tourenqui* n. gen. n.sp, dédié à mon parrain et notre ami commun Jean-Noël (*père Tourenq*). Depuis, des multiples séjours miens à Toulouse et quelques séjours de Narcisse en Galice (tout un succès car il était un vrai sédentaire) ont contribué, dans le plan personnel, à forger une profonde relation d'amitié qui transcende la famille, et, dans le plan professionnel, à cosigner une trentaine de publications sur les pays du pourtour de la Méditerranée.

Jean-Noël avait tout à fait raison, Narcisse était un type vraiment chouette et très intelligent, et même s'il avait l'air d'un ours en soucis, il était en réalité un ours en peluche. Le contact soutenu dans le temps avec Narcisse a marqué profondément

ma carrière universitaire et a contribué largement à façonner ma personnalité. Même mes dernières années de carrière, comme responsable de la défense des droits et des libertés des membres de la communauté universitaire à l'Université de A Coruña, gardent une étroite relation avec ce que j'avais aussi appris de Narcisse dans son rôle de responsable institutionnel de l'orientation et l'appui aux élèves en difficulté.

Hommage de Pierre Marty

C'est avec une profonde tristesse et une grande émotion que j'écris ces quelques lignes pour rendre hommage au professeur Narcisse GIANI qui nous a quitté en ce début d'année 2024. Il était hydrobiologiste systématicien, plus précisément spécialiste des Oligochètes, reconnu et estimé par ses pairs. Il n'en demeurerait pas moins un naturaliste éclectique qui aura laissé une empreinte indélébile chez tous ceux qui ont eu la chance de le côtoyer. Cela a été mon cas. Il a été tour à tour mon professeur de zoologie, mon maître de stage de DEA et mon directeur de thèse. Nous sommes restés en contact même après mes études.

Passionné par son métier, consciencieux dans son travail, il a su captiver des générations d'étudiants par le contenu de ses cours de zoologie et les pointes d'humour qui les agrémentaient. En travaux pratiques ou sur le terrain, c'est là qu'il était dans son élément. On s'apercevait très vite que ses connaissances ne s'arrêtaient pas seulement au thème abordé dans la leçon du jour.

Dans la vie du laboratoire, il était aussi très respecté. Vif d'esprit, d'une honnêteté intellectuelle rare, il était toujours écouté avec attention. Ses remarques pouvaient être un peu provocatrices et ses piques, d'une précision chirurgicale, faisaient souvent mouche. Même s'il n'était pas un grand communicant, c'était un bon orateur qui savait captiver son auditoire et se faire entendre par ses pairs.

Derrière cette discrétion, cette timidité, se cachait un humaniste très sensible, souvent touché au plus profond de lui par les injustices et les douleurs de ce monde.

Durant ma thèse, dès qu'il avait le dos tourné, je ne perdais pas une occasion de l'imiter dans les couloirs du laboratoire, en reproduisant le léger « ch » qui clôturait chacune de ses phrases. Il s'en est rapidement aperçu et ça le fit beaucoup rire, de ce petit rire discret, presque inaudible, qui consistait à tressauter des épaules tout en secouant la tête. Depuis, jusqu'à ce qu'il nous quitte, lorsqu'il m'envoyait un mail, il commençait son texte par « Pierre MARTYCH, ».

Aujourd'hui, il n'est plus là, laissant un grand vide autour de nous. Néanmoins, il me suffit de fermer les yeux, pour le revoir dans le couloir sombre du 1^{er} étage du bâtiment 4R3, la tête enfoncée dans son anorak bleu. Il porte une pile de copies dans une main, un cartable en cuir sous l'autre bras, essayant tant bien que mal de fermer la porte de son bureau, les joues gonflées à la manière d'un trompettiste. Dans une expiration silencieuse, il libère lentement l'air emprisonné, ce qui en dit long sur sa satisfaction de terminer une nouvelle journée bien remplie.

Merci monsieur GIANI, merci pour tout !

Extrait du texte composé et lu lors de la cérémonie funéraire du 6 février 2024, par Mme Eliane Giani, sœur de Narcisse

1. Cours universitaire

Après le baccalauréat *Sciences expérimentales* obtenu à Millau en 1968 (mention AB), Narcisse Giani poursuit ses études à la faculté des Sciences de Toulouse ; elles s'achèvent par un « sans-faute » jusqu'à la Maîtrise de Sciences Naturelles, obtenue avec la mention Bien, comme chacun des certificats des cycles la précédant. Un Diplôme d'Etudes supérieures, option Hydrobiologie est présenté en 1971, suivi en 1972, par une thèse de Spécialité. Il est recruté la même année comme assistant stagiaire et sera titularisé en 1973. Il franchira toutes les étapes d'une progression normale : maître-assistant, il prépare un doctorat d'Etat qu'il soutient en 1984. Devenu maître de conférences en 1986, inscrit sur la liste de qualification aux fonctions de professeur en 1994, il est nommé professeur en 1997. Admis à la retraite en 2010, il obtient l'éméritat.

2. Enseignement

Durant toute sa carrière universitaire Narcisse Giani a exercé avec conscience et talent toutes les fonctions qui incombaient à un enseignant – chercheur.

Formation initiale. Au grès des nombreuses réformes qui ont affecté les universités pendant sa carrière, Narcisse a enseigné de nombreuses disciplines du domaine de la Zoologie. Il est intervenu dans les trois cycles universitaires des Sciences de la Vie, du 1^{er} cycle au Master, enseignant la Zoologie, des protistes aux vertébrés, la biologie animale et le comportement, la biologie évolutive, la génétique des populations, la systématique, l'anatomie fonctionnelle, l'écologie terrestre et aquatique, l'écologie des systèmes aquatiques continentaux ...

Il a diffusé son savoir lors de travaux pratiques, travaux dirigés et cours magistraux, à des effectifs d'étudiants toujours plus nombreux. Ils pouvaient atteindre 200 dans certaines Unités d'Enseignement (UE). Devant des effectifs plus réduits, il est intervenu dans les préparations des concours de recrutement de l'enseignement secondaire (Capes, Agrégation) et dans les diplômes d'études approfondies (DEA).

Il a exporté son savoir-faire à l'étranger dans le cadre des échanges ERASMUS, auprès des universités de Bilbao et de la Corogne où il a exercé avec le titre de « Professor visitante ».

Ces activités multiples se sont accompagnées de responsabilités diverses. A Albi par exemple, il a participé à la mise en place du 1^{er} cycle des enseignements de Biologie animale, et des deux années de DEUG. Par la suite il a œuvré à la coordination de ces enseignements avec ceux l'Université Paul-Sabatier. Dans cette université, il fut responsable du Diplôme de Biologie des organismes, mais aussi d'UE de la filière enseignement.

Formation continue : Narcisse est intervenu dans la formation professionnelle des professeurs de Collèges et de Lycées, mais aussi des instituteurs (Ecole Normale d'Auch), où

les enseignements théoriques se doublaient d'enseignements pratiques sur le terrain.

Investissement administratif. Dans les instances de l'université, Narcisse Giani a été membre de la Commission de Validation des Acquis et de la Commission du diplôme d'Etude Supérieure de l'UPS, chargées d'examiner les candidatures extérieures. Il a été élu au Conseil pédagogique et au Conseil d'administration de l'UFR SVT. Il fut membre de la Commission de spécialiste, des Commissions d'avancement des professeurs et des Maîtres de Conférences, de la Commission du Patrimoine, de la Vie étudiante, ... Dans le laboratoire auquel il était rattaché, l'UMR CESAC (Centre d'Ecologie des Systèmes Aquatiques Continentaux), il fut membre du Conseil scientifique. En 1990 il devient coéditeur des « Annales de Limnologie – International Journal of Limnology », revue internationale éditée successivement par Masson puis Gauthier-Villars, avant qu'elle ne le devienne par le CESAC en 1996. Il était conseiller éditorial de plusieurs revues internationales.

Ces responsabilités l'ont conduit à participer à de nombreux jurys : Baccalauréat, DEA, stages en entreprises, concours de recrutement de personnels ITAOS.

3. Recherche

Les activités de recherche de Narcisse Giani ont débuté au sein de l'équipe du laboratoire d'Hydrobiologie de l'Université Paul-Sabatier. Sa première étude (DES, 1971) a porté sur l'étude du peuplement de la zone littorale d'un lac Pyrénéen situé à 2 285m d'altitude. Les cycles biologiques des Chironomidés y ont été précisés, ainsi que le rôle de leur principal prédateur, le Mégaloptère, *Sialis lutaria*. La suite, sur les conseils du professeur E. Angelier, sera consacrée à l'étude des Oligochètes aquatiques. Pendant plus de trente ans, Narcisse se consacrera à leur étude. Il en abordera la taxinomie, décrivant trois genres nouveaux, 46 espèces nouvelles appartenant à cinq taxons différents. Il révisera et émendra 21 espèces. Un genre *Gianus* lui sera dédié qui consacrera sa notoriété sur le sujet.

Il étudiera leur distribution biogéographique dans l'aire du bassin méditerranéen, délimitant trois entités périméditerranéennes désignées : rivages nord (France & Espagne) ; rivage est (Liban, Syrie, Turquie) ; rivage sud (Tunisie, Algérie, Maroc). Grâce à de nombreux échanges et à l'étude de collections, il étudiera aussi les faunes de la Martinique, du Venezuela et de la Bolivie, de même que celles des lacs Baïkal, Tanganyika, Nyassa. Il abordera le sud-est asiatique avec l'étude d'un matériel thaïlandais.

Bien sur les Pyrénées ne seront pas oubliées où il étudiera le matériel des torrents de montagne, des lacs et des tourbières. Il se penchera sur l'étude de leur biologie et de leur écologie, sur leur répartition longitudinale dans les cours d'eau recherchant les possibles facteurs de cette distribution, sur l'impact des pollutions, principalement par les métaux lourds, sur les populations et l'intérêt que leur étude pouvait apporter. Une dernière facette de leur étude a porté sur l'action des Oligochètes sur leur milieu de vie et tout particulièrement sur leur impact en tant que perturbateur des dépôts sédimentaires.

Ces dernières années il avait orienté ses recherches sur les Oligochètes des milieux souterrains, peu étudiés jusqu'alors. Dans le cadre du programme de recherche européen PASCALIS, il s'est intéressé aux eaux souterraines de France, d'Espagne, d'Italie, de Slovénie et de Grèce. Il y découvrit des espèces nouvelles relevant de quatre familles différentes ; ces travaux ont donné lieu à 15 publications. Les similitudes observées avec des espèces marines de milieu abyssal ont conduit Narcisse Giani à émettre des hypothèses sur l'origine possible des Oligochètes.

Enfin il a collaboré à l'étude de la biodiversité, du fonctionnement et de la conservation des mares à intérêt patrimonial du Parc Naturel Régional des Causses du Quercy, ce travail ayant pour but de proposer une politique de conservation de ces écosystèmes.

Cette intense activité de recherche s'est traduite par une production scientifique importante. En 2011, sa notice indique 76 communications. Il a participé à la réalisation de films scientifiques, tous deux primés. Il a présenté des communications dans 30 congrès en France, en Europe, mais aussi aux Etats-Unis et au Brésil.

Cette activité scientifique il l'a partagée avec de nombreux collègues de différents laboratoires et universités européennes, mais aussi et surtout avec ses étudiants. Narcisse Giani a dirigé pas moins de 4 DES, 5 DEA, 10 thèses d'Université (Toulouse, UPS, ENVT) et en a codirigé deux en Espagne et une en Belgique. Sa notoriété l'a conduit à siéger à pas moins de 27 DES, neuf DEA, deux doctorats d'Etat, 20 thèses d'Université. De nombreux contrats de recherche et de collaborations ont accompagné toutes ces activités.

4. Narcisse Giani et la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse

Narcisse était profondément attaché à la SHNT ; il y publiera 10 articles scientifiques, le premier en 1977. Il devint membre du Conseil de la société et bibliothécaire en 2003 puis vice-président en 2005 ; en 2018, à l'occasion du Centenaire de la Grande Guerre, il y cosignera un article en hommage aux membres de la SHNT morts lors du grand conflit. Il sera fidèle à la société jusqu'à la date de son décès survenu le 30 janvier 2024.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

Mémoires de thèse

- 1 - 1972 - Etude des populations benthiques d'un lac de haute montagne : le lac de Port-Bielh 2 285 m, Hautes-Pyrénées (en collaboration avec DUPIN B.). Thèse de 3^e cycle, Université de Toulouse 162p., juin 1972.
- 2 - 1984 - Contribution à l'étude de la faune d'eau douce et plus particulièrement des Oligochètes. I. Travaux. II. Les Oligochètes aquatiques : Taxinomie, Répartition et Ecologie. Thèse Doctorat d'Etat, Sciences Naturelles, Université Paul Sabatier, Toulouse, novembre 1984.

