

**Traces de volcanisme explosif dans le Campanien pyrénéen
aux alentours du stratotype de limite Campanien-Maastrichtien
à Tercis (SO France, N Espagne).
Repérage biostratigraphique avec une étude particulière
du foraminifère *Radotruncana calcarata***

Gilles Serge ODIN ¹

Résumé : Les traces d'un événement volcanique explosif ont été recherchées dans des affleurements campaniens de faciès plate-forme et de faciès flysch dans le domaine ouest-pyrénéen : Sud-Ouest de la France et Nord de l'Espagne. Le repérage stratigraphique de cet événement a nécessité une étude micropaléontologique préalable qui a été productive dans cinq sections principales illustrées ici : Tercis, Peyrata, Rébénacq, Lasseube, Zumaya ainsi que dans trois autres affleurements situés près d'Orthez, de Pau, et en Navarre espagnole. La dissociation acétolytique des carbonates indurés du faciès de plate-forme (Tercis, Peyrata, Navarre espagnole) a permis de compléter les connaissances antérieures acquises notamment sur les niveaux de marnes du stratotype de la limite Campanien-Maastrichtien de Tercis. Dans ce dernier site, des spécimens dégagés de marqueurs biostratigraphiques ont été obtenus pour la première fois. La rareté du foraminifère *Radotruncana calcarata* n'est pas propre à l'espèce mais à la rareté générale des tests de foraminifères planctoniques dans le faciès de plate-forme du Bassin Aturien. La variété des microproblematica est confirmée avec l'illustration de 2 nouvelles formes, l'une informellement nommée "microsphère ananas" et l'autre *Velafer ovatus* nov. gen., nov. sp. ; à Tercis, près de 70 espèces sont actuellement distinguées dont 1 seule était décrite avant nos travaux. Ces microproblematica permettent un repérage temporel relatif aussi précis que celui dérivé des foraminifères planctoniques. Les traces majeures d'un épisode volcanique éruptif connues à Tercis sont situées dans la zone d'existence de *Rd. calcarata*, immédiatement au-dessus de la disparition de *Tubellus hunzikeri*, de l'apparition de *Lucernellus aubouini* et de celle de *Aquilegiella varia*, trois microproblematica de distribution restreinte dans la série de Tercis. Les mêmes observations ont été faites dans la section voisine de Peyrata. Les sections du faciès flysch ont livré sans difficulté le foraminifère *Rd. calcarata* mais les microproblematica sont absents. La durée d'existence du marqueur *Rd. calcarata* est évaluée à $0,80 \pm 0,05$ Ma.

Toutes les sections atteignant la limite Campanien-Maastrichtien ont livré des *Contusotruncana* (foraminifère) dont les caractéristiques sont celles des spécimens rapprochés de ou attribués à *C. contusa* à Tercis ; ce taxon, différent, de la forme-type, est illustré de nouveau afin de permettre des comparaisons en milieu océanique. Ces nouvelles études renforcent le bien-fondé du choix de la Grande Carrière à Tercis comme stratotype de limite en précisant la chronologie des événements campaniens et son potentiel de corrélation régional et mondial grâce à la diversité de son enregistrement biologique qui témoigne de l'ampleur de la biodiversité au Crétacé supérieur.

La caractérisation de l'épisode volcanique a été complétée à Tercis par la découverte de sphérules siliceuses légèrement calco-sodiques, avec des traces de magnésium, aluminium et potassium. Dans le stratotype et les sections voisines, l'activité volcanique a été décelée, en outre, par la présence de kaolinite dans la fraction argileuse et de cristaux de minéraux pyroclastiques : sanidine, biotite, zircon, apatite. Dans les niveaux contemporains du bassin du flysch, l'épisode volcanique est plus difficilement caractérisé par la présence de paillettes de biotite de faciès pyroclastique et de cristaux de zircon automorphes ainsi que, plus rarement, d'apatite automorphe. L'interprétation de ces observations nouvelles pose problème : soit les Pyrénées ont été le siège d'une activité volcanique explosive semblable à celle provoquée par un phénomène de subduction, soit les éléments pyroclastiques ont été apportés par voie aérienne d'une distance de plusieurs milliers de km.

Mots-Clefs : Micropaléontologie ; volcanisme alcalin ; Campanien-Maastrichtien ; stratotype ; foraminifères ; Tercis ; Pyrénées.

Citation: ODIN G.S. (2010).- Traces de volcanisme explosif dans le Campanien pyrénéen aux alentours du stratotype de limite Campanien-Maastrichtien à Tercis (SO France, N Espagne). Repérage biostratigraphique avec une étude particulière du foraminifère *Radotruncana calcarata*.- [Carnets de Géologie / Notebooks on Geology](#), Brest, Article 2010/02 (CG2010_A02)

Abstract: *Traces of explosive volcanism in the Pyrenean Campanian around the Campanian-Maastrichtian boundary type section at Tercis (SW France, N Spain). Biostratigraphy with emphasis on the foraminifer Radotruncana calcarata.*- Pyroclastic material including idiomorphic crystals of sanidine, biotite, and apatite, first identified in the type section at Tercis are contemporaneous with the *Radotruncana calcarata* (planktonic foraminifer) total range zone. A search was under-

¹ Unité de géochronologie et sédimentologie océanique, Université Pierre-et-Marie Curie, 4, place Jussieu, case 119, 75252, Paris cedex 05 (France)
gilles.odin@upmc.fr
Manuscrit en ligne depuis le 31 Mai 2010

taken to define the palaeogeographical extent and to determine the importance of these remains of a previously unknown Campanian regional alkaline volcanic episode. A preliminary biostratigraphical search was carried out in the Tercis area and in the western Pyrenees followed by detailed micropalaeontological studies in southwestern France and northern Spain. The findings from five upper Campanian platform and flysch facies are reported in detail and deductions from three others are summarized. First, The microfaunal count of the boundary stratotype at Tercis has been increased by the use of acetolytic techniques to disaggregate indurated carbonates. So isolated tests of some key biostratigraphic markers are documented for the first time. The paucity in specimens of *Radotruncana calcarata* previously seen in thin sections from the type outcrop is not due to a scarcity of this particular taxon but to a general dearth of globotruncanids in the platform facies deposits of the Aturian Basin. The study shows that acetolysis multiplies the power of investigation of indurated limestones. Thus, the abundance and diversity of microproblematica discovered and studied in the stratotype section since 2006 has been confirmed and two new forms of *incertae sedis* are reported, one of which is called here *Velafer ovatus*. Today, 70 species of microproblematica are recognized at Tercis. These microproblematica allow a chronologic calibration of the deposits like or even more precise than those obtainable using ammonites or planktonic foraminifers. Sections sampled in the western Pyrenean flysch facies include the stratigraphic interval comprising the total range zone of *Rd. calcarata* for which we suggest here a duration of 0.80 ± 0.05 Ma. No microproblematica were found in these deep detrital facies.

All sections reaching the Campanian-Maastrichtian boundary contain a *Contusotruncana* (foraminifer) of which the morphology, illustrated anew from 3 discrete sections, is consistent with that of the specimens identified at this level in the Tercis type-section; they were called *C. contusa* or *C. contusa?*/*C. patelliformis?* These micropalaeontological studies substantiate the choice of Tercis as the best section in the world for location of the stratotype of the Campanian-Maastrichtian stage boundary; they show again its striking regional and global correlative power thanks to the unique diversity of its biological record of the late Cretaceous. In addition, it justifies the choice of a boundary level selected using the near-coincidence of a variety of key events bracketting a guide-event; 12 were clustered around the mid-level 115.2 of the type section where the GSSP of the Campanian-Maastrichtian boundary has been recognized internationally. Consequently, the selected level does not depend on a unique "magic marker" with its inherent uncertainty caused by difficulty in identification and scarcity locally and in other localities and environments. This may well be the case for the guide-ammonite *Pachydiscus neubergicus* as commonly used as a marker of the Campanian-Maastrichtian boundary.

The biostratigraphical study precisely locates the pyroclastic material observed at Tercis as within the range of *Rd. calcarata*, immediately above the last occurrence of *Tubellus hunzikeri*, the first occurrences of *Lucernellus aubouini* and *Aquilegiella varia*, 3 microproblematica of which the distribution is well documented at Tercis. Previously reported evidences of volcanism at Tercis: the presence of kaolinite in the clay size fraction and of microcrystals of sanidine, biotite, zircon, apatite are supplemented here by the discovery of slightly calcic and sodic siliceous spherules with traces of magnesium, aluminum and potassium. Kaolinite and sanidine have also been found in contemporaneous levels at Peyrata, in the vicinity of the type section. Farther away in the flysch facies, the contemporaneous deposits contain pyroclastic biotite mica flakes, idiomorphic zircon crystals and, more rarely, apatite crystals of which the morphology is consistent with a volcanic origin. The presence of traces of a volcanic episode in Campanian levels representing about 1 Ma of deposition are thus confirmed but in the Pyrenees no information is available concerning the site of its origin. In fact, the explanations for the presence of the pyroclastic material involves two possibilities: either there was Campanian alkaline volcanic activity in the Pyrenees similar to that associated with subduction (which has not been identified and is not consistent with the accepted geodynamical model of the area) or the pyroclastic material comes from North America, distant some 5000 km. Such long distance transport would involve an west-east eolian conveyance of mm sized volcanic elements for 1 Ma (a hypothesis to our knowledge undocumented).

Key Words: Micropalaeontology; volcanism; Campanian-Maastrichtian; stratotype; foraminifers; Tercis; Pyrenees.

Resumen : Huellas de volcanismo explosivo en los alrededores del estratotipo del límite Campaniense-Maastrichtiense de Tercis (SO Francia - N España) ; bioestratigrafía con un estudio particular del foraminífero *Radotruncana calcarata*.- En primer lugar, se presentan los resultados del estudio micropaleontológico de cortes en facies de plataforma y flysch del Campaniense en el SO de Francia y en el N de España. La disgregación de las calizas con el ácido acético concentrado (acetólisis) ha permitido completar significativamente el estudio anterior de los niveles margosos en el estratotipo del límite Campaniense-Maastrichtiense de Tercis (Landes). Especímenes liberados de marcadores bioestratigráficos claves fueron obtenidos por vez primera en este estratotipo. La escasez del foraminífero *Radotruncana calcarata* no es específica, sino que se debe a la poca abundancia que en general tienen los globotruncanidos en la Depresión Aturiana. La abundancia y diversidad de los microproblemática está confirmada con la descripción de 2 nuevos morfotipos, para un total de 70 especies actualmente conocidos. Los microproblemática permiten una calibración temporal relativa precisa, gracias a que muchas especies presentan una corta duración estratigráfica. Los perfiles que presentan facies flysch no contienen microproblemática pero contienen *Rd. calcarata*, liberada de las margas mediante la técnica de levigado.

Los perfiles muestran también la aparición de un foraminífero planctónico atribuido a *Contusotruncana contusa* o a *C. contusa?*/*C. patelliformis?* (foraminífero) en niveles correlacionables con el límite Campaniense-Maastrichtiense en Tercis. Estos resultados refuerzan el interés de la selección de Tercis

como estratotipo de límite, ya que muestra una vez más su gran potencial de correlación regional y mundial, debido a la gran riqueza específica que presenta, la cual es un reflejo de la gran biodiversidad existente durante el Cretácico superior.

Con esta caracterización micropaleontológica se ha podido localizar fácilmente el material de un episodio volcánico explosivo conocido en la zona de extensión total de *Rd. calcarata* de Tercis inmediatamente encima de la desaparición de *Tubellus hunzikeri* y de las apariciones de *Lucernellus aubouini* y *Aquilegiella varia*, tres microproblemática de distribución bien conocida en Tercis. Todavía en Tercis, la caracterización del episodio está completada en este trabajo por el descubrimiento de esférulas silíceas ligeramente calco-sódicas, con trazas de magnesio, aluminio y potasio. La actividad volcánica se traduce además por la presencia de caolinita en la fracción arcillosa y de cristales de minerales piroclásticos de sanidina, biotite, circón, apatito. En los perfiles que presentan facies flysch, la búsqueda del episodio volcánico en la biozona a *Rd. calcarata* ha permitido la identificación de minerales de origen volcánico de misma edad que los del corte estratotípico. La interpretación de este episodio volcánico es muy difícil porque no hay volcanismo similar y contemporáneo conocido en los Pirineos.

Palabras Claves: Micropaleontología; volcanismo; Campaniense-Maastrichtiense; estratotipo; foraminíferos; Tercis; Pirineos.

1. Cadre de l'étude

La definición moderna des étages du Crétacé terminal utilise, comme limite entre le Campanien et le Maastrichtien, le point stratotypique mondial établi à Tercis, près de Dax en Aquitaine (ODIN & LAMAURELLE, 2001). La succession choisie a livré la variété de marqueurs biostratigraphiques la plus diversifiée connue au monde à ce jour pour cette limite mais probablement aussi parmi tous les stratotypes de limite définis dans les temps modernes avec, aujourd'hui, 8 groupes fossiles marqueurs de temps utiles aux corrélations : nanofossiles calcaires, kystes de dinoflagellés, foraminifères benthiques, foraminifères planctoniques, giliannes (et autres microproblematica), ossicules d'astérides, inocérames, ammonites. La plupart de ces groupes avaient été étudiés pour qualifier le stratotype (ODIN, 2001). Profitant de cette variété exceptionnelle, un principe de choix original du niveau conventionnel de la

limite a été élaboré : la combinaison des positions stratigraphiques de douze événements autour d'un événement guide choisi au préalable (ODIN, 2001, p. 827). L'événement guide recommandé était l'apparition de l'ammonite *Pachydiscus neubergicus* (von HAUER). Dans le présent travail, les termes apparition et disparition s'entendent généralement au sens d'observation locale et non comme événement global théorique et, bien évidemment, au moment de la publication du travail. La cote moyenne de ces douze événements biostratigraphiques est la cote 115,2 (ODIN, 2001, p. 827). Elle tient compte, en particulier, de l'apparition locale des foraminifères planctoniques *Contusotruncana contusa* et *Rugoglobigerina scotti*, et de celle de l'ammonite *Diplomoceras cylindraceum* qui seront cités dans ce travail. C'est à cette cote 115,2 sur le palier IV qu'a été marqué le Point Stratotypique Mondial qui définit la limite Campanien-Maastrichtien depuis 2001.

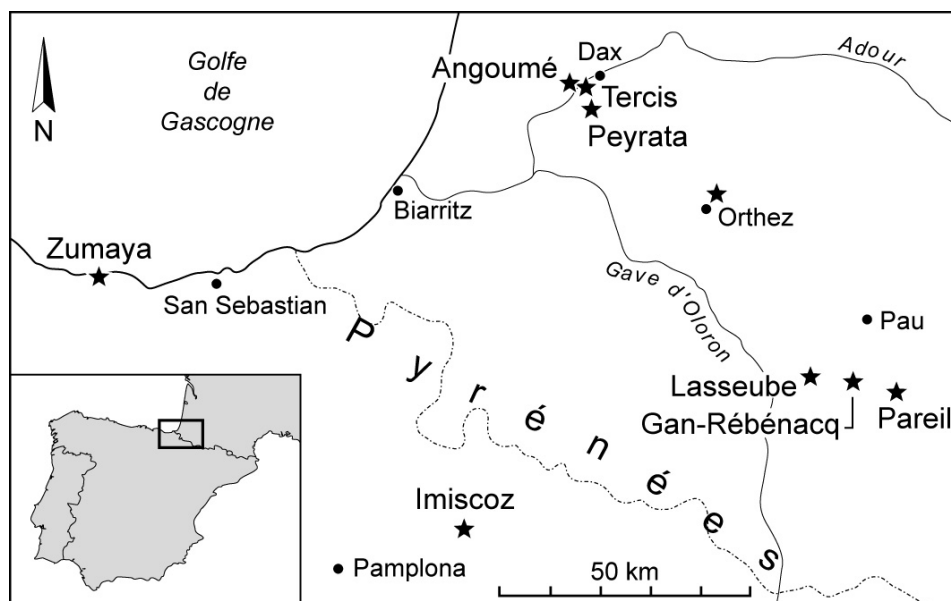


Figure 1: Localisation géographique des affleurements du Campanien-Maastrichtien cités dans ce travail (étoiles).

Figure 1: Location of the Campanian-Maastrichtian outcrops cited in this work (stars).

Il n'est pas inutile de rappeler ici que ce choix d'un niveau dépendant d'un ensemble de 12 critères stratigraphiques a été dicté par plusieurs circonstances générales et particulières. Au plan général, le meilleur moyen d'appliquer le principe de désignation d'une limite comme un point particulier dans une section (principe édicté par la Commission de Stratigraphie avec le concept de Point Stratotypique Mondial, désigné en anglais par le sigle GSSP) est de rendre le choix du point peu dépendant d'un événement qui pourrait se révéler local et singulier. De même, pour faire en sorte que la corrélation de ce point vers d'autres sections soit aisée, la prise en compte de diverses possibilités de comparaison est la meilleure approche ; ceci encourage à envisager la localisation d'un niveau qui dépendra de plusieurs critères. Quant aux circonstances particulières, la section de Tercis était et reste probablement le témoignage géologique le plus riche en groupes fossiles marqueurs de temps au monde pour une limite d'étage. Il était tentant de profiter de cette richesse par la prise en compte de tous les groupes fossiles disponibles qui au niveau d'une accélération apparente de l'évolution sera aisé à déterminer mondialement. Enfin, autre circonstance particulière et pas la moindre, il était capital que le choix du niveau limite ne dépende pas trop précisément d'un seul critère non nécessairement précis. Or il est clair que, même dans la section de Tercis riche en ammonites, le signal présence de *P. neubergicus*, l'ammonite guide, n'est pas une observation précise étant donné le faible nombre (4 spécimens en place) de spécimens récoltés durant l'étude de qualification et ceci sans même envisager les éventuelles divergences d'opinion sur sa détermination. Le critère a cependant été retenu comme significatif car 3 des 4 spécimens provenaient de niveaux situés à moins de 2 m au-dessus de la limite tandis que 5 spécimens étaient récoltés dans les déblais des explosions d'aménagement ayant détruit des couches du même intervalle.

