

# L'ambre turonien du ruisseau des Tarquès (Commune de Duilhac-sous-Peyrepertuse, Aude, France)

par Gérard Breton<sup>1,2</sup>, Sébastien Champion<sup>3</sup> & Michel Bilotte<sup>4</sup>

1. 6 rue des Réservoirs F-76600 Le Havre, France. E-mail : gerard-breton@orange.fr.

2. UMR, CNRS 6118, Géosciences, Université de Rennes I, F-35042 Rennes Cedex, France.

3. 20 rue Joseph Pomarola, F-66100 Perpignan, France. E-mail : seb.champion66@gmail.com

4. Faculté des Sciences et Ingénierie, Université de Toulouse 3, France. E-mail : Michel.Bilotte@get.omp.eu

## RÉSUMÉ

Les argiles noires ligniteuses contenant l'ambre étudié et les terrigènes grossiers qui leur font suite, indirectement datés de la partie supérieure du Turonien (Grès supérieurs), ont été historiquement exploités dans les mines du ruisseau des Tarquès (Duilhac-sous-Peyrepertuse, Aude, Corbières méridionales) pour le jais et l'ambre. Cet ambre a livré cinq morphotypes distincts de champignons dont *Dicellaesporites*, de possibles Chlorococcales, de rares filaments cyanobactériens, d'abondantes Actinobactéries, parmi lesquelles *Micromonospora* ?, des Buckholdériales cf. « *Sphaerotilus* » et cf. *Leptotrichites*, des spores, des fragments de bois. Les pseudoprotistes sont rares. Comme dans les autres ambres crétacés français connus, les microorganismes filamenteux sont abondants, fossilisés soit par colonisation de la résine fraîche, soit par piégeage. L'ambre a fossilisé une microflore présente sur l'écorce du conifère producteur et le sol forestier, en milieu continental ; il a été transporté jusqu'à un marais fluvial fortement anoxique proche où il s'est déposé.

Mots-clés : ambre, microorganismes filamenteux, Mycota, Actinobacteria, Turonien, Aude, France.

## The Turonian amber of the Tarquès brook (Commune of Duilhac-sous-Peyrepertuse, Aude, France)

## ABSTRACT

The black lignite-bearing clay and the overlying coarse terrigenous sediments bearing the studied amber are indirectly dated to the upper part of the Turonian (Upper Sandstone). They have been historically exploited in the mines of the Tarquès brook (Duilhac-sous-Peyrepertuse, Aude, Southern Corbières) for jet and amber. This amber contains five distinct fungal morphotypes including *Dicellaesporites*, possible Chlorococcales, rare cyanobacterial filaments, abundant Actinobacteria including *Micromonospora* ?, Buckholderiales cf. “*Sphaerotilus*” and cf. *Leptotrichites*, spores and wood fragments. Pseudo-protists are rare. As in other known French Cretaceous ambers, the filamentous microorganisms are abundant, they fossilized either by colonisation of recent resin or by trapping. The studied amber contains a micro-flora from the bark of the resin-producer conifer and from the forest ground, in a continental environment. It was transported to a nearby fluvial highly anoxic swamp where it deposited.

Keywords : amber, filamentous micro-organisms, Mycota, Actinobacteria, Turonian, Aude, France.

## Introduction

Le Crétacé supérieur des Corbières méridionales s'est déposé à la bordure sud d'un vaste massif central émergé. Le massif de Mouthoumet qui en supporte les différents dépôts peut être considéré comme un témoin de ce massif. Les restes d'une couverture marine du Jura-Crétacé y sont rares et c'est surtout à partir du Cénomaniens que s'installent sur sa bordure méridionale des dépôts marins qui perdureront jusqu'à la fin du Santonien ; les dépôts plus récents de la fin du Crétacé (Campanien et Maastrichtien) marquent le retour à l'émersion. La période marine qui s'étend du

Cénomaniens au Santonien inclus correspond globalement à un mégacycle transgressif – régressif. Ce mégacycle est lui-même constitué d'une dizaine de cycles transgressifs – régressifs (T/R), d'ordre inférieur, dont les limites sont généralement marquées par de nettes discontinuités. Ainsi au Cénomaniens, 4 cycles ont été identifiés, le quatrième et dernier montrant le maximum d'ouverture de la plate-forme aux conditions marines (BILOTTE 2007) ; au Turonien ce sont trois cycles T/R qui se succèdent (BILOTTE op. c.), marqués du sud au nord, de la plate-forme moyenne à la plate-forme interne, par une dualité entre des constructions à rudistes (Hippuritidés dominants) et des terrigènes d'origine

septentrionale. A la fin du Turonien (fin du 3<sup>ème</sup> cycle T/R), ces terrigènes deviennent exclusifs ; la bordure sud du massif de Mouthoumet se frange d'un large estran sableux où se distribuent les matériaux apportés par les cours d'eau qui érodent le vaste massif central auquel se rattache le massif de Mouthoumet. C'est dans ce contexte que se créent lagunes tidales et marais fluviaux, anoxiques et riches en matières organiques végétales ; l'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse qui fait l'objet de cette étude trouve là son milieu de dépôt.

## Cadre géologique

Dans cette partie orientale du massif paléozoïque de Mouthoumet, le Crétacé supérieur (Cénomaniens à Santonien inférieur) qui le recouvre est affecté de nombreuses failles qui disloquent cette couverture, respectivement du nord vers le sud, dans les reliefs du Roc de Tirtacou et du Roc Fourcat (Fig. 1). Le Cénomaniens, discordant sur du Jurassique, y est peu épais et composé d'un membre inférieur surtout gréseux et d'un membre supérieur calcaire ; le Turonien y présente une épaisseur importante estimée à 150 mètres ; l'intrication entre dépôts terrigènes et carbonatés y est fréquente au point que par souci de simplification il est distingué (BILOTTE 1985, BILOTTE in BERGER ET AL. 1997) un ensemble inférieur gréseux, un ensemble médian où se développent des constructions à rudistes, un ensemble supérieur où dominent de nouveau les terrigènes. Le retour des conditions marines se réalise au Coniacien avec, d'abord, le dépôt d'une série carbonatée très homogène que l'on peut suivre d'est en ouest, du domaine considéré jusqu'au méridien de Rennes-les-Bains et qui est désignée Calcaires de Montferrand (Coniacien inférieur) ; l'augmentation de l'épaisseur de la tranche d'eau s'accompagne du dépôt de séries de plus en

plus marneuses dont le faciès type est celui des Marnes à *Micraster* (Coniacien moyen à Santonien inférieur). Dans le domaine étudié la succession conservée n'atteint pas le Santonien supérieur.

## Cadre stratigraphique

L'abondance des dépôts terrigènes est peu favorable à la recherche des éléments paléontologiques permettant une datation directe. C'est donc surtout avec des arguments de position que le Turonien (inférieur à supérieur) est identifié. Les derniers dépôts du Cénomaniens renfermant alvéolinidés (Prealvéolines) et rudistes (Caprinidés) sont recouverts par les premiers terrigènes attribués au Turonien « inférieur » ; les rudistes Hippuritidés et Radiolitidés sont abondants dans la partie moyenne de la succession et les faunes que l'on y a recueillies sont classiques du Turonien moyen-supérieur. Récemment (MELCHIOR ET AL. 2017), une petite faune d'ammonites a été découverte au-dessus des dernières constructions à rudistes dans une succession mixte carbonatée et terrigène qui précède elle-même les terrigènes grossiers de la fin du Turonien. Cette faune présente l'intérêt de renfermer un marqueur de la partie inférieure du Turonien supérieur, *Coilopoceras inflatum* Cobban & Hook, 1980, dont c'est aussi la première occurrence hors des Western Interior. Les Calcaires de Montferrand qui font suite ont livré, entre autres, *Foresteria (Harleites) petrocoriensis* (Coquand, 1859) et *Peroniceras tricarinarum* (d'Orbigny, 1842) du Coniacien inférieur ; ces Calcaires de Montferrand appartiennent à l'intervalle transgressif d'un nouveau cycle T/R (BILOTTE 2007) qui se complète, dans le synclinal de Rennes-les-Bains, par les Marno-calcaires à *Gauthiericeras*, les Marnes à *Micraster* et pour clore le cycle les Calcaires du Petit Lac.

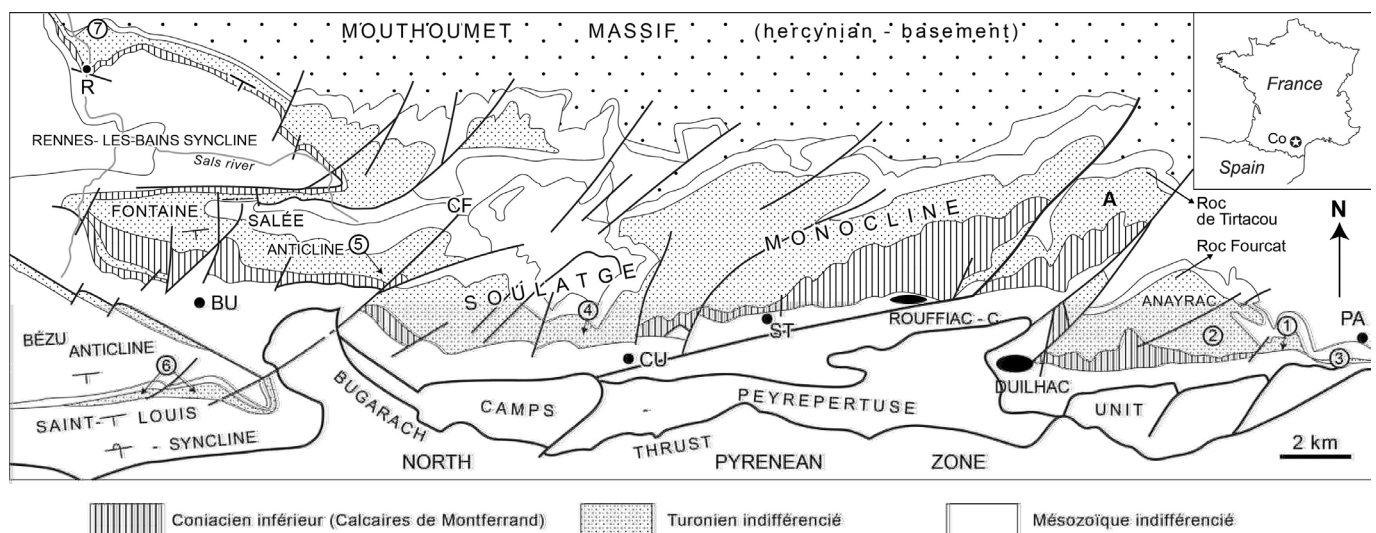


Fig. 1 : Répartition des dépôts du Turonien et du Crétacé supérieur sensu lato sur le revers méridional du Massif de Mouthoumet (Corbières orientales : Co), entre Rennes-les-Bains, à l'Ouest, et Padern, à l'Est. Les n° 1 à 7 correspondent à des gisements d'ammonites du Turonien (KENNEDY ET AL. 2015). BU : Bugarach - CU : Cubières - PA : Padern - R : Rennes-les-Bains - ST : Soulatgé - CF : Faille des Capitaines. A : Situation géographique de l'ambre dans le Turonien du relief dominé par le Roc de Tirtacou.