Publications

- 1 - GIANI N. & LAVILLE H. 1973- Cycle biologique et production de *Sialis lutaria* L. (Megaloptera) dans le lac de Port-Bielh (Pyrénées centrales). *Annls Limnol.*, 9 (1) : 45-61.
- 2 - LAVILLE H. & GIANI N. 1974 - Phénologie et cycles biologiques des Chironomides de la zone littorale (0-7 m) du lac de Port-Bielh (Pyrénées centrales). *Ent. Tidskr.*, 95 (Suppl.) : 139-155.
- 3 - GIANI N. 1974 - Description d'un nouveau type de carottier pour les sédiments très fluides. *Annls Limnol.*, 10 (1) : 99-108.
- 4 - JUGET J. & GIANI N. 1974 - Répartition des Oligochètes lacustres du Massif de Néouvielle (Hautes- Pyrénées) avec la description de *Peloscoclex pyrenaicus* n.sp. *Annls Limnol.*, 10 (1) : 33-53.
- 5 - GIANI N. & LUCAS C. 1974 - Les sédiments d'un lac de haute montagne : structure, nature et peuplement. *Annls Limnol.*, 10 (3) : 223-244.
- 6 - GIANI N. 1976 - Les Oligochètes aquatiques du Sud-Ouest de la France. *Annls Limnol.*, 12 (2) : 107-125.
- 7 - GIANI N. & LAVANDIER P. 1977 - Les Oligochètes du torrent d'Estaragne (Pyrénées centrales). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 113 (1/2) : 234-243.
- 8 - GIANI N. 1977 - Les Oligochètes du Rio Chama (Venezuela). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 113 (3/4) : 267-272.
- 9 - GIANI N. 1979 - Description de deux nouvelles espèces d'Enchytraeidae des Pyrénées. *Annls Limnol.*, 15 (2) : 107-112.
- 10 - THOMAS A.G.B. GIANI N. & THOMAS N. 1979 - Actions humaines sur la faune benthique torrenticole dans le Sud-Ouest de la France : I. La rigole de la Montagne Noire. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 115 (1/2) : 30-52.
- 11 - GIANI N. et MARTINEZ-ANSEMIL E. 1979 - Description d'une nouvelle espèce de Tubificidae du Nord- Ouest de l'Espagne : *Protuberodrilus tourenqui* n. g., n. sp. *Annls Limnol.*, 15 (3) : 291-297.
- 12 - GIANI N. 1979 - Les Oligochètes aquatiques du Sud-Ouest de la France (2e note). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 115 (3/4) : 347-358.
- 13 - MARTINEZ-ANSEMIL E. et GIANI N. 1980 - Premières données sur les Oligochètes aquatiques de la Péninsule Ibérique. *Annls Limnol.*, 16 (1) : 43-54.
- 14 - SAY P.J. & GIANI N. 1981 - The Riou Mort, a tributary to the river Lot polluted by heavy metals. II. Accumulation of zinc by Oligochaetes and Chironomids. *Acta Oecologia, Oecol. Appl.*, 2 : 339-355.
- 15 - GIANI N. et MARTINEZ-ANSEMIL E. 1981 - Contribution à la connaissance des Oligochètes aquatiques du bassin de l'Argens (Var, France). *Annls Limnol.*, 17 (2) : 121-141.
- 16 - GIANI N. et MARTINEZ-ANSEMIL E. 1981 - Observaciones acerca de algunos Tubificidae (Oligochaeta) de la Peninsula Iberica, con la descripción de *Phalldrillius riparius* n. sp. *Annls Limnol.*, 17 (3) : 201-209.
- 17 - GIANI N. et LAFONT M. 1981 - Sur la présence en France de *Rhyacodrilus carsticus* Kosel. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 117 (1/4) : 207-210.
- 18 - GIANI N., MARTINEZ-ANSEMIL E., MOUBAYED Z. & DIA A. 1982 - Les Oligochètes aquatiques du Liban. I. *Neoaulodrilus libanus* n. g., n.sp. et *Nais iorensis* Pataridze. *Annls Limnol.*, 18 (2) : 179-190.
- 19 - MARTINEZ-ANSEMIL E. et GIANI N. 1982 - Contribucion

- al conocimiento del genero *Pristina* (Oligochaeta, Naididae) en la Peninsula Iberica. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. nat. (Biol.)*, 80 (3-4) : 249-260.
- 20 - GIANI N., MARTINEZ-ANSEMIL E. et MOUBAYED Z. 1982 - Les Oligochètes aquatiques du Liban. II. Premier inventaire faunistique. *Annls Limnol.*, 18 (3) : 293-300.
- 21 - GIANI N. 1983 - Le Riou Mort, affluent du Lot, pollué par métaux lourds. III. Etude faunistique générale. *Annls Limnol.*, 19 (1) : 29-43.
- 22 - MARTINEZ-ANSEMIL E. et GIANI N. 1983 - Les Oligochètes aquatiques du Liban. III. *Psammoryctides longicapillatus* n. sp. (Tubificidae). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 119 : 21-25.
- 23 - RODRIGUEZ P. et GIANI N. 1984 - Description de *Varichaetadrilus bizkaiensis* n. sp., nouvelle espèce de Tubificidae (Oligochaeta). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 120 : 127-130.
- 24 - GIANI N. et MARTINEZ-ANSEMIL E. 1983 - Les Oligochètes aquatiques du Liban. IV. *Epirodriulus moubayedii* n. sp. (Tubificidae, Rhyacodrilinae). *Annls Limnol.*, 19 (1) : 87-92.
- 25 - GIANI N. 1984 - Le Riou Mort, affluent du Lot, pollué par métaux lourds. IV. Les Oligochètes. *Annls Limnol.*, 20 (3) : 167-181.
- 26 - MARTINEZ-ANSEMIL E. et GIANI N. 1984 - Les Oligochètes aquatiques du Liban. V. *Tubifex acuticularis* n. sp. (Tubificidae). *Annls Limnol.*, 19 (3) : 203-206.
- 27 - GIANI N., MARTINEZ-ANSEMIL E. et BRINKHURST R. O. 1984. - Révision du statut taxonomique des Aulodrilinae (Tubificidae, Oligochaeta). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 120 : 17-22.
- 28 - GIANI N. et MARTINEZ-ANSEMIL E. 1984 - Deux nouvelles espèces de Lumbriculidae (Oligochaeta) du Sud-Ouest de l'Europe. *Annls Limnol.*, 20 (3) : 157-165.
- 29 - BOUMAIZA M., MARTINEZ-ANSEMIL E. & GIANI N. 1986 - Les Oligochètes et Aphanoneura des eaux courantes de Tunisie. I.-Données faunistiques. *Annls Limnol.*, 22 (3) : 231-237.
- 30 - BOUMAIZA M., GIANI N. & MARTINEZ-ANSEMIL E. 1986 - Les Oligochètes et Aphanoneura des eaux courantes de Tunisie. II. Clé pour la détermination des espèces actuellement recensées. *Archs Inst. Pasteur Tunis*, 63 (2-3) : 299-323.
- 31 - RODRIGUEZ P. & GIANI N. 1986 - Description de trois espèces nouvelles d'Oligochètes aquatiques du Pays Basque (Espagne). *Hydrobiologia* 139 : 269-276.
- 32 - GAGNEUR J., GIANI N. & MARTINEZ-ANSEMIL E. 1986 - Les Oligochètes aquatiques d'Algérie. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 122 : 119-124.
- 33 - MARTINEZ-ANSEMIL E. & GIANI N. 1987 - Une nouvelle espèce marine de Tubificidae (Oligochaeta) d'Espagne : *Tubificoides galiciensis* n. sp. *Vie Milieu*, 37 (1) : 53-58.
- 34 - BOUGUENEC V. & GIANI N. 1987 - Deux nouvelles espèces d'*Enchytraeus* (Oligochaeta, Enchytraeidae) et redescription d'*E. bigeminus* Niel. & Chr. Remarques sur le genre *Enchytraeus*. *Annls Limnol.*, 23 (1) : 9-22.
- 35 - RODRIGUEZ P. & GIANI N. 1987 - Sur deux espèces de Lumbriculidae (Oligochaeta) cavernicoles : *Cookidrilus speluncaeus* n. gen., n. sp. et *Trichodrilus diversisetosus* Rodriguez 1986. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 123 : 45-49.
- 36 - MOUBAYED Z., GIANI N. & MARTINEZ-ANSEMIL E. 1987 - Distribution of aquatic Oligochaeta and Aphanoneura in the Near East. *Tübingen Atlas des vorderen Orients*, F.Krupp, W.Schneider, R.Kinzelbach édés, A 28 : 80-90.
- 37 - MARTINEZ-ANSEMIL E. & GIANI N. 1987 - The distribution of aquatic Oligochaetes in the south and eastern mediterranean area. *Hydrobiologia*, 155: 293-303.
- 38 - MARTINEZ-ANSEMIL E. & GIANI N. 1986 - Algunos Oligoquetos acuaticos de Bolivia. *Oecologia aquatica*, 8 : 107-115.
- 39 - GIANI N. & RODRIGUEZ P. 1988 - Description de quelques espèces nouvelles de Tubificidae (Oligochaeta) de grottes et de sources karstiques de la Péninsule Ibérique. *Stygologia*, 4 (2) : 121-137.
- 40 - GIANI N. & BOUGUENEC V. 1988 - La faune aquatique de Thaïlande : généralités et catalogue. *Expéditions de l'APS en Asie du Sud-Est, travaux scientifiques*, 1 : 29-38.
- 41 - BOUGUENEC V. & GIANI N. 1989 - Biological studies upon *Enchytraeus variatus* Bouguenec and Giani, 1987 in breeding cultures. *Hydrobiologia*, 180 : 151-165.
- 42 - BOUGUENEC V. & GIANI N. 1989 - Les oligochètes aquatiques en tant que proies des Invertébrés et des Vertébrés : une revue. *Acta Oecologica, Oecol. Applic.*, 10 (3): 177-196.
- 43 - RODRIGUEZ P. & GIANI N. 1989 - New species of *Phalldrilus* (Oligochaeta, Tubificida) from caves of northern Spain and southwestern France. *Hydrobiologia*, 180: 57-63.
- 44 - GIANI N., ERSEUS C. & MARTINEZ-ANSEMIL E. 1990 - A redefinition of the subterranean genus *Krenedrilus* Dumnicka (Oligochaeta, Tubificidae) with a redescription of *K. papillatus* Dumnicka, 1983 and the description of two new species. *Stygologia*, 5(1): 55-65.
- 45 - ERSEUS C., GIANI N. & RODRIGUEZ P. 1992 - The taxonomy of *Spiridion* Knöllner (Oligochaeta, Tubificidae), with a redescription of *Spiridion phreaticola* (Juget 1987) comb.n. *Stygologia*, 7(2): 77-83.
- 46 - BOUGUENEC V. & GIANI N. 1992 - Mise en place d'un élevage de *Chironomus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae) à l'aval d'une station d'épuration par lagunage. *Annls Limnol.*, 28(3): 233-243.
- 47 - GUERIN C., SIRE M. & GIANI N. 1992 - Etude préliminaire à la mise au point d'un test biologique d'évaluation de la toxicité des sédiments à l'aide d'*Enchytraeus variatus*. *REED*, 38-39: 39-40.
- 48 - BOUGUENEC V. & GIANI N. 1993 - Life-cycle and biology of *Enchytraeus varithecatus* Bouguenec and Giani, 1987 in breeding cultures. *Eur. J. Soil Biol.*, 29(2): 43-48.
- 49 - CHAUVET E., GIANI N. & GESSNER M.O. 1993 - Breakdown and invertebrate colonization of leaf litter in two contrasting streams: the significance of oligochaetes in a large river. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50(3): 488-495.
- 50 - COLLADO R., MARTINEZ-ANSEMIL E. & GIANI N. 1993 - Les oligochètes aquatiques de la Péninsule Ibérique : description de *Stylodrilus curvithecus* n. sp. (Lumbriculidae) et de *Mesenchytraeus lusitanicus* n. sp. et redescription de *Cognettia hibernica* Healy (Enchytraeidae). *Annls Limnol.*, 29 (2) : 129-138.
- 51 - GUERIN C., GIANI N. & M. SIRE. 1994 - Etude de la sensibilité d'*Enchytraeus variatus* (Oligochaeta, Enchytraeidae) à certains sels de métaux lourds en vue de son utilisation comme organisme test. *Annls Limnol.*, 30 (3) : 167-178.
- 52 - GIANI N. & RODRIGUEZ P. 1994 - New species of the genus *Trichodrilus* (Oligochaeta, Lumbriculidae). *Zoologia Scripta*, 23 (1): 33-41.
- 53 - RODRIGUEZ P. & GIANI N. 1994 - A preliminary review of the taxonomic characters used for the systematics of the genus *Trichodrilus* Claparède (Oligochaeta, Lumbriculidae).