On retiendra que cette apparition particulière est un événement un guide, que la limite ne lui est pas rigoureusement attachée dès lors que la convention a été admise, que cette convention dépend clairement de la connaissance au moment de la décision et enfin que, dès son acceptation, elle devient formellement indépendante des critères utilisés pour l'établir au lieu de définition. D'éventuelles opinions divergentes sur l'un ou l'autre critère retenu ne sont pas susceptibles de modifier la décision qui est affaire de convention. C'est sur la façon dont l'un ou l'autre auteur est appelé à appliquer la convention qui est affaire de connaissance et de libre arbitre que les éventuelles opinions divergentes peuvent influencer. Pour nous, la définition de la limite Campanien-Maastrichtien établie en 2001 a répondu de façon plus élaborée qu'il n'est usuel au vœu de la Commission de Stratigraphie qui recommande la désignation d'un point conventionnel stable établi dans une section et non d'un événement particulier qui est une connaissance susceptible d'évolution.

En outre, concernant la sûreté de l'information recueillie lors des études entreprises pour qualifier la section de Tercis, il importe de rappeler que, pour les ammonites notamment, elles étaient singulièrement appuyées par des travaux précédents. Ainsi, HANCOCK & KENNEDY (1993) citent 5 spécimens de *P. neubergicus* récoltés par eux-mêmes dans la carrière dont 3 en place. Ils provenaient de leur unité N3. La description lithologique (HANCOCK *et alii*, 1993) situe la base de cette unité peu épaisse (3,9 m), soit immédiatement sous les calcaires à silex foncé vers notre cote 129 (Fig. 3), soit vers notre cote 120 (il est difficile de retrouver les repères visibles avant l'arrêt d'exploitation qui fut très active entre 1982 et 1997, cf. ODIN, 2001*, fig. 11, p. 106). Par ailleurs, *Nostoceras hyatti* est citée par HANCOCK & KENNEDY (1993) jusque dans leur unité L dont le sommet se situerait vers notre cote 114 (Fig. 3). Indépendamment, WARD & ORR (1997) qui utilisèrent notre système de cotes ont récolté "several *P. neubergicus* from approximately 120-125 m to ... about 150 m". Ces mêmes auteurs citent *N. hyatti* depuis la cote 90 jusque vers notre cote 115 (WARD & ORR, 1997, Fig. 4, pointillés). Ces observations sont parfaitement compatibles quant à la distribution de 2 des 3 ammonites utilisées parmi les 12 critères utilisés pour fixer la limite. Quant au 3ème critère ammonite : l'apparition de *D. cylindraceum*, elle n'a pas été récoltée à Tercis même par les auteurs précédents mais, un peu plus au sud, elle apparaîtrait généralement un peu après *P. neubergicus* dans les diverses sections du Golfe de Gascogne notamment entre Zumaya et Deba. WARD (1990, Fig. 5) et WARD & KENNEDY (1993, Fig. 5) signalent l'apparition de *D. cylindraceum* 20 m plus haut dans ce faciès flysch (soit environ 0,15 Ma). Une distribution relative comparable est rapportée dans une synthèse sur les craies de l'Europe du Nord (WARD, 1990, Fig. 4) avec *D. cylindraceum* présent de façon plus assurée vers la toute base du Maastrichtien avec une apparition précédant peut-être légèrement celle de *P. neubergicus*. À Tercis, le Groupe de Travail a observé le même ordre de succession avec un écart entre les apparitions de quelques mètres.

En bref, toutes les études publiées sur la distribution des ammonites à Tercis sont cohérentes et suggèrent que l'on a assez bien repéré les apparitions ou disparitions locales des 3 espèces marqueurs dont l'ensemble forme un indicateur de temps assuré parmi les autres critères de corrélation présents dans la série.

La richesse biologique unique de la plate-forme sud-aquitaine au Crétacé supérieur n'a pu être exploitée que par l'opiniâtreté de l'investigation car tous les groupes ne se sont pas livrés aisément. Pour améliorer encore les connaissances après l'acceptation de la définition, des techniques de dissociation par acétolyse ont été appliquées aux niveaux indurés. De nouvelles informations ont été obtenues dont une partie est rapportée dans ce travail à l'occasion d'une étude dont l'objet est la caractérisation régionale d'un épisode volcanique explosif. Celui-ci fut initialement décelé à Tercis (ODIN, 2001*, p. 103-105 ; KIENAST *et alii*, 2001) mais son étrangeté dans un contexte régional où aucune activité volcanique de ce type n'était connue, a encouragé à compléter les investigations. Pour ce faire, une dizaine d'affleurements français ou espagnols (Fig. 1) ont été visités dont huit furent soumis à une étude micropaléontologique afin de repérer les niveaux susceptibles de livrer des traces de l'épisode volcanique ; une étude sédimentologique destinée à rechercher ces traces a suivi ce repérage.

L'exposé est scindé en deux grandes parties présentant d'une part l'information paléontologique, d'autre part l'information sur les traces d'activité volcanique. Les résultats biostratigraphiques sont exposés successivement pour les diverses sections de plate-forme puis du bassin du flysch ; ils concernent notamment les micro-

problematica ou le foraminifère *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN, 1927) dont la présence est contemporaine de l'épisode volcanique repéré à Tercis. On s'intéressera aussi à quelques marqueurs-clés de la limite Campanien-Maastrichtien en particulier à ce qui a été nommé *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN, 1926) par ARZ & MOLINA (2001, p. 345) et ION & ODIN (2001, Pl. 6, vue 144) afin de préciser la nature de ce marqueur. La caractérisation biostratigraphique des affleurements étudiés ou ré-étudiés a permis de localiser les couches étudiées dans le temps relatif (Fig. 2). Une fois ce repérage biostratigraphique décrit, on donnera les résultats obtenus sur la recherche des traceurs des phénomènes volcaniques, successivement dans les dépôts du domaine de plate-forme puis dans le bassin du flysch de la partie occidentale des Pyrénées. Après une discussion sur les résultats obtenus, le travail sera complété par la description de 2 formes de microfossiles *incertae sedis* nouvelles observées à Tercis puis par des notes sur les affleurements visités.

2. Série de la section stratotypique

Cette partie concerne le cadre et la biostratigraphie de la série de la Grande Carrière à Tercis où le point stratotypique de la limite Campanien-Maastrichtien a été défini à la suite de multiples études dans un faciès de plate-forme. Des compléments relatifs à la microfaune sont présentés ici.

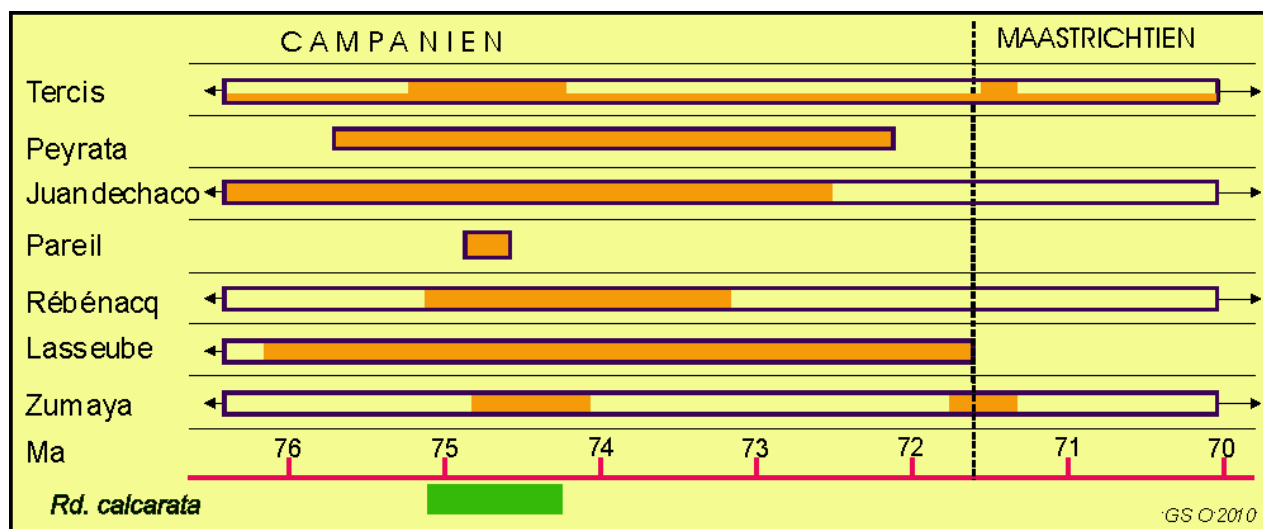


Figure 2 : Localisation temporelle des principaux affleurements étudiés ou ré-étudiés pour ce travail. Échelle relative d'après ODIN & AMOROSI (2001, p. 129) recalée d'après les corrélations Europe-Amérique par les inocérames (ODIN & WALASZCYK, 2003) et de nouveau adaptée ici.

Figure 2: Length of time (orange) occupied by the main outcrops studied in this paper. The time scale (bottom) is after ODIN & AMOROSI (2001, p. 129) recalibrated to accord with the Europe-America correlation established with inoceramids (ODIN & WALASZCYK, 2003).

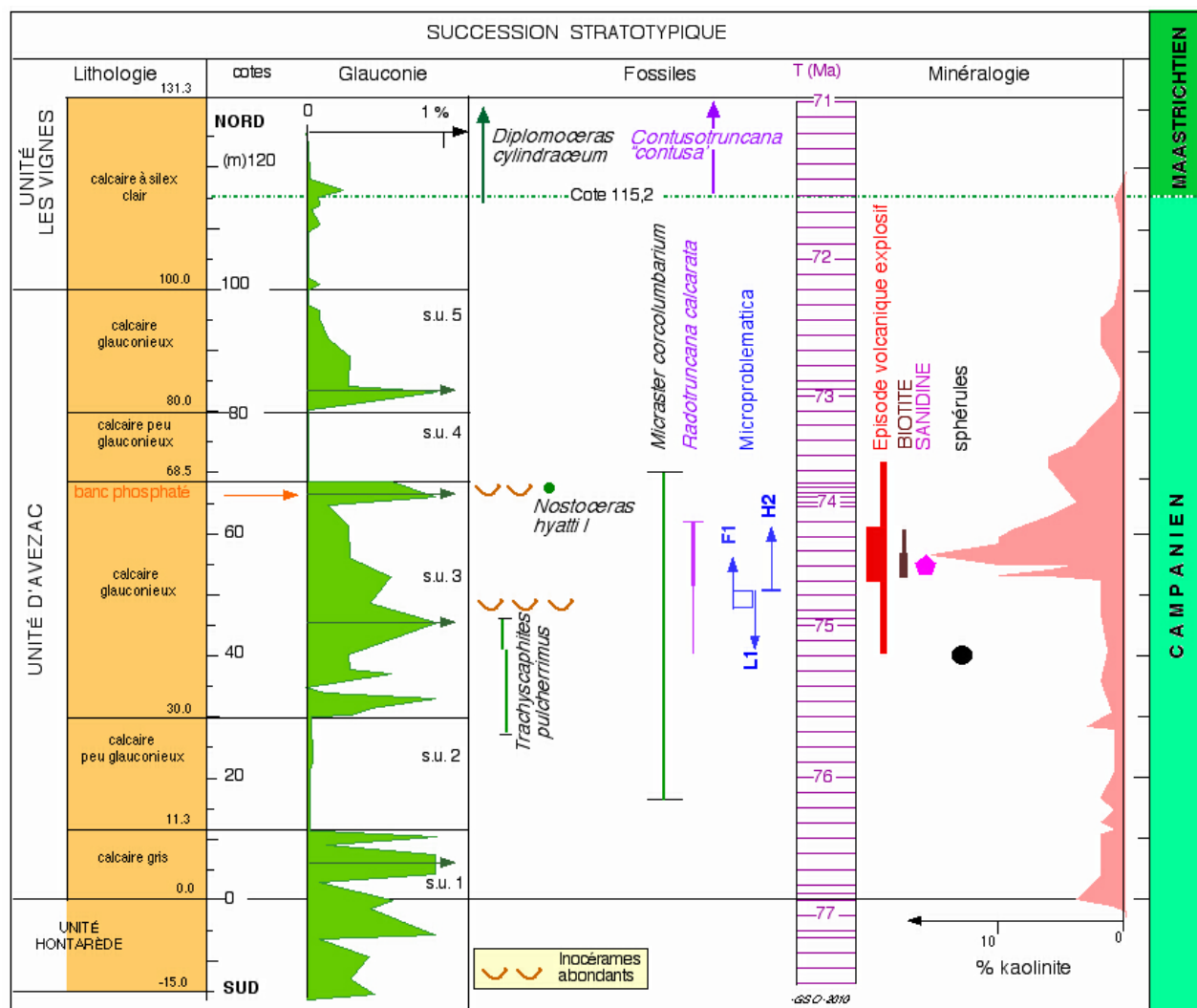


Figure 3 : Marqueurs volcaniques et biostratigraphiques de la succession stratotypique de la Grande Carrière à Tercis. Cotes marquées sur le terrain indiquées en m approximatifs. L'Unité d'Avezac des calcaires sans silex est subdivisée en 5 sous-unités (s.u. 1 à s.u. 5). Les apparitions de *Lucernellus aubouini* (F1) et *Aquilegiella varia* (H2), la disparition de *Tubellus hunzikeri* (L1) et d'autres marqueurs lithologiques ou paléontologiques localisent relativement l'épisode volcanique déduit de la présence de kaolinite et de minéraux pyroclastiques à l'intérieur de la zone d'existence de *Rd. calcarata*. À Tercis, celle-ci a été illustrée par des spécimens extraits par acétolyse dans sa partie supérieure seulement (trait violet plus épais). Deux marqueurs biostratigraphiques de la limite d'étage sont aussi localisés ; les guillemets à "contusa" signalent une forme primitive. Échelle comme dans la Fig. 2.

Figure 3: Volcanic and biostratigraphic markers of the stratigraphic succession of the Campanian-Maastrichtian boundary stratotype (Grande Carrière, Tercis, Landes). The levels indicated on the right of the lithologic column are approximations of thickness in meters. The limestones without flint of the Avezac Unit are divided into 5 sub-units (s.u. 1 to s.u. 5) on the presence or absence of glaucony. The first occurrences of *Lucernellus aubouini* (F1) and *Aquilegiella varia* (H2), together with the last occurrence of *Tubellus hunzikeri* (L1) and other bio- or litho-events provide markers defining the relative age of the volcanic episode identified with respect to the unusually high kaolinitic content (suspected to have been caused by submarine hydrolysis of volcanic glass transported by wind) and the presence of pyroclastic minerals and spherules. The episode is within the total range of *Rd. calcarata* as determined by specimens collected after acetolytic treatment in the upper half (thicker purple bar) of the range indicated by thin sections. Two foraminiferal first occurrences that contributed to establish the GSSP level of the stage boundary are shown. The quotation marks around "contusa" are there to indicate that it is a primitive form. Time scale as in Fig. 2.

2.1. Résultats antérieurs

La succession est constituée de trois unités, de la plus ancienne à la plus récente : l'Unité Hontarède à silex supporte l'Unité d'Avezac, sans silex, à laquelle succède l'Unité Les Vignes, à silex (ODIN & ODIN, 1994). L'Unité d'Avezac est subdivisée en cinq sous-unités (s. u., Fig. 3) alternativement pauvre ou plus riche en glauconie. Les minéraux argileux ont livré une

information utile avec un événement unique dans la série campano-maastrichtienne ; il s'agit d'un accroissement localisé de kaolinite lequel coïncide avec la présence contemporaine de divers minéraux d'origine pyroclastique. Cette kaolinite serait d'origine hydrothermale (ODIN *et alii*, 1986a) et contribuerait à signer la présence d'un épisode volcanique explosif (ODIN, 2001*, p. 98-99).

Après l'acceptation et la ratification de cette définition par les instances internationales, des compléments d'étude ont été entrepris dans cette section dont le potentiel de connaissance était loin d'être épuisé après 10 années de travaux (1992-2001). De nouvelles récoltes d'inocérames ont conduit à parfaire leur identification (WALASZCYK *et alii*, 2002b) et à préciser les corrélations avec les bassins d'Amérique du Nord (WALASZCYK *et alii*, 2002a). De nouveaux résultats sur les ostracodes ont été publiés (ANDREU & ODIN, 2008). De nombreux microproblematica (en particulier du groupe nouveau des gilianelles, ODIN, 2008a) ont été découverts qui ouvrent des horizons prometteurs depuis leur identification en Espagne (ODIN, 2008b), en Allemagne du Nord et en Amérique centrale (ODIN, 2009b). Ces microproblematica présentent des événements biostratigraphiques précisément contemporains de l'épisode volcanique (Fig. 3). Une information additionnelle est rapportée ici sur les foraminifères, en particulier sur *Rd. calcarata*, foraminifère planctonique marqueur remarquable au niveau mondial, dont la courte zone d'existence est contemporaine de l'épisode volcanique et dont l'existence même à Tercis et dans le Bassin Aturien avait paru douteuse à divers experts (ODIN *et alii*, 2001a, p. 382-383).

2.2. *Radotruncana calcarata*

En 2001 (ODIN *et alii*, 2001a, p. 385-386) 7 illustrations de lames minces avaient proposé des aspects attribuables au foraminifère *Rd. calcarata* pour des niveaux situés entre les cotes 39,5 et 62,0. Six vues nouvelles sont proposées ici pour des niveaux situés entre les cotes 40,0 et 61,4 (Fig. 4). L'identification la moins assurée reste celle du niveau inférieur où le spécimen semble présenter une épine à lumière étroite d'un côté (caractéristique de l'espèce) mais, de l'autre, une loge avec peut-être deux carènes (ce qui n'est pas le cas de *Rd. calcarata*). Localement, le niveau de disparition est bien mieux établi que celui d'apparition. Les spécimens connus en lame mince ne dépassent pas 400 μm et la plupart sont de l'ordre de 300 μm ; c'est une petite taille pour ce foraminifère car la littérature illustre plutôt des tailles comprises entre 400 et 700 μm (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984, p. 224-225). La question qui se pose est alors de savoir si cette petite taille et cette rareté, telle qu'elle avait fait douter de sa présence dans le bassin, est liée au marqueur lui-même ou au faciès local.