### Le gisement d'ambre du ruisseau des Tarquès

Entre Rouffiac-des-Corbières, à l'W, et au N.NE de Duilhac-sous-Peyrepertuse, à l'E, le relief culminant au Roc de Tirtacou (666 m, Fig. 1) est entaillé par une série de talwegs creusés par de petits ruisseaux temporaires (les recs) ; le ruisseau des Tarquès (Fig. 2) est l'un des plus importants ; il a son origine au lieu-dit les Mouillères (les meulères, les grès du Turonien servant à la fabrication de meules), et se connecte au ruisseau de la Grenouillère au voisinage des ruines de Balbones. Les strates des Grès supérieurs (Turonien) et du Calcaire de Montferrand (Coniacien inférieur) qui les surmontent, ont un plongement d'une quinzaine de degrés vers le sud ; le gisement d'ambre semble se situer à la partie inférieure des Grès supérieurs ; il a fait l'objet d'une exploitation artisanale ancienne centrée sur la recherche du jais (ou jayet) dont la présence est déjà mentionnée par BUFFON (1783-1788) qui cite le village de Rouffiac (aujourd'hui, d'un point de vue administratif, le site étudié ici est sur la commune de Duilhac) ; par la suite, ASTRE (1938) recensera tous les articles mentionnant l'ambre des Corbières, y compris le texte de Buffon, mais sans évoquer cette localité. L'exploitation, assez réduite en superficie, tout

au plus quelques centaines de m<sup>2</sup>, se compose d'au moins trois galeries de plusieurs dizaines de mètres de longueur dont deux seulement sont accessibles, bien que généralement très basses et dangereuses d'accès, et d'au moins une galerie effondrée (mais d'autres existent vraisemblablement). L'exploitation de l'ambre sur ce site demeure aujourd'hui très incertaine (fragilité des morceaux récupérés et répartition très aléatoire). Ces galeries sont creusées dans des argiles noires ligniteuses ; ce sont ces argiles plus ou moins sableuses qui ont livré l'ambre. Les plus gros morceaux peuvent atteindre près de 15 cm<sup>3</sup> (4,5 x 3 x 1,2 cm pour un ambre orangé recueilli au plafond de la galerie et 2,8 x 2,8 x 1,5 cm pour un ambre jaune des argiles noires ligniteuses) ; les morceaux de lignite sont aussi fréquents (Fig. 3), ainsi que la pyrite et la copiapite, voire le soufre (?). Au-dessus des argiles noires se développe une puissante série de terrigènes grossiers organisés en séquences grano-décroissantes qui débutent par des conglomérats mal classés, dont les plus gros galets quartzeux atteignent 5 à 6 cm de diamètre et sont liés par une matrice gréseuse (Fig. 4). Le modelé de ces galets, très arrondis, plaide en faveur d'un transport fluvial. Par la suite la série devient quasi exclusivement gréseuse et les épisodes grossiers moins

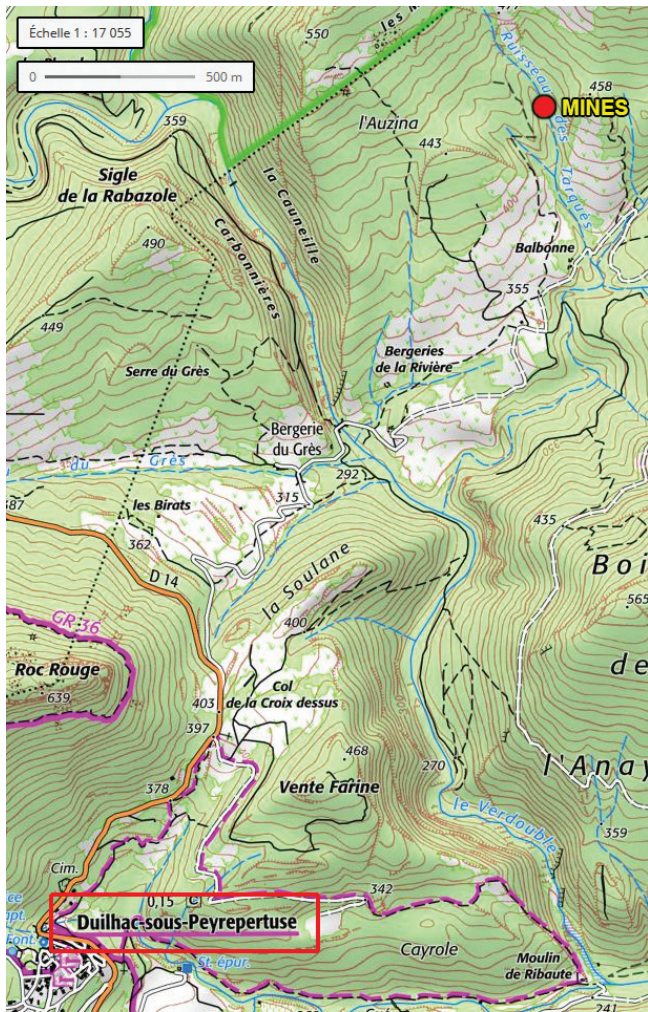


Fig. 2 : Localisation du gisement d'ambre (Mines) sur fond topographique IGN.



Fig. 3 : Conglomérat et lignites associés dans un bloc détaché du toit de la galerie d'exploitation.



Fig. 4 : Exemple de conglomérats à éléments exclusivement quartzeux ; les éléments sont arrondis et de granulométrie variée indiquant une absence de tri ; la matrice gréseuse est peu abondante.

fréquents. Ces observations semblent indiquer que le dépôt des argiles noires ligniteuses s'est fait dans une zone de marais fluviatile fortement anoxique où de nombreux restes végétaux s'accumulaient, peut-être entre les bras de distributaires fluviatiles qui transportaient un matériel végétal et terrigène d'origine septentrionale ; par divagation de ces distributaires la lagune a été ultérieurement enfouie et la diagenèse a fait son œuvre. A titre de comparaison, rappelons qu'à moins de 2 km plus au sud, dans le relief des bois de l'Anayrac (Roc Fourcat), dans une position stratigraphique identique, ce sont des dépôts de marais tidaux qui ont été identifiés (MELCHIOR ET AL. 2017).

## Matériel et méthodes

Les morceaux d'ambre recueillis par l'un de nous (SC) ont été nettoyés dans un bac à ultrasons. Les morceaux nettoyés (Fig. 5) sont majoritairement rouge orangé, transparents. Les morceaux les plus sombres sont bruns et transparents, les plus clairs sont jaunes. Le cortex peut être brun foncé à quasi noir mais transparent, plus ou moins épais, brun foncé opaque, mince, parfois fendillé, ou de couleur miel, opaque (macroscopiquement), cette dernière forme d'ambre pouvant en outre constituer des couches ou des masses irrégulières au sein de l'ambre (Fig. 6). Les préparations sont parfois orientées perpendiculairement à des coulées successives de résine, faisant alterner un ambre très clair et transparent et des couches brunes résultant de l'oxydation à l'air de la surface de la coulée avant son recouvrement par la coulée suivante (Fig. 7). Ces couches successives peuvent être très fines, dénotant une résine très fluide.

De très fines esquilles d'ambre détachées de chaque morceau à l'aide d'un microscalpel sont montées dans du baume du Canada entre lame et lamelle. Le baume est séché au moins une semaine à 50°C mais pas cuit. Les premiers essais ont montré que la rétraction du baume au séchage entraîne une forte pression sur les esquilles les plus épaisses qui éclatent en une poussière de fragments inutilisables. C'est ainsi que quelques préparations ont été perdues jadis (BRETON ET AL. 1999). C'est pourquoi nous montons aujourd'hui les esquilles d'ambre entre lame et lamelle en calant latéralement la lamelle à l'aide de deux lamelles cassées : la plus grande épaisseur de milieu de montage limite les risques d'éclatement. Mais en même temps, une telle préparation, plus épaisse, empêche parfois l'examen des plans les plus profonds à l'aide des objectifs x 100 à immersion.

Les préparations sont examinées à l'aide d'un Nacet NS 400 ® en fond clair (FC), contraste interférentiel, frange noire (CIFN) et contraste de phase (Ph) ; le microscope est pourvu d'une sortie photo. Les photos sont réalisées avec un boîtier numérique Lumix G5 ®. La faible profondeur de champ, en particulier lors de l'examen à l'aide de l'objectif x 100 à immersion, permet rarement d'avoir une vue nette de l'ensemble de la structure étudiée. Plusieurs vues sont alors prises avec des mises au point sur différents plans puis combinées en une zétagraphie grâce au logiciel de *stacking* Zerene Stacker ®. Ces zétagraphies sont notées « ZS » dans les légendes des illustrations.

Cette technique remplace en partie les techniques de microscopie confocale auxquelles le premier auteur n'a pas eu accès.

La mesure du diamètre des filaments ou des spores, réalisée à l'aide d'un micromètre intégré au Nacet 400 étalonné à l'aide d'un micromètre-objet doit être considérée comme approximative, pour plusieurs raisons d'ordre optique et d'ordre taphonomique, détaillées par BRETON (2012, p. 76).

## Remarque sur les critères utilisés dans la systématique des Procaryotes

Pour beaucoup de bactéries, les critères morphologiques, forme et taille des cellules, sont inopérants parce que la différenciation morphologique de ces procaryotes reste limitée. Les bactériologistes ont donc développé des méthodes d'identification fondées sur des critères biochimiques, principalement sur les métabolites utilisés ou produits par les souches de bactéries, ou la chimie de la cellule, en particulier les acides nucléiques. L'obligation, en paléomicrobiologie, de se cantonner à des critères morphologiques, en limite considérablement la portée : WAGGONER (1993) précise, à propos de la systématique des bactéries fossiles : « [A] bacterial taxonomy based on morphology alone is usually tentative at best ».

Cependant, certaines bactéries (actinomycètes, cyanobactéries par exemple) présentent une différenciation morphologique plus importante que les autres bactéries, et plusieurs étapes de leur développement ou de leur reproduction peuvent avoir un retentissement morphologique.

Une telle morphologie, plus diverse, traduisant de plus des étapes du cycle biologique (reproduction, sporulation, dispersion des spores) constitue donc un outil puissant de systématique « Despite the many advances in the taxonomic use of cell chemistry, identification of actinomycetes is still very dependant on morphological characters » (LECHEVALIER in HOLT 1989). Les critères morphologiques, surtout s'ils peuvent inclure des données morphologiques sur les organes reproducteurs, restent pertinents au niveau des taxons inférieurs, genres et espèces, et, de toute façon, sont les seuls utilisables en paléontologie. C'est pourquoi, bien que nous ayons cité de manière formelle certains taxons de niveau supérieur en suivant STACKEBRANDT ET AL. (1997), il ne faut pas perdre de vue que nos espèces fossiles ont été classées au sein de ces taxons sur la base exclusive de critères morphologiques, seuls disponibles.

Les préparations, numérotées ROU 1, ROU 2, etc., à cause de la proximité du bourg de Rouffiac-des-Corbières, bien que le gisement soit situé à l'intérieur des limites administratives de la commune de Duilhac-sous-Peyrepertuse, sont déposées avec les morceaux d'ambre ayant servi à faire ces préparations dans les collections de l'université de Montpellier, Place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5, le lot étant conservé sous le numéro d'accès collectif UM DLC 01.