- Hydrobiologia*, 278 : 35-51.
- 54 - GIANI N. et LAVILLE H. 1995- Réseau trophique benthique. chap. 19, pp 565-587 in R. Pourriot et M. Meybeck éd., *Limnologie générale*. Masson, Paris.
- 55 - MARTIN P. & GIANI N. 1995- Two new species of *Epirodriilus* (Oligochaeta, Tubificidae) from Lake Nyasa and Tanganyika (East Africa) with a redescription of *Epirodriilus slovenicus* and complements for *Epirodriilus michaelsoni*. *Zoologica Scripta*, 24 (1): 13-19.
- 56 - MARTIN P. & GIANI N. 1995- *Insulodriilus martensi*, a new species of Phreodrilidae (Oligochaeta) from Lake Tanganyika (East-Africa). *Annls Limnol.*, 31 (1): 3-8.
- 57 - GIANI N., MARTIN P. et JUGET J. 1995. A new species of Phreodrilidae (Oligochaeta), *Astacopsidriilus naceri* sp. nov., from Morocco (North-Africa), with notes on the biogeography of the family. *Can. J. Zool.*, 73: 2375-2381.
- 58 - GUERIN C., GIANI N. 1996. Analytical study of the locomotor and respiratory movements of tubificid worms by means of video recording. *Hydrobiologia*, 333: 63-69.
- 59 - MARTINEZ-ANSEMIL E., SAMBUGAR B. & GIANI N. 1997. Groundwater Oligochaetes from Southern-Europe. I. A new genus and three new species of Rhyacodrilinae (Tubificidae) with a redescription of *Tubifex pescei* (Dumnicka) comb. n. *Annls Limnol.*, 33 (1): 33-44.
- 60 - CHAGNE P. & GIANI N. 1998. Taxinomie et faunistique des Oligochètes aquatiques de la Martinique. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 134: 21-32.
- 61 - SAMBUGAR B., GIANI N., & MARTINEZ-ANSEMIL E. 1999. Groundwater Oligochaetes from Southern-Europe. Tubificidae with marine Phyletic affinities: new data with description of a new species, review and consideration on their origin. *Mémoires de Biospéologie*, 26 : 107-116.
62. - ANGELIBERT S., CAYROU J., CEREGHINO R. & GIANI N. 1999. Biodiversité de trois mares de type Saint-Namphaise du Parc Naturel Régional des Causses du Quercy. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 135 : 37-45.
- 63 - ANGELIBERT S., BARAILLE L., CEREGHINO R. & GIANI N. 2000. Biodiversité de mares rocheuses artificielles à usage domestique. Cas des « lacs Saint-Namphaise » du parc naturel régional des Causses du Quercy. in S. Wicherek éd., *L'eau, de la cellule au paysage*, Collection environnement, Elsevier, Paris, 195-214.
- 64 - CAYROU J., COMPIN A., GIANI N. & CEREGHINO R. 2000. Associations spécifiques chez les macroinvertébrés benthiques et leur utilisation pour la classification des cours d'eau. Cas du réseau hydrographique Adour-Garonne (France). *Annls Limnol.*, 36 (3) : 189-202.
- 65 - BARAILLE L., MARTY P., ANGELIBERT S., CAYROU J., GOURNAY A., AZEMAR F., FRANCISCO P., CEREGHINO R. & GIANI N. 2000. Les mares des réservoirs de biodiversité à protéger. Exemple des mares rocheuses du Parc Naturel Régional des Causses du Quercy (Lot). *Revue de l'Agence de l'eau Adour-Garonne*, 80, 17-24.
- 66 - GIANI N., SAMBUGAR B., RODRIGUEZ, P. & MARTINEZ-ANSEMIL E. 2001. Oligochaetes in southern European groundwater. New records and an overview. *Hydrobiologia*, 463 : 65-74.
- 67 - CEREGHINO R., COMPIN A. & GIANI N. 2001. Biodiversité des peuplements d'invertébrés du réseau Adour-Garonne. Vers de nouvelles méthodes d'évaluation de la qualité des eaux courantes. *Revue de l'Agence de l'eau Adour-Garonne*, 83, 21-25.
- 68 - MARTINEZ-ANSEMIL E., SAMBUGAR B. & GIANI N., 2002. First record of Parvidrilidae (Annelida, Oligochaeta) in Europe with a description of a new species (*Parvidrilus spelaesus* sp. nov) and comments on the family and its phyletic relationships. *Journal of Zoology, Lond.*, 256: 495-503.
- 69 - MARTINEZ-ANSEMIL E., GIANI N. & SAMBUGAR B. 2002. Oligochaetes from undergroundwater of Oman with descriptions of two new species of Phreodrilidae (Oligochaeta): *Antarctodrilus arabicus* n. sp. and *Phreodrilus stocki* n. sp. *Contributions to Zoology* : 71(4) : 147-158.
- 70 - ANGELIBERT S. & GIANI N. 2003. Dispersal characteristics of three odonate species in a patchy habitat. *Ecography* 26: 13-20.
- 71 - ANGELIBERT S., MARTY P., CEREGHINO R. & GIANI N. 2004. Seasonal variations in physico-chemical characteristics of ponds: implications for biodiversity conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14: 439-456.
- 72 - ROUTE N., MARTINEZ-ANSEMIL E., SAMBUGAR B. & GIANI N. 2004. On some interesting freshwater Annelida, mainly Oligochaeta, of the underground waters of southwestern France with the description of a new species. *Subterranean Biology*, 2: 1-5.
73. SAMBUGAR B., MARTINEZ-ANSEMIL E. GIANI N. 2005. Oligochaetes from springs in southern Europe. Bolletino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona. Botanica Zoologia, 29: 93-106.
74. ARTHEAUM. & GIANI N. 2006. A checklist of groundfreshwater Oligochaeta and Polychaeta in France: an overview. Bull. de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Biologie, 76 : 229-255.
75. DEHARVENG L., F. STOCH, J. GIBERT, A. BEDOS, D. GALASSI, M. ZAGMAJSTER, A. BRANCELJ, A. CAMACHO, F. FIERS, P. MARTIN, N. GIANI, G. MAGNIEZ AND P. MARMONIER. 2009. Groundwater biodiversity in Europe. *Freshwater Biology* 54, 709-726.
76. GIANI N., B. SAMBUGAR, E. MARTINEZ-ANSEMIL, P. MARTIN and R. M. SCHMELZ. 2011. The groundwater oligochaetes (Annelida, Clitellata) of Slovenia. *Subterranean Biology* 9, 85-102.

Films scientifiques

1995. GUERIN C. et GIANI N. Activité des Tubificidae (Oligochaeta) à l'interface sédiment/eau.. Durée: 18 mn. Réalisé au Laboratoire d'Hydrobiologie de l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

Ce film a été sélectionné et présenté au 1^{er} festival du film de chercheur organisé par le Ministère de l'enseignement, de l'enseignement supérieur et de la recherche et le CNRS, du 27 au 30 mars 1996 à Nancy. Il a obtenu le premier prix dans sa catégorie (Mention spéciale démonstration expérimentale).

2004. Membre du comité scientifique du film « Vie sauvage des lacs de Saint-Namphaise ». Réalisation : Images et Patrimoines. Images et post-production : Myriam & Thierry Gabet. Production : Parc naturel régional des Causses du Quercy. Ce film a obtenu le premier prix dans sa catégorie au festival du film de Ménéguette.

René Le Cohu 1936-2022



La Société d'Histoire Naturelle de Toulouse (SHNT) n'a appris que récemment le décès de l'un de ses anciens membres, le Professeur René Le Cohu. Il était membre du Laboratoire d'Ecologie fonctionnelle et environnements, de l'Université Paul-Sabatier de Toulouse et de l'UMR 5245-ECOLAB.

René Le Cohu avait débuté sa carrière à l'Université de Rennes, mais c'est en 1992 qu'il est nommé professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse. Passionné par la taxinomie des diatomées il produira 75 articles et décrira 90 taxons provenant de différentes régions du Monde (Bretagne, Pyrénées, îles Kerguelen, Nouvelle-Calédonie). Spécialiste internationalement reconnu (15 espèces et un genre de diatomées lui ont été dédiés) il était membre de nombreuses associations de spécialistes, mais aussi de la SHNT dans laquelle il publia jusqu'en 2011. Devenu professeur émérite, il restera membre de cette société jusqu'en 2019, date à laquelle il quittera définitivement Toulouse pour rejoindre sa Bretagne natale. René Le Cohu est décédé le 28 septembre 2022.

Sous la plume de Loïc Tudesque, une notice plus complète est publiée sur le site de la Société Internationale de recherche sur les Diatomées.

Claude Boutin 1939-2024



© A.M. Tabacchi

***In memoriam* Claude Boutin : une passion pour la biodiversité des eaux souterraines**

Claude Boutin est né à Athis-Mons (Seine-et-Oise) en février 1939 ; il est décédé en mai 2024 à Paris après un long combat contre les atteintes liées à l'âge. Ses études secondaires terminées à l'École Normale d'Instituteurs de Versailles, il poursuit des études universitaires à Paris et obtient la Licence d'Enseignement en Sciences Naturelles en 1962. L'année suivante le voit Diplômé d'Études Supérieures en Biologie animale, à la suite d'un travail d'histologie et d'histochimie animales, à Paris également. Parallèlement, continuant à élargir ses connaissances, il suit huit stages de spécialisation et d'initiation à la recherche entre 1962 et 1969 dans divers laboratoires. Une formation aussi complète ne pouvait servir qu'un enseignement de haute qualité.

Il débute sa carrière d'enseignant en 1959 en tant qu'instituteur à Beauvais, mais en 1965, poussé par la forte empathie qui le caractérise, Claude, alors Professeur Certifié, part au Cambodge enseigner en coopération. Il donne des cours de Biologie, de Zoologie et de Pédagogie des Sciences Naturelles à la Faculté de Pédagogie et à la Faculté des Sciences de Phnom-Penh, ainsi qu'à l'École Normale Supérieure de Kompong Cham pour les ingénieurs agronomes. Il occupe également le rôle de Conseiller pédagogique et anime des

stages pédagogiques dans divers lycées de la capitale. Outre ces nombreuses activités pédagogiques, ses responsabilités administratives et collectives abondent.

- Responsabilité de laboratoires et de la bibliothèque de l'Université.
- Conseiller auprès de la mission culturelle de l'Ambassade de France au Cambodge pour la conception, la construction et les équipements des départements de Biologie de l'École Normale Supérieure, inaugurée en 1973.
- Électeur désigné par les enseignants Français du Cambodge pour l'élection des Représentants des Français de l'Étranger au CSFE.
- Représentant de la Collectivité « Enseignants Français » du Cambodge auprès du Consulat de France à Phnom Penh chargé de mettre en place et tenir à jour un « Plan EVA » en vue de l'évacuation de la communauté française du Cambodge en cas de péril. En même temps, il a préparé l'agrégation qu'il obtient en 1969.

L'activité intense de Claude à l'Université, lui laisse tout de même le temps de visiter le pays et notamment des grottes, pour lesquelles il ressent une forte attraction ; il entreprend l'exploration et l'étude écologique des grottes cambodgiennes en vue d'une recherche sur l'adaptation des espèces animales à la vie cavernicole en climat tropical, C. Delamare Deboutteville dirigeant ses recherches. Il découvre alors un Arachnide Amblypyge et des Crustacés Thermosbaenacés et Isopodes dans les eaux souterraines de la grotte située au nord de Campong Trach. Ses premiers travaux donnent lieu à des publications, tandis que les Coléoptères et les Diplopodes qu'il a récoltés sont décrits par des spécialistes en France. Ces découvertes marquent le début de sa passion pour la biodiversité des eaux souterraines, qui ne le quittera plus.

Mais la guerre au Cambodge arrête brutalement ses recherches. Il quitte le pays en 1974. Espérant pouvoir revenir et poursuivre ses recherches, il s'établit non loin, au Laos. Il enseigne à l'École Supérieure de Pédagogie de Vientiane. Dès l'année suivante, les déplacements vers les grottes qu'il a repérées deviennent impossibles. Claude décide de quitter l'Asie et opte pour le Maroc.

À Rabat, il est Chargé de cours en Biologie Animale et en Écologie à la Faculté des Sciences et à l'Institut Agronomique



Claude Boutin effectuant un prélèvement de faune phréatobie dans un puits situé dans une oasis au sud du Maroc

et Vétérinaire. Le travail administratif consiste à concevoir et faire terminer les salles de travaux pratiques de l'Annexe de la Faculté des Sciences qui est inaugurée en 1977. Les recherches se concentrent sur l'étude écologique des mares temporaires, en relation avec les travaux pratiques à l'Université, et se concrétisent par une publication. Les projets de recherche sur les eaux souterraines s'avérant impossibles, il demande sa mutation vers l'Université de Marrakech en 1978.

La réputation du talentueux enseignant fait que des étudiants de Rabat le suivent à l'Université de Marrakech où il enseigne la biologie cellulaire et l'écologie générale à la nouvelle Faculté des Sciences qui vient d'ouvrir ses portes. Ses capacités d'organisation, de gestion et son talent de négociateur alliées à son sens du service public et à un art des relations humaines qui ont déjà montré leur efficacité, sont mises immédiatement à contribution : la fonction de Responsable du Département des Sciences de la Vie lui est confiée : mise en place et organisation des services d'enseignement et de recherche, gestion administrative et financière du Département, recrutement de nombreux enseignants Français et Marocains, de secrétaires, de préparateurs, etc. Il conçoit et crée un enseignement de 3^e cycle d'Ecologie Générale, qui se spécialise rapidement en hydrobiologie. Il anime aussi chaque

année, un stage à Orléans organisé par le Ministère Français des Affaires Etrangères, pour les futurs coopérants.