L'acétolyse des niveaux indurés a permis de répondre à la question en livrant pour la première fois des foraminifères dégagés en nombre (ODIN, 2008c). C'est un progrès significatif dans la qualification de la section de Tercis comme stratotype car les niveaux meubles ne consti-

tuent qu'une proportion de l'ordre du 1/10 des épaisseurs de couches de la section et la rareté relative des microfossiles ne facilitait pas la caractérisation de l'intervalle à *Rd. calcarata* entièrement induré. Cinq niveaux compris entre les cotes 52,2 et 62,0 ont livré 24 spécimens dégagés (Pl. 1, vues 1 à 5), soit bien plus que tout ce qui a pu être observé en lames minces pendant de nombreuses années par une dizaine d'investigateurs. Sur la plupart des spécimens, les épines ont été cassées et présentent une lumière en communication avec la cavité interne. L'abondance absolue de *Rd. calcarata* est variable depuis un (cotes 52,2 ; 60,5 ; 62,0) jusqu'à dix (cote 57,9) spécimens par 100 g de sédiment dissocié dans lesquels 300 à 700 globotruncanidés ont été observés. L'abondance en globotruncanidés est 10 fois moindre que celle observée dans les lavages de marnes provenant du bassin du flysch. C'est donc ceci qui explique la rareté du taxon en lames minces : ce n'est pas le marqueur seul qui est plus rare qu'usuellement, c'est l'ensemble des foraminifères planctoniques. La Figure 3 localise le taxon avec un trait épais pour la portion où il a été observé à plusieurs reprises (cotes 52 à 62) et en trait fin pour la portion où il a été soupçonné dans quelques lames minces (cotes 40 à 52). En termes de durée, la portion où le taxon a été observé de façon répétée correspond à une durée de dépôt de l'ordre de 0,4 Ma d'après le taux moyen de sédimentation après compaction estimé à Tercis autour de 25 m/Ma (ODIN & AMOROSI, 2001). La portion inférieure de la distribution notée Figure 3 où le taxon a été moins bien illustré couvrirait une durée supplémentaire de l'ordre de 0,5 Ma. Une durée voisine de 1 Ma est usuellement admise (ODIN *et alii*, 2001a, p. 384). Par exemple, PREMOLI SILVA & SLITER (1995) identifient, dans les Apennins, une zone d'existence épaisse d'une dizaine de mètres pour un taux moyen de sédimentation après compaction de 9,3 m/Ma ; on peut calculer une durée de $1,0 \pm 0,2$ Ma (ODIN, 2001, Fig. 2, p. 779 ; 2008c). Les durées adoptées par ROBASZYNSKI & CARON (1995) ou LI & KELLER (1998) en Tunisie, par exemple, sont identiques.

En bref, si une étude rapide en lames minces est réalisée dans un faciès comme celui de Tercis, le marqueur *Rd. calcarata* peut être manqué tandis que l'acétolyse révélera sa présence. Cependant, l'extension totale de la zone d'existence n'a pas été mieux illustrée par l'acétolyse que par les lames minces vers les temps anciens. Les spécimens dégagés sont plutôt petits : diamètres surtout compris entre 300 et 400 μm .

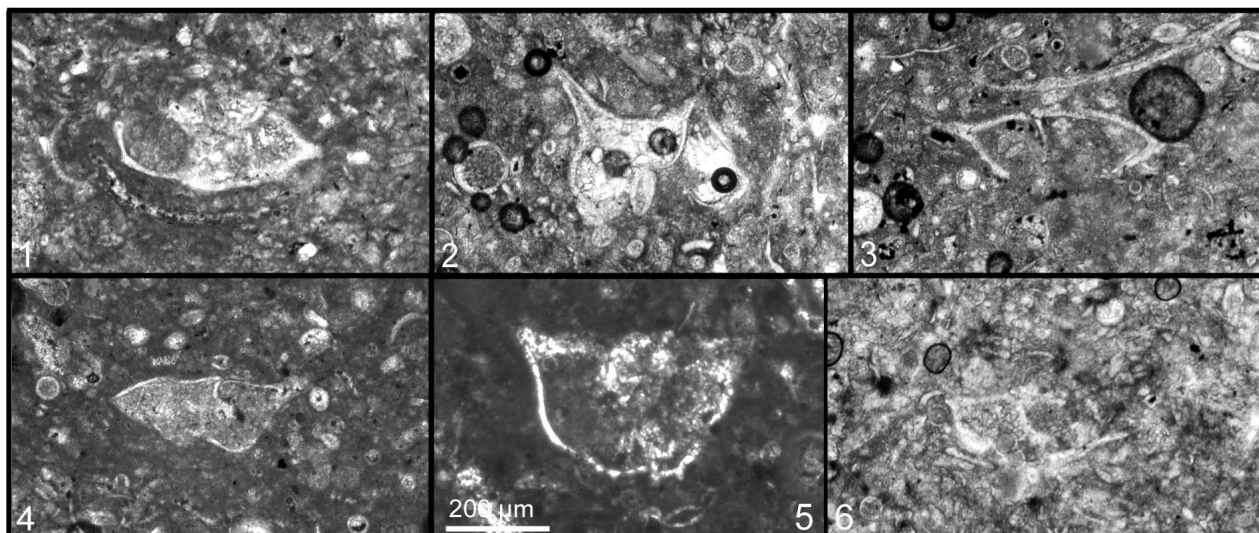


Figure 4 : Restes attribuables à *Radotruncana calcarata* vus en lames minces dans le Campanien de Tercis (Landes). 1- niveau 40,05 (spécimen peu convaincant); 2 et 3- niveau 55,0 ; 4- niveau 58,0 ; 5- niveau 60,8 ; 6- niveau 61,4. (échelle commune : 200 µm).

Figure 4: Thin sections of fossils attributed to *Radotruncana calcarata* from the Campanian limestones at Tercis (Landes, France). 1- level 40,05; 2 and 3- level 55,0; 4- level 58,0; 5- level 60,8; 6- level 61,4. Scale bar: 200 µm valid for all.

2.3. Autre microfaune

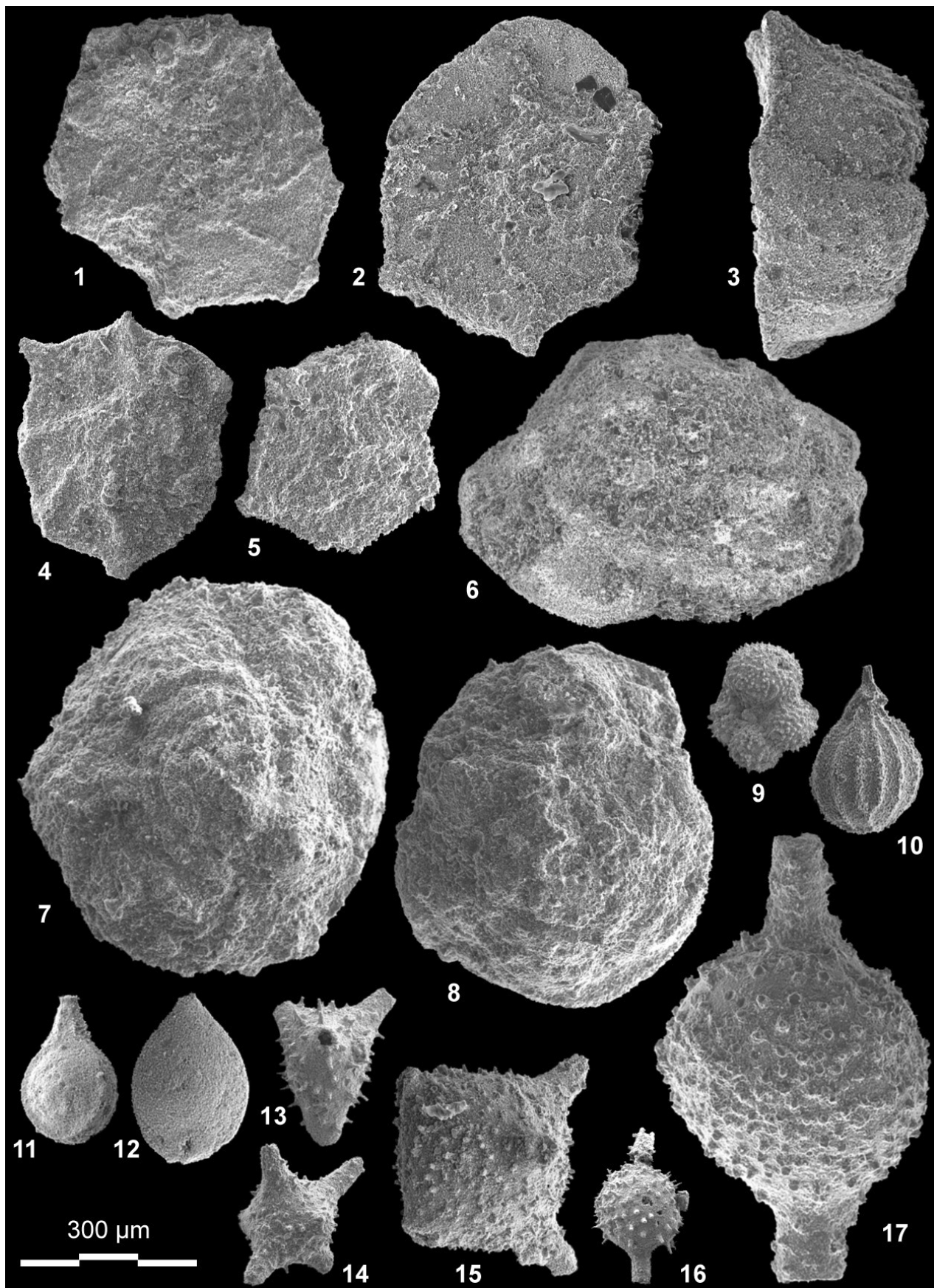
Grâce à l'acétolyse appliquée à d'autres niveaux indurés de la section, la liste des taxons de microfaune de Tercis pourrait encore être significativement allongée. Par exemple, 25 espèces ont été récemment ajoutées aux 53 espèces d'ostracodes précédemment connues de Tercis (ANDREU & ODIN, 2008) ; 54 espèces de microproblematica toutes inconnues jusqu'ici de Tercis ou d'ailleurs ont été décrites dans un premier temps (ODIN, 2008a) ; une quinzaine d'autres viennent d'être définis dans divers travaux (ODIN, 2009a, 2009b, 2010) ; deux nouveaux exemples d'*incertae sedis* sont illustrés ici (Pl. 2, vues 13-15 ; Pl. 5). Il serait aussi possible de compléter la liste des foraminifères benthiques à la lumière des formes dégagées dans les niveaux indurés (Pl. 1, vues 10-17).

Parmi les foraminifères planctoniques, quelques taxons sont illustrés ici, en premier lieu deux spécimens de *Contusotruncana contusa*. Le taxon fut encore désigné intermédiaire *C. patelliformis*?/ *C. contusa*, CARON & ODIN, 2001) ; ils ont été récoltés dans les premiers niveaux sus-jacents à la limite Campanien-Maastrichtien (Pl. 1, vues 6 à 8). Leur taille de presque 700 µm est assez grande pour des foraminifères planctoniques de Tercis. C'est cependant la taille minimale du taxon citée par les auteurs (0,7 à 1,5 mm pour ROBASZYNski *et alii*, 1984) mais les loges allongées forment plus de tours que chez *C. patelliformis*. La vue de profil (Pl. 1, vue 6) révèle mal une hauteur du test plus faible que celle des grandes formes du Maastrichtien moyen ; les vues spirales (Pl. 1,

vues 7-8) laissent voir des loges allongées, un nombre de tour indistinct et un apex nettement décentré signe d'un profil plus asymétrique que chez *C. patelliformis*. Quoiqu'il en soit, il était important de rechercher et d'illustrer encore la morphologie de cette espèce de *Contusotruncana* dont l'apparition a été utilisée comme un des douze marqueurs habilités à localiser le niveau de la limite Campanien-Maastrichtien (ODIN, 2001, p. 827).

► **Planche 1 :** Vues au microscope électronique à balayage de foraminifères extraits par acétolyse dans les calcaires du Campanien-Maastrichtien de Tercis. Barre d'échelle commune : 300 µm. 1-5, *Radotruncana calcarata* ; 1 & 4 : niveau II 52,2 ; 2-3 : vues spirale et de profil, niveau II 60,5 ; 5 : niveau II 62,0. 6-8, *Contusotruncana* du Maastrichtien basal, niveau II 120,4 ; 6 : profil cavalier ; 7-8 : vues spirales. 9, petite rugoglobigérine, niveau II 54,9. 10-15, foraminifères benthiques non décrits de Tercis ; 10 : lagénide du niveau II 50,05 ; 11-12 : fissurines du niveau II 50,05 ; 13-17 : foraminifères benthiques à bras des niveaux II 54,9 ; II 120,4 ; II 62,5 ; II 54,9 et II 52,2 respectivement.

Plate 1: Scanning electron microscope views of foraminifers from the Campanian-Maastrichtian indurated limestones of Tercis freed by acetolysis. Common scale bar: 300 µm. 1-5, *Radotruncana calcarata*; 1 & 4: level II 52.2; 2-3: spiral and profile views, level II 60.5; 5: level II 62.0. 6-8: *Contusotruncana* from basal Maastrichtian, level II 120.4; 6: oblique profile; 7-8: spiral views. 9, small *Rugoglobigerina*; level II 54.9. 10-15, benthic foraminifers not previously described from Tercis; 10: lagenid from level II 50.05; 11-12: fissurines from level II 50.05; 13-17: forms with projections from levels II 54.9; II 120.4; II 62.5; II 54.9 and II 52.2 respectively.



La Planche 1 donne aussi une vue d'une petite rugoglobigérine afin d'illustrer la capacité de l'acétolyse à extraire des tests mieux préservés que ceux illustrés à partir des lavages de

Tercis (ARZ & MOLINA, 2001, p. 346-347 ; ION & ODIN, 2001, p. 360). Pour les couches les plus récentes du Maastrichtien, divers hétérohéli-cidés *Pseudotextularia intermedia* (DE KLASZ),

Racemiguembelina powelli (SMITH & PESSAGNO), *Racemiguembelina fructicosa* (EGGER), ont été identifiés pour la première fois à Tercis environ 30 m sous la limite Crétacé/Paléogène.

La Planche 1 (vues 10 à 17) donne encore quelques exemples de foraminifères benthiques non encore illustrés ni identifiés de Tercis. Diverses formes proches des fissurines sont présentes communément de même que les restes de petits lagénides. Plus rares sont les benthiques à bras, *Ramulina* ou autres. On peut encore citer la présence d'*Epistominella alata* (MARSSON), forme réticulée dès la cote 89,0 alors que les travaux précédents avaient localisé son apparition locale à la cote 97,2 (TRONCHETTI, 2001). Enfin, un foraminifère benthique arénacé de grande taille du genre *Navarella* anciennement considéré comme marqueur du Maastrichtien et souvent associé à *Abathomphalus mayaroensis* (BOLLI, 1951) a été observé régulièrement dans les lavages comme dans les dissociations acétiques à Tercis depuis la cote 39,5 jusqu'au Maastrichtien supérieur ; c'est donc un marqueur régional du Campanien supérieur ET du Maastrichtien et non du seul Maastrichtien récent.

Les dépôts de Tercis ont une caractéristique environnementale bien particulière qui peut être désignée sous le nom de faciès à échinodermes diversifiés. Cet embranchement est présent parmi les microfossiles en particulier la Classe des échinides (NÉRAUDEAU & ODIN, 2001) dont le potentiel corrélatif est restreint (ODIN, 2008b) ou celle des crinoïdes (JAGT & ODIN, 2001b) et celle des astérides (VILLIER & ODIN, 2001) qui permet de bonnes corrélations régionales vis à vis du stratotype historique du Campanien des Charentes. Les échinodermes laissent des restes jusque parmi la microfaune la plus fine (Pl. 2, vues 1 à 9). Comme en lames minces, ces restes d'échinodermes sont caractérisés à la loupe par une structure en réseau et ils sont formés d'une unité cristalline unique ce qui leur donne une cassure brillante. La symétrie d'ordre 5 souvent visible chez les restes d'échinides disparaît dans beaucoup de restes d'holothuries et chez les ossicules d'ophiures (JAGT & ODIN, 2001a). Ce sont ces derniers qui sont les plus communs dans les sédiments dissociés et l'on peut imaginer sur les fonds du Crétacé de la plate-forme aturienne la présence de "prairies" à ophiures.

Sans être communs, des restes de bryozoaires constitués d'une loge unique ont attiré l'attention dans les sédiments dissociés par acétolyse. Ces restes mériteraient une description car nous n'en avons pas encore trouvé d'équivalent dans la littérature ; il en existe au moins 2 formes, l'une allongée en raquette de "pala" (instrument de jeu de pelote basque, Pl. 2, vues 10 à 12), l'autre plus ramassée et plus creuse (en "petit gant", autre instrument de jeu

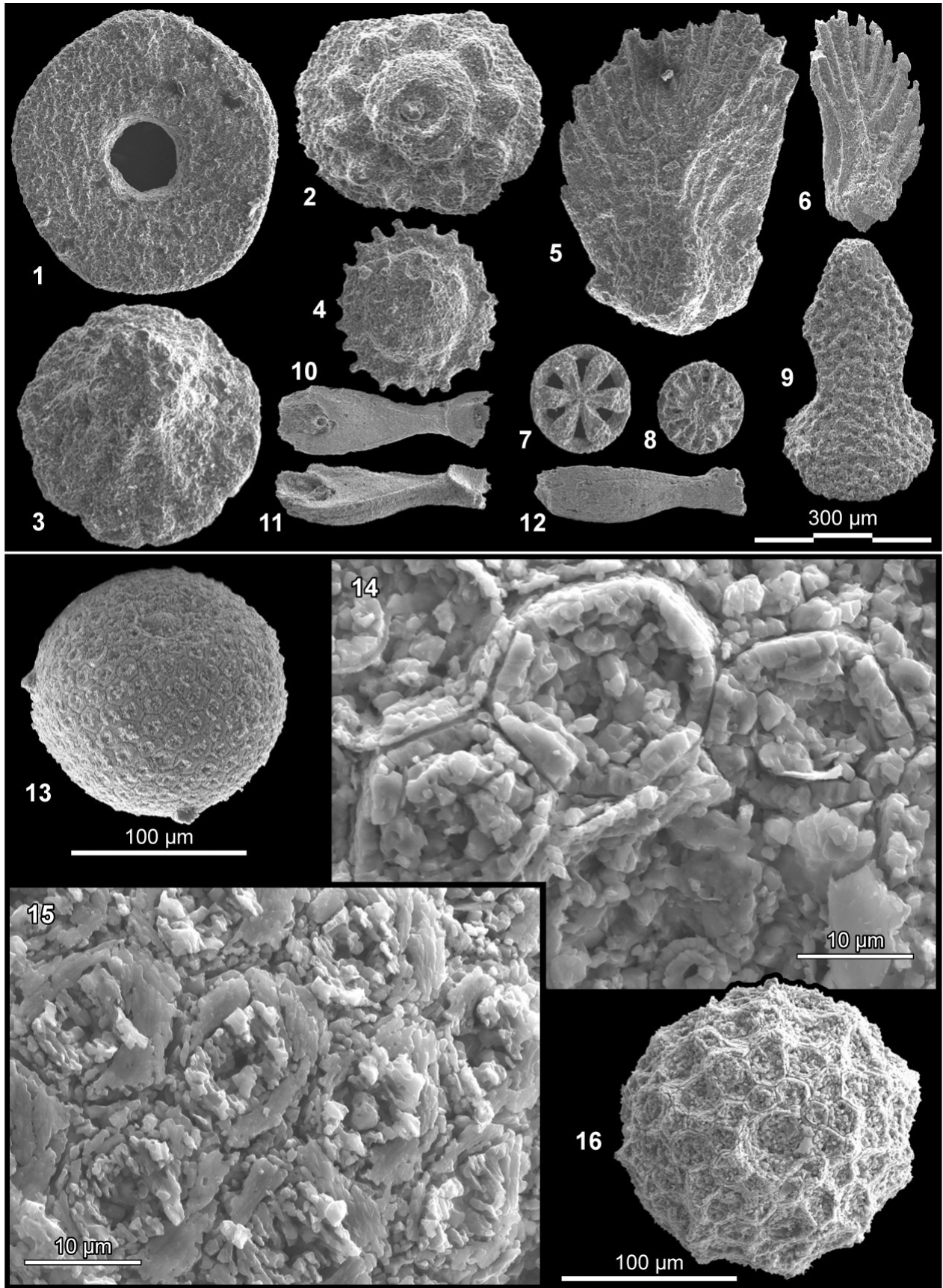
de pelote basque) dans les niveaux plus récents. Ils sont rares mais présents à de nombreux niveaux depuis la cote +5 jusqu'à 7 m sous la limite Crétacé/Paléogène et nous les tenons à la disposition des spécialistes pour une étude taxonomique. Les résidus renferment enfin une variété de restes problématiques dont deux exemples particulièrement curieux sont décrits en annexe.