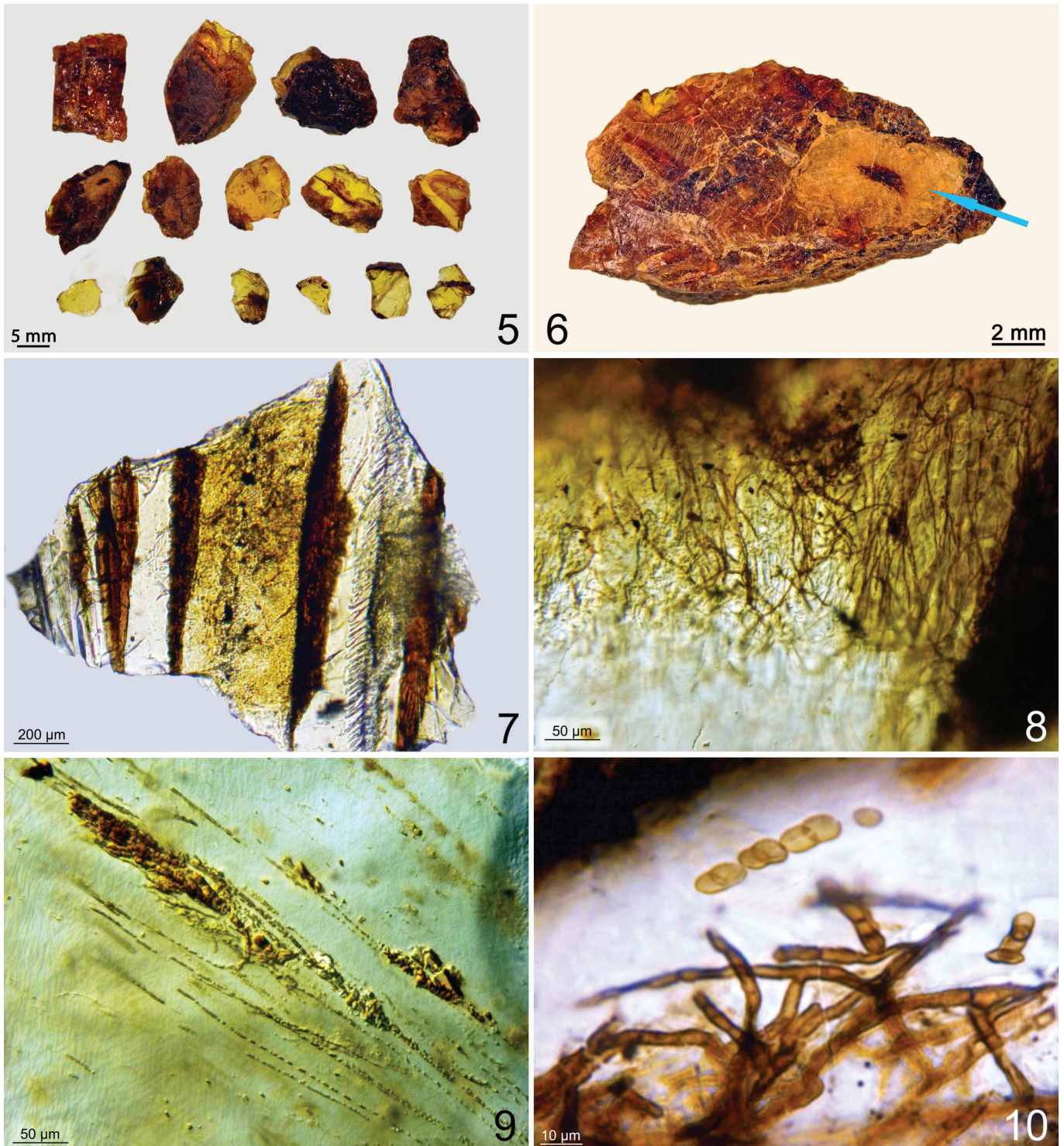


Fig. 5-10 : Ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse (Aude). Turonien supérieur. Collection Université de Montpellier UM DLC 01. **5** : Variété de la couleur et de la limpidité des morceaux d'ambre. Barre d'échelle 5 mm. **6** : Masse irrégulière d'ambre de couleur miel opaque macroscopiquement (flèche) au sein d'un ambre brun-rouge. Echelle 2 mm. **7** : Six coulées successives d'épaisseur infra-millimétrique. Préparation ROU 5, FC. Echelle 200  $\mu\text{m}$ . Fig. 8-10 : Imperfecti Didymosporae : mycélium et spores *Dicellaesporites* Elsik, 1968. **8** : Filaments mycéliens issus de la surface du morceau d'ambre. Préparation ROU 5, CIFN, ZS. Echelle 50  $\mu\text{m}$ . **9** : Tronçonnage taphonomique des filaments étirés dans le flux de résine. Préparation ROU 5, CIFN, ZS. Echelle 50  $\mu\text{m}$ . **10** : Filaments septés et spores *Dicellaesporites*. Préparation ROU 3, FC.0231038. Echelle 10  $\mu\text{m}$ .

## Résultats

### 1 Mycota

Les champignons sont représentés dans l'ambro de Duilhac-sous-Peyrepertuse par des filaments fréquents mais ayant souvent subi des dégradations taphonomiques.

1.1 Imperfecti Didymosporae : mycélium et spores *Dicellaesporites* Elsik, 1968 (Fig. 8-12)

Préparations ROU 3 et ROU 5

Le diamètre des filaments varie de 2,4 à 4,7  $\mu\text{m}$ , en moyenne 3 à 4  $\mu\text{m}$ , mais les filaments les plus fins sont amincis taphonomiquement : diminution du diamètre sur un même filament et tronçonnage parfois spectaculaire des filaments étirés dans le flux de résine. Les filaments sont ramifiés, septés ; les cloisons sont très inégalement réparties (Fig. 10, 11). A titre d'exemple, sur un filament dont le diamètre est de 3,2  $\mu\text{m}$  les longueurs mesurables des cellules varient de 4,7 à 13,3  $\mu\text{m}$ .

Les filaments de la préparation ROU 5 sont associés à des débris végétaux à partir desquels ils ont grandi et le feutrage mycélien, issu de la surface (Fig. 8) piégé dans une résine fluide, a été étiré dans le flux, voire, 0,8 mm en aval, tronçonné (Fig. 9).

Formées sur un conidiophore court (Fig. 12, flèche), les conidiospores sont arrondies, géminées, lisses (Fig. 10, 11). Les dimensions d'une paire de conidiospores varient de 11 x 4  $\mu\text{m}$  à 14 x 7  $\mu\text{m}$ . La paroi est lisse, mince : pour une spore mesurant 11 x 6  $\mu\text{m}$ , l'épaisseur de la paroi est inférieure au micromètre. Ces spores répondent à la définition des didymosporites, mais ici les deux spores sont arrondies, de taille égale et le point de fixation au conidiophore n'est pas exprimé, contrairement à la plupart des didymosporites. Elles présentent les caractères du parataxon *Dicellaesporites* Elsik, 1968, mais l'âge des *Dicellaesporites* décrites dans la synthèse de KALGUTKAR & JANSONIUS (2000) s'étend du Maastrichtien au Pliocène, principalement Eocène-Oligocène.

1.2 Filaments septés à ramifications dichotomiques en Y (Fig. 13-16)

Préparation ROU 15

Les filaments, de 3,5  $\mu\text{m}$  de diamètre, sont septés, à cellules courtes, rectangulaires (longueur de une à cinq fois le diamètre). Les ramifications, lorsqu'aucune déformation liée à l'inclusion dans la résine n'intervient, sont dichotomiques, en forme de Y (Fig. 13, 14). Les filaments de cet ensemble bien développé prennent fréquemment, mais pas partout (Fig. 15), un aspect moniliforme correspondant à des cellules en tonnelet dont la paroi est plus épaisse au milieu de leur longueur, ce qui donne globalement un aspect de « pointillé » très particulier. Il s'agit possiblement d'une réaction de certaines parties de ces filaments à leur inclusion dans la résine. Les conidies, sphériques, à paroi mince et foncée, ont un diamètre de 4,5 à 6  $\mu\text{m}$  (Fig. 16).

### 1.3 Filaments mycéliens divers

Nous regroupons dans ce paragraphe trois observations de filaments attribuables à des champignons et qui forment des ensembles très limités observés chacun dans une seule préparation.

Préparation ROU 1-2. Filaments de 2 à 2,5  $\mu\text{m}$  de diamètre, à paroi mince, peu ramifiés, non cloisonnés ; aucune spore n'est visible. Un tronçonnage spectaculaire affecte ces filaments, étirés parallèlement dans le flux d'une résine vraisemblablement visqueuse.

Préparation ROU 10. Très petit fragment isolé, filament de 3 à 5  $\mu\text{m}$  de diamètre ; les cellules sont courtes (longueur de une à trois fois le diamètre), en tonnelet, à paroi peu épaisse mais sombre.

Préparation ROU 11-2. Filaments très clairs, à paroi mince, apparemment non septés, dont le diamètre, assez constant, est de 3,5  $\mu\text{m}$  (Fig. 17). La paroi est localement échinulée et alors plus sombre. Ces filaments sont dispersés parmi les filaments d'actinomycètes ? *Micromonospora* sp. dont ils restent cependant bien distincts.

## 2 Chlorococcales ? (Fig. 18, 19)

Préparation ROU 16. Un tapis de cellules tassées sur une à plusieurs épaisseurs est complètement inclus dans l'ambro mais proche de la surface. Les cellules sont rondes, ovales ou plus irrégulières, patatoïdes. Leur paroi est mince, claire à noire. Leur diamètre varie de 6,5 à 11  $\mu\text{m}$ . La plupart de ces cellules montrent un, rarement deux corpuscules centraux mesurant 1 à 1,5  $\mu\text{m}$ . Ces corpuscules centraux sont interprétés comme des pyrénoides et non pas comme des noyaux, bien moins conservables (de plus, deux noyaux dans certaines cellules seraient difficiles à comprendre). Ces cellules sont, par hypothèse et en fonction de l'interprétation des corpuscules centraux comme des pyrénoides, attribuées à des Chlorococcales dont une population, sur le sol au pied des résineux ou bien sur son écorce, a été englobée dans une coulée de résine

## 3 Cyanobactéries ? (Fig. 20, 21)

Préparation ROU 12-2. Le trichome se développe sur 350  $\mu\text{m}$  environ. Son diamètre est de 3,5 à 4  $\mu\text{m}$ . Les cellules sont courtes, leur longueur est inférieure au diamètre. Le filament a subi un tronçonnage discret par étirement, ce qui donne, en séparant des groupes de cellules, une fausse impression de cellules plus longues que larges. La cellule apicale est arrondie. Le filament n'est pas ramifié et aucune gaine n'est visible. Contrairement à la plupart des actinobactéries et des champignons, ce filament est très peu coloré. C'est par défaut qu'il est attribué à une cyanobactérie ; une Oscillatoriale est possible (Fig. 20).