Dès 1982, Claude peut à nouveau s'adonner à la Biospéologie, et ses premières prospections dans les nappes phréatiques à Marrakech même et dans la région proche sont prometteuses. Elles mettent en évidence une faune très riche en espèces, genres, familles qui s'avèreront nouveaux pour la Science, certains pour le nord de l'Afrique. Il lance donc les premières recherches suivies sur la biodiversité des eaux souterraines du Maroc. Il constitue une équipe ; elle comprend des étudiants de l'Université, ainsi que des étudiants provenant des universités du sud-ouest, du sud-est et de Fès, qui se joignent à la nouvelle équipe ; les cours de Claude en 3^e cycle ont fait éclore des vocations ! C'est avec son véhicule bleu qu'il a équipé en « camion-laboratoire », que les étudiants partent « sur le terrain » effectuer les prélèvements. Il s'assure de la collaboration de R. Ginet, spécialiste des Amphipodes souterrains à l'Université de Lyon, et de celle de L. Botosaneanu pour les Isopodes, à Amsterdam. Membre de la Société Internationale de Limnologie et de la Société de Biospéologie, il participe aux congrès, à l'écoute des nouveautés scientifiques susceptibles d'être utiles à ses étudiants. Les premiers travaux portent sur l'écologie,

notamment la qualité de l'eau souterraine, la répartition des espèces et leur sensibilité à la pollution de l'eau phréatique et aux facteurs abiotiques. Quelques espèces stygobies s'avèrent être indicatrices de la qualité de l'eau, ce qui permet un diagnostic sommaire mais rapide de la qualité de l'eau des puits, alors que des populations rurales n'ont que celle-ci à leur disposition.

Très dynamique, Claude a inséré son équipe dans des programmes internationaux : ils participent à des Actions concertées Franco-Marocaines successives concernant, entre autres, l'impact des eaux usées de la zone d'épandage de la ville de Marrakech sur les biocénoses et la qualité des eaux souterraines.

En 1984, alors que je souhaitais établir une collaboration avec des biologistes du Nord de l'Afrique, en vue de développer des recherches en paléobiogéographie, Claude se présente à mon bureau de l'Observatoire Océanologique de Banyuls-sur-Mer, après avoir parcouru le nord du Maroc et traversé l'Espagne au volant de son camion-laboratoire, en chemin vers Dijon où va se tenir un colloque de la Société de Biospéologie. Sur la recommandation de C. Delamare et de L. Botosaneanu, il vient déterminer les Micro-Crustacés stygobiontes recueillis au Maroc : des Microcerberidae, des Lepidocharontidae, des Bathynellacés, des Salentinellidae, des Bogidiellidae, des Thermosbaenacés défilent sous la loupe et au microscope... Une constellation d'espèces nouvelles ! Autant de groupes permettant d'entreprendre des études paléobiogéographiques passionnantes ! Le présent semble déjà se conjuguer avec le passé : l'intérêt pour la paléobiogéographie rebondit. Une collaboration débute, ainsi qu'avec ses étudiants, collaboration qui se cessera qu'à son décès.

Claude entre immédiatement à la Société Géologique de France. Il peut enfin décrire le Thermosbaenacé *Theosbaena*, nouveau genre du Cambodge, ainsi que celui du Maroc, *Monodella atlantomaroccana* en collaboration avec P. Cals, et mettre en évidence des corrélations biostratigraphiques transatlantiques à partir de ce groupe rare, représenté aussi au Texas en Amérique du Nord, et également du groupe des Mystacocarides des sables littoraux des deux rives de l'Océan Atlantique.

Tandis que les premiers résultats concernant l'impact de l'épandage des eaux usées de Marrakech sur l'eau souterraine environnante et sur les espèces phréatobies et leur répartition sont publiés, divers taxons, nouveaux pour le Maroc (*Pseudoniphargus*), ou même pour le continent africain comme le Bathynellacé *Iberobathynella*, et des Isopodes sont décrits.

Interrogeant l'actualité scientifique en permanence, les avancées font écho à sa grande curiosité intellectuelle et incitent pour lui un nouveau chemin à exploiter, et surtout à transmettre à ses étudiants, afin de mieux les accompagner. C'est ainsi qu'il suit une formation en phylogénie et qu'il s'initie aux analyses multivariées ; il suit aussi un stage d'anglais.

Nouveau rebondissement : en 1988, alors que les thèses de 3^e cycle des étudiants sont encore en cours, les coopérants doivent quitter le Maroc. Claude va désormais enseigner à l'Université de Toulouse où il rejoint l'équipe de P. Cassagnau

et L. Deharveng, continuant à s'engager sans relâche au service de l'enseignement et de la recherche. Car la transmission des connaissances acquises est sa raison d'être, au cœur de sa carrière. Il s'inscrit immédiatement à la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse.

Heureusement, des conventions d'échanges, puis des actions intégrées entre l'Université de Marrakech et les Universités de Toulouse et de Paris-Sorbonne Université – Laboratoire de Banyuls, permettent d'obtenir des stages en France pour les étudiants, et quelques voyages au Maroc pour les encadrants. Jonglant avec l'agenda des cours à l'Université de Toulouse, Claude reviendra chaque année à Marrakech pour assurer le suivi des thèses et des recherches, et mener des campagnes de prélèvements dans diverses régions du pays, afin de compléter des données manquantes pour les étudiants en thèse et de poursuivre les études paléobiogéographiques, jusqu'en 2016. Il donne aussi des conférences. Les étudiants viennent à l'Université de Toulouse, à Lyon également, ainsi qu'au Laboratoire Arago à Banyuls, haut lieu de rencontres avec des spécialistes de divers pays, qui ont été déterminantes pour certains d'entre eux.

Au laboratoire, à Marrakech, tel un chef d'orchestre, le maestro a proposé une palette de sujets de recherche qui se développent, se complètent, se succèdent, les projets s'enchaînent, comme dans une symphonie. Sa bonne humeur irrigue le groupe. Les étudiants partagent l'énergie communicative et stimulante de leur guide. Le transfert des connaissances s'opère dans une ambiance chaleureuse ; une alchimie entre nous tous est palpable ; des discussions enrichissantes ponctuent régulièrement les séances de travail à la paillasse. Claude s'attache aussi à développer chez ses étudiants le sens critique et la réflexion. « Sur le terrain », comme au « labo », c'est toujours un beau moment de partage et d'échange. Chaque campagne de prélèvements vers une nouvelle région dont il a étudié l'histoire géologique au préalable, est un nouveau défi et insuffle du suspense, mais apporte généralement des nouveautés : il faut cependant attendre le verdict du premier coup de filet, et de la loupe au laboratoire... Il ne ménage ni ses forces, ni son énergie, parfois même intrépide au-dessus d'un puits aux bords branlants ; en cours de route, dans le véhicule, c'est là aussi un lieu de convivialité, de chaleur humaine et de conversations enrichissantes et stimulantes. Chanceux les étudiants qui ont trouvé Claude sur leur chemin ! Il a été une source d'inspiration pour plusieurs d'entre eux, qui sont devenus à leur tour enseignants à l'Université.

Certains projets naissent de rencontres ou de débats : lors d'un congrès de la Société de Biospéologie qui s'est tenu à Vienne en 1989, les débats sont des plus vifs au sujet de l'origine marine ou dulçaquicole de certains groupes de la faune actuelle des eaux douces souterraines, ainsi qu'en ce qui concerne leur dispersion active ou passive. Immédiatement après ce symposium, Claude prend l'initiative d'expliquer et d'exposer lors d'une réunion du GRECO-Evolution regroupant des géologues et des biologistes, les deux voies, les deux changements de biotopes et les phénomènes évolutifs impliqués lors de la colonisation des nappes phréatiques par des espèces marines. Il décrit le « Modèle biphasé

de colonisation et d'évolution » pour les relictés marines interstitielles qui peuplent actuellement les eaux souterraines continentales. Deux modèles similaires ont été publiés très peu de temps après par J. Holsinger (USA) et J. Notenboom (Pays-Bas), qui étaient présents à Vienne également !

En 1993, il soutient une thèse d'Etat portant sur la paléobiogéographie de plusieurs groupes de Crustacés interstitiels du Maroc à l'Université Claude Bernard de Lyon I. Il reconstitue l'histoire du peuplement de plusieurs genres et familles. Après en avoir établi la phylogénie, il démontre notamment l'origine marine des formes ancestrales de divers Isopodes et Amphipodes, et date leur introduction dans les eaux souterraines continentales lors de régressions marines successives allant du Cénomano-Turonien jusqu'à l'Eocène. Il explique aussi leur diversification par vicariance et leur endémisme dans les diverses vallées de l'Atlas, liés à l'orogénèse atlasique. Dans une région située plus au nord du pays, il montre que les Amphipodes Pseudoniphargidae se sont installés dans le milieu interstitiel souterrain lors de la régression du sillon péri-rifain au Tortonien. Il a aussi démontré que certaines espèces de Crustacés interstitiels peuvent être considérées comme des marqueurs de paléorivages et que l'âge de l'émersion de l'île de Fuerteventura, aux Canaries, serait à reconsidérer car elle héberge une espèce d'Amphipode appartenant à un groupe phylogénétique bien connu du Maroc ayant colonisé les eaux douces souterraines à la fin du Crétacé, alors que les datations à partir des roches volcaniques de l'île feraient remonter son émergence seulement au Miocène. Un autre résultat important concerne l'évolution : le taux d'apomorphies présenté par des espèces d'un même genre, ou d'une même famille montre que chez les formes interstitielles « marines » littorales soumises à des conditions environnementales très fluctuantes, la vitesse de l'évolution a été plus rapide que chez les espèces souterraines continentales qui bénéficient d'un milieu plus stable.

D'autres temps forts marquent sa vie scientifique. Alors qu'il participe au jury d'une thèse à Tlemcen en Algérie, il pense immédiatement à tenter d'introduire l'étude de la biodiversité aquatique souterraine dans ce pays. Avec détermination, il revient à plusieurs reprises faire des conférences, participer à des congrès, afin de convaincre des enseignants et des étudiants. Il organise des séries de récoltes dans deux régions où se sont développées des recherches, notamment à l'Université de Khenchla.

Que ce soit lors de conférences ou dans les congrès, ses interventions sont toujours très attendues. Sa voix forte de baryton, son savoir, son goût du verbe et ses facilités d'élocution lui permettent de délivrer des messages forts à propos des eaux souterraines qui fascinent les auditeurs, soulèvent l'enthousiasme et emportent l'adhésion ; il réussit à faire naître des vocations.

Sa voix, il la mettait aussi au service de la chorale de Marrakech ainsi que dans une troupe théâtrale de la ville.

Pendant les années 2001 à 2005, il participe au programme européen PASCALIS (Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life in Subsurface) : ce programme avait pour objectif d'élaborer un plan d'action visant à intégrer la biodiversité souterraine dans les politiques nationales et

européennes de conservation de l'environnement, en tant qu'élément de valeur biologique exceptionnelle. Sept équipes y travaillaient : deux en France (Lyon, et Roussillon (= Toulouse-Banyuls)), une en Espagne, une en Italie, deux en Slovénie et une en Belgique. L'inventaire et l'origine de la biodiversité des eaux souterraines de chaque région cible ont été recherchés. Claude contribue tout d'abord à l'élaboration d'un document consacré aux méthodes de prélèvements et au choix des différents milieux souterrains où l'on devait prélever (grottes, sous-écoulements, puits...). Dans le Roussillon, la faune souterraine aquatique a été prélevée le long de 4 cours d'eau, de la source à l'embouchure. Puis il est, comme à son habitude, très actif lors des prélèvements et des tris, dans l'élaboration des comptes-rendus à la fin de chaque campagne de tris (nous avons des dates imposées à respecter). Il participe à la base de données exhaustive qui est mise en place, et aussi aux réunions en France et dans les autres pays, puis au colloque international final qui réunit des spécialistes provenant de 14 pays en Europe, Afrique du Nord, Australie, Amérique du sud et du nord. Les résultats sont publiés dans un volume spécial de *Freshwater Biology* en 2009 : patrons de diversité ; synthèse de l'ensemble des connaissances sur la distribution et l'écologie des espèces inféodées aux eaux souterraines européennes. Les données obtenues ont été confrontées à un ensemble de facteurs historiques et écologiques afin de mettre en lumière les grands déterminismes de la distribution à l'échelle régionale et locale. Claude est co-auteur de l'un des articles de ce volume.

Son goût de la transmission a aussi mené Claude au Cameroun, à l'Université de Yaoundé, où il a lancé les recherches sur la biodiversité aquatique souterraine qui se prolongent actuellement. Puis nouveau défi : c'est au Bénin, non sans audace, qu'il se jette dans une nouvelle aventure et que son art de la transmission généreuse s'exerce : il parvient là encore à communiquer sa passion ; l'étude des eaux souterraines se perpétue avec la coopération actuelle de son collègue et ami Patrick Martin qui poursuit des recherches avec les étudiants de Claude dont l'un est devenu enseignant à l'Université Abomey-Calavi de Cotonou.