3. Autres sections du faciès plate-forme

Toujours en faciès de plate-forme, la section de Peyrata, lieu-dit de la commune de Tercis, se situe sur le flanc sud de l'anticlinal diapirique de Tercis-Angoumé (ROCHER, 2001). Le calage stratigraphique a été lu sur le terrain grâce, notamment, à la récolte de 3 restes d'ammonites du genre *Nostoceras* connu dans la section type au-dessus de la cote 67. Un spécimen de la sous-espèce *N. hyatti* I KÜCHLER & ODIN, 2001, a été trouvé dans un niveau riche en inocérames ; il a permis d'établir une première correspondance entre le niveau Pe 47 (Fig. 5) et le niveau 67 de la section type (Fig. 3). La présence d'une trace de *Trachyscaphites* (genre plus ancien que *Nostoceras hyatti* à Tercis) vers la cote Pe 30 a conduit à confirmer l'orientation de la section avec les couches les plus récentes vers le Sud à l'inverse de la section type et en accord avec l'interprétation géologique (ROCHER, 2001, p. 72). La lithologie et la présence des oursins, notamment de l'espèce *Micraster corcolumbarium* DESOR, 1858, a appuyé la corrélation locale.

► **Planche 2 :** Vues au microscope électronique à balayage de microfossiles extraits par acétolyse dans les calcaires du Campanien-Maastrichtien de Tercis. Barre d'échelle commune pour les vues 1-12. Les microrestes d'échinodermes divers abondent (vues 1-9) et marquent le microfaciès ; 1 : plaque centrale de crinoïde, niveau II 52,2 ; 2-4 : restes d'échinides?, niveaux II 52,2 ; II 48,1 ; II 50,0 ; 5-6 : piquants d'holothurie, niveaux II 48,2 et II 54,9 ; 7-8 : ossicules d'holothuries du niveau 54,9 ; 9 : ossicule brachial ventral de crinoïde. 10-12, loge de bryozoaire probablement nouveau, 3 vues d'un spécimen du niveau II 54,9. 13-14, microsphère ananas, *incertae sedis* A à nanostructure remarquable, niveau II 94,2. 15-16, *Piperella dercourtii* ODIN, 2008a, microproblematica, pour comparaison, niveau II 11,0.

Plate 2: Scanning electron microscope views of microfossils from the Campanian-Maastrichtian indurated limestones of Tercis freed by acetolysis. Common scale bar: 300 µm for views 1-12. Microremains of various echinoderm groups (pictures 1-9) diagnostic of the microfacies; 1: central plate of crinoid, level II 52.2; 2-4: echinoid? remains, levels II 52.2, II 48.1, II 50.0; 5-6: holothurian spines, levels II 48.2 and II 54.9; 7-8: ossicles of holothurians of level 54.9; 9: brachial ventral ossicle of crinoid. 10-12, bryozoan, 3 views of a specimen of level II 54.9. 13-14, "pineapple microspherule", *incertae sedis*, level II 94.2. 15-16, *Piperella dercourtii* ODIN, 2008a, microproblematica, level II 11.0.



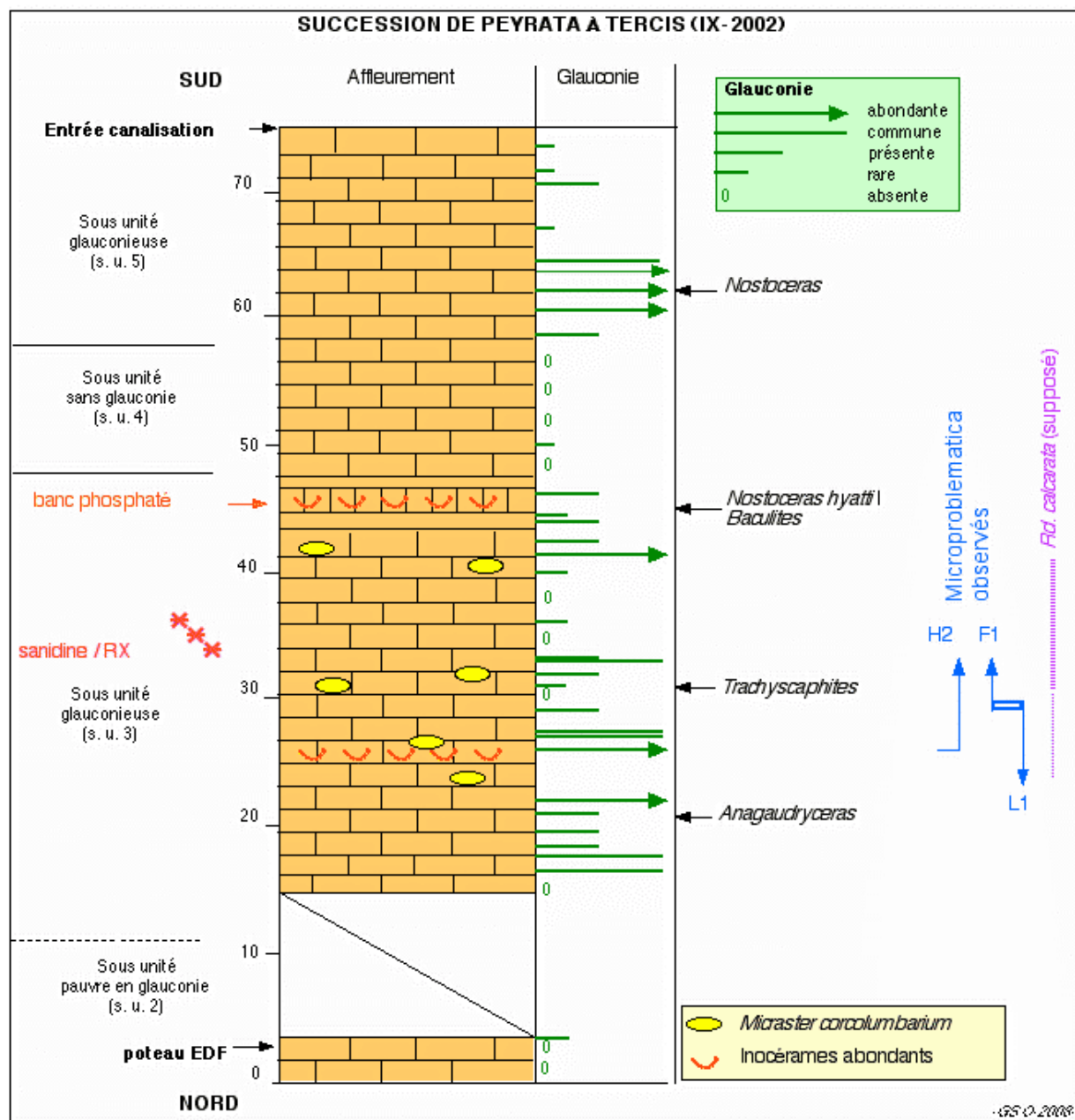


Figure 5 : Marqueurs volcaniques et biostratigraphiques de la succession de Peyrata à Tercis levée en 2002. Les sous-unités 2 à 5 sont numérotées d'après les teneurs en glauconie par comparaison avec la section décrite dans la Grande Carrière. H2, F1 et L1 comme dans la Figure 2. Informations paléontologiques obtenues sur le terrain ou lors de l'acétolyse de petits échantillons sauf pour *Rd. calcarata* localisée par corrélation avec la Grande Carrière.

Figure 5: Biostratigraphical and mineralogical markers Peyrata section (Tercis, Landes) as identified in 2002. As in the Grande Carrière section of Figure 2, sub-units 2 to 5 are identified by their content of glaucony. The H2, F1 and L1 symbols also have the same connotations as those of Figure 2. The range of *Rd. calcarata* is an assumption based on a comparison with the stratotypic. The other paleontologic data were obtained in the field or after acetolysis.

Le repérage biostratigraphique à l'aide de la microfaune a été restreint à la recherche la plus aisée au moyen des microproblematica. Ceux-ci permettent, par l'acétolyse et l'examen de petites quantités de sédiment (50 à 100 g), la récolte d'une faune significative suffisante pour corréler les niveaux avec ceux de la Grande Carrière voire au delà. Trois événements très proches ont été caractérisés : les apparitions de *Lucernellus aubouini* ODIN, 2008a, (F1) et de la gilianelle *Aquilegiella varia* ODIN, 2008a, (H2) ainsi que la disparition de *Tubellus hunzikeri*

(ODIN, 2008a), espèce notée L1. *Tubellus* (ODIN, 2009b) est le nouveau nom de genre qui remplace celui de *Tubella* initialement proposé en 2008 mais déjà attribué à un spongiaire. Dans la section type de la Grande Carrière, l'apparition de *L. aubouini* suivie de la disparition de *T. hunzikeri* délimitent un court intervalle de coexistence entre les cotes 47,20 et 50,25 (environ de 0,12 Ma). Dans la section de Peyrata, le seul niveau Pe 28,9 a livré les 2 espèces ensemble, *L. aubouini* restant présent au-dessus, *T. hunzikeri* étant présente au-

dessous (Fig. 5). *Aquilegiella varia* qui apparaît au sommet de l'intervalle de coexistence de *L. aubouini* et de *T. hunzikeri* dans la Grande Carrière, a été observée (1 seul spécimen) plus bas, 2 m sous cet intervalle de coexistence à Peyrata (niveau Pe 26,9). Ceci suggère que la zone d'extension de *Aquilegiella varia* s'étend probablement un peu en dessous de la cote 50,0 dans la Grande Carrière (ODIN, 2008a, p. 26). Ce n'est pas surprenant car *Aquilegiella varia* s'est révélée récemment plus communes dans la fraction inférieure à 100 µm (ODIN, 2008a, p. 26), que dans la fraction plus grossière, taille initialement sélectionnée pour la recherche des microproblematica. On notera encore que la trace de *Trachyscaphites* près de la cote Pe 30 citée ci-dessus et localisée dans la Figure 5, a été observée au lieu-dit Peyrata légèrement au-dessus des 3 signaux donnés par les microproblematica comme au-dessus du niveau inférieur riche en inocérames. Dans la section type de la Grande Carrière, ce genre n'avait été signalé (ODIN, 2001, p. 555) que jusque vers la cote 36 ; plus récemment, un spécimen y a été récolté vers la cote 47. C'est apparemment encore plus haut que se positionne l'observation de la succession de Peyrata signalée ici à un niveau équivalent environ à la cote 53 de la Grande Carrière.

Les résultats biostratigraphiques obtenus pour la série de plate-forme au Sud des Pyrénées, au Mont Juandechaco (Navarre espagnole) ont été résumés (ODIN, 2008c) puis détaillés (ODIN, 2008b) par ailleurs. Rappelons que dans les environs, les foraminifères planctoniques étaient considérés auparavant comme ne permettant pas de distinguer le Campanien du Maastrichtien sur la carte géologique en l'absence de formes déterminantes (CARBAYO OLIVARES *et alii*, 1978). Plus récemment, KÜCHLER (2000) ne cite pas non plus de formes déterminantes de foraminifères en Navarre espagnole. Pourtant, nos dissociations par acétolyse ont permis d'y isoler pour la première fois de 450 jusqu'à 2000 spécimens de globotruncanidés/100 g de sédiment dissocié et, parmi eux, 26 spécimens de *Rd. calcarata*, marqueur clé dont la disparition, à l'époque, signait le sommet du Campanien. De même, les microproblematica ont été décelés en quantité modeste (de moins de 1 jusqu'à 50 individus par gramme de sédiment dissocié) mais en variété suffisante (17 espèces communes avec Tercis) pour élaborer une corrélation précise avec la section stratotypique dans les niveaux où les traces d'épisode volcanique explosif ont été observées (ODIN, 2008b). Ajoutons que cette corrélation était appuyée, aussi, sur des récoltes de macrofaune, notamment des ammonites, dont la répartition conforte la corrélation (KÜCHLER *et alii*, 2001).

En conclusion, dans le faciès de plate-forme, *Rd. calcarata* est présente en Navarre espagnole comme dans la région dacquoise. Les microproblematica sont aussi présents et cette double série de marqueurs de temps relatif autorise un repérage précis du moment de dépôt ayant enregistré l'événement volcanique mis en évidence à Tercis.

4. Séries du bassin du flysch

Cette partie présente le cadre et la biostratigraphie de la série exposée dans quelques affleurements des Pyrénées occidentales françaises et espagnoles dans un faciès de bassin où s'accumulent des flyschs. Côté français, de rares observations de *Rd. calcarata* ont déjà été signalées près d'Orthez ou au Sud de Pau (DELOFFRE, 1965 ; ODIN *et alii*, 2001a) dans le bassin du flysch. Parmi les sections repérées sur les cartes géologiques (ALIMEN *et alii*, 1954 ; CASTERAS *et alii*, 1970a, 1970b) et dans la thèse de Raoul DELOFFRE, deux ont livré de bons résultats entre Gan et Rébénacq (échantillons GR) et surtout à Lasseube (échantillons LB). Côté espagnol la série exposée en bord de mer entre Zumaya et Deba a permis de compléter l'étude.

4.1. Série Gan-Rébénacq (GR)

La série exposée entre Gan et Rébénacq (CASTERAS *et alii*, 1970a) est une alternance de bancs durs (grès) et tendres (marne) décimétriques sans repère lithologique remarquable. Les lavages ont livré une microfaune variée de foraminifères planctoniques (globotruncanidés et hétérohélicidés). Parmi les foraminifères benthiques, les *Bolivinoïdes* ne sont pas présents mais le genre *Neoflabellina*, lui aussi stratigraphiquement intéressant, est présent entre les cotes GR -117 et GR+146. Avec des foraminifères agglutinés, quelques ostracodes et de rares restes d'échinodermes complètent la microfaune.

La Figure 6 résume les résultats obtenus dans la partie de la section où est caractérisée la zone d'existence de *Rd. calcarata*. Cette zone se suit sur une distance de 258 m avec des teneurs très hétérogènes de 1 à 15 ‰ relativement à l'ensemble des globotruncanidés comme à Tercis. Dans le tiers supérieur comme dans le tiers inférieur de la section le taxon manque significativement entre deux niveaux où il est présent, la raison pouvant être liée à une complication tectonique. L'ordre de grandeur des teneurs relatives aux globotruncanidés est le même qu'à Tercis mais comme leur abondance est 10 fois supérieure dans le flysch qu'à Tercis les marqueurs sont 10 fois plus communs.