A côté de filaments de 1,5  $\mu\text{m}$  de diamètre attribués à *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005 (Fig. 21, flèche bleue) se trouvent des filaments de 4  $\mu\text{m}$  de diamètre, à cellules aussi longues que larges et

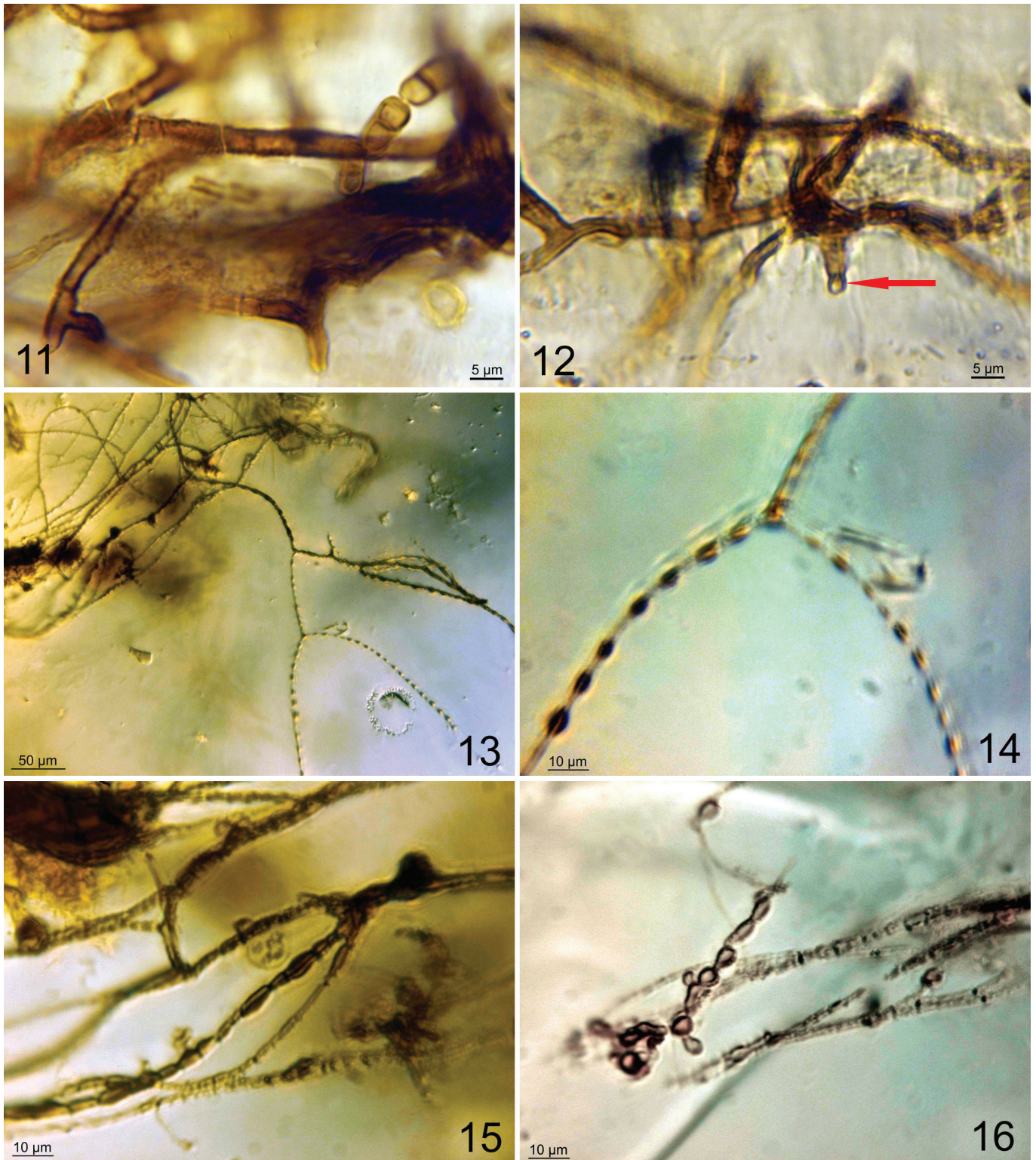


Fig. 11-16 : Ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse (Aude). Turonien supérieur. Collection Université de Montpellier UM DLC 01. Fig. 11-12 : Imperfecti Didymosporae : mycélium et spores *Dicellaesporites* Elsik, 1968. Préparation ROU 3. **11** : Filaments septés et groupes de spores. FC. Barre d'échelle 5 µm. **12** : Filaments septés et possible conidiophore avec conidiospore en début de formation (flèche). FC. Echelle 5 µm. Fig. 13-16 : Filaments mycéliens septés à ramification dichotomique en Y. Préparation ROU 15. **13** : Vue d'ensemble. Noter le petit actinomycète incolore, crépu, disposé en cercle, situé en bas à droite du cliché. CIFN, ZS. Echelle 50 µm. **14** : Détail d'une ramification en Y. CIFN, ZS. Echelle 10 µm. **15** : Autre aspect des filaments. CIFN, ZS. Echelle 10 µm. **16** : Possible formation de chaînes de conidies. CIFN, ZS. Echelle 10 µm.

sombres parce qu'encroûtés de dépôts supposés ferrugineux (comme *L. resinatus*, d'ailleurs), et qui sont également de possibles cyanobactéries (Fig. 21, flèche rouge). Elles se distinguent d'une autre cyanobactérie de l'ambre créacé *Paleocolteronema cenomanensis* Breton & Tostain, 2005 par un diamètre plus grand, des cellules plus courtes et l'absence de gaine et d'hormogonies.

#### 4 Actinobactéries

##### 4.1 Gen. sp. $\alpha$ . (Fig. 22, 23)

Préparation ROU 8

Nous avons nommé cet actinomycète en nomenclature ouverte « Gen. sp.  $\alpha$  » pour qu'il n'y ait pas d'ambiguïté avec les « actinomycètes de type A » de GIRARD (2010) ou le « Actinomycètes A » de SAINT MARTIN ET AL. (2013). Ces organismes filamenteux ne croissent pas de manière centripète depuis la surface ; ils ont probablement été associés à des débris végétaux puis englobés dans la résine. Les filaments sont clairs, mais sombres en contraste de phase (= *phase-dark*), abondamment ramifiés de manière dichotomique ou latérale. Les cellules individuelles ne sont pas visibles en microscopie optique. Il n'y a pas de gaine. Le diamètre de ces filaments est constant et mesuré entre 0,8 et 1  $\mu\text{m}$ . Les spores sont de deux types : spores terminales sphériques, plus brillantes que les filaments eux-mêmes, mesurant 1 à 1,5  $\mu\text{m}$  de diamètre et arthrospores dont les mieux conservées sont rectangulaires ou allongées, mais semblent le plus souvent à ce grandissement sphériques ou ovoïdes et donnent alors au filament un aspect moniliforme (Fig. 22, flèches rouges). Il est possible que la forme des arthrospores dépende de leur degré de maturité. Des arthrospores rectangulaires se retrouvent chez plusieurs actinobactéries, dans des groupes différents, par exemple *Saccharopolyspora* ou *Streptoalloteichus*. La sporulation de nos actinobactéries a été intense (spores terminales et arthrospores rondes) : des plages importantes de la préparation montrent un ambre contenant de très nombreuses spores coccoïdes parmi lesquelles on peine à distinguer les filaments restants (Fig. 23). Nous attribuons ces filaments à des actinobactéries dont ils ont le « style » de préservation (voir par exemple BRETON 2010, 2012) et le type de ramification ; les sporulations observées sont très compatibles avec cette attribution. Une attribution systématique plus précise sur ces seuls critères serait hasardeuse.

##### 4.2 groupe des Actinoplanetes : *Micromonospora* sp. ? (Fig. 24, 25)

Préparations ROU 1-2 et 11-2.

Ces actinobactéries filamenteuses sont abondantes dans les esquilles examinées (préparation ROU 1-2) dans un ambre foncé qui représente la surface d'une coulée de résine plutôt que la surface du morceau d'ambre, mais aussi dans un ambre clair à plus de 0,5 mm de l'ambre foncé. Une croissance centripète est possible mais non démontrable avec le matériel disponible.

Les filaments ont une paroi noire et un lumen clair. Le diamètre – 1,6  $\mu\text{m}$  – est assez constant. Il n'y a pas de cellules visibles. Des portions rectilignes à flexueuses alternent avec des portions montrant de brusques changements de direction à 90°, parfois 180°, voire des portions vrillées. Des spores uniques, apicales sont portées, sans rétrécissement, par l'extrémité du filament dont elles semblent séparées par une cloison. Ces spores, mesurant 3,2 à 7,2  $\mu\text{m}$  de diamètre, sont sphériques à légèrement aplaties en bouton de porte. On en retrouve quelques-unes dispersées dans l'ambre. La préparation ROU 11-2 contient des filaments attribuables au même taxon : diamètre des filaments 2,5  $\mu\text{m}$  (« élargissement taphonomique » ?) ; spores uniques, terminales et sphériques de 3,5  $\mu\text{m}$  de diamètre séparés du filament qui les porte par une cloison et sans rétrécissement, mêlés à des filaments plus fins de *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005.

C'est sur la base des spores uniques, terminales, de diamètre supérieur à celui des hyphes qui les portent que nous proposons une attribution au genre *Micromonospora* (groupe des Actinoplanetes). Cette attribution reste cependant une hypothèse dans la mesure où les représentants actuels du genre ont un mycélium septé de plus faible diamètre (0,5  $\mu\text{m}$  en moyenne), très ramifié, et portent des spores sphériques lisses ou épineuses, souvent formées sur des rameaux courts naissant latéralement sur les filaments principaux (VOBIS 1989 : 2442-2450).

##### 4.3 autres actinobactéries (Fig. 26)

Préparation ROU 1-1

On rencontre, sans relation avec la surface du morceau d'ambre, des actinomycètes abondamment ramifiés, dont le diamètre est évalué à 0,5  $\mu\text{m}$ , en groupes confus ayant un aspect crépu. Ces groupes, situés en profondeur dans l'esquille examinée, ne peuvent pas être étudiés à fort grandissement (Fig. 26).

#### 5 Protéobactéries

Buckholderiales Garrity et al., 2006

##### 5.1 cf. «*Sphaerotilus*» sp. (Fig. 27-33)

Le matériel est abondant : 7 morceaux d'ambre sur les 18 qui ont été préparés en ont fourni. C'est par comparaison avec le matériel déjà décrit dans des ambres cenomaniens (GIRARD 2010 : Fouras, Les Renardières ; BRETON 2012 : Fourtou ; GIRARD ET AL. 2013a: Fourtou) ou campanien (BRETON ET AL. 2013 : Le Mas d'Azil) que nous assignons ce taxon à cf. «*Sphaerotilus*» sp. En effet, si les populations préservées dans l'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse présentent la même allure générale en gerbes, extrêmement caractéristique, que les populations des ambres cenomaniens et campanien cités plus haut, la conservation reste médiocre et les caractères qui ont permis une tentative d'identification dans les autres ambres (dimensions des cellules, morphologie générale de la gaine, microstructure en chevrons de la gaine) ne sont ici pas visibles. Nous sommes d'accord avec NÉRAUDEAU ET AL. (2016) pour considérer que cette attribution taxinomique reste discutable : une révision est nécessaire.