Claude Boutin expliquant le maniement du filet phréatobiologique aux étudiants de l'Université Abomey-Calavi de Cotonou, au Bénin

Lors de ses derniers séjours à l'Université de Marrakech, il a eu le plaisir de continuer à coopérer, entre autres, avec ses anciens étudiants devenus professeurs à la Faculté des Sciences, à l'École Normale Supérieure, à l'Université d'Agadir et à celle d'Errachidia.

Ses nombreuses publications portant sur divers espèces et genres de Crustacés nouveaux pour la Science, sur la phylogénie, la répartition et la paléobiogéographie dans des périodiques français et internationaux, ainsi que sa participation à des ouvrages internationaux et à plusieurs encyclopédies, témoignent de son intense activité et de sa notoriété. Il a fait de son équipe de Marrakech l'un des fleurons de l'Université. Son mérite a d'ailleurs été reconnu puisqu'une décoration décernée par la Faculté des Sciences Semlalia lui a été remise par le Professeur M. Knidiri, Recteur de l'Université. Grâce à son initiative, le Maroc est devenu un écrin pour la biodiversité des eaux souterraines. Il a contribué, avec ses élèves, à accroître la richesse patrimoniale de la biodiversité au Maroc.

Plusieurs espèces de Crustacés Isopodes et Amphipodes lui ont été dédiées par des étudiants ou des enseignants-chercheurs en reconnaissance de son investissement dans les recherches en stygobiologie.

Son nom restera dans les mémoires pour son rôle de pionnier dans cette discipline en Afrique : on doit porter à son actif que, dans quatre pays du continent africain, des enseignants-chercheurs travaillent actuellement sur les eaux souterraines ; en véritable ambassadeur de la biodiversité des eaux souterraines, son rôle de passeur de connaissances a joué à fond. Ce sont là des initiatives inspirantes.

Nous garderons en mémoire le souvenir d'un homme engagé, chaleureux, généreux et bienveillant, entreprenant, et qui avait un regard lucide sur la société française. Saluons celui qui conjugait si bien savoir, humour, audace et aventure, et l'art de créer du lien. Heureux ceux qui ont croisé la route de celui qui ne laissait jamais indifférent. J'ai eu le privilège de travailler à ses côtés. Merci d'avoir été toi, Claude.

*Nicole Coineau, Directeur de
Recherches honoraire au CNRS*

Je remercie Odette Boutin, épouse de Claude Boutin, Nathalie leur fille, et Pierre Cisel qui m'ont transmis des documents et des photos.

Hommage de Luc Passera

Bien que zoologistes tous les deux, nos disciplines étaient trop éloignées pour qu'elles puissent se rencontrer : les fourmis ne fréquentent pas les eaux souterraines. Il reste l'Homme que j'ai côtoyé dans les commissions de spécialistes de Paul-Sabatier. Je connaissais son passé et en particulier son séjour cambodgien et son implication à prendre soin de ses compatriotes en pilotant le plan d'évacuation de la communauté française. Ce n'était pas rien dans un pays en proie à la guerre au cours des années soixante-dix. C'est ce souci d'autrui que j'ai retrouvé dans les commissions de spécialistes. S'il savait mettre en valeur les compétences des

candidats à une fonction universitaire, il ajoutait toujours à son intervention une touche d'humanité. C'est ce qui rendait Claude Boutin si attachant.

Liste non exhaustive des publications de Claude Boutin

- BOUTIN, C. 1963. – Pigmentation caroténoïde de l'épiderme du tarso-métatarse chez le Poulet. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 88 (4).
- BOUTIN, C. 1963. – Conférence : Démonstrations sur le même thème, présentée devant l'Assemblée de la Société Zoologique de France à Paris. Exposé de résultats.
- BOUTIN, C. 1969. – Etude histologique et histochimique de l'épiderme du tarso-métatarse du Poulet et de sa pigmentation. Particularités d'expression phénotypiques des caractères pigmentaires. *Annales de la Faculté des Sciences, Phnom-Penh*, 2 : 129-160.
- BOUTIN, C. 1969. – Premières observations sur un Arachnide *Amblypyge* cavernicole du Cambodge, *Myodalis* sp. *Annales de la Faculté des Sciences, Phnom-Penh*, 2 : 161-180.
- BOUTIN, C. 1970. – Les techniques de culture organotypiques de peau *in vitro*. *Annales de la Faculté des Sciences, Phnom-Penh*, 3 : 235-246.
- BOUTIN, C. 1971. – Observations biospéologiques en Asie du Sud-Est. *Annales de la Faculté des Sciences, Phnom-Penh*, 4 : 167-186.
- BOUTIN, C. 1978. – Guide pour l'étude écologique d'une mare temporaire de la Mamora, La Daya de Sidi Amira. *Attadriiss*, Rabat, 4 et 5 juillet et décembre 1978 : 213-242.
- BOUTIN, C. 1979 et 1980. – La reproduction asexuée et la reproduction sexuée chez les êtres vivants. La grande encyclopédie de la sexualité (8 volumes). Edilec Editeur, Paris, tome 3 : 638-671.
- BOUTIN, C. 1980. – Des petits pois de Mendel aux manipulations génétiques. La grande encyclopédie de la sexualité. Edilec Editeur, Paris, tome 3 : 672-678.
- BOUTIN, C., O. BOUTIN, C. & J.Y. LEGALLO. 1980. – La sexualité animale. La grande encyclopédie de la sexualité. Edilec Editeur, Paris, tome 3 : 725-757.
- BOUTIN, C. 1982. – Données nouvelles sur la répartition et l'écologie des Notostracés du Maroc (Crustacés Branchiopodes). *Bulletin de la Faculté des Sciences, Marrakech*, 1 (1) : 1-7.
- BOUTIN, C., L. LESNE & A. THIERRY. 1982. – Ecologie et typologie de quelques mares temporaires à Isoètes d'une région aride du Maroc Occidental. *Ecologia Mediterranea*, 8 (3) : 31-56.
- BOUTIN, C. & M. BOULAMOUAR. 1983. – Méthodes de capture de la faune stygobie : expérimentation de différents types de pièges appâtés dans les puits de Marrakech. *Bulletin de la Faculté des Sciences, Marrakech*, 2 : 5-21.
- BOUTIN, C. & M. BOULAMOUAR. 1984. – Premières données sur la faune des puits des environs de Marrakech (Maroc Occidental). Actes XXIIe Congrès S.I.L., Lyon, 21-28 août 1983. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22 : 1762-1765.
- BOUTIN, C. & N. DIAS. 1984. – Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique. *Bulletin de la Faculté des Sciences, Marrakech*, 3.
- BOUTIN, C. 1984. – Sensibilité à la pollution et répartition de quelques espèces phréatobies à Marrakech (Maroc). 3^e colloque international de Biospéologie, Dijon, 2-5 juillet 1984. *Mémoire de*

Biospéologie.

- BOUTIN, C. & G. MAGNIEZ. 1985. – *Stenasellus cambodianus* n. sp. Crustacé Isopode Asellote stygobie du Cambodge : description et observations écologiques. *Bulletin Scientifique de Bourgogne*, 38 : 33-46. <https://www.marinespecies.org/isopoda/aphia.php?p=sourcedetails&id=45360>.
- BOUTIN, C. & P. CALS. 1985. – Importance en biogéographie évolutive de la découverte d'un Crustacé phréatobie, *Monodella atlantomaroccana* n. sp. (Thermosbaenacea) dans la plaine alluviale de Marrakech (Maroc atlantique). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 300, 3,7 : 267-270.
- BOUTIN, C. & M. MESSOULI. 1985. – *Pachypodacrangonyx maroccanus* n. gen. n. sp., nouveau représentant du groupe *Metacrangonyx* (Crustacea Amphipoda) dans les eaux souterraines du Maroc. Communication orale. 6^e Colloque International sur les Amphipodes, Ambleteuse, 28 juin-3 juillet 1985.
- BOTOSANEANU, L., C. BOUTIN & J.P. HENRY. 1985. – Deux remarquables Cirolanides stygobies nouveaux du Maroc et de Rhodes. Problématique des genres *Typhlocirolana* Racovitza, 1905 et *Turcolana* Argano & Pesce, 1980 (Isopoda). *Stylogologia*, 1 : 186-207.
- BOUTIN, C. & P. CALS. 1986. – Stygobiologie et corrélations biostratigraphiques transatlantiques : l'apport de la connaissance des Mystacocarides et des Thermosbaenacés actuels (Crustacés des eaux souterraines interstitielles). P.I.C.G. n° 183, Faculté des Sciences, Marrakech, Sciences de la Terre, N° SP 3 : 111-126.
- BOUTIN, C. & N. DIAS. 1987. – Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique. *Bulletin de la Faculté des Sciences, Marrakech (Sect. Sciences de la Vie)*, 3 : 5-27.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 1987. – *Iberobathynella* sur le continent Africain. Implications paléogéographiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 304, sér. 111 : 355-358.
- BOUTIN, C. 1987. – L'eau des nappes phréatiques, richesse vitale mais vulnérable. L'exemple des zones rurales du Maroc. *Sciences de l'eau*, 6 (3) : 357-365.
- BOUTIN, C. & M. MESSOULI. 1988. – *Longipodacrangonyx maroccanus* n.g. n. sp., nouveau représentant du groupe *Metacrangonyx* (Crustacea Amphipoda) dans les eaux souterraines du Maroc. *Crustaceana*, Supplément 13 : 256-271.
- BOUTIN, C. & M. MESSOULI. 1988. – *Metacrangonyx gineti* n. sp. d'une source du Haut-Atlas marocain et la famille des Metacrangonyctidés n. famille (Crustacés Amphipodes stygobies). *Vie et Milieu – Life & Environment*, 38 : 67-84.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 1988. – *Pseudoniphargus maroccanus* n. sp. (subterranean Amphipoda), the first representative of the genus in Morocco. Phylogenetic relationships and Paleobiogeography. *Crustaceana*, suppl. 13: 1-19.
- BOUTIN, C. & B. IDBENNACER. 1989. – Faune stygobie du sud de l'Anti-Atlas marocain : premiers résultats. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2 : 891-904.
- BOULANOUAR, M., C. BOUTIN & N. COINEAU. 1989. – Première Aselle anophtalme du Maroc : *Proasellus gineti* n. sp. (Crustacea, Isopoda, Asellota). *Stylogologia*, 6 (2) : 119-125.
- COINEAU, N. & C. BOUTIN. 1989. – Progenesis as a process of evolution in some interstitial Crustacea. Comm. VIIth Internal Meiofauna Conference, Vienna (Austria), 20-26 August 1989, International Conference of Biospeleology. Travaux. C.R.M. J. Cuvillier 11: 7.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 1990. – «Regression Model», «Modèle biphasé» d'évolution et origine des micro-organismes stygobies interstitiels continentaux. *Revue de Micropaléontologie*, 33 (3/4) : 303-322.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 1991. – Instabilité environnementale et vitesse de l'évolution. Exemple des Microcrustacés thalassoïdes dans les pays méditerranéens. *Bulletin de l'Institut Géologique du bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, 50 : 63-69.
- MESSOULI, M., C. BOUTIN & N. COINEAU. 1991. – Phylogénie et biogéographie évolutive d'un groupe de Metacrangonyctidae, Crustacés Amphipodes stygobies du Maroc. I - Les espèces du groupe *panousei*. *Mémoires de Biospéologie*, 18 : 247-262.
- BOUTIN, C. 1992. – Biogeography of the metacrangonyctid amphipods in North-Africa. Summer Meeting of the Crustacean Society, and Symposium on Biogeography of subterranean crustaceans: the effects of different scales. Charleston, South Carolina, USA, June 11-14, 1992. Abstracts : 11.
- BOUTIN, C., M. MESSOULI & N. COINEAU. 1992. – Phylogénie et biogéographie évolutive d'un groupe de Metacrangonyctidae, Crustacés Amphipodes stygobies du Maroc. II. Cladistique et paléobiogéographie. Avec l'examen comparatif de plusieurs logiciels de parcimonie. *Stylogologia*, 7 : 159-178.
- BOULANOUAR, M., C. BOUTIN & N. COINEAU. 1993. – Un Cirolanide stygobie remarquable du Maroc. *Marocolana delamarei* (Crustacé Isopode) : description, écologie et biogéographie. *Mémoires de Biospéologie*, 22 : 39-48.
- BOULAL, M. & C. BOUTIN. 1993. – Biogéographie historique des Crustacés Isopodes Cirolanides stygobies du groupe *Typhlocirolana* dans le bassin méditerranéen. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Sciences de la Vie*, 316 (12) : 1505-1510.
- BOUTIN, C. 1993. – Biogéographie historique des Crustacés Malacostracés stygobies du Maroc. Thèse de Doctorat, Université Lyon I: 1-262.
- BOUTIN, C. 1993. – Stygobiology and historical Geology. The age of the Fuerteventura Island (Canary) inferred from its present stygofauna. *Bulletin de la Société géologique de France*, N6: 220-245.
- BOUTIN, C. 1994. – Phylogeny and biogeography of the metacrangonyctid amphipods in North Africa. *Hydrobiologia*.
- BOUTIN, C., N. COINEAU, M. MESSOULI & M. YACOUBI-KHEBIZA. 1994. – Groundwater Crustaceans as Useful Geological Tools. *Hydrobiologia*, Corpus ID: 208005648.
- BOUTIN, C., M. BOULANOUAR & M. YACOUBI-KHEBIZA. 1995. – Un test biologique simple pour apprécier la toxicité de l'eau et des sédiments d'un puits. Toxicité comparée in vitro, de quelques métaux lourds et de l'ammonium vis-à-vis de trois genres de Crustacés de la zoocénose des puits. *Hydroécologie Appliquée*, 7 (1-2): 91-109.
- COINEAU, N. & C. BOUTIN, C. 1996. – Age and origin of the stygobiotic amphipod *Pseudoniphargus* (Crustacea) in Morocco, with the description of three new species. *Boll. Mus. Civ. Stor. Nat. Verona*, 20: 503-520.
- BOVEE DE F., M. YACOUBI-KHEBIZA, N. COINEAU & C. BOUTIN. 1996. – Influence du substrat sur la répartition des Crustacés stygobies interstitiels du Haut-Atlas occidental. *International Review Gesammt. of Hydrobiology*, 80 (3): 453-468.
- BOULAL, M., A. TOUYER & C. BOUTIN. 1997. – Qualité de l'eau et faune aquatique des puits près d'Agadir, dans le secteur aval de la plaine du Souss. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 133 : 59-70.