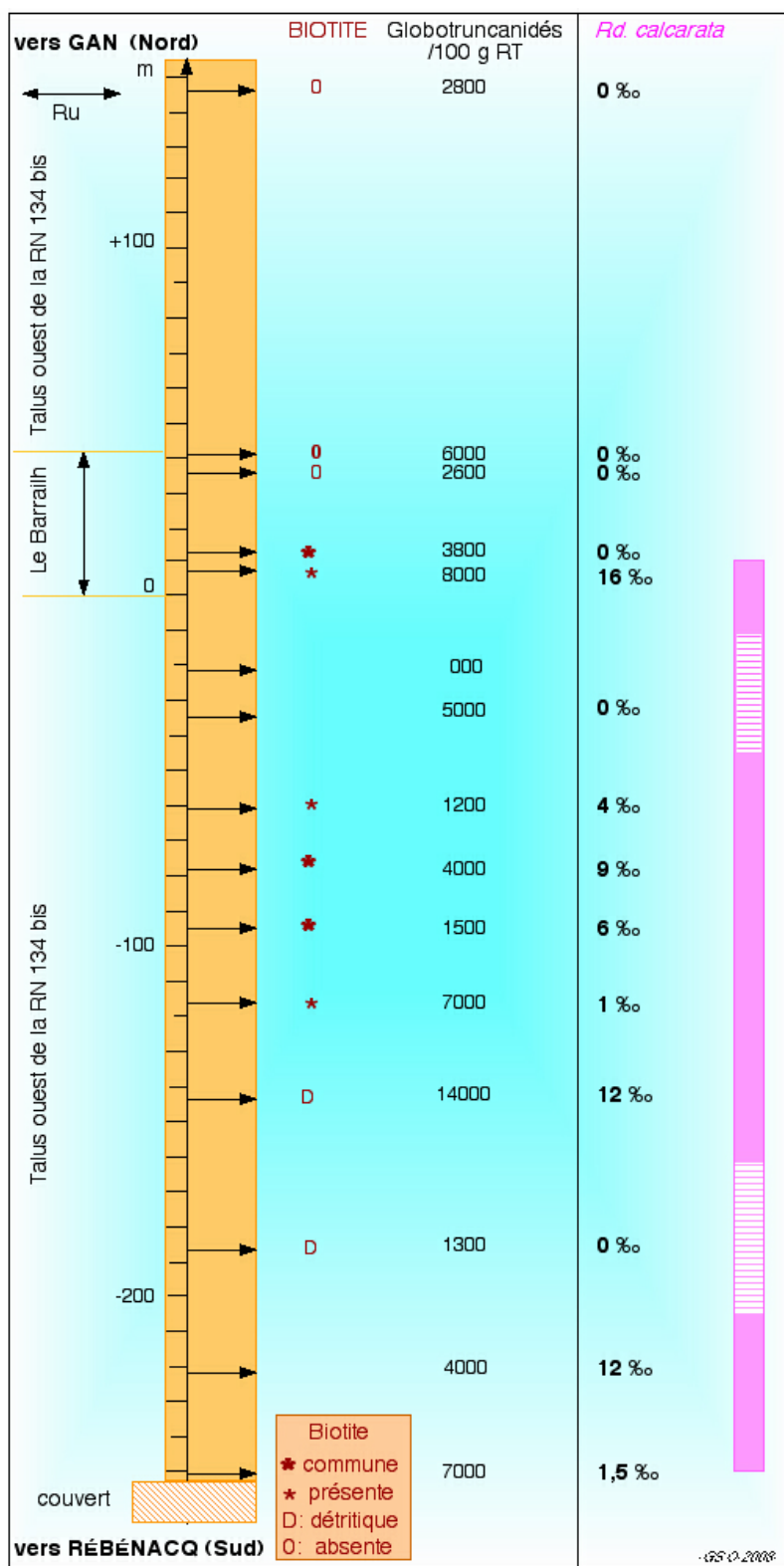
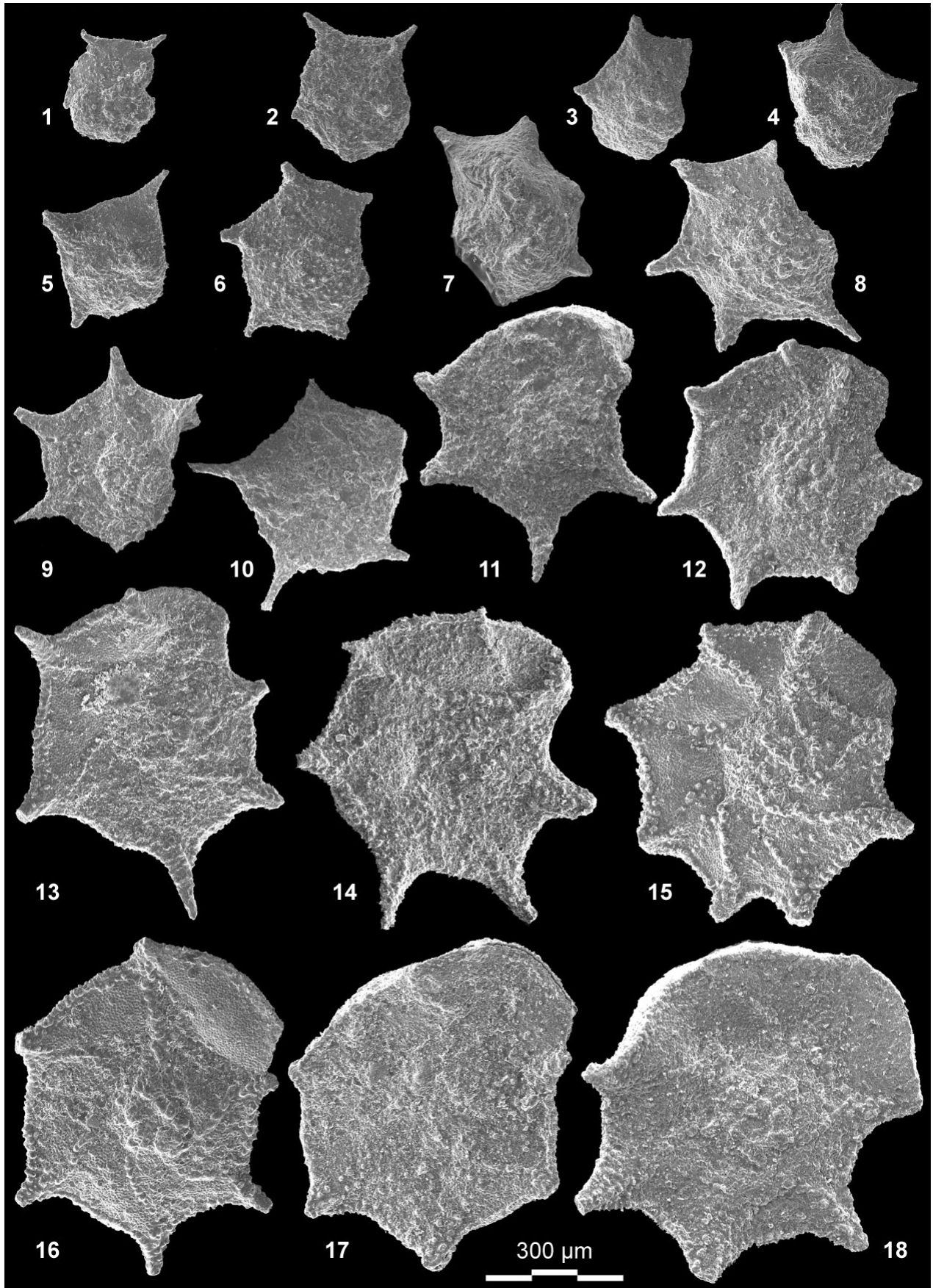


Figure 6 : Marqueurs volcaniques et biostratigraphiques observés entre Gan et Rébénacq (Pyrénées atlantiques). Les cotes notées sont les distances par rapport au repère 0 situé au Sud du passage montant à la propriété Le Barrailh. La localisation des prélèvements traités est indiquée par les flèches. La présence de biotite d'origine volcanique possible, l'abondance en globotruncanidés par hg de sédiment et la proportion de *Rd. calcarata* relativement à l'ensemble des globotruncanidés sont donnés. Barre à droite : intervalle de présence de *Rd. calcarata* avec absence locale.

Figure 6: Volcanic and biostratigraphic markers studied between Gan and Rébénacq (Pyrénées atlantiques) and the locations where crystals of pyroclastic minerals were found. The numbers on the left side of the section are distances from a 0 reference point located south of the trail towards the Le Barrailh property. The location of washed samples is indicated by arrows. Also shown are the sites of presumably explosive volcanic biotite and its amount, the relative abundance of globotruncanids per 100 grams of washed sample and that percentage of the total population of globotruncanids provided by *Rd. calcarata*. Red bar: apparent stratigraphic range of *Rd. calcarata* including local absences (hatched).

Planche 3 : Microscopie électronique à balayage de *Radotruncana calcarata* des flyschs au S de Pau. Vues de la face ombilicale : 4 et 7, face spirale pour les autres. Barre d'échelle commune. 1-4, 7-12, 15, section de Lasseube, 1 : niveau +1,8 ; 2 : niveau +52 ; 3 : niveau +65,3 ; 4 : niveau +52,0 ; 7 : niveau +65,3 ; 8 : niveau +1,8 ; 9 : niveau +130,5 ; 10 : niveau +65,3 ; 11 : niveau +89,5 ; 12 : niveau +65,3 ; 15, niveau +118,5-6, 13-14, 16-18, Section de Gan à Rébénacq, 5-6, 13 & 16 : niveau +7 ; 14 : niveau -60 ; 17 : niveau -76 ; 18 : niveau -143.

Plate 3: Scanning electron microscope views of *Radotruncana calcarata* from the flysch facies south of Pau. 4 and 7 of the umbilical side; of the others spiral views. Common scale bar: 300 μm . 1-4, 7-12, 15, from Lasseube, 1: level +1,8; 2: level +52; 3: level +65.3; 4: level +52.0; 7: level +65.3; 8: level +1.8; 9: level +130.5; 10: level +65.3; 11: level +89.5; 12: level +65.3; 15, level +118.5-6, 13-14, 16-18, from between Gan and Rébénacq, 5, 6, 13 & 16: level +7; 14: level -60; 17: level -76; 18: level -143.



La distance de 258 m entre les niveaux extrêmes où *Rd. calcarata* est présente, correspond, avec un pendage moyen de 35 à 45° à une épaisseur de 150 à 180 m. Cependant il faudrait tenir compte des complications tectoniques (redoublement) pour obtenir l'épaisseur réelle. En outre, la question reste de savoir si l'on a effectivement échantillonné la base de la zone d'existence. Par ailleurs, durant la première phase de nos travaux, cette épaisseur était estimée à au moins 90 m (ODIN, 2008c) d'après les résultats obtenus jusqu'à la cote GR-143 ; un nouvel échantillonnage rendu nécessaire par des incohérences constatées durant la première phase des travaux, a conduit à extraire des spécimens aux cotes GR-222 et GR-250 sans que les éventuels redoublement tectoniques aient pu être étudiés. En un mot, les résultats obtenus dans les flyschs affleurant entre Gan et Rébénacq ne permettent pas une évaluation assurée de l'épaisseur de la zone d'existence de *Rd. calcarata* ni de sa durée approchée. On retiendra pourtant que le taxon est présent là comme dans de nombreuses régions du monde confirmant l'intérêt de ce précieux marqueur biostratigraphique (PUCKETT et MANCINI, 1998) longtemps utilisé pour repérer la fin du Campanien.

La planche 3 rassemble des vues de *Rd. calcarata* prélevées dans les flyschs et ordonnées en fonction de la taille. L'objectif initial était de savoir si le taxon difficilement mis en évidence à Tercis devait cela à sa rareté générale dans le Bassin Aturien, à une taille plutôt réduite dans ce bassin ou au fait que les petits spécimens, peu illustrés dans la littérature, seraient plus difficiles à identifier que les spécimens de taille "normale" en lames minces. Cette taille est donnée dans la littérature entre 0,4 et 0,7 mm (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984) pour les formes adultes. Nos observations nouvelles dans les flyschs indiquent que la taille de 400 µm est plus commune que la taille exceptionnelle de 700 µm. La planche laisse voir que la caractéristique principale de l'espèce : la présence d'ergots (en latin *calcar*) généralement implantés au tout début de chaque loge reste visible même sur les petits spécimens. Mieux, la longueur de ces épines creuses est proportionnellement plus imposante sur beaucoup de ces petits spécimens. Pourtant, leur finesse est grande (Pl. 3, vues 1-2, 5, 10, par exemple) et la probabilité pour que la section mince passe par les ergots est faible. En outre, la dissymétrie entre face spirale sub-plane et face ombilicale renflée tend à s'atténuer chez les petits spécimens. En bref, sans doute plus malaisés à identifier en lames minces, les petits spécimens de *Rd. calcarata* gardent cependant une forte personnalité morphologique qui est garante d'une reconnaissance aisée lorsqu'on les observe dégagés.

4.2. Série de Lasseube (LB)

Le cadre d'étude et la microfaune de la série de Lasseube sont examinés maintenant. Un repérage de la polarité des bancs (granoclasement, figures de sédimentation) a été systématiquement réalisé ce qui a permis de localiser des redoublements de série liés à des plis décamétriques isoclinaux. La Figure 7 note ces redoublements (rectangles pointillés à l'extrême droite). Des échantillons ont été prélevés pour des lavages sur l'ensemble de la section accessible entre les cotes LB-165 et LB+526,7 de part et d'autre de la cote 0. Les résidus de lavage ont livré des foraminifères planctoniques abondants (globotruncanidés, hétérohélécidés), des petits foraminifères benthiques moins nombreux, quelques ostracodes.

Rd. calcarata apparaît entre les cotes LB-25 et LB-21 (Fig. 7) et disparaît entre les cotes LB+135,8 et LB+140,0. Des exemplaires sont illustrés dans la planche 3. Le taxon est très rare aux cotes extrêmes avec, à la cote LB-21, un unique spécimen récolté parmi plus de 8000 globotruncanidés provenant de 110 g de sédiment dissocié et 7 spécimens récoltés dans 100 g de sédiment dissocié parmi environ 8000 globotruncanidés à la cote LB+135,8. La zone d'existence couvre ainsi 157 m de terrain (rectangle violet, Fig. 7) mais si l'on déduit les redoublements observés (rectangles jaunes), l'épaisseur stratigraphique est réduite à un maximum de 115 m. Les niveaux contemporains de ceux ayant livré des traces de volcanisme à Tercis sont bien repérés par ces résultats.

La durée de la zone d'extension à Lasseube peut-être approchée en comparant ces 115 m d'épaisseur à l'épaisseur totale du Campanien au Sud de Lasseube soit environ 1500 m (ALIMEN *et alii*, 1954). Ces 1500 m se sont déposés entre une base âgée de $83,0 \pm 1,0$ Ma (ODIN, 1994) et un sommet (admis dans la carte au sommet de la zone à *Rd. calcarata*) estimé relativement à 74,3 Ma (Fig. 2). Ce dernier âge est déduit, en dernier ressort, des corrélations avec les datations radiométriques d'Amérique du Nord au moyen des inocérames (ODIN & WALASZCYK, 2003). On obtient une durée de $0,67 \pm 0,10$ Ma. Cette valeur pourrait être considérée comme un minimum si l'on tient compte des duplications possibles de la série en dehors de la zone d'existence de *Rd. calcarata* où le phénomène de plissement a été mis en évidence.

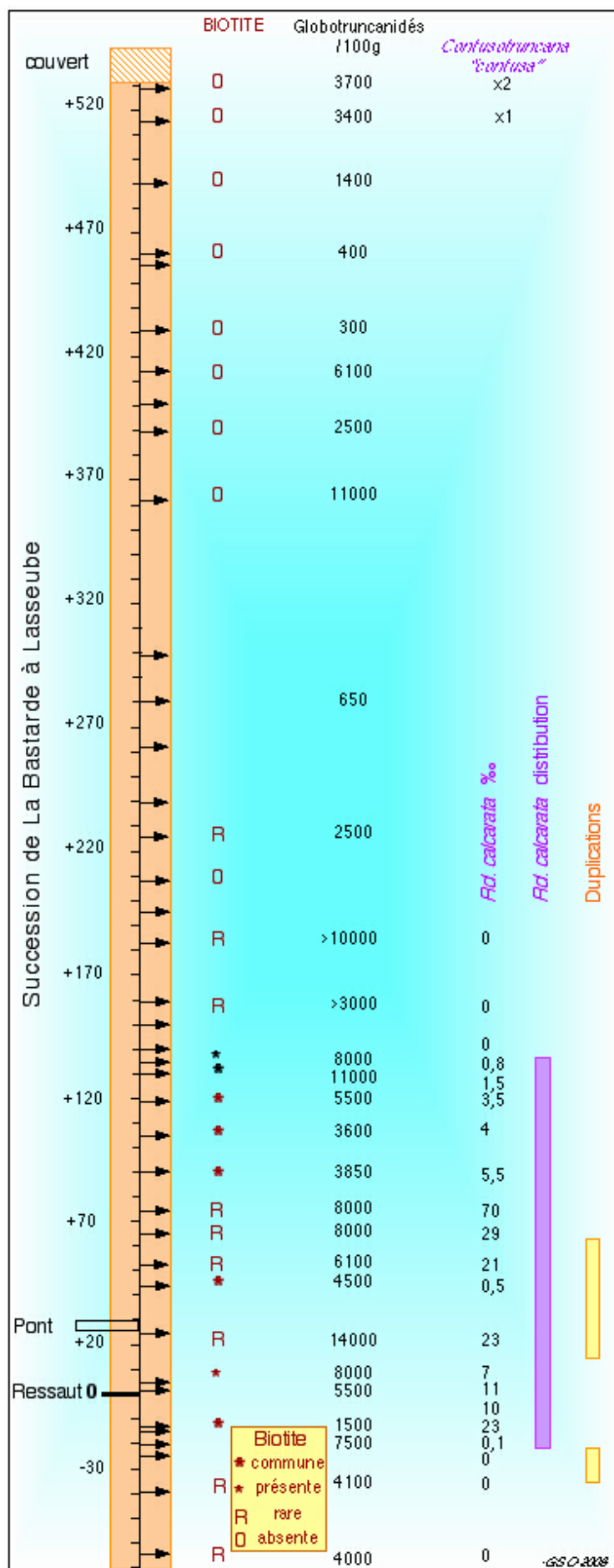
Les grandes *Contusotruncana* ont été recherchées dans les niveaux les plus récents pour savoir si l'on avait atteint la limite Campanien-Maastrichtien telle que définie à Tercis. Trois spécimens rapportés au groupe *contusa* de morphologie voisine de celles du Maastrichtien basal de Tercis ont été récoltés entre

les cotes LB+515,0 et LB+526,7 (Pl. 4, vues 1-2) parmi de plus nombreuses *C. patelliformis* et quelques *C. walfischensis*. Comme à Tercis, le contour du test est sinueux, le profil est dissymétrique avec l'apex décentré ; les loges sont nombreuses. Comme à Tercis, la taille reste un peu inférieure à 700 µm et la hauteur du test est modérée. En un mot, de grands foraminifères carénés présentant la même morphologie et rapportés à *C. contusa* sont présents dans les faciès de plate-forme à Tercis et dans les flyschs à Lasseube. Ils permettent d'attribuer les premières couches qui les renferment au voisinage de la limite Campanien-Maastrichtien.

Parmi les autres planctoniques, les tests sans carène ne sont pas rares. Les hétérohélicidés, ont été utilisés pour élaborer une zonation au Campanien supérieur et au Maastrichtien inférieur en Espagne et dans les Pyrénées (ARZ, 1996). Parmi eux, le genre *Planoglobulina* est présent et a livré, vers le bas, des spécimens à peu de loges terminales (*Planoglobulina carseyae* PLUMMER) entre les cotes LB+298 et LB+460 et peut-être dessous (LB-165) tandis que des formes à nombreuses loges apparaissent entre les cotes LB+490 et LB+526,7 (*Planoglobulina riograndensis* MARTIN). Facilement identifiées, ces formes ont malheureusement des apparitions latitudinalement hétérochrones d'après ARZ (1996, p. 72-74) et ne peuvent servir de repère que localement.