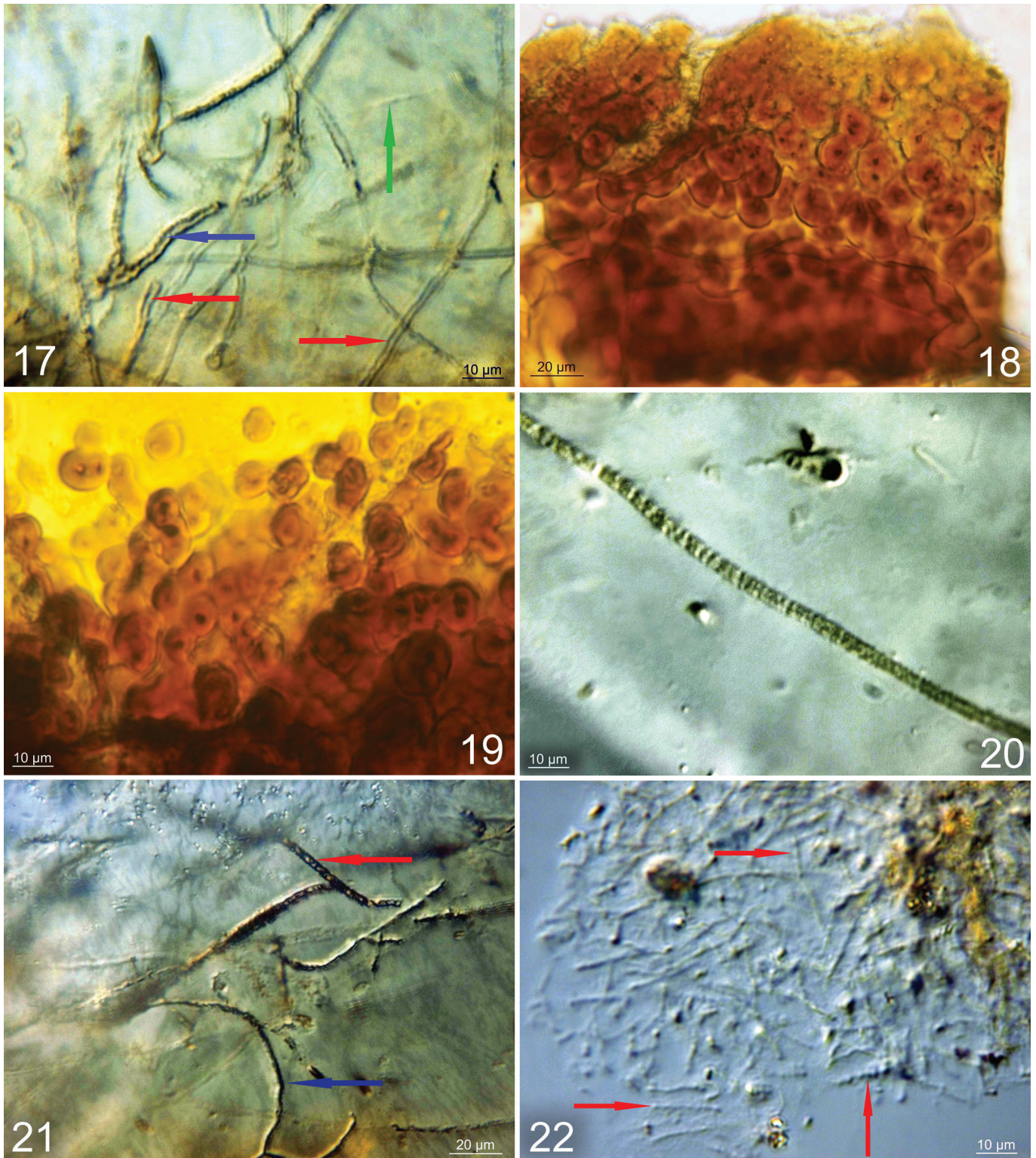


Fig. 17-22 : Ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse (Aude). Turonien supérieur. Collection Université de Montpellier UM DLC 01. **17** : Filaments mycéliens très clairs, à paroi mince (flèche rouge), localement échinulés et plus sombres (flèche bleue). Filaments d'actinomycètes ? *Micromonospora* sp (flèche verte). Préparation ROU 11-2. CIFN, ZS. Barre d'échelle 10  $\mu\text{m}$ . **Fig. 18-19** : Chlorococcales ? Préparation ROU 16. Noter les rares cellules à deux corpuscules centraux, interprétés comme des pyrénoides (voir texte). **18** : Vue d'ensemble d'une partie de la population. FC. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **19** : Détail montrant quelques cellules isolées. CIFN. Echelle 10  $\mu\text{m}$ . **Fig. 20-21** : Cyanobactérie Oscillatoriale ? Préparation ROU 12-2. **20** : Portion de trichome. CIFN, ZS. Echelle 10  $\mu\text{m}$ . **21** : Deux trichomes (juxtaposés, donnant une apparence fallacieuse de ramification) encroûtés de dépôts sombres (ferrugineux ?) (flèche rouge) et accompagnés de la bactérie *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005, ramifiée, elle-même encroûtée de dépôts sombres (flèche bleue). CIFN, ZS. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **22** : Actinobactérie Gen. sp. *a*. Filaments clairs, ramifiés et chaînes d'arthrospores à aspect moniliformes (flèches rouges). Préparation ROU 8, CIFN. Echelle 10  $\mu\text{m}$ .

Les groupes de cf. «*Sphaerotilus*» sp. se développent parfois comme dans les autres ambres cités à partir de la surface qui est alors brune, plus foncée (échantillon 1). Dans la préparation ROU 4, les gerbes forment des boules. Le diamètre de la plus complète (Fig. 27) est 700 µm ; l'ambre y est de couleur brune, mais des filaments de cf. «*Sphaerotilus*» sp. dépassent la limite de l'ambre foncé (Fig. 28). La boule est centrée sur un débris organique, probablement végétal. Dans la préparation ROU 5 (Fig. 29, 30) les gerbes se développent de part et d'autre d'un plan que nous interprétons comme la surface d'une coulée de résine colonisée par des bactéries qui ont cru en s'éloignant de la surface. Puis cette coulée a été recouverte dans un second temps par une autre coulée, colonisée à son tour en s'éloignant de la surface, donc en sens inverse. Les détails morphologiques et dimensionnels sont pauvres. Le trichome (ou bien le moule externe du trichome : voir SAINT MARTIN & SAINT MARTIN 2017) a un diamètre de 0,8 à 1,5 µm ; la gaine est rarement conservée, ses limites sont alors plus ou moins floues, son diamètre mesuré varie de 3 à 8 µm (Fig. 31). Dans la préparation ROU 18, une zone beige clair macroscopiquement opaque s'est avérée riche en cf. «*Sphaerotilus*» sp. dont les filaments sont étirés parallèlement pour la plupart, formant des écheveaux.

Contrairement aux autres occurrences, le cf. «*Sphaerotilus*» de Duilhac-sous-Peyrepertuse ne semble pas ramifié (Fig. 32). Parfois, la juxtaposition d'un trichome et d'une extrémité peut donner une (fausse) impression de ramification (à 90° dans l'exemple photographié) (Fig. 33) mais l'examen à plus fort grossissement – quand c'est possible – montre toujours qu'il s'agit de deux filaments indépendants.

La comparaison avec *Sphaerotilus natans* Kützing, 1833, la seule espèce actuelle du genre (HOLT ET AL. 2000) a été discutée par BRETON ET AL. (2013). Il s'agit certainement de deux taxons systématiquement et écologiquement distincts, l'un résinicole, l'autre dulcicole, ce qui justifie l'attribution systématique en nomenclature ouverte cf. «*Sphaerotilus*» sp. Il faut remarquer également que nos cf. «*Sphaerotilus*» sp. sont proches du taxon de Fourtou, voire identiques, mais sont vraisemblablement distincts de ceux de Fouras-Bois Vert et des Renardières d'une part et du Mas d'Azil d'autre part.

5.2 cf. *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER, 2005 (Fig. 34-36)

Quelques filaments dispersés dans l'ambre du morceau ROU 1-2 dont le trichome mesure 1,5 µm de diamètre montrent une ramification à 75° et des cellules courtes et irrégulières, mais la gaine est à peine visible (Fig. 34).

Dans la préparation ROU 3, des filaments de morphologie comparable, mais à cellules non visibles, sont moins bien conservés et mêlés à des filaments mycéliens. Les trichomes (ou leurs moules externes, voir SAINT MARTIN & SAINT MARTIN (2017), ont un diamètre d'environ 0,8 à 1 µm et se croisent en tous sens. Avec un réglage très fin de la frange noire du contraste interférentiel, on distingue parfois une gaine claire mal définie dont le diamètre est évalué à 3-3,5 µm. Les relations de cette population avec la surface de la

résine ne peuvent pas être établies.

Dans une esquille épaisse de la préparation ROU 11-1, les filaments montrent une croissance centripète : ils sont issus d'une zone foncée de l'ambre (surface) et se dirigent vers les zones claires (profondeur). Le diamètre de ces filaments est évalué à 1 µm et les ramifications, rares, sont à 60°. La gaine n'est pas visible (Fig. 35).

Dans la préparation ROU 11-2, des filaments à croissance centripète attribuables à *L. resinatus* sont mêlés à des champignons et à des *Micromonospora* ? sp., l'un et l'autre de diamètre plus grand. Dans la même préparation, on observe des trichomes sombres, à trajet rectiligne ou flexueux, ramifiés à 60 à 90°, mesurant 1 µm de diamètre et dont la gaine est visible localement (Fig. 36) ; elle mesure jusqu'à 8 µm de diamètre. Très claire, elle n'est mise en évidence qu'en contraste interférentiel et contient de gros corpuscules correspondant peut-être à des « structures rayonnantes poilues » mal conservées, telles que décrites par SAINT MARTIN & SAINT MARTIN (2017, particulièrement fig. 8E) plutôt qu'à des bulles (ibid. fig. 9B). Dans la même préparation, des filaments sont encroûtés de dépôts noirs possiblement ferrugineux.

## 6 Autres inclusions

### 6.1 Spores

De rares spores (?) montrent trop peu de caractères morphologiques qui pourraient conduire à une identification.

### 6.2 Bois (Fig. 37)

Un fragment de bois de conifère montre des trachéides à ponctuations aréolées, à section hexagonale de 35 µm de diamètre ; le diamètre des aréoles est de 20 à 24 µm (Fig. 37).

6.3 Pseudoprotistes (= « Protist-like inclusions » sensu GIRARD ET AL. 2011 ; = « Pseudoinclusions » sensu QUINNEY ET AL. 2015) (Fig. 38).

Peu fréquentes dans l'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse que nous avons examiné, ces inclusions sont de deux types : rondes ou légèrement ovales, de couleur brun sombre et homogènes ou bien ovoïdes, parfois étirées dans le flux de la résine et spumeuses (Fig. 38). Ces dernières sont parfois dégradées jusqu'à être à peine reconnaissables. L'origine de ces pseudo-protistes, omniprésents dans beaucoup d'ambres crétacés européens, reste hypothétique (GIRARD ET AL. 2011).

Remarque. Nous considérons comme maladroit – en anglais comme en français – le terme de « pseudoinclusion » utilisé par QUINNEY ET AL. (2015), probablement pour « pseudobioinclusion », car ces structures sont des inclusions à part entière dans la résine, et non pas des fausses inclusions.

### 6.4 Cristaux cubiques (Fig. 39)

Il s'en trouve dans quelques préparations, ROU 7 en particulier. Ils mesurent 5 à 25 µm d'arête et sont groupés. Ils sont opaques et l'examen en lumière réfléchie objective une teinte jaune laiton caractéristique de la pyrite.