- BOULANOUAR, M., M. YACOUBI-KHEBIZA, C. BOUTIN, & N. COINEAU. 1997. – Un nouvel Isopode Microparasellidae (Crustacea, Janiroidea) des eaux souterraines de la région péri-rifaine (Maroc). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 133 (1): 21-27.
- BOUTIN, C. 1997. – Stygobiology and historical geology: emersion of lands in Eastern Mediterranean Basin dated with present Metacrangonyctid Amphipods (subterranean micro-crustaceans). *Géobios*, M.S. 21: 67-74.
- OULBAZ, Z., M. MESSOULI, A. FAKHER EL ABIARI, M. YACOUBI-KHEBIZA, M. BOULANOUAR. & C. BOUTIN. 1997. – Variations biométriques de l'espèce stygobie *Metacrangonyx paurosexualis* (Amphipode Metacrangonyctidae). *Mémoires de Biospéologie*, 24: 139-150.
- FAKHER EL ABIARI, A., Z. OULBAZ, N. COINEAU, C. BOUTIN & M. YACOUBI-KHEBIZA. 1998. – Etude expérimentale de la sensibilité comparée de trois Crustacés stygobies vis à vis de diverses substances toxiques pouvant se rencontrer dans les eaux souterraines. *Mémoires de Biospéologie*, 25 : 167-181.
- BOUTIN, C., N. COINEAU, M. BOULANOUAR & M. MESSOULI. 1998. – Biodiversity, evolution and historical biogeography of subterranean cirrolanids of the *Typhlocirolana* group (Crustacea: Isopoda) in the Mediterranean Basin. Communication orale, Second International Isopod Conference, Amsterdam, 16-18 juillet 1998. Abstracts : 2-3.
- OULBAZ, Z., M. MESSOULI, N. COINEAU & C. BOUTIN. 1999. – *Metacrangonyx knidirii* n. sp. et *Metacrangonyx remyi* Balazuc & Ruffo, 1953 (Crustacés Amphipodes Metacrangonyctidae) des eaux souterraines du Maroc. *Mémoires de Biospéologie*, 25 : 35-43.
- COINEAU, N., E.F. ALBUQUERQUE, M. BOULANOUAR & C. BOUTIN. 1999. – Biodiversité des Microcerberidés (Crustacés Isopodes) du Maroc. Aspects biogéographiques. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 135: 47-57.
- COINEAU, N. & C. BOUTIN, C. 1992. – Biological processes in space and time. Colonization, evolution and speciation in interstitial stygobionts. In: The Natural History of Biospeleology, A.I. Camacho (ed.), Monografias 7, Museo Nacionales de Ciencias Naturales and C.S.I.C., Madrid: 423-456.
- MESSOULI, M., C. BOUTIN & N. COINEAU. 1999. – Premières données sur la faune de deux rivières souterraines du Maroc : Wintmadoune (Haut-Atlas occidental) et Chaara (Moyen-Atlas). Communication Orale, 2^e Colloque International sur l'Eau et l'Environnement, Gestion des ressources en eau, valorisation des eaux usées et Environnement, Agadir, 25-27 Février 1999. Abstracts: 90.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 2000. – Evolutionary rates and phylogenetic age in some stygobiontic species. In: Wilkens H, D.C. Culver, & W.F. Humphreys eds, Ecosystems of the world, 30, subterranean ecosystems, Amsterdam, New York, Elsevier: 433-451.
- BOUTIN, C. 2001. – Cambodge. In: C. Juberthie, V. Decu (Eds) *Encyclopedia Biospeologica* (Vol. 3) Société Internationale de Spéléologie, Moulis, 1755-1762.
- BOUTIN, C., V. DECU, C. JUBERTHIE, M. MESSOULI & J.P. BESSON. 2001. – Maroc. *Encyclopaedia Biospeologica*, 3: 1611-1634.
- BOUTIN, C., M. BOULAL, M. BOULANOUAR, N. COINEAU, M. YACOUBI-KHEBIZA & M. MESSOULI. 2001. – Diversity, origin, evolution and biogeography of the *Typhlocirolana* group (subterranean crustaceans, Isopoda, Cirolanidae), in the Mediterranean Basin. XVth International Symposium of Biospeology, Sao Paulo (Brazil), July 2001.
- MESSOULI, M. & C. BOUTIN, C. 2001. – Past, present and future of speleological investigations in Morocco. 13th International Congress of Speleology, 4th Speleological Congress of Latin America and Caribbean, 26th Brazilian Congress of Speleology, Brasilia DF, 15-22 de julho de 2001.
- COINEAU, N., C. BOUTIN, & A. FAKHER EL ABIARI. 2001. – Origin, age and evolutionary rate of the microparasellid isopod *Microcharon* (Crustacea) from ground water of the South-Rifian region (Morocco). In Isopod Systematics and Evolution. B Kensley and R. C. Brusca Eds, A.A. Balkema, *Crustacean issues*, 13: 301-311.
- BOUTIN, C., M. BOULANOUAR, N. COINEAU & M. MESSOULI. 2002. – Biodiversity in the stygobiontic cirrolanids (Crustacea, Isopoda) from the Mediterranean Basin. I - A new species of *Typhlocirolana* in Morocco, taxonomic, ecological and biogeographic data. *Journal of Natural History, London*, 36: 787-817.
- ARTHEAU, M., N. COINEAU, C. BOUTIN & N. GIANI. 2002. – First approach of the groundwater biodiversity of the Roussillon within the PASCALIS European Project. 16th International Symposium Biospeleology, Verone, Sept. 2002. Abstracts: 52-53.
- MESSOULI, M., N. COINEAU, & C. BOUTIN. 2002. – Revision, phylogeny and biogeography of the groundwater amphipods Salentinellidae. I. Description of *Salentinella anae* nov. sp. from Spain with remarks on the genera *Salentinella* and *Parasalentinella*. *Zoological Science*, 19 (10): 1147-1154.
- MESSOULI, M., M. BOULAL, M. BOULANOUAR, M. YACOUBI-KHEBIZA, N. COINEAU & C. BOUTIN. 2002. – New insights into the historical biogeography of the stygobiontic amphipods Metacrangonyctidae (Crustacea Peracarida). 16th International Symposium of Biospeleology, Verona, Sept. 2002. Abstracts: 52-53.
- BOUTIN, C., A. BRANCELJI, A.I. CAMACHO, F. FIERS, D. GALASSI, J. GIBERT, T. LEFEBURE, O. MARTIN, B. SKET & A.G. VALDECASAS. 2002. – Sampling Manual for the Assessment of Regional Groundwater Biodiversity. F. Malard (ed.), Associate editors: Dole-Olivier, M.J., J. Mathieu & F. Stoch. PASCALIS. 110 pp.
- MESSOULI, M., C. BOUTIN, M. YACOUBI-KHEBIZA & N. COINEAU. 2003. – *Pseudoniphargus* (subterranean crustacean amphipod) from Morocco: systematics, phylogeny, ecological and biogeographical aspects. Proceedings 13th International Congress of Speleology, S 3: International Symposium of Biospeleology: 42- 45.
- ARTHEAU, M., A. BEDOS, C. BOUTIN, N. COINEAU, L. DEHARVENG & N. GIANI. 2003. – WP5 package in the Roussillon. WP5 Meeting - PASCALIS, Lyon, 5-7 Juillet 2003.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 2004. – Evolutionary rates. In Encyclopaedia of caves and karst Sciences. J. Gunn ed., Fitzgeroy Dearborn publ., New York, London: 361-366.
- BOUTIN, C. – 2004. Organisms: classification. In Encyclopaedia of caves and karst Sciences. J. Gunn ed., Fitzgeroy Dearborn publ., New York, London: 548-550.
- MESSOULI, M., C. BOUTIN, M. YACOUBI-KHEBIZA & N. COINEAU. – 2004. *Pseudoniphargus* (subterranean crustacean amphipod) from Morocco: systematics, phylogeny, ecological and biogeographical aspects. Proceed. 13th Internatynal Congress of Speleology, S 3: and International Symposium of Biospeleology: 48-51.
- BOUTIN, C., N. COINEAU & M. MESSOULI. 2004. – Subterranean crustaceans as useful geological tools. Proceedings of the 13th International Congress of Speleology. & 26th Brazilian Congress of Speleology, volume 2: 24-29.
- COINEAU, N. & C. BOUTIN. – 2004. Crustacea: Isopoda (Aquatic). In Encyclopaedia of Caves and Karst Science, J. Gunn Ed, Fitzroy