Figure 7 : Marqueurs volcaniques et biostratigraphiques de la succession de Lasseube (Pyrénées atlantiques). Légende comme pour la Figure 5. Les cotes notées sont les distances par rapport au repère 0 situé au plus grand ressaut du ruisseau. La distribution continue de *Rd. calcarata* est indiquée à droite ainsi que les niveaux de la succession dupliqués par le plissement isoclinal.

Figure 7: Volcanic and biostratigraphical markers in a section of the La Bastarde brook (Lasseube, Pyrénées atlantiques). The measurements in meters on the left are distances from a 0 reference point at the highest (1 m) fall in the brook's course. The total range of *Rd. calcarata* is indicated in purple (Distribution) and levels duplicated tectonically in isoclinal folds are orange (Duplications).



Par exemple, *P. riograndensis* "encore fort primitives" est citée par ROBASYNSKI *et alii*, 2000, Pl. 17, p. 424) "à la fin de la zone" d'existence de *Rd. calcarata* en Tunisie, tandis que NEDERBRAGT (1991, p. 358) la fait débiter à la fin de cette même biozone, bien en dessous de son apparition à Lasseube. Le genre *Gublerina*, de la même famille, est présent entre les cotes LB+389 et LB+526,7. Par ailleurs, un unique spécimen de *Schackoina* a été observé contemporain des premières *Rd. calcarata* à la cote LB-21.

Les petits foraminifères benthiques sont beaucoup moins communs que les planctoniques. Le genre *Neoflabellina*, un indicateur de temps au cours du Campanien supérieur et du Maastrichtien a livré des tests peu communs entre les cotes LB+89,5 et LB+526,7 sans que soient décelées, sous la loupe binoculaire, des différences morphologiques entre les plus anciens et les plus récents. Le genre *Bolivinoïdes*, indicateur utile à Tercis n'a livré que 2 spécimens aux cotes LB+103 et LB+403.

En bref, compte tenu de la qualité de la préservation et de l'abondance des restes, la série de Lasseube s'est révélée excellente pour son enregistrement biostratigraphique en foraminifères planctoniques lequel permet à la fois le repérage des couches contemporaines de l'épisode volcanique de Tercis et l'approche de la limite Campanien-Maastrichtien.

4.3. Série de Zumaya à Deba (Zu)

Le cadre et quelques observations de biostratigraphie de la série affleurant entre Zumaya et Deba (Pays Basque espagnol) sont décrits maintenant. La falaise entre Zumaya et Deba expose une grande partie du Crétacé supérieur et le Paléogène. HERM (1965) rapporte la présence de *Rd. calcarata* sur une épaisseur comprise entre 93 m et 108 m (incertitude liée au pas d'échantillonnage) dans un Campanien épais de 1110 m se terminant au sommet de la zone d'existence au sens admis à l'époque. Plus récemment (ARZ & MOLINA, 2002), le foraminifère a été observé dans les 20 m situés à l'Est et strati-

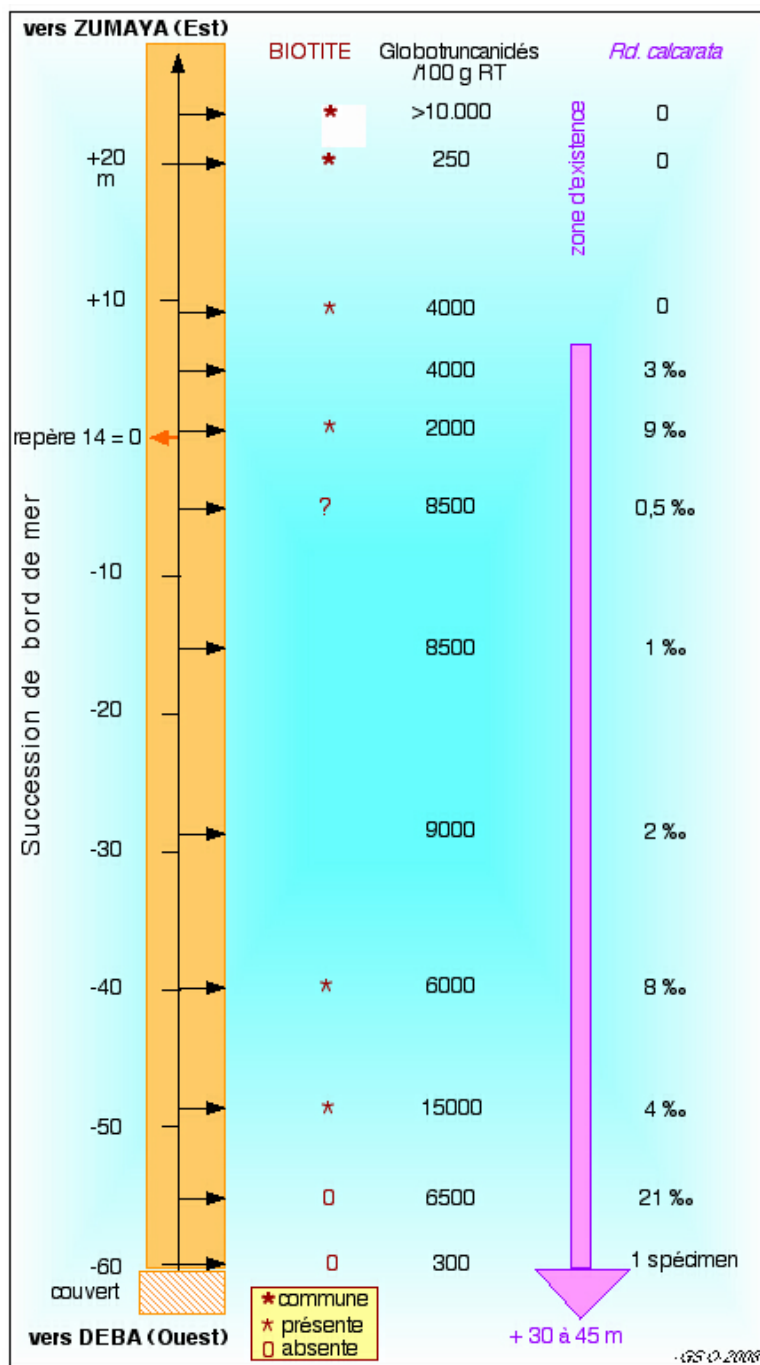


Figure 8 : Marqueurs volcaniques et biostratigraphiques de la succession entre Zumaya et Deba (N Espagne). Légende comme pour la Figure 5. Les cotes correspondent à des épaisseurs de dépôt données en mètres par rapport à notre 0 fixé au repère 14 de ARZ (1996, p. 39). La distribution observée de *Rd. calcarata* est indiquée ; elle constitue probablement la partie supérieure de l'intervalle plus épais cité par HERM (1965).

Figure 8: Volcanic and stratigraphic markers in a cliff between Zumaya and Deba (N Spain). Levels correspond to thicknesses of deposits in meters from our zero level of the section. Our 0 level is identical to level 14 of ARZ (1996, p. 39) as noted in the field. The range of *Rd. calcarata* here probably is in the upper portion of the longer one found by HERM (1965).



Figure 9 : Vue de l'estran au niveau du promontoire 3 ; le sommet du banc épais (trait blanc) a servi de repère 0 pour la localisation des lavages de microfaune. Pour J.A. ARZ, l'apparition de *C. contusa* et la limite Campanien-Maastrichtien sont situés environ 25 m au-dessus (à l'Est).

Figure 9: View from the strand of the cliff between Zumaya and Deba at the level of the 3rd promontory (P3); the white bar is our level 0 for this portion of the section. According to J.A. ARZ (personal communication), the first occurrence of *C. contusa* (and the Campanian-Maastrichtian stage boundary) is about 25 m above it (to the East). The first occurrence of this species is one of the 12 diagnostic criteria used for setting the level of the Campanian-Maastrichtian GSSP at Tercis.



Figure 10 : *Diplomoceras cylindraceum*, longueur visible environ 35 cm ; estran, 20 m à l'Est du promontoire P3 entre Zumaya et Deba.

Figure 10: *Diplomoceras cylindraceum* just above the strand about 20 m higher than P3 in the sequence exposed between Zumaya and Deba. The first occurrence of the species is one of the 12 diagnostic criteria used for fixing the Campanian-Maastrichtian GSSP level at Tercis.

graphiquement au-dessus du repère 14 de ces auteurs. Les marnes prélevées pour la présente étude ont livré d'abondants globotruncanidés (Fig. 8). *Rd. calcarata* a été observée dans tous les échantillons situés entre Zu14 +5 m et Zu14 -59 m avec une abondance de 0,5 à 10 ‰ par rapport à l'ensemble des globotruncanidés et

avec un pic de 20 ‰ à la cote Zu14 -55. Dessous, l'affleurement actuel s'interrompt sur cette falaise fragile dont la mer n'expose que de façon temporaire les couches en place. D'après les observations de Herm, le marqueur devrait être encore présent sur une épaisseur de 30 à 45 mètres (Fig. 8). Avec une variété d'autres globotruncanidés (ARZ & MOLINA, 2002), ces niveaux ont encore livré des spécimens de *Schackoina multispinata* (Pl. 4, vues 6-7) dans la partie moyenne de la zone d'existence de *Rd. calcarata*. Ce niveau est situé environ 6 Ma au-dessus de la zone à *Globotruncanita elevata* où il était autrefois considéré comme disparaissant (CARON, 1985) tandis que ARZ (1996, p. 105) cite l'espèce jusqu'à la limite Crétacé/Paléogène dans cette même section espagnole.

La durée de la zone d'existence peut être estimée ici en combinant les épaisseurs publiées dans la section de Zumaya à Deba par HERM (1965) à savoir 100 ± 7 m, une base du Campanien à $83,0 \pm 1,0$ Ma (ODIN, 1994) et un sommet de la zone d'extension estimé relativement à 74,3 Ma (comme ci-dessus) la durée de la zone d'extension serait de $0,80 \pm 0,15$ Ma l'incertitude ne tenant pas compte de l'approximation faite en admettant un taux de dépôt régulier. Cette incertitude pourrait être élevée car, avec une épaisseur moyenne de près de 130 m/Ma cette valeur est très différente de celle calculée pour le Maastrichtien (185 m pour environ 6,5 Ma soit un taux moyen de 28,5 m/Ma) laquelle est très comparable à celle constatée à Tercis (25 m/Ma). L'observation de terrain milite toutefois pour une régularité des dépôts campaniens : une alternance régulière grès-marnes de flyschs tandis que les dépôts maastrichtiens constituent un faciès notoirement différent de type carbonaté avec un changement de faciès survenant dans les derniers niveaux du Campanien final (ARZ, 1996, p. 38-40).

Dans la même série, quelques observations ont été faites aux alentours de la limite Campanien-Maastrichtien. ARZ & MOLINA (2002) situent cette limite près du 3ème promontoire en fonction des récoltes de foraminifères planctoniques. La position du banc 0 (barre blanche, Fig. 9) dans ce promontoire noté ici P3 est estimée 210 m stratigraphiquement sous la limite Crétacé/Paléogène située à l'Est. Ces promontoires sont des avancées bien identifiées (HERM les cite déjà en 1965) de couches redressées dans la mer ; l'ensemble des couches faisant saillie comprend les cotes -9 (à l'Ouest) à +12 (à l'Est). La proximité de la limite Campanien-Maastrichtien a été confirmée sur le terrain par la découverte d'une ammonite marqueur (Fig. 10) dans les débris de roches situés stratigraphiquement 15 à 20 mètres au-dessus du niveau exposé au promontoire P3. L'apparition de *Diplomoceras cylindraceum* (DEFRANCE), une espèce de répartition mondiale en haute latitu-

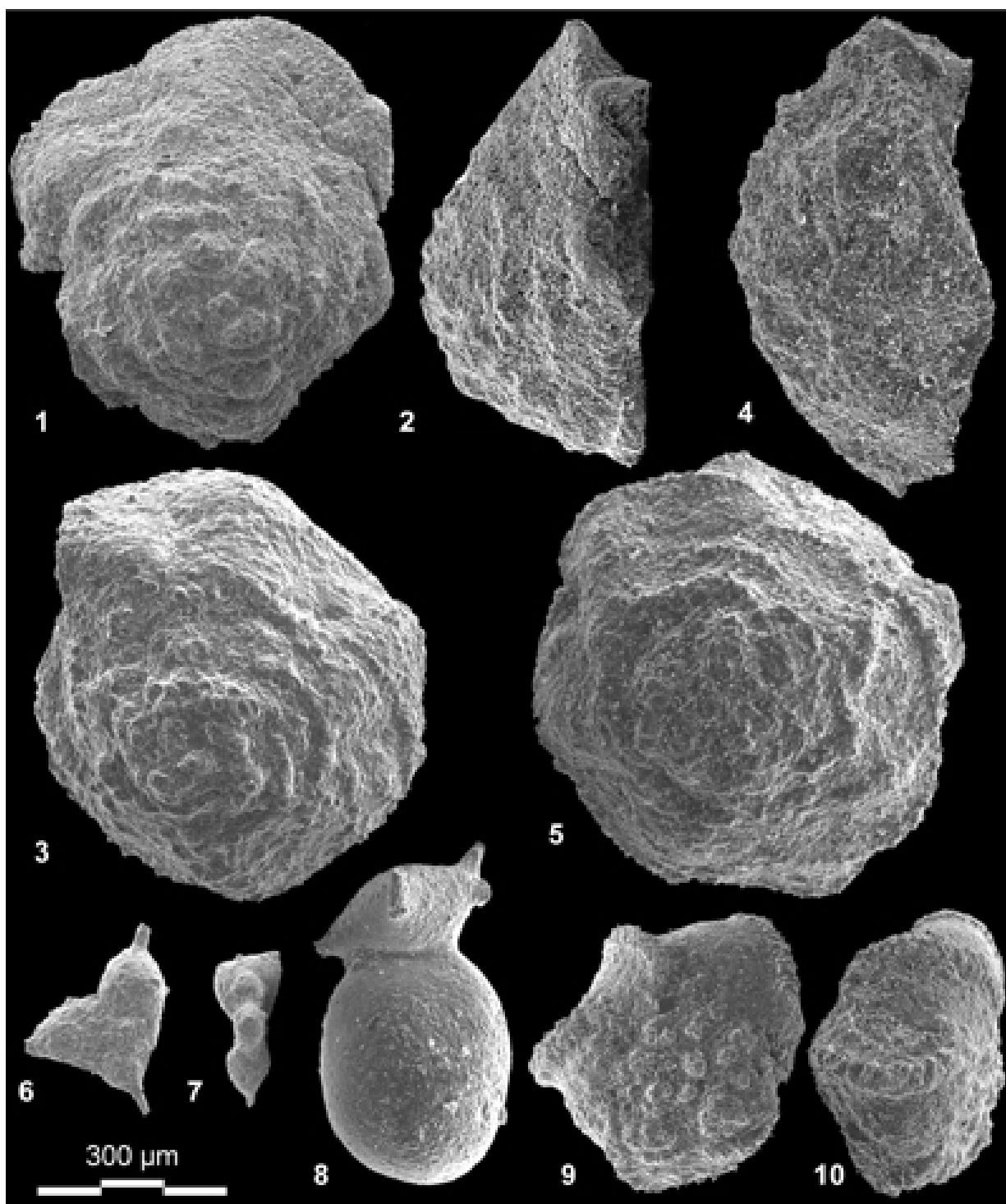


Planche 4 : Microscopie électronique à balayage de microfaune du flysch Campanien-Maastrichtien péri-pyrénéen. Barre d'échelle commune : 300 µm. 1-2 : *Contusotruncana* de Lasseube, vues spirale et de profil, niveau LB +526,7 (indice H/D : 0,49) ; Maastrichtien basal. 3-5 : *Contusotruncana* de Zumaya niveau P3 +26, Maastrichtien basal, 185 m sous la limite Crétacé-Paléogène (indice H/D : 0,50) ; 3 : vue spirale, spécimen exceptionnel à enroulement senestre ; 4-5 : vues de profil et spirale d'un autre spécimen. 6-7 : *Schackoina* de Zumaya ; vues spirale et de profil de 2 spécimens contemporains de la partie inférieure de la zone à *Rd. calcarata* (Zu14 -40). 8 : *Globulina* sp., Lasseube, niveau LB +130 au sommet de la zone à *Rd. calcarata*. 9-10 : Globotruncanidé à loges tournées, vues spirale et de profil, section de Gan à Rébénacq, niveau GR -33.

Plate 4: Scanning electron microscope views of microfossils from the peri-Pyrenean Campanian-Maastrichtian flysch. Common scale bar: 300 µm. 1-2: *Contusotruncana* of Lasseube, spiral and profile views, level LB +526.7; basal Maastrichtian. 3-5: *Contusotruncana* from Zumaya level P3 +26, basal Maastrichtian, 185 m below the Cretaceous-Palaeogene boundary; 3: spiral view of a sinistral specimen; 4-5: profile and spiral views of another specimen. 6-7: *Schackoina* from Zumaya; spiral and profile views of 2 specimens of the lower part of the *Rd. calcarata* range zone (Zu14 -40). 8: *Globulina* sp., Lasseube, level LB +130 top of the *Rd. calcarata* zone. 9-10: globotruncanid with tilted chambers, spiral and profile views, level GR -33 between Gan and Rébénacq.

de, (ODIN, 2001, p. 816-817) a été observée à Tercis depuis le niveau 111 ± 3 (ODIN, 2001, p. 556) à peine en dessous du niveau du Point Stratotypique Mondial de la limite Campanien-Maastrichtien ce qui lui a valu d'être choisie parmi les 12 événements clé ayant participé à la localisation du niveau conventionnel de cette limite (ODIN, 2001, p. 827). ARZ (communication personnelle, 2004) localise aujourd'hui l'apparition de *Rugoglobigerina scotti* BRÖNNIMAN environ 25 m au-dessus de P3 avec peut-être des formes primitives 15 m plus bas mais 20 m plus haut que proposé précédemment (ARZ & MOLINA, 2002, p. 169) et très près de l'apparition de *Contusotruncana contusa* dans le même affleurement.