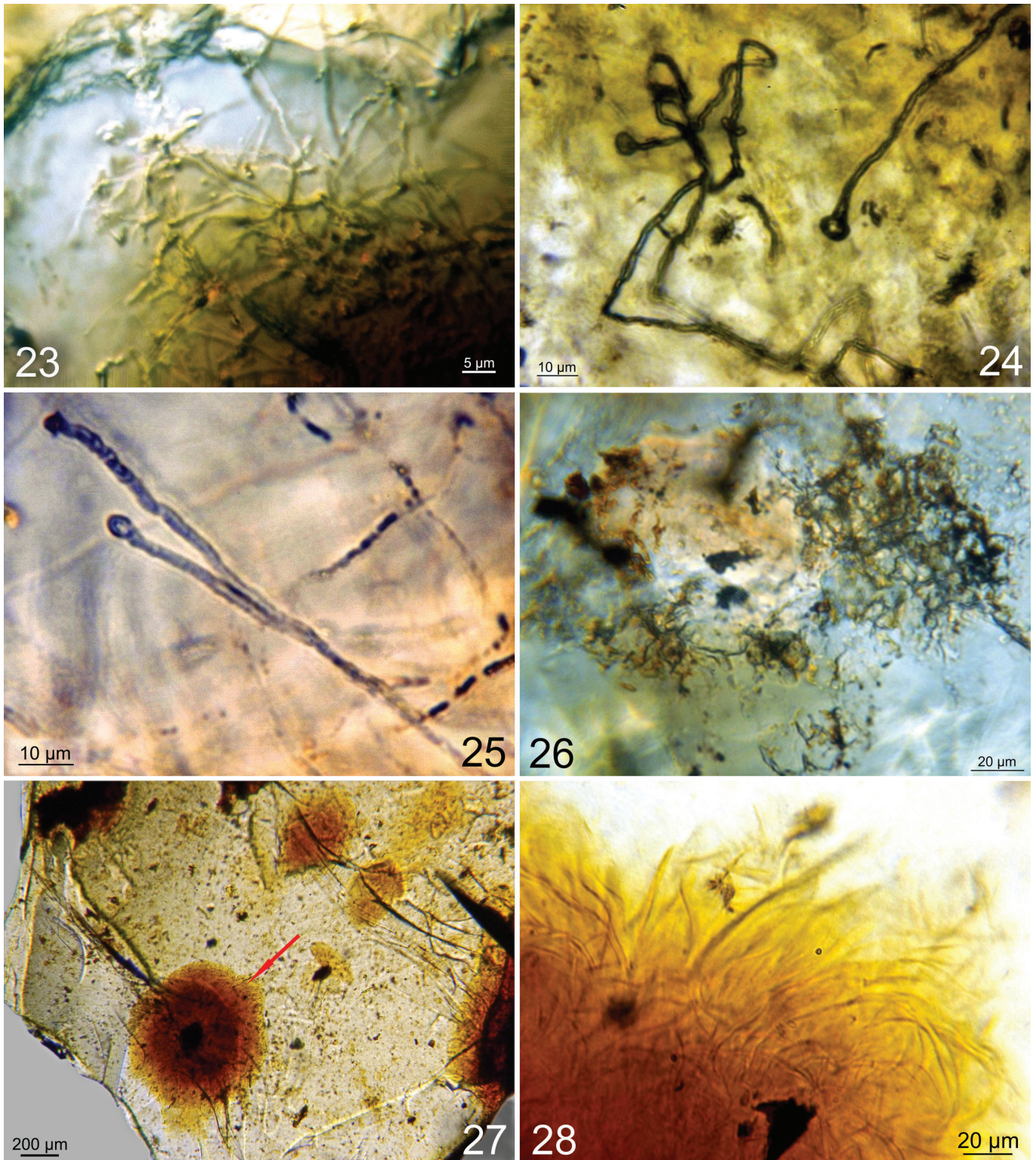


Fig. 23-28 : Ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse (Aude). Turonien supérieur. Collection Université de Montpellier UM DLC 01. **23** : Actinobactérie Gen. sp.  $\alpha$ . Filaments clairs, ramifiés et spores rondes libérées. Préparation ROU 8, CIFN, ZS. Barre d'échelle 5  $\mu\text{m}$ . **24-25** : Actinobactérie, groupe des Actinoplanetes : *Micromonospora* sp. ? **24** : Filaments et grosses spores apicales. Préparation ROU 1-2. FC, ZS. Echelle 10  $\mu\text{m}$ . **25** : Filaments et spores terminales appartenant probablement au même taxon que la photo précédente. Noter la ramification à angle aigu (déformation par étirement dans le flux de résine ?). Les autres filaments sont des *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005. Préparation ROU 11-2. CIFN, ZS. Echelle 10  $\mu\text{m}$ . **26** : Actinobactérie indéterminée. Préparation ROU 1-1. CIFN. Fig. 27-28 : Proteobactérie cf. « *Sphaerotilus* » sp. **27** : Vue d'ensemble d'une esquille d'ambre montrant une « boule » à cf. « *Sphaerotilus* » sp. centrée sur un débris végétal. La flèche rouge désigne la zone de cette « boule » qui est agrandie sur la photo suivante. Préparation ROU 4. Faible grandissement, FC. Echelle 200  $\mu\text{m}$ . **28** : Vue de détail du bord de la « boule ». Préparation ROU 4. FC. Echelle 20  $\mu\text{m}$ .

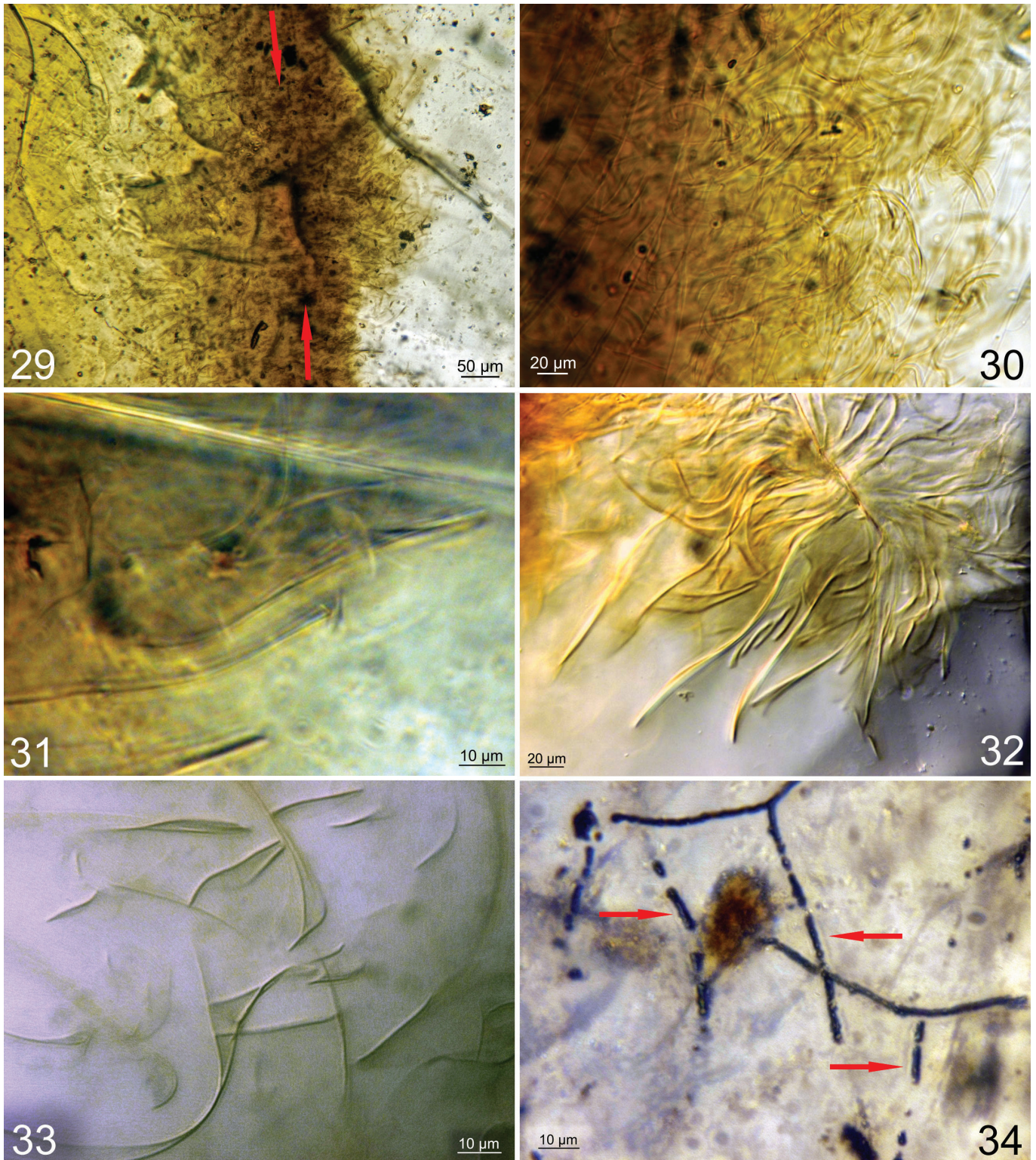
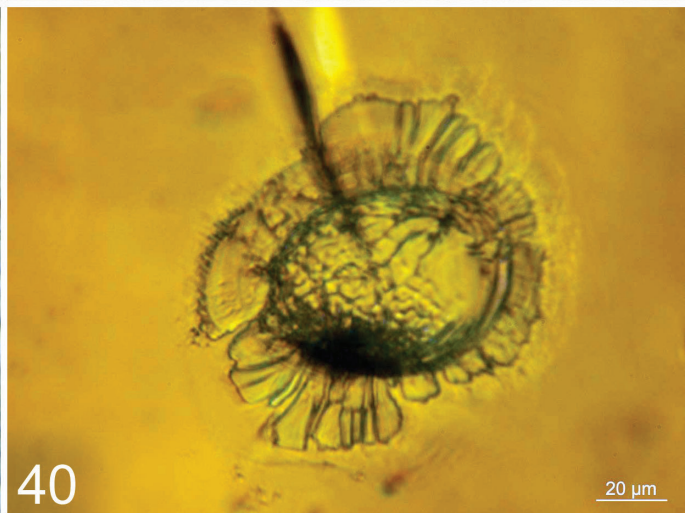
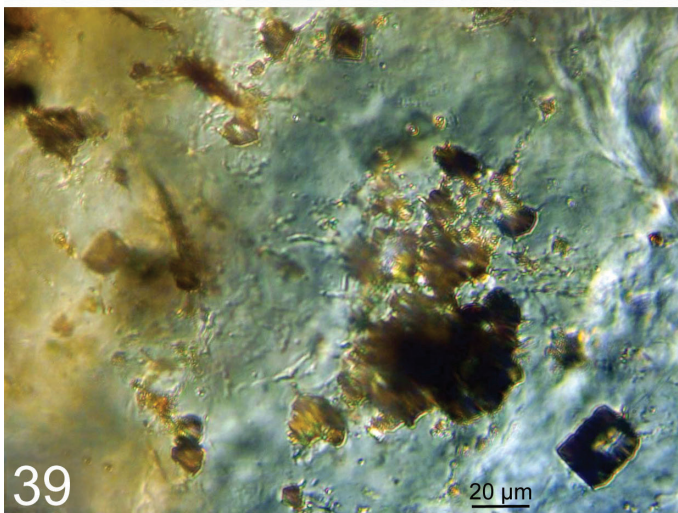
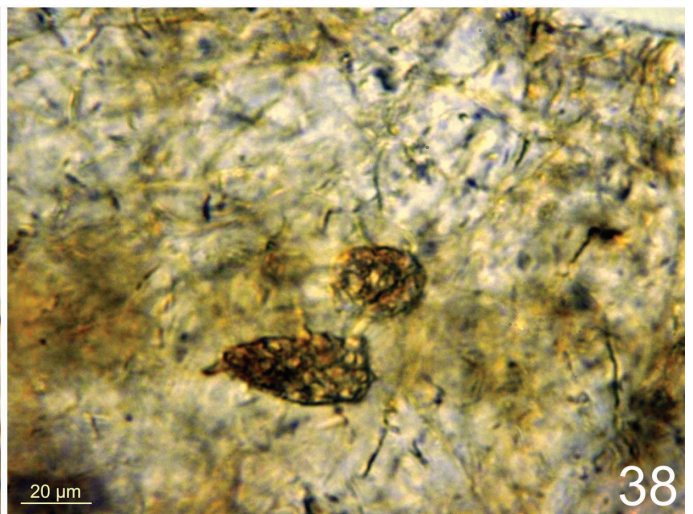
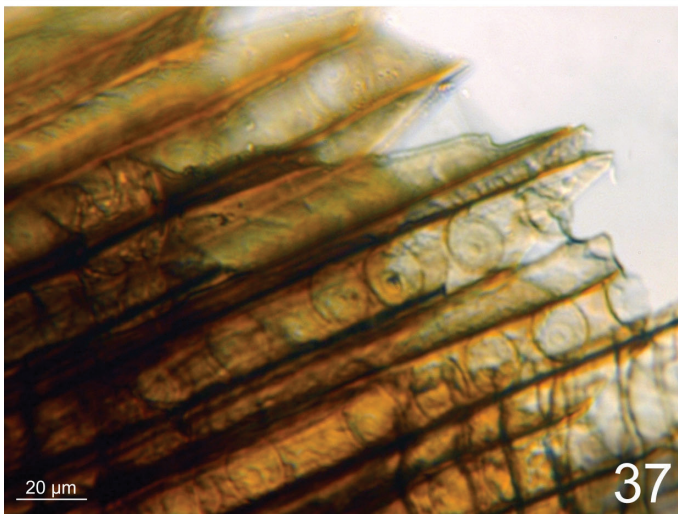
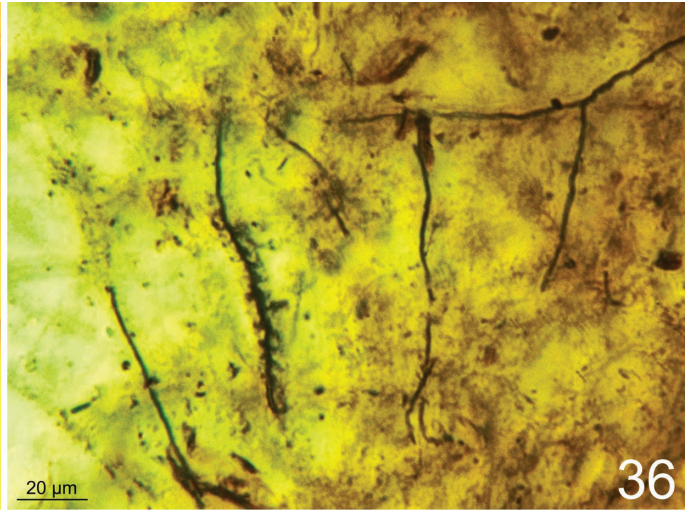
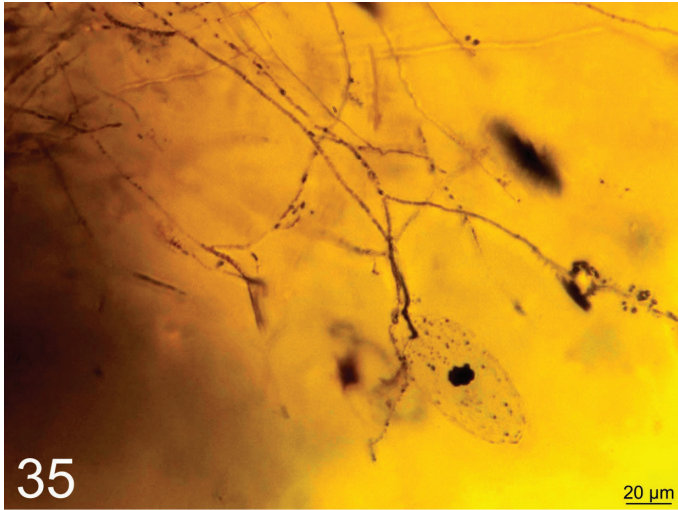