- Dearborn, imprint Taylor & Francis.
- COINEAU, N., M. ARTHEAU, A. BEDOS, M. BOULANOUAR, C. BOUTIN, F. BREHIER, L. DEHARVENG & N. GIANI. 2004. – Diversity and origin of the interstitial isopod *Microcharon* (Crustacea, Microparasellidae) from the Roussillon and western Languedoc regions (France). Symposium on World Subterranean Biodiversity CNRS-UCBL, Villeurbanne-France, 8-10 décembre 2004. Communications orale et affichée.
- COINEAU, N., M. ARTHEAU, A. BEDOS, M. BOULANOUAR, C. BOUTIN, F. BREHIER, L. DEHARVENG & N. GIANI. 2005. – Diversity and origin of the interstitial isopod *Microcharon* (Crustacea, Microparasellidae) from the Roussillon and western Languedoc regions (France). Proceedings of the Symposium on World Subterranean Biodiversity (Ed J. Gibert), Univ. Claude Bernard Lyon 1-CNRS, Villeurbanne: 167.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 2005. – Marine regressions. In Encyclopaedia of caves. D.C. Culver & W.B. White eds, Elsevier Academic Press Publ., New York: 361-366.
- AIT BOUGHROUS, A., M. YACOUBI-KHEBIZA, M. BOULANOUAR & C. BOUTIN. 2006. – Groundwater quality in two arid areas of Morocco: impact of pollution on the biodiversity. *Environmental Technology*, 28: 1299-1315.
- MESSOULI, M., A. EL ALAMI EL FILALI, N. COINEAU & C. BOUTIN. 2008. – *Metacrangonyx antennatus*, a new species of the family Metacrangonyctidae (Crustacea, Amphipoda) from ground waters in south-western Morocco. *Subterranean Biology*, 6: 43-50.
- NOLA, M., I. NIJNE, P. SERVAIS, M. MESSOULI, C. BOUTIN, S. MENBOHAN, N. KEMKA & S. ZEBAZE TOGOUET. 2008. – Evaluation of the adsorption of two fecal bacteria by the sandy clay horizon and the quartzo-feldspathic horizon of a ferralitic soil in Cameroon (Central Africa). *Journal of Environmental Engineering Science*, 2: 383-393.
- MALARD, F., C. BOUTIN, A.I. CAMACHO, D. FERREIRA, G. MICHEL, B. SKET, & F. STOCH. 2009. – Diversity patterns of stygobiotic crustaceans across multiple spatial scales in Europe. In: Assessing and conserving groundwater biodiversity. J. Gibert & D.C. Culver Ed. *Freshwater Biology*, special issue: 54 (4): 756-776.
- BOUTIN, C., M. BOULAL, M. BOULANOUAR, N. COINEAU, D. MERZOUG, M. MESSOULI & M. YACOUBI-KHEBIZA. 2009. – L'importance, dans les zones arides et semi-arides, de la biodiversité des faunes aquatiques souterraines. Communication Orale, Congrès international, Ouargla, Algérie, novembre 2009.
- BOULAL, M., M. BOULANOUAR, C. BOUTIN & M. YACOUBI-KHEBIZA. 2009. – Biodiversity in the stygobiotic cirrolanids (Crustacea, Isopoda) from the Mediterranean Basin: II. Systematics, ecology and historical biogeography of *Typhlocirolana tiznitensis* n. sp., the first representative of the genus, south of the Moroccan High Atlas. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 145 : 11-28.
- ZEBAZE TOGOUET, S., C. BOUTIN, T. NIJNE, N. KEMBA, M. NOLA & S. FOTO MENBOHAN. 2009. – First data on the groundwater quality and aquatic fauna of some wells and springs from Yaoundé (Cameroon). *European Journal of water Quality*, 40: 51-74.
- ZEBAZE TOGOUET, S., R. TUEKAM KAYO, C. BOUTIN, M. NOLA & S. FOTO MENBOHAN. 2011. – Impact de la pression anthropique sur l'eau et la faune aquatique des puits et des sources de la région de Yaoundé (Cameroun, Afrique Centrale). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 147 : 27-41.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. 2011. – Marine regressions. In Encyclopedia of caves. D. Culver and G. White Ed, Chennai Academic Press, and Elsevier Sci., second edition: 482-486.
- BOUTIN, C., M. BOULAL, M. BOULANOUAR, N. COINEAU, A. GHALALA, D. MERZOUG, M. MESSOULI & M. YACOUBI-KHEBIZA. 2011. – Importance dans les zones arides et semi-arides, de la biodiversité des faunes aquatiques souterraines. In : Séminaire international sur la biodiversité faunistique en zones arides et semi-arides, 22-24 novembre 2009. Actes du Séminaire international sur la biodiversité faunistique en zones arides et semi-arides, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie : 132-149.
- TUEKAM KAYO, R., P. MARMONIER, C. BOUTIN, M. NOLA & S. ZEBAZE TOGOUET. 2012. – Les Crustacés aquatiques souterrains d'Afrique et de Madagascar : bilan et enjeux. *Spelunca*, "hal-02336585"
- COINEAU, N., C. BOUTIN & M. ARTHEAU. 2012. – Origin of the interstitial isopod *Microcharon* (Crustacea Microparasellidae) from the western Languedoc and the northern Pyrenees (France) with the description of two new species. *Subterranean Biology*, 10: 1-16.
- ZEBAZE TOGOUET, S., M. BOULANOUAR, T. NIJNE & C. BOUTIN. 2013. – First discovery of a Stenasellidae (Crustacea, Isopoda, Aselloidea) in the ground waters of Cameroon (Central Africa): description, origin and palaeogeographic implications of *Metastenasellus camerounensis* n. sp. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse* 149: 153-166.
- KHAILDOUN, I. D. MERZOUG & C. BOUTIN. 2013. – Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et des sources de la région de Khenchla (Aurès, Algérie nord-orientale). *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 138 (1-4) : 273-292.
- LAGNIKA, M., M. IBIKOUNLE, F. MAZOU, N.G. SAKITI & C. BOUTIN. 2014. – Diversité faunistique et qualité physico-chimique de l'eau des puits à Parakou (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 150 : 59-72.
- BOUTIN, C., M. BOULANOUAR, D. MERZOUG & N. COINEAU. 2015. – *Microcharon tellensis*, a new Microparasellidae (Crustacea, Isopoda, Janiroidea) from the ground waters of Algeria. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 151 : 35-45.
- PISCART, C., R. TUEKAM KAYO, M. LAGNIKA, G. NANA NKENGNI, S.H. ZEBAZE TOGOUET & C. BOUTIN. 2015 – First evidence of the presence of freshwater amphipod genera *Gammarus* and *Pseudoniphargus* in Central and Western Africa. Poster, 16th International Symposium on Amphipoda (16th I.C.A.), University Aveiro (Portugal), 7-11 Sept. 2015.
- COINEAU, N. & C. BOUTIN. 2015. – *Botolana*, a new genus of groundwater cirrolanid isopod (Crustacea) from Morocco. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 151: 29-34.
- LAGNIKA, M., M. IBIKOUNLE, C. BOUTIN & N. SAKITI. 2016. – Groundwater biodiversity and water quality of wells in the southern region of Benin. *C. R. Chimie*, 19: 798-806.
- LAGNIKA, M., M. MESSOULI, M. IBIKOUNLE, N. SAKITI, C. BOUTIN & N. COINEAU. 2016. – First record of groundwater amphipods (Crustacea) from Benin; range extension of the genus *Pseudoniphargus* to South of the Sahara, in western Africa. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 152: 21-30.
- BOULAL, M., M. BOULANOUAR, M. GHAMIZI & C. BOUTIN. 2017. – Qualité de l'eau et faune aquatique des puits dans la région de Tiznit (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 153 : 25-41.
- MESSOULI, M., N. COINEAU & C. BOUTIN. 2018. – Revision, Phylogeny and Biogeography of the groundwater amphipods Salentinellidae (Crustacea), with description of two genera and two species. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 154 : 71-103
- YACOUBI-KHEBIZA, M., M. BOULANOUAR, C. BOUTIN & N. COINEAU.

2021. – Biodiversity of the stygobiontic cirolanids (Crustacea, Isopoda) from the Mediterranean Basin: III. Systematics, origin and ecology of *Typhlocirolana zatensis* n. sp. from the Moroccan High Atlas. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 157 : 93-105.

NANA NKEMEGNI, G., S.H. ZEBAZE TOGOUET, M. BOULANOUAR, C. BOUTIN & N. COINEAU. 2023. – The first groundwater cirolanid from central Africa, *Camerounolana bamounensis* gen. nov. sp. nov. of Cameroon: description and origin. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 158 : 83-93.

James Gagneur 1948-2024



Hommage de Anne-Marie Planty-Tabacchi

Meusien et fier de l'être, James Gagneur est né le 27 février 1948 au sein d'une famille d'ouvriers de quatre enfants. Il passe son enfance à Grimaucourt-près-Sampigny et effectue sa formation dans le secondaire au Collège et au Lycée de Commercy. C'est un très bon élève, studieux et sérieux, cachant une grande sensibilité derrière une façade un peu provocatrice. Ainsi, en classe de première, il est monté sur l'estrade le jour de la remise des prix en arborant une voyante chemise à fleurs. Il a été le premier de sa famille à obtenir son baccalauréat (en 1966).

Par la suite, il intègre la faculté des sciences de Nancy-Vandœuvre (Nancy 1) pour suivre le cursus de Licence, diplôme qu'il obtient en 1970. Durant ce cursus, il sera le seul de la promotion de 1968 à vouloir présenter les examens de fin d'année. Puis, il rejoint l'université de Grenoble 1 où il passera sa Maîtrise en 1971.

De 1966 à 1971, en parallèle à ses études universitaires, il passera tous ses étés en Allemagne pour travailler en tant que laborantin chez Henkel & Dalli Werke (Frankfurt, Hannovre, Düsseldorf). C'est là qu'il rencontrera son épouse Ursula qu'il épousera le 30 décembre 1970.

Il part alors deux ans au Congo pour effectuer son service militaire en tant que Professeur de Biologie dans un Collège-

Lycée de Pointe Noire.

Il intègre ensuite l'Université Paul-Sabatier de Toulouse pour continuer son cursus universitaire tout en menant de front une activité professionnelle. En effet, en parallèle, de 1974 à 1977, il travaille à l'Université de Berne en Jura Suisse en tant qu'Assistant-Professeur contractuel en écologie.

Il commence une carrière de chercheur dans le laboratoire d'Hydrobiologie sous la direction du Professeur Eugène Angelier. Sa thèse intitulée « *Etude des Diptères du Lot et étude de la retenue de Cajarc* », sera soutenue à Toulouse en 1976.

De 1977 à 1988 il sera coopérant en Algérie. Il est détaché à l'Université de Tlemcen occupant les fonctions d'adjoint d'enseignement titulaire en zoologie, entomologie et écologie. Après un premier fils Cyrill né en 1977, son deuxième fils Alexis né à Tlemcen en 1979.

Son passage en Algérie est marqué par son travail sur les Diptères et les cours d'eau d'Afrique du Nord (Tfanwadi) et il mettra en évidence, avec ses collaborateurs, le rôle crucial de la zone hyporhéique pour ces écosystèmes. Il a beaucoup aimé ce pays malgré un sérieux accident de voiture. Ses enfants qui l'accompagnaient lors de ses récoltes dans les oueds en ont gardé un très bon souvenir. La famille Gagneur ne quittera l'Algérie qu'en 1988 en raison de l'instabilité politique,

militaire et religieuse qui y régnait. En 2006, il réalisera une synthèse couvrant 20 ans de recherches sur l'écosystème temporairement aquatique de la Tafna.

De retour dans l'hexagone en 1988, il est nommé adjoint d'enseignement titulaire à l'Université de Rouen. C'est à Toulouse qu'il rejoint en 1989 qu'il devient maître de conférences. Il intègre alors le Laboratoire d'Hydrobiologie, puis par la suite les divers laboratoires issus de la recombinaison de l'Ecologie aquatique et terrestre de l'Université. Son dernier laboratoire avant son départ à la retraite en 2007 sera l'Ecolab, créé en 2007 et résultant notamment de la fusion du Ladybio et du Leh.

À Toulouse, il a enseigné l'écologie (dont l'hydrobiologie), la zoologie et la biogéographie. Il enseignera également sur le site universitaire Champolion à Albi jusqu'en 2004 et sur le campus de Rodez (DEUG Staps). Les étudiants étaient concernés depuis la 1^{ère} année de licence jusqu'au niveau M2 (ancien DEA). Il assurait la responsabilité pédagogique de plusieurs de ces enseignements.

Dans ce cadre, avec divers collègues, il organisera des sorties sur le terrain (bagueage d'oiseaux avec Narcisse Giani) et des stages notamment un stage chaque année dans les Pyrénées (avec Alain Thomas et, par la suite, Loïc Ten-Hage à Moulis), stage que suivront de nombreux étudiants devenus depuis, par ce biais, des spécialistes en hydrobiologie et invertébrés aquatiques.

Il encadra aussi divers stages de DEA (actuel M2) entre 1990 et 1993 puis sera le directeur de thèses (françaises ou algériennes) de plusieurs étudiants : N. Mary (1999), N. Belaidi (2003), A. Taleb (2003) et Y. Younes (2004).

Cette dernière témoigne de son investissement : *« J'ai rencontré M. Gagneur en 1998 lors d'un stage à Moulis avec mes collègues de master. Nous faisons pour la première fois de la détermination de macro-invertébrés et je me souviens en avoir rêvé au point de voir des macro-invertébrés dans mon assiette. L'ambiance était bonne enfant et nous déterminions les espèces parfois tard le soir. C'est à ce moment-là que ma passion pour la macrofaune est apparue. Connaissant mes origines, Monsieur Gagneur m'avait demandé de faire une spécialité culinaire algéroise pour lui et mes collègues : des bricks. Une belle soirée pleine de bonne humeur où nous avons échangé brièvement sur l'Algérie. Monsieur Gagneur était aussi secret, laissant paraître quelques détails de son passé mais juste ce qu'il faut. Nous avons en commun la passion de l'Afrique du Nord, les macro-invertébrés et mon lieu de naissance en lien avec son épouse. En 1999, il a accepté d'être mon tuteur pour mon DEA puis mon directeur de thèse : je l'ai toujours considéré ainsi. Je me souviens des sorties terrains en Andorre ! Nous faisons des pique-niques hiver comme été. J'avoue que c'était plus agréable l'été. Monsieur Thomas et mon mari Laurent doivent se rappeler de cette campagne de janvier où le surber avait gelé dès sa sortie de l'eau et de notre pique-nique au bord de la route. J'en souris encore en y pensant. L'été pour éviter l'attaque des taons, nous faisons notre randonnée dès le lever du jour vers 5h et Monsieur Gagneur était un bon randonneur contrairement à moi. Faire une randonnée avec matériel et cuissardes à porter !!! Monsieur Gagneur m'a transmis l'amour du métier*

d'hydrobiologiste, la rigueur au travail et le dépassement de soi. Au début de ma thèse, il m'avait prévenu qu'avoir un poste à l'Université serait compliqué que je n'étais pas dans le bon wagon. Je pense qu'il se trompait. Certes je n'ai pas eu de poste à l'Université mais j'ai pu continuer dans l'hydrobiologie avec la même passion et la même rigueur.

Merci Monsieur Gagneur pour tout ce que vous m'avez apporté. Je travaille maintenant non loin de « vos terres alsaciennes » et chaque fois que je vois ou que j'allume ma « weihnachtspyramide » (pyramide de bougies) je repense à notre dernière rencontre chez vous en famille avec ma fille et mon mari. Je continue à veiller sur les belles rivières du Grand-Est ».

James Gagneur s'est aussi investi dans la vie des institutions. Il a représenté le SNESUP aux conseils de l'UFR « Sciences de la Vie et de la Terre » notamment au Conseil d'Administration à partir de 1995 et du bureau en 1999. Il sera membre de diverses commissions (locaux, budget, conseil pédagogique...) de cet UFR mais aussi de l'UPS (commission des bâtiments, avancement de carrière, etc.). Il sera membre élu du CA de l'Université de 1998 à 2002 et du conseil Inter-UFR du DEUG de 1997 à 1999. On le trouve aussi à partir de 1991, membre élu de la commission de recrutement des Maîtres de conférences de la Commission Mixte 67-68 (Ecologie et Biologie des Organismes) et il prendra la responsabilité de la Commission Pédagogique d'écologie à la suite de Pierre Lavandier en 1999. A sa retraite Alexandre Riberon lui succèdera.