Aucun marqueur n'a été trouvé à la cote P3+10,6 au cours de la présente étude mais *Rg. scotti* (très rare, primitive?) a été observée au-dessus à P3+11,8 tandis qu'une "grande" *Contusotruncana* (rare) a été récoltée à la cote P3+26. Le plus grand test (Pl. 4, vues 4-5) atteint 700 µm, les loges sont allongées et la hauteur est modeste comme dans les spécimens de Tercis ou de Lasseube rapportés à *C. contusa* et à un niveau que l'on peut considérer comme contemporain. Un second test présente les mêmes caractéristiques (Pl. 4, vue 3) mais est plus petit, avec un apex plus dissymétrique et, surtout, un enroulement senestre exceptionnel. Ces tests font partie d'une microfaune de foraminifères variée parmi lesquels : *C. patelliformis*, taxon plus petit que *C. contusa* ici, d'autres globotruncanidés, des rugoglobigérines, divers hétérohélicidés dont *Planoglobulina multicamerata*, quelques gublerines. Ceci est en accord avec l'étude de ARZ qui illustre (1996, p. 232) la présence d'une soixantaine d'espèces au niveau de l'apparition des premières *Contusotruncana* rapportées à *C. contusa*. Un spécimen de globotruncanidé dont les loges du dernier tour sont tournées est illustré pour sa curiosité (Pl. 4, vues 9-10). Parmi les benthiques, *Bolivinoïdes draco* est rare, comme à Lasseube et, comme à Lasseube, on rencontre assez communément des spécimens curieux rapportés au genre *Globulina* dont le test est constitué de 2 portions distinctes, l'une étant munie d'épines fourchues (Pl. 4, vue 8).

4.4. Conclusion pour le flysch

Les globotruncanidés et les autres foraminifères planctoniques sont présents partout dans le flysch pyrénéen. Le marqueur *Rd. calcarrata* est bien représenté dans les 3 sections citées ci-dessus ainsi que dans d'autres comme à Pareil, près de Pau, où les teneurs sont supérieures : 4,5 à 30 ‰ par rapport à l'ensemble des globotruncanidés mais ce dernier affleurement est trop court pour inclure toute la zone d'existence tandis que d'autres affleurements anciens ne sont plus accessibles aux environs de Pau.

Un taxon a été rapporté à *C. contusa* (Pl. 4

ci-dessus) dans ces niveaux du flysch pyrénéen, bien qu'il n'atteigne pas la grande taille ni la hauteur du test qui caractérisent la forme de la partie moyenne du Maastrichtien. Il est présent dès les premiers niveaux que l'on peut attribuer au Maastrichtien basal par comparaison avec les exemplaires présents dès la cote 115 à Tercis où est définie la limite d'étage. *Rg. scotti* est plus difficile à identifier mais a été observé près de Zumaya. À Tercis, cette apparition de *Rg. scotti* est pratiquement contemporaine de celle de *Contusotruncana contusa* d'après ARZ & MOLINA (2001). Mais les autres auteurs n'ont pas identifié cette apparition de *Rg. scotti* à Tercis sans doute parce que les spécimens sont rares et leur aspect encore éloigné de la forme typique. Le couple de marqueurs de foraminifères planctoniques retenu pour approcher la limite en 2001 à Tercis a été repéré de la même façon dans la série affleurant entre Zumaya à Deba ; en ce lieu, l'ammonite *D. cylindraceum* vient appuyer la caractérisation paléontologique des couches de passage entre le Campanien et le Maastrichtien ; ailleurs, seule l'apparition de la forme primitive rapportée à *C. contusa* a été observée dans ces mêmes couches.

Les gilianelles et autres microproblematica observés dans le faciès de plate-forme sont absents du flysch. Le repérage stratigraphique a été satisfaisant partout et les traces de volcanisme ont pu être recherchées de nouveau à Tercis et dans les niveaux contemporains des autres affleurements.

5. Minéraux pyroclastiques

5.1. Travaux antérieurs

La présence de minéraux pyroclastiques dans le Campanien du sud de l'Aquitaine a été décelée pour la première fois à Tercis (ODIN, 2001*, p. 103-105). Ce sont d'abord les paillettes de biotite qui ont attiré l'attention avec leur apparence pyroclastique. Celle-ci se lit dans le caractère hexagonal du contour (angles à 120° propres au caractère automorphe supposés traduire une croissance dans un fluide), dans l'épaisseur relative et la taille assez grande dépassant parfois les 500 µm (qui contraste avec la finesse des paillettes remaniées), dans la présence de vacuoles et d'inclusions de zircon ou d'apatite (qui traduirait la rapidité de cristallisation du magma), enfin dans une abondance supérieure à celle rencontrée dans les autres niveaux. Tous ces critères sont propres aux cristaux extraits de niveaux pyroclastiques d'origine éolienne recon- nue illustrés par exemple dans les bentonites (dans ce travail, le terme bentonite est pétrologique et désigne une couche de nature volcanoclastique dans laquelle le verre a été transformé en minéraux argileux dans le bassin de dépôt, cf. ODIN *et alii*, 1986b, Fig. 1).

C'est ensuite la surprenante présence de sanidine dans le niveau 54,9 de la section du stratotype qui a été mise en évidence. Ce

minéral typique du volcanisme explosif fut identifié par diffractométrie de rayons X (ODIN, 2001*, p. 101 ; KIENAST *et alii*, 2001). Un test quantitatif fut réalisé en dissolvant 9,7 kg de roche totale. Il a livré environ 80 g (8‰) de silt à biotite après attaque acétique tamponnée complète. Il s'agit essentiellement de glauconie (5‰/roche totale). La sanidine constituait l'essentiel des fractions non attirables de densité < 2,52 à 2,56 qui, toutes, renferment un mélange quartz-sanidine (soit de l'ordre de 1 ‰ de la roche totale). Quelques cristaux de sanidine montrent un diamètre atteignant 200 µm (ODIN, 2001*, p. 103).

Enfin, quelques aiguilles d'apatite complétaient le spectre des minéraux pyroclastiques dont l'attribution fut suggérée d'après leur morphologie en aiguilles parfaitement cristallisées. Longues jusqu'à 300 µm et très fines (diamètre 15 à 30 µm) elles dénotent une absence de transport de type détritique et signent une origine éolienne.

Outre la présence de minéraux pyroclastiques sous forme de cristaux automorphes, la série présente une "anomalie" en kaolinite contemporaine (Fig. 3). L'hypothèse a été faite d'une origine hydrothermale de cette kaolinite. En effet, l'étude des bentonites anciennes a montré que ces lits renfermaient parfois une concentration remarquable en kaolinite laquelle peut signifier, dans le niveau sédimentaire, une arrivée de matériel volcanique explosif (ODIN *et alii*, 1986a, p. 120). Le présent travail avait pour but de retrouver les traces de ces phénomènes volcaniques au niveau régional afin de mieux caractériser ce matériel dans le but de l'interpréter.

5.2. Résultats nouveaux sur la plate-forme

Les dissociations acétolytiques entreprises dans la série de la Grande Carrière à Tercis ont confirmé les observations ci-dessus. En outre, un petit nombre de sphérules microscopiques, transparentes, claires, régulières ont attiré l'attention au niveau II 39,5 (Fig. 3). L'examen au microscope électronique n'a révélé aucune structure (Fig. 11) ce qui suggère une nature vitreuse ; l'analyse élémentaire identifie un verre siliceux calco-sodique avec de faibles teneurs en magnésium, aluminium et potassium et dépourvu de fer. Cette composition est compatible avec une nature volcanique et renforce le signal d'une activité volcanique explosive. Le niveau auquel ces sphérules ont été observées est une surprise car elles précèdent d'environ 12 m le pic de kaolinite, les cristaux de biotite automorphes vus à la loupe et les cristaux de sanidine (Fig. 3). Ceci traduirait un événement volcanique antérieur d'environ 0,5 Ma. Cette analyse, obtenue tardivement, suggère qu'il serait profitable de poursuivre l'étude afin de préciser l'étendue

dans le temps et l'espace de l'épisode volcanique ayant laissé des traces dans la série de plate-forme. Pour le moment, nous enregistrerons ce sixième indice (après le pic de kaolinite, la biotite, la sanidine, le zircon et l'apatite) d'un phénomène comprenant une activité volcanique acide.

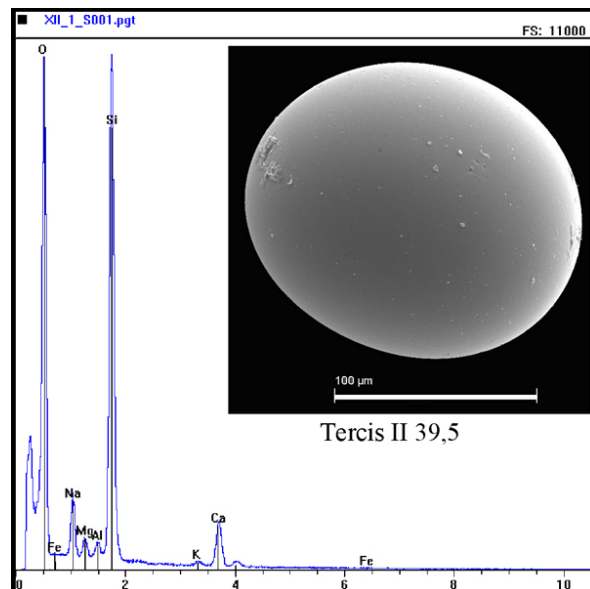


Figure 11 : Composant pyroclastique du Campanien supérieur péripyrénéen ; microscopie électronique à balayage et analyse microsonde correspondante. Sphérule de verre volcanique ; niveau 39,5 de Tercis. **Figure 11**: Upper Campanian Pyrenean pyroclast; a scanning electron microscope view accompanied by its microanalysis. A volcanic siliceous spherule taken in the platform facies at Tercis immediately below the lower limit of the *Rd. calcarata* total range zone.

À Peyrata, l'étude diffractométrique de la fraction décalcifiée non attirable au séparateur magnétique et légère dans le bromoforme a confirmé la prévision : il y a une proportion significative de sanidine dans les niveaux Pe 33,1 Pe 34,1 et Pe 35,1 (Fig. 5) tandis que la fraction fine des mêmes niveaux comprend une proportion notable de kaolinite. La biotite n'a été repérée qu'à la cote Pe 34,1 dans ces petits prélèvements. Ainsi, l'épisode volcanique a été facilement mis en évidence à Peyrata comme dans la Grande Carrière d'après la minéralogie des argiles et la présence de minéraux pyroclastiques. Cette observation rejoint celle faite dans l'étude d'une section de Navarre espagnole (ODIN, 2008b) qui appartient au même type de faciès de plate-forme riche en échinodermes diversifiés. Dans cette section navarraise, des paillettes de biotite d'apparence pyroclastique ont été signalées dans les niveaux supérieurs de la zone d'existence de *Rd. calcarata* et un peu au-dessus tandis que les investigations aux liqueurs denses révélaient la présence de cristaux de zircon et probablement d'apatite.

5.3. Résultats nouveaux dans le bassin du flysch

Dans la série affleurant entre Gan et Rébénacq, des paillettes de biotite d'apparence pyroclastique ont été observées dans la moitié supérieure de la zone d'existence de *Rd. calcarata*. Une paillette prélevée dans le dernier niveau à *Rd. calcarata* (Fig. 12) illustre la présence de 4 angles à 120° et de nombreuses vacuoles dont l'une est importante et spécialement évocatrice du caractère volcanique combiné avec le fantôme d'un cristal de zircon (en haut de la vacuole). D'autres paillettes brunes, rares, altérées, aux bords déchiquetés sont présentes et suggèrent un héritage magmatique (noté D, Fig. 6) plutôt qu'un approvisionnement aérien en matériel volcanique.

Dans la coupe de Lasseube (Fig. 7), la biotite est présente tout au long de la zone d'existence de *Rd. calcarata* et plus rare au-dessus et en dessous. Les cristaux de zircon (Fig. 13) sont présents, parfois parfaitement cristallisés et biterminés, le spécimen illustré, transparent et brillant à la loupe binoculaire, est probablement d'origine pyroclastique. La présence de zircon hérité, minéral très résistant, n'est pas improbable dans ces couches essentiellement détritiques. Par contre l'apatite, un autre minéral dense dont l'origine peut-être magmatique ou volcanique, est très fragile et la présence de cristaux automorphes avec leurs 6 faces allongées signe avec sûreté une origine volcanique explosive. Le cristal illustré (Fig. 14) provient des niveaux stratigraphiquement les plus bas de la zone à *Rd. calcarata* de Lasseube.

Dans la série de Zumaya, la biotite ne présente pas de concentration mais les niveaux où elle est plus probablement volcanique (Fig. 8) sont plutôt dans la partie supérieure et au-dessus de la zone à *Rd. calcarata*. Dans les 3 sections du flysch étudiées, la muscovite est aussi présente, signant un héritage depuis des roches plutoniques. De très nombreux niveaux comportent aussi des cristaux automorphes à densité élevée, de couleur miel à vert bouteille voire presque noire. L'analyse indique qu'il s'agit de tourmaline (Fig. 15), minéral plutonique sûrement détritique qui, avec sa dureté relative, résiste au remaniement et indique que le transport par voie liquide reste modéré depuis les roches sources altérées jusqu'au bassin du flysch.

En résumé, le flysch campanien renferme des cristaux automorphes de roches de haute température. La distinction plutonique/pyroclastique est difficile pour les minéraux résistants mais la présence de cristaux fragiles préservés comme ceux d'apatite signe une provenance aérienne (volcanisme explosif) ; la morphologie des paillettes de biotite permet aussi de distinguer un apport volcanique instantané d'un héritage.

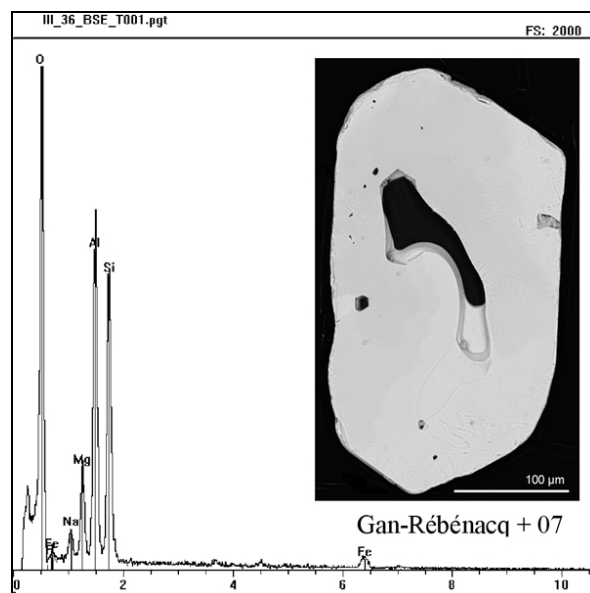


Figure 12 : Composant pyroclastique du Campanien supérieur pérypyrénéen ; microscopie électronique à balayage et analyse microsonde correspondante. Paillette de biotite d'un niveau sommital de la zone à *Rd. calcarata* dans le faciès flysch.

Figure 12: Upper Campanian Pyrenean pyroclastic crystal; scanning electron microscope view accompanied by its microanalysis. Euhedral biotite mica flake from the top of the *Rd. calcarata* total range zone in the flysch facies, succession between Gan and Rébénacq.

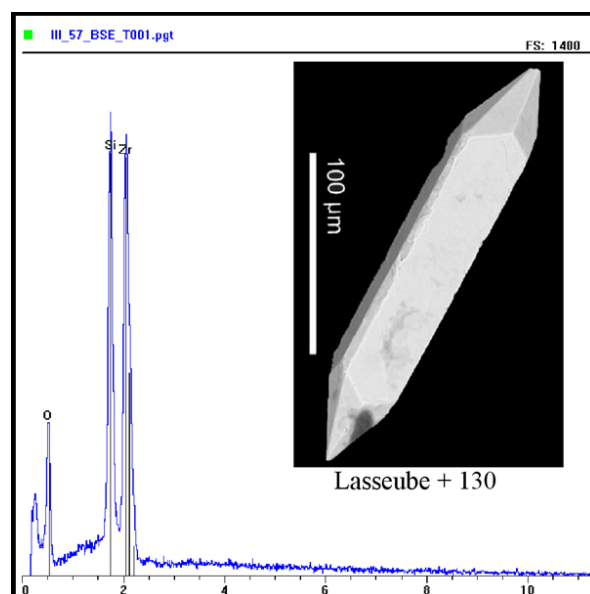


Figure 13 : Composant pyroclastique du Campanien supérieur pérypyrénéen ; microscopie électronique à balayage et analyse microsonde correspondante. Cristal de zircon d'un niveau sommital de la zone à *Rd. calcarata* dans le faciès flysch.

Figure 13: Upper Campanian Pyrenean pyroclastic crystal; scanning electron microscope view accompanied by its microanalysis. Zircon from the top of the *Rd. calcarata* total range zone in the flysch facies, succession at Lasseube.

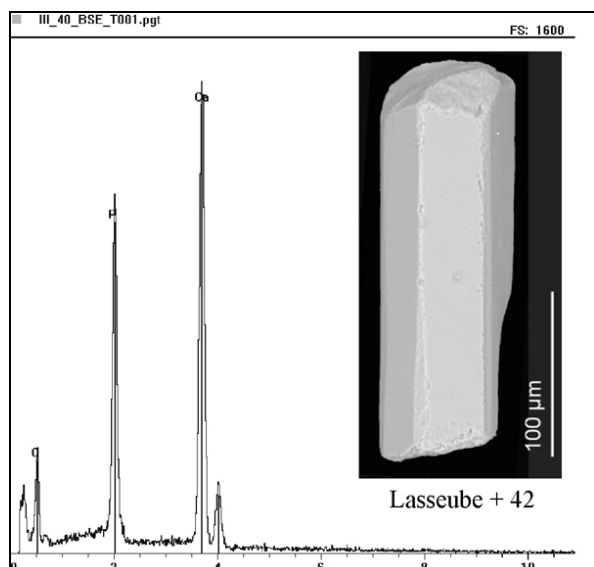


Figure 14 : Composant pyroclastique du Campanien supérieur péripyrénéen ; microscopie électronique à balayage et analyse microsonde correspondante. Cristal d'apatite d'un niveau inférieur de la zone à *Rd. calcarata* dans le faciès flysch.

Figure 14: Upper Campanian Pyrenean pyroclastic crystal; scanning electron microscope view accompanied by its microanalysis. Broken apatite crystal from the lower part of the *Rd. calcarata* total range zone in the flysch facies, succession at Lasseube.