Fig. 29-34 : Ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse (Aude). Turonien supérieur. Collection Université de Montpellier UM DLC 01. Fig. 29-33 : Proteobactérie cf. « *Sphaerotilus* » sp. **29** : Filaments développés de part et d'autre d'un plan (surface de coulée de résine ?) balisé par les flèches rouges, à droite dans un ambre clair et à gauche dans un ambre jaune. Préparation ROU 5. FC, ZS. Barre d'échelle 50  $\mu\text{m}$ . **30** : Détail de la précédente : filaments dirigés vers l'ambre clair. Préparation ROU 5. FC. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **31** : Filaments avec gaine visible. Préparation ROU 6. Phase. Echelle 10  $\mu\text{m}$ . **32** : Gerbe de filaments non ramifiés. Préparation ROU 6. CIFN. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **33** : Juxtaposition de filaments conduisant à une apparence fallacieuse de ramifications, ici à 90°. Préparation ROU 14. CIFN, ZS. Echelle 10  $\mu\text{m}$ . **34** : Proteobactérie *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005. Cellules visibles, ramification à 75°, gaine à peine visible (flèches rouges). Préparation ROU 1-2. FC, ZS. Echelle 10  $\mu\text{m}$ .

Fig. 35-41 : Ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse (Aude). Turonien supérieur. Collection Université de Montpellier UM DLC 01. Fig. 35-36 : Proteobactérie *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005. **35** : Filaments pionniers issus de la surface (située en haut à gauche) et à croissance centripète, ramifications à 60°, gaines non visibles. Préparation ROU 11-1. Lumière polarisée analysée [cet ambre est biréfringent]. ZS. Noter un possible pseudoprotiste atypique (voir le paragraphe 6.3). Barre d'échelle 20  $\mu\text{m}$ . **36** : Filaments ramifiés avec gaine hyaline ou contenant des corpuscules noirs. Préparation ROU 11-2. CIFN, ZS. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **37** : Fragment de bois de conifère montrant des trachéides aréolées. Préparation ROU 5. CIFN. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **38** : Pseudoprotistes à contenu spumeux. Préparation ROU 9. CIFN. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **39** : Cristaux cubiques de pyrite. Préparation ROU 7. CIFN. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **40** : Pseudofossile. La collerette est un pseudofossile. Le corps central ellipsoïdal est peut-être un corps fossile. Préparation ROU 15. Contraste interférentiel. Echelle 20  $\mu\text{m}$ . **41** : Pseudofossile à structure hélicoïdale. Préparation ROU 11-2. CIFN. Echelle 20  $\mu\text{m}$ .



## 7 Pseudofossiles (Fig. 40, 41)

Comme dans la plupart des ambres que nous avons examinés, nous trouvons ici des pseudofossiles. Les pseudofossiles (HOFMAN 1971, HÄNTZSCHEL 1975) sont des structures trompeuses qui ressemblent à des fossiles mais qui ne sont pas d'origine biologique. Dans l'ambre, beaucoup représentent des craquelures autour d'un point de résistance mécanique différente (qui peut d'ailleurs être un vrai fossile !) ou bien résultant des contraintes subies par l'ambre lors de la préparation des esquilles. Ils peuvent avoir une forme ovoïde et mimer une spore ou une cellule, une forme torsadée (Fig. 41) ou encore une collerette développée autour d'un corps ellipsoïdal, pseudofossile ou vrai fossile lui-même (Fig. 40).

## Discussion

Les échantillons examinés d'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse n'ont pas fourni de macrorestes animaux ou végétaux. Par contre, à l'instar de la plupart des autres ambres crétacés européens, ils sont riches en microorganismes filamenteux (BRETON 2007, 2011, 2012 ; BRETON & TOSTAIN 2005 ; BRETON ET AL. 2013 ; GIRARD 2010 ; GIRARD ET AL. 2009a, 2009b, 2013a, 2013b ; MARTÍN-GONZÁLEZ ET AL. 2009 ; NÉRAUDEAU ET AL. 2016 ; SAINT MARTIN ET AL. 2012, 2013 ; SCHMIDT & SCHÄFER 2005 ; SPERANZA ET AL. 2015 ; WAGGONER 1994). Ces microorganismes filamenteux sont constitués de procaryotes et de champignons, résinicoles (fossilisés par colonisation de la résine fraîche) ou non (fossilisés par piégeage) ; il s'y ajoute un groupe de probables Chlorococcales.

Les bactéries filamenteuses à gaine cf. *Leptotrichites resinatus* sont peu abondantes, leur conservation est moins bonne que ce que l'on connaît dans d'autres ambres et ce sont au moins en partie des organismes à croissance centripète donc résinicoles.

Malgré l'incertitude sur leur position taxinomique exacte, les cf. « *Sphaerotilus* » sp. sont abondants, caractérisés sans équivoque malgré leur conservation médiocre. Ils sont soit résinicoles à croissance centripète depuis la surface de la résine, soit résinicoles mais avec une organisation originale : dans la résine claire éloignée de la surface, ils constituent des groupes sphériques dans lesquels les filaments ont une disposition globalement radiée à croissance centrifuge à partir d'un débris végétal.

Les actinobactéries sont variées et comprennent un taxon abondant, attribué sans certitude à un *Micromonospora* sp., possiblement résinicole et d'autres taxons, plus ou moins bien caractérisés, moins largement représentés.

Deux spécimens de possibles cyanobactéries, ainsi qu'un groupe de cellules assignées aux Chlorococcales, représentent des microorganismes très minoritaires dans l'ambre étudié.

Par contre, les champignons sont abondants et variés, comprenant au moins cinq morphotypes distincts dont une partie au moins est résinicole.

La discussion des microorganismes filamenteux procaryotes de l'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse nécessite de prendre en compte l'excellent article de SAINT MARTIN & SAINT MARTIN (2017). En s'appuyant sur des techniques d'observation variées (microscopie optique, confocale, microscopie électronique à balayage) auxquelles nous n'avons pas accès, ils concluent que les microorganismes filamenteux résinicoles à lumen mesurant 1 à 1,5 µm de diamètre dans une gaine de 4 à 10 µm de diamètre, dans les ambres crétacés, doivent être rapportés à un taxon unique, le premier nommé, la protéobactérie *Leptotrichites resinatus* Schmidt in SCHMIDT & SCHÄFER 2005. Nous regrettons que Saint Martin & Saint Martin n'aient pas dressé une liste de synonymie formelle qui aurait permis de bien cerner leur acception de ce taxon. En effet, nous considérons par exemple que *Paleocolteronema cenomanensis* Breton & Tostain, 2005, malgré sa ressemblance morphologique et dimensionnelle des filaments avec *Leptotrichites resinatus* est une espèce valide, attribuable aux cyanobactéries (= cyanoprocaryotes) sur la base morphologique d'hormogonies en forme de flammes (BRETON & TOSTAIN 2005) et sur la base biochimique de la production d'un signal de la phycocyanine (GIRARD ET AL. 2009b). Cette espèce est au moins présente dans l'ambre cénomaniens d'Ecommoy, le gisement-type, ambre que SAINT MARTIN & SAINT MARTIN (2017) ne semblent pas avoir pu examiner. La référence au genre actuel *Colteronema* pour la composition du nom de genre *Paleocolteronema*, référence contestée par Saint Martin & Saint Martin, est un acte nomenclatural et non pas un acte systématique qui n'implique aucune relation morphologique, écologique ou phylétique entre les deux genres.

*Leptotrichites resinatus* est présent dans l'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse et structure le cortex de quelques morceaux d'ambre mais il n'est pas le microorganisme filamenteux dominant. Les cf. « *Sphaerotilus* » sp., divers actinomycètes ainsi que les divers filaments mycéliens sont plus abondants.

C'est probablement avec l'ambre turonien de Sainte-Modane (NÉRAUDEAU ET AL. 2016) que l'ambre étudié ici présente le plus d'affinités, dans sa composition en microorganismes d'une part, mais aussi par la faible abondance des pseudo-protistes qui tranche sur la plupart des autres ambres crétacés français.