Au niveau national, il sera membre élu du CNU 67^e section de 2006 à 2009 et défendra ardemment au sein de cette commission sa vision si humaine et honnête du métier, ainsi bien entendu que les dossiers des candidats dont il était rapporteur. Autant il a su motiver des cohortes d'étudiants et les guider au cours de leur cursus, autant il a toujours été là pour soutenir ses collègues, et notamment les nouveaux venus dont j'ai fait partie, afin de les intégrer avec bienveillance dans les enseignements et leur prodiguer de précieux conseils lorsqu'ils en ressentaient le besoin. Son meuble de bureau n'était pas visible : des classeurs de rangements (la bibliographie n'était alors pas en ligne) et des armoires le masquaient, le tout orné de divers pots de plantes : cactus, bégonias immenses et autres. Mais sa porte restait toujours ouverte pour qui le souhaitait, y compris une « bota » comme moi. C'était surprenant de voir autant de plantes dans le bureau d'un zoologue !

En 2005, reconnu pour ses qualités d'enseignant, d'organisateur mais aussi de sa connaissance des pays africains, il a été contacté par le Ministère Guinéen de l'Enseignement Supérieur pour étudier la faisabilité d'un Master Biodiversité à l'Université de Kankan, avec intervention d'enseignants toulousains sur place et aide financière du Ministère de la coopération française. La convention entre l'UPS et l'Université de Lanakan sera signée en 2006. Il enseignera dans ce Master et entrainera plusieurs collègues toulousains dans cette aventure. Il se rendra aussi à Madagascar pour envisager d'autres collaborations de ce type.

Tous vous diront que c'était un homme sérieux, discret mais engagé, qui savait se faire entendre quand il le fallait. Il savait aussi surprendre, puisqu'il arborait régulièrement,

notamment lors des réunions du CNU, un ceinturon avec le logo des *Rolling Stones* et des « Santiagues », et parfois de surprenantes chemises violettes, illustrant ainsi sa passion pour le *Rock* et la *Country*. James ne manquait pas d'humour, et le distillait à qui le méritait...

Après de bons et loyaux services, il obtiendra une promotion à la Hors-Classe et partira à la retraite en décembre 2009. Il neigeait ce jour-là, mais il hérita d'une nouvelle guitare électrique *Gibson* marron à ajouter à sa collection, et ses yeux brillaient autant de plaisir que de nostalgie. Il profitera de sa retraite notamment au travers de la musique, mais surtout de ses petites filles qu'il adorait. Il avait emménagé son sous-sol en véritable antre d'Alibaba, dans lequel il se ressourçait et abritait ses nombreuses collections.

Fidèle à lui-même, James avait pris des dispositions pour faire parvenir à ses proches et ses amis – juste après son décès – un surprenant courriel les informant de son passage inéluctable vers un autre monde. Décidément, un super collègue et un drôle de bonhomme. Il nous manquera.

QUELQUES PUBLICATIONS À SON ACTIF

- GAGNEUR, J. (1976). *Etude des diptères du Lot et étude de la retenue de Cajarc* (Doctoral dissertation, Thèse 3^e cycle, Toulouse: 189 pp).
- THOMAS, A.G.B. & GAGNEUR J. 1981. – Athericidae d'Afrique du Nord : I.- *Atrichops numidicus* n. sp. (Diptera, Brachycera). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 117 (1/4) : 273
- GAGNEUR, J. & THOMAS A.G.B. 1985. – Athericidae d'Afrique du Nord : III.- La larve d'*Atrichops numidicus* Thomas & Gagneur, 1981 et son écologie (Diptera, Brachycera). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 121 : 125-129.
- GAGNEUR, J., THOMAS A.G.B. & VITTE B. 1985. – Première citation d'une espèce du genre *Paraleptophlebia* en Afrique du Nord : *P. cincta* (Retzius, 1783) et son écologie. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 121 : 125-129.
- GAGNEUR, J. & CLERGUE-GAZEAU (1988) – Les Simulies d'Algérie (Diptera, Simuliidae). I. Premières données biogéographiques et écologiques sur les espèces de l'Ouest algérien. *Ann. Limnol.-Int. J. Limnol.*, 24(3): 275-284.
- GAGNEUR, J. & THOMAS A.G.B. (1988) – Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie I. Répartition et écologie (1^{ère} partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 124: 213-223.
- GAGNEUR, J. & CHAOUI-BOUDGHANE (1991) – Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'Ouest Algérien. *Stygologia*, 6(2): 77-89.
- GAGNEUR, J. & ALIANE (1991) – Contribution à la connaissance des Plécoptères d'Algérie. In: ALBA-TERCEDOR & SANCHEZ-ORTEGA (Eds.): Overview and strategies of Ephemeroptera and Plecoptera. Sandhill Crane Press, Inc., Gainesville, FL, USA: 311-323.
- DAUTA, GAGNEUR J. & THOMAS A.G.B. (1992) – ANABET: logiciel de détermination de la faune invertébrée d'eau douce et de calcul de l'I.B.G. (Norme AFNOTR NF T90-350). En collaboration avec Eclair-Services S.A. (Blagnac). Contrat pour SNEA(P) ELF-Aquitaine.
- GAGNEUR, J. (1994) – Flashfloods and drying up as major disturbances upon benthic communities in the north-african wadis. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 25: 1807-1811.
- THOMAS, A.G.B. & GAGNEUR J. 1994. – Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 6. *Alainites sadati* n. sp. d'Algérie (Ephemeroptera, Baetidae). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 130 : 43-45.
- THOMAS, A.G.B., GAGNEUR J. & DAKKI M. (1995, March). West Palearctic Athericidae: the Genus *Ibisia* Rondani, 1856. I. Rediscovery of *I. Maroccana* (Séguy, 1930) at the Locus Typicus, and its Ecology (Diptera: Brachycera: Orthorrhapha). In *Annales de la Société entomologique de France (NS)* (Vol. 31, No. 1, pp. 63-69). Taylor & Francis.
- VAILLANT & GAGNEUR J. (1998) - The Diptera Empididae Hemerodromiinae from western Algeria and the Middle Atlas of Morocco. *Ann. Soc. Entomol. Fr (N.S.)* 34(4): 365-384.
- GAGNEUR, J. & THOMAS A.G.B. (2000) - Factors influencing the distribution of aquatic Diptera in north western Algerian wadis. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 27(2): 955-962.
- GAGNEUR, J. & YADI (2000) - Intérêt faunistique du peuplement des sources en Algérie et plus généralement en Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 136: 33-42.
- MARY & GAGNEUR J. (2000) - Structure of benthic communities in New Caledonian rivers and streams. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 27 (5): 2525-2528.
- WISHART, GAGNEUR J. & EL-ZANFALY. (2000) - *River conservation in North Africa and the Middle East*. In: BOON, DAVIES & PETTS (Eds.): Global perspectives on river conservation: science, policy and practice. John Wiley & Sons Ltd.: 126-154.
- GAGNEUR, J. & KARA. (2001) - *Limnology in Algeria*. In: WETZEL & GOPAL (Eds.): Limnology in developing countries (Vol. 3). Intern. Assoc. Limnol., SIL Publ. : 1-34.
- GAGNEUR, J. & BROSSE S. (2003). Macroinvertebrate richness patterns in North African streams. *Journal of Biogeography*, 30(12), 1821-1833.
- TALEB, A., BELAIDI N. & GAGNEUR J. (2004). Water quality before and after dam building on a heavily polluted river in semi-arid Algeria. *River Research and Applications*, 20(8), 943-956.
- YOUNES-BARAILLE, Y., GARCIA X. F. & GAGNEUR J. (2005). Impact of the longitudinal and seasonal changes of the water quality on the benthic macroinvertebrate assemblages of the Andorran streams. *Comptes rendus. Biologies*, 328(10-11), 963-976.
- GAGNEUR, J. (2006). Twenty years of research on the Tafna ecosystem, an Algerian temporary stream. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 29(4), 1998-2002.
- TALEB, A., BELAID N., SÁNCHEZ-PÉREZ J. M., VERVIER P., SAUVAGE S. & GAGNEUR J. (2008). The role of the hyporheic zone in the nitrogen dynamics of a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafna wadi, Algeria). *River research and applications*, 24(2), 183-196.

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

Le bulletin de la Société d'Histoire naturelle paraît par tome annuel. Les textes des articles soumis pour publication doivent être déposés sous la forme d'un exemplaire-papier A4 incluant toutes les illustrations (regroupées à la fin) + un fichier texte/illustrations par e-mail ou sur CD-ROM (ces dernières au format JPEG ou TIFF d'au moins 300 dpi) auprès de M. L. PASSERA, 42 rue Antoine de Gargas, F – 31500 Toulouse, France et < luc.passera@wanadoo.fr >

De brefs résumés (en français et en anglais) ainsi que le titre en anglais, dont la rédaction incombe aux auteurs, et des mots clés / keywords doivent être placés en tête de l'article.

L'emplacement souhaité pour les figures, tableaux et éventuellement photos devra être indiqué dans la marge du texte sur la copie papier. Le texte proprement dit ne doit inclure ni les tableaux ni les illustrations.

Utiliser exclusivement pour le texte et les tableaux les caractères *Times New Roman minuscules simples* : pas de mots en capitales, ni petites capitales, ni caractères gras qui seront introduits par le secrétariat. Pas de justification du texte (simple alignement à gauche), pas de retrait pour les alinéas. Les italiques sont à réserver dans le texte aux seuls noms de genre et d'espèces en latin, ainsi qu'en bibliographie aux noms des périodiques scientifiques et aux titres des livres cités.

Les références bibliographiques de périodiques doivent être présentées ainsi : Simidu, U., E. Kaneko & N. Taga. 1977. – Microbial studies of Tokyo Bay. *Microbial Ecology*, 3 : 173 – 191.

Les articles à publier sont soumis à un comité de lecture dont les décisions sont sans appel.

Pour tout article proposé, l'un au moins des auteurs doit être membre de la Société et à jour de sa cotisation.

Chaque membre de la Société a droit, annuellement, à la publication gratuite (seul ou en collaboration) de 10 pages maximum, non reportables d'une année à l'autre. Les pages supplémentaires sont facturées 60 euros la page. Les clichés et planches photographiques en couleur sont facturées en supplément, au prix coûtant.

La Société d'Histoire Naturelle fournit tous les articles en fichier PDF. Des tirés-à-part éventuels sous forme papier sont à la charge des auteurs.

Le montant des cotisations annuelles est le suivant :

- membre ordinaire : 30 euros (+ 3 euros pour l'étranger).
- étudiant (sur justification) : 15 euros (+ 3 euros pour l'étranger),
- personne morale : 60 euros (+ 6 euros pour l'étranger)

Règlement par chèque bancaire / chèque postal payable en France ou transfert bancaire à l'ordre de : Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, Université Paul Sabatier, Jardin Botanique, 2 rue Lamarck, 31400 Toulouse, France. N° de compte : 0012561V037 ; établissement : 20041 ; guichet : 01016 ; Clé RIP : 59.

Adresse pour l'expédition des périodiques en échange du bulletin
Mailing address for the sending of journal in exchange with the bulletin

Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse
Département Échanges-Promotion-Diffusion,
Service Commun de la documentation
Université Paul-Sabatier, Toulouse 3
118 route de Narbonne, F - 31062 Toulouse cedex 09 (France)

Achévé d'imprimer en janvier 2025 sur les presses
de l'Imprimerie Graphitti - 31140 Launaguet

Dépôt légal : 1^{er} trimestre 2025

SOMMAIRE TOME 160 – 2024

M. BILOTTE – Éditorial.....	3
M. BILOTTE – Sur deux ammonites de l’Albien du Pech Saint-Sauveur (Foix, Ariège, France).....	5
P. FAURÉ & B. DELSAHUT – Bivalves non marins du Permien inférieur du Bassin de Najac (Aveyron, France). Découverte d’une faune à <i>Palaeanodonta</i> Amalitzky, 1895.....	9
P. JARGEAT & H. GRUYA – Le bois de Pouciquot (Toulouse, France), une richesse fongique insoupçonnée au cœur de la ville	25
E.-J. DEBROAS – Lithofaciès et traces fossiles des Grès de Celles dans leur localité-type (Flysch santono-campanien, zone nord-pyrénéenne, Ariège, France).....	33

CONFÉRENCES

S. BOULLIER & P. BESSIÈRE – Les zoonoses : des maladies du futur ?	65
C. VAN BEEK – Métamorphoses végétales et animales	69
E. BERTHIER – Les Glaciers, sentinelles du changement climatique.....	75
N. GANDILHON – L’acoustique des cétacés.....	79
J.-P. SARTHOU – Une agriculture écologiquement intensive fait-elle sens ?	83

ERRATUM

M. LAURIN – Tolkien et les sciences	87
---	----

PROMOTION D’OUVRAGES

M. BILOTTE – La Société d’Histoire Naturelle de Toulouse : 1866 – 2024	89
--	----

NOTICES NÉCROLOGIQUES

M. BILOTTE, E. TABACCHI, E. MARTINEZ ANSEMIL : Narcisse Giani	91
S.H.N.T. : René Le Cohu	99
N. COINEAU : Claude Boutin	101
A.M. PLANTY-TABACCHI : J. Gagneur.....	111