Si le morceau de bois à trachéides aréolées provient bien de l'arbre producteur, alors, la résine a été sécrétée par un gymnosperme comme la plupart des ambres crétacés français. Le milieu de sécrétion, qui a fourni les organismes fossilisés dans l'ambre, est donc continental, l'écorce de l'arbre producteur et possiblement le sol forestier (humide ? cf. les possibles Chlorococcales) au pied de cet arbre. Le milieu de dépôt est un marais fluvial, fortement anoxique, non loin d'un distribuaire fluvial (cf. la taille et le modelé

des galets). Les données sont cependant trop fragmentaires pour reconstituer le réseau trophique du biotope concerné comme il a pu être fait dans d'autres cas (ADL ET AL. 2011), ou encore de manière plus détaillée le paléoenvironnement (BRETON 2012) pour un ambre éocène.

## Conclusion

L'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse, par son contenu micropaléontologique, en particulier ses microorganismes filamenteux, est semblable aux autres ambres crétacés d'Europe occidentale dont il se distingue cependant par une répartition différente des taxons et par la faible abondance de pseudo-protistes. Contrairement à beaucoup d'autres ambres, il n'y a pas encore été trouvé de macrorestes. Si l'ambre de Duilhac-sous-Peyrepertuse n'a pas le « passé historique et patrimonial » de son proche voisin géographique l'ambre de Fourtou (pour paraphraser BRETON 2012), il en partage assurément l'avenir (paléontologique) prometteur.

## REMERCIEMENTS

G. B. remercie chaleureusement Jean-Philippe Rioult et Benoît Hérisson pour leur concours efficace dans la recherche de documentation.

## RÉFÉRENCES

- ADL, S. M., V. GIRARD, G. BRETON, M. LAK, A. MAHARNING, A. MILLS, V. PERRICHOT, M. TRIONNAIRE, R. VULLO & D. NÉRAUDEAU. 2011. - Reconstructing the soil food web of a 100 million-year-old forest: the case of the mid-Cretaceous fossils in the amber of Charentes (SW France). *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 726-735.
- ASTRE, G. 1938. - L'Ambre préhistorique dans le Sud-Ouest. *Bulletin de la Société Archéologique du Midi de la France*. 3<sup>e</sup> série, III: 109-118.
- BERGER, G.M., A. ALABOUVETTE, G. BESSIÈRE, M. BILOTTE, B. CROCHET, M. DUBAR, J.P. MARCHAL, Y. TAMBAREAU, J. VILLATTE & P. VIALARD. 1997. - Notice explicative de la feuille de Tuchan de la Carte géologique de la France à 1/50 000, 114 pp. *Bureau Recherches Géologiques et Minières*, Orléans (éd.).
- BILOTTE, M. 1985. - Le Crétacé supérieur des plates-formes est-pyrénéennes. *Strata*, S. 2, 5: 438 pp.
- BILOTTE, M. 2007. - Permanence, au Crétacé supérieur, de la position de la limite plate-forme/bassin dans la zone sous-pyrénéenne orientale (Aude, France). Implications géodynamiques. *Géologie de la France*, 1: 33-53.
- BRETON, G. 2007. - La bioaccumulation de micro-organismes dans l'ambre : analyse comparée d'un ambre céno-manien et d'un ambre sparnacien et de leurs tapis algaires et bactériens. *Comptes rendus Palevol*, 6: 125-133.
- BRETON, G. 2010. - Les Actinomycétales de l'ambre sparnacien des Corbières (Aude, France) : taphonomie et diversité. *Annales de la Société géologique du Nord*, 17 (2<sup>e</sup> sér.) : 3-22.
- BRETON, G. 2011. - L'ambre, un milieu de culture fossilisé [in Résumés des communications du Congrès 2011 de l'Association Paléontologique Française, Elbeuf, 19-21 mai 2011]. *Bulletin de la Société d'Etudes et des Sciences Naturelles d'Elbeuf*, 2<sup>e</sup> trim. 2011 : 28-29.
- BRETON, G. 2012. - L'ambre des Corbières (Aude – France). 96 pp, SESA, Carcassonne. [ISBN 978-2-9531120-3].
- BRETON, G., M. BILOTTE & G. EYCHENNE. 2013. - L'ambre campanien du Mas d'Azil (Ariège, France) : gisement, micro-inclusions, taphonomie. *Annales de Paléontologie*, 99 (2013) : 317-337.
- BRETON, G., C. GAUTHIER & D. VIZCAÍNO. 1999. - Land and freshwater microflora in a Sparnacian amber from the Corbières (South France): first observations. *Estudios del Museo de Ciencias naturales de Alava*, 14 (núm. espec. 2): 161-166.
- BRETON, G. & F. TOSTAIN. 2005. - Les micro-organismes de l'ambre céno-manien d'Ecommoy (Sarthe, France). *Comptes rendus Palevol*, 4 : 31-46.
- BUFFON, G. L. Leclerc de. 1783-1788. - Œuvres complètes, Minéraux ; Nouvelle édition par J.L. de Lanessan (tome troisième, Minéraux, 1819). Le Vasseur édit. Paris.
- GIRARD, V. 2010. - Microcénoses des ambres médio-crétacés français. Taphonomie, Systématiques, Paléoécologie et Reconstitution du paléoenvironnement. *Mémoires Géosciences Rennes*, 134 : 1-294.
- GIRARD, V., G. BRETON, V. PERRICHOT, M. BILOTTE, J. LE LOEUFF, A. NEL, M. PHILIPPE & F. THEVENARD. 2013a. - The Cenomanian amber of Fourtou (Aude, Southern France): taphonomy and palaeoecological implications. *Annales de Paléontologie*, 99: 301-315.
- GIRARD, V., D. NÉRAUDEAU, G. BRETON & N. MOREL. 2013b. - Palaeoecology of the Cenomanian amber forest of Sarthe (Western France). *Geologica Acta*, 11, 3: 321-330.
- GIRARD, V., D. NÉRAUDEAU, S.M. ADL & G. BRETON. 2011. - Protist-like inclusions in amber, as evidenced by Charentes amber. *European Journal of Protistology*, 47, 2: 59-66.
- GIRARD, V., D. NÉRAUDEAU, G. BRETON, S. SAINT MARTIN & J.-P. SAINT MARTIN. 2009a. - Contamination of amber samples by recent microorganisms and remediation evidenced by mid-Cretaceous amber of France. *Geomicrobiology Journal*, 26, 1: 21-30.
- GIRARD, V., A.R. SCHMIDT, S. STRUWE, V. PERRICHOT, G. BRETON & D. NÉRAUDEAU. 2009b. - Taphonomy and palaeoecology of mid-Cretaceous French amber-preserved microorganisms from South-western France. In : Néraudeau, D. & Perrichot, V., (eds), *Studies on middle Cretaceous deposits from southwestern France*. *Geodiversitas*, 31: 153-162.
- HÄNTZSCHEL, W. 1975. - Part W Miscellanea, supplement 1: Trace fossils and problematica, 269 pp. in Moore C., *Treatise on Invertebrate Paleontology*. The Geological Society of America, Boulder, Co and the University of Kansas, Boulder, Co.
- HOFMANN, H. J. 1971. - Precambrian fossils, pseudofossils and problematica in Canada. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 189: 146 pp.
- HOLT, J. G., N.R. KRIEG, P.H.A. SNEATH, J.T. STANLEY & S.T. WILLIAM. 2000. - Bergey's manual of determinative bacteriology. Ninth edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, U.S.A.: xviii + 787 pp.
- KALGUTKAR, R. M. & J. JANSONIUS. 2000. - Synopsis of the fungal spores, mycelia and fructifications. *AASP Contributions series*, 39: 423 pp.
- KENNEDY, W.J., M. BILOTTE & P. MELCHIOR. 2015. - Turonian ammonite faunas from the southern Corbières, Aude; France. *Acta geologica Polonica*, 65, 4: 437-494.
- LECHEVALIER, M.P. 1989. - Actinomycetes with multilocular sporangia, 2405 – 2417 in Holt, J. G. (ed.), *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Volume 4. Williams & Wilkins, Baltimore, U.S.A.
- MARTÍN-GONZÁLES, A., J. WIERZCHOS, J.C. GUTIÉRREZ, J. ALONSO & C. ASCASO. 2009. - Morphological stasis of protists in Lower Cretaceous amber. *Protist*, 159: 251-257.
- MELCHIOR, P., M. BILOTTE & W.J. KENNEDY. 2017. - *Coilopoceras inflatum* Cobban and Hook, 1980, a United States Western Interior ammonite from the Upper Turonian of the southern Corbières, Aude, France. *Acta geologica Polonica*, 67, 1: 121-134.

- NÉRAUDEAU, D., S. SAINT MARTIN, D.J. BATTEN, J.-P. COLIN, V. DAVIERO-GOMEZ, V. GIRARD, B. GOMEZ, Y.A. NOHRA, F. POLETTE, J.-P. PLATE, J.-P. SAINT-MARTIN & R. VULLO. 2016. - Palaeontology of the Upper Turonian paralic deposits of the Saint-Mondane Formation, Aquitaine Basin, France. *Geologica Acta*, 14, 1: 53-69.
- QUINNEY, A., C. MAYS, J. D. STILWELL, F. THERRIEN & D. K. ZELENITSKY. 2015. - The range of bioinclusions and pseudoinclusions preserved in a new Turonian (~ 90 Ma) amber occurrence from Southern Australia. *PLoS ONE*, 10, 5. doi: 10.1371/journal.pone.0121307.
- SAINT MARTIN, J.-P. & S. SAINT MARTIN. 2017. - Exquisite preservation of a widespread filamentous organism in French Cretaceous ambers: Crucial for revising a controversial fossil. *Comptes Rendus Palevol*, doi: 10.2016/j.crpv.2017.05.003.
- SAINT MARTIN, S., J.-P. SAINT MARTIN, V. GIRARD, D. GROSHENY & D. NÉRAUDEAU. 2012. - Filamentous micro-organisms in Upper Cretaceous amber (Martigues, France). *Cretaceous Research*, 35: 217-229.
- SAINT MARTIN, S., J.-P. SAINT MARTIN, V. GIRARD & D. NÉRAUDEAU. 2013. - Organismes filamenteux de l'ambre du Santonien de Belcodène (Bouches-du-Rhône, France). *Annales de Paléontologie*, 99 : 339-360.
- SCHMIDT, A. R. & U. SCHÄFER. 2005. - *Leptotrichites resinatus* new genus and species: a fossil sheathed bacterium in alpine Cretaceous amber. *Journal of Paleontology*, 79: 175-184.
- SPERANZA, M., C. ASCASO, X. DELCLÒS & E. PEÑALVER. 2015. - Cretaceous mycelia preserving fungal polysaccharides: taphonomic and paleoecological potential of microorganisms preserved in fossil resins. *Geologica Acta*, 13, 4: 363-385.
- STACKEBRANDT, E., F. A. RAINEY & N. L. WARD-RAINEY. 1997. - Proposal for a new hierarchic classification system, Actinobacteria, classis nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 47, 2: 479 – 491.
- VOBIS, G. 1989. - Section 28 Actinoplanetes in Holt, J.G. (ed.) *Bergey's manual ® of Systematic Bacteriology*, vol. 4, Williams & Wilkins, Baltimore, Hong Kong, London, Sydney: 2418-2450.
- WAGGONER, B.M. 1993. - Fossil Actinomycetes and other Bacteria in Eocene amber from Washington State, U.S.A. *Tertiary Research*, 14, 4: 155-160.
- WAGGONER, B.M. 1994. - An aquatic microassemblage from Cenomanian amber of France. *Lethaia*, 27: 77-84.