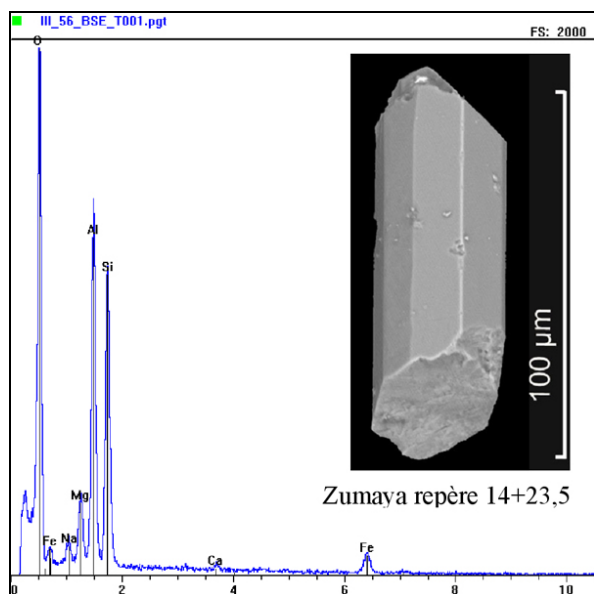


Figure 15 : Cristal automorphe du Campanien supérieur péripyrénéen ; microscopie électronique à balayage et analyse microsonde correspondante. Tourmaline d'un niveau postérieur à la zone à *Rd. calcarata* dans le faciès flysch.

Figure 15: Upper Campanian Pyrenean idiomorphic crystal; scanning electron microscope view accompanied by its microanalyse. Tourmaline from above the *Rd. calcarata* total range zone in the flysch facies.

6. Discussion des nouveaux résultats

6.1. Micropaléontologie

Pour la partie micropaléontologie, le présent travail s'est focalisé sur 2 taxons marqueurs : *Rd. calcarata* et une forme proche de *C. contusa*. Le premier, dont la présence n'était pas admise à Tercis avant sa découverte par Jana ION (ION & ODIN, 2001) a été illustré récemment pour la première fois par un spécimen dégagé (ODIN, 2008c). De nouvelles illustrations sont proposées ici (Fig. 4 et Pl. 1). *Rd. calcarata* est rare à Tercis et de relativement petite taille ; ces caractères semblent communs à tous les foraminifères planctoniques de la section probablement en relation avec le faciès particulier de la plate-forme du Bassin Aturien. Dans le faciès plus profond contemporain, l'espèce est plus commune et sa morphologie plus conforme à ce qui est connu ailleurs dans le monde. L'excellence de ce marqueur chronologique relatif de reconnaissance aisée est liée à sa distribution temporelle très restreinte.

À Tercis, l'estimation de la durée d'existence de *Rd. calcarata* est d'un minimum de 0,4 Ma et pourrait atteindre 0,9 Ma (Fig. 16) en accord avec l'estimation de $1,0 \pm 0,2$ Ma qui peut être faite dans les Apennins (ODIN, 2001, p. 779). Au Sud de Lasseube, la durée a été estimée ici à $0,67 \pm 0,10$ Ma, peut-être un peu plus, tandis que dans la section entre Zumaya et Deba, cette durée correspondrait à $0,80 \pm 0,15$ Ma. L'interprétations orbito-climatique des dépôts tunisiens récemment publiée par HENNEBERT *et alii* (2009) permet des estimations de durées indépendantes. Dans la section d'Ellès, en Tunisie centrale, la durée d'existence prouvée de *Rd. calcarata* observée sur une épaisseur de 30 m représenterait de l'ordre de 0,75 ou de l'ordre de 0,85 Ma selon que l'on considère le taux de dépôt déduit par les auteurs à partir des cycles de 20 ka ou celui obtenu à partir des cycles de 100 ka (HENNEBERT *et alii*, 2009, Fig. 8 et communication personnelle). ROBASZYNSKI & MZOUGHJI (sous presse) évoquent pour leur part une durée de dépôt voisine de 0,79 Ma entre les prélèvements où l'espèce a été identifiée. Un échantillonnage plus serré pourrait étendre cette durée de 1/3 au maximum. L'ensemble des estimations ainsi rassemblées (Fig. 16) est très cohérent malgré un procédé d'estimation évidemment approximatif quand des taux moyens de sédiment par Ma sont considérés. On retiendra l'estimation de $0,80 \pm 0,05$ Ma compatible avec toutes les informations rassemblées pour la durée de la zone d'existence de *Rd. calcarata*.

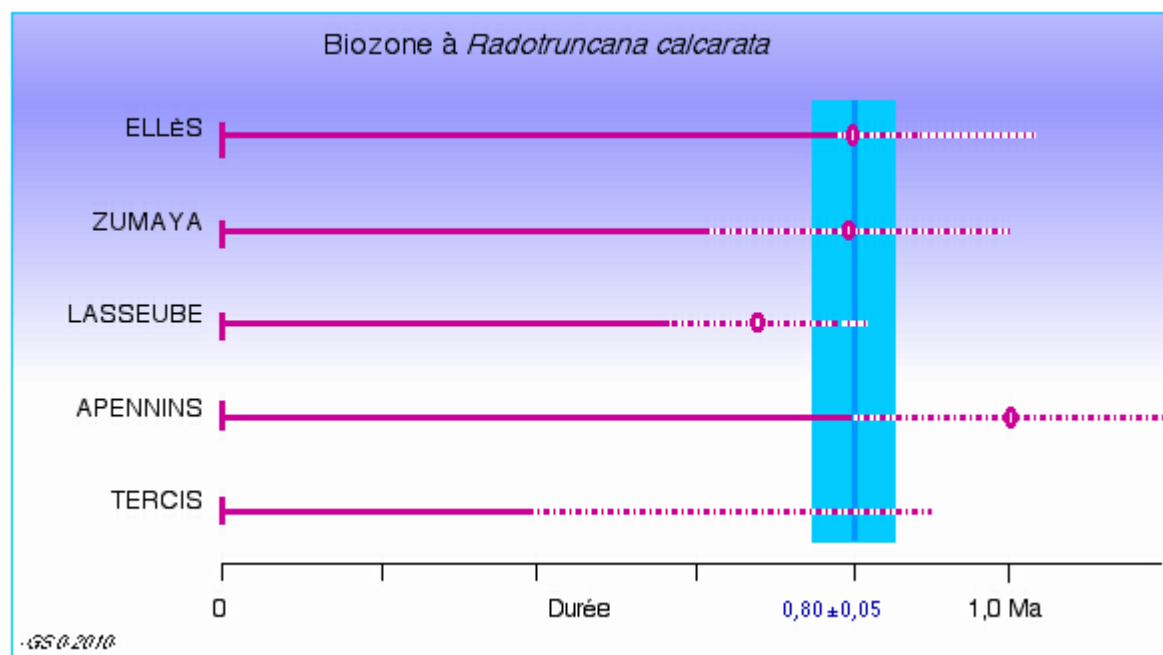


Figure 16 : Estimations de la durée de la biozone d'existence de *Rd. calcarata*. L'ensemble des propositions est compatible avec une estimation de $0,80 \pm 0,05$ Ma.

Figure 16: Estimates of the duration of the total range zone of *Rd. calcarata*. All proposals are consistent with an integrated estimate at 0.80 ± 0.05 Ma.

Les travaux tunisiens permettent des datations relatives de divers événements biostratigraphiques du Campanien ; celles-ci peuvent être comparées à celles proposées à Tercis en 2001 (ODIN & AMOROSI, 2001) dont le calibrage numérique a été discuté (ODIN, 2001, Fig. 2, p. 779) puis appliqué aux principaux événements identifiés dans la section (ODIN, 2001, Fig. 2, p. 796 où l'on notera que la limite d'étage a été notée par erreur à la cote 116,2 et non 115,2). Par exemple, le sommet de la zone à *Rd. calcarata* est représenté 2,75 à 3,18 Ma sous la limite d'étage à Ellès d'après HENNEBERT *et alii* (2009, p. 333). Nous avons estimé la durée de cet intervalle à 2,55 Ma à Tercis en 2001. Par exemple encore, la base de la zone d'ammonites à *Bostrychoceras polyplacum* serait à environ 4,8 Ma sous la limite d'étage à Ellès (ROBASZYNSKI & MZOUGHJI, sous presse). Elle était localisée 4,3 Ma sous la limite à Tercis en 2001. Ainsi, les signaux sédimentaires interprétés dans la section de référence à Tercis avaient conduit à des estimations de durée qui se révèlent proches de celles dérivées des interprétations orbito-climatiques faites en Tunisie récemment. Les durées légèrement inférieures estimées en 2001 suggèrent un "manque" apparent de l'ordre de 0,4 Ma. Ceci trouverait sans difficulté une "explication" dans la présence des deux niveaux riches en glauconie notamment autour des cotes 66 et 48 à Tercis. Nous avons estimé la condensation correspondante à 0,1-0,2 Ma chacune (ODIN & AMOROSI, 2001, p. 129), elle pourrait-être plus importante notamment à la cote 66 où la phosphatisation s'ajoute à la présence de glauconie évoluée ce qui pourrait justifier

l'hypothèse d'une condensation de 0,4 à 0,5 Ma. L'étude de sections contemporaines permet ainsi une meilleure connaissance et interprétation de la section de référence de Tercis sur ce point.

Quant à *C. contusa*, la forme type telle qu'illustrée par ROBASYNSKI *et alii* (1984, Pls. 35-37) n'existe pas à la base du Maastrichtien. En particulier, la très grande taille ni la hauteur considérable du test qui caractérisent en partie l'espèce 1 à 2 Ma après, dans un Maastrichtien plus récent, ne sont pas visibles. Cependant, les trois équipes ayant étudié les foraminifères planctoniques à Tercis avant 2001 (CARON & ODIN, 2001 ; ARZ & MOLINA, 2001 ; ION & ODIN, 2001) ont signalé des spécimens qui pouvaient être rapprochés de *C. contusa* dès la base du Maastrichtien du stratotype : les premiers les ont nommés *C. patelliformis*?/*C. contusa*?, les suivants les nomment *C. contusa* ; les derniers les nomment aussi *C. contusa* mais illustrent, en outre une *C. fornicata* morph. B/*C. contusa* (Pl. VI, Figs. 137-138) provenant aussi de la base du Maastrichtien. Ces appellations désignent des spécimens très proches, notamment par la hauteur du test, de l'une des *Contusotruncana* illustrées par ROBASYNSKI *et alii* (1984, Pl. 36, spécimen 2). C'est cette forme qui paraît significative pour approcher la limite d'étage dans les dépôts océaniques riches en foraminifères planctoniques et qui est illustrée ici des sections de Tercis, Lasseube et Zumaya afin de la présenter plus complètement.

Pour ce qui est des microproblematica, les gilianelles et d'autres formes permettent des datations relatives précises dans le faciès de plate-forme ; leur absence dans le flysch laisse

supposer leur inféodation aux milieux relativement peu profonds et sans apports détritiques. Deux nouvelles formes d'*incertae sedis* sont brièvement décrites ici pour porter à 70 le nombre d'espèces reconnues à Tercis. Trois d'entre elles appartiennent à deux genres déjà décrits attribués incorrectement aux kystes de Dinoflagellés (genres *Tetratropis*, *Coradinidium*).

6.2. Volcanisme

La présence de sanidine minéralogiquement déterminée est une caractéristique exclusive du volcanisme acide mais le minéral n'a pu être séparé que dans le faciès de plate-forme. Les cristaux en aiguilles d'apatite ont été vus en très petite quantité dans les deux faciès de plate-forme et dans le bassin du flysch. Les paillettes de biotite automorphes ont été identifiées à la fois en faciès de plate-forme et dans le bassin du flysch mais elles sont mêlées à du matériel détritique dans le flysch. Plus généralement, le critère le plus sûr de reconnaissance d'un apport volcanique explosif dans un sédiment est la combinaison de la présence de divers marqueurs ; c'est dans la section de référence stratotypique à Tercis que la mise en évidence est la mieux établie avec 6 critères minéralogiques associés. La section joue donc pleinement son rôle de référence stratigraphique par la variété des informations acquises lors des études précédentes et par son potentiel restant puisque chaque étude nouvelle apporte des informations originales. Le stratotype acquiert une signification plus utile lorsqu'il est replacé dans son contexte régional lequel a été abordé dans la présente étude.

Cependant, on n'a pas trouvé de niveaux de concentration extrême comme il est usuel dans les bassins où se déposent des bentonites près des sources explosives. Pour envisager une interprétation des observations faites jusqu'ici, il est crucial de les replacer dans le cadre géologique et géodynamique régional. BILLOTTE *et alii* (2001) ont présenté ce cadre et l'histoire du site de Tercis. Ils notent qu'après l'érosion des reliefs hercyniens, un rifting continental se déroule au Trias associé à un volcanisme tholéiitique. Cette ouverture océanique se poursuit au Jurassique et au Crétacé inférieur avec un début d'ouverture du Golfe de Gascogne au cours d'une nouvelle phase extensive à l'Aptien-Albien. Le régime extensif s'accompagne d'une tectonique salifère dans toute la région (diapirisme). Au Crétacé supérieur, l'activité tectonique se restreint au domaine pyrénéen où le régime extensif commence à se modifier à la fin du Santonien pour devenir compressif. Le régime compressif s'établit au Paléocène-Éocène et l'orogénèse pyrénéenne débute à l'Oligocène.

La présence de volcanisme crétacé dans les Pyrénées a été envisagée et les exemples connus signalés (ODIN, 2001*, p. 103-104). Tous sont antérieurs au Campanien supérieur et

aucun n'est explosif. Plus loin, des traces de volcanisme (sous forme de smectite, de cristobalite, de zéolites) ont été citées dans l'Europe du Nord-Ouest ; aucune de ces citations n'évoque des minéraux comme ceux décrits dans ce travail. Notre seule connaissance de minéraux minéraux pyroclastiques sédimentaires contemporains en Europe concerne un niveau des Apennins à la limite Campanien-Maastrichtien (ODIN *et alii*, 1993).

Jusqu'aux premières observations faites à Tercis, aucune trace d'événement éruptif acide n'était connue dans la région pyrénéenne au Campanien supérieur. Par contre, des événements éruptifs acides sont bien connus en Amérique du Nord depuis l'Albien jusqu'au Danien : ce sont des bentonites interstratifiées dans les sédiments marins crétacés du bassin du Western Interior (OBRADOVICH & COBBAN, 1976). Pour notre intervalle de temps, elles résultent d'émissions explosives localisées dans l'ensemble des Montagnes Rocheuses durant l'intervalle de 76 à 70 Ma. Ce matériel a été exploité pour dater géochronologiquement les couches sédimentaires depuis le Saskatchewan au Nord (BAADSGAARD *et alii*, 1993) en passant par le Montana, le Wyoming (HICKS *et alii*, 1999), le Colorado, et jusqu'au Nouveau Mexique au Sud ; d'autres traces sont connues 1200 km à l'Est du Nouveau Mexique, en Arkansas (OBRADOVICH *et alii*, 1990) et c'est dans ce dernier état qu'elles sont associées à la présence de *Radotruncana calcarata* datée là à environ 75,2 Ma.

Dans les Pyrénées, les experts s'accordent pour penser que l'évolution géodynamique de la région au Campanien supérieur n'est pas compatible, notamment, avec un phénomène de subduction lequel expliquerait l'existence d'un volcanisme explosif susceptible d'émettre des composés aussi évolués que la sanidine qui a été mise en évidence au cours de ce travail. Il faut alors soit postuler l'existence d'un phénomène de subduction régional non connu, soit envisager un apport éolien depuis une source très lointaine (de l'ordre de 7000 km pour l'Amérique du Nord). Dans cette optique, il faut faire l'hypothèse d'un mécanisme de transport aérien susceptible de transporter sur de longues distances des éléments de grande taille. En effet, les éléments apportés dans le Bassin Aturien devaient être de taille millimétrique si l'on prend en compte le fait que ce sont des éléments de roches qui ont alimenté le bassin et que c'est seulement une fois déposés qu'ils ont été soumis à l'hydrolyse laquelle a détruit la matrice vitreuse de la roche pour libérer les cristaux observés dans ce travail. Les documents illustrant ce type de transport nous manquent autant que ceux envisageant une subduction mais il reste que le matériel pyroclastique a été mis en évidence sans conteste.

7. Conclusions

L'étude micropaléontologique rapportée dans ce travail a indiqué que l'acétolyse des niveaux campaniens carbonatés indurés est plus efficace que la réalisation et l'étude de lames minces pour déceler la microfaune lorsqu'elle est peu abondante. C'est le cas dans le faciès de plate-forme du Bassin Aturien comme dans l'équivalent de Navarre espagnole. Parmi les microfossiles utiles à la chronologie relative du Campanien, *Rd. calcarata* a été observée régulièrement dans tous les affleurements de plate-forme ou de bassin ce qui confirme l'excellence de ce marqueur mondial et le grand intérêt de sa présence dans le stratotype de Tercis. Les estimations tentées donnent à sa durée d'existence une valeur de $0,80 \pm 0,05$ Ma appuyée à la fois par des considérations sédimentologiques et orbito-climatiques récemment effectuées par ailleurs en Tunisie. Cette dernière approche a permis d'établir une chronologie relative des événements biostratigraphiques qui conforte celle proposée en 2001 lors de l'étude de qualification de la section de Tercis et renforce la signification du stratotype choisi à Tercis sur ce point.

Les microproblematica ont aussi révélé un potentiel de calage stratigraphique précis au plan régional avec un nombre de marqueurs nettement plus grand que pour les foraminifères planctoniques ou les ammonites. Ces microproblematica sont communs ; ils donnent des signaux temporels reproductibles qui soulignent encore la qualité exceptionnelle de la section stratotypique de Tercis. Plus généralement, l'acétolyse a mis à notre disposition un matériel qui renferme encore un bon potentiel de connaissance sur la biodiversité à la fin du Crétacé. Cette biodiversité est illustrée ici par la présentation de deux nouveaux taxons problématiques qui portent à 70 le nombre de ces microproblematica nouvellement décrits dans le stratotype de Tercis. L'un de ces 2 nouveaux taxons rappelle que les microsphères si communes dans le faciès des calcaires à pithonelles recouvrent une variété de groupes biologiques invitant à interpréter avec prudence les thèses soutenant une attribution unique.

Au niveau de la limite entre les étages Campanien et Maastrichtien, la comparaison des grandes *Contusotruncana* sur la plate-forme et dans le bassin du flysch pyrénéen en France et en Espagne met en évidence l'apparition d'un taxon se rapprochant de *C. contusa* typique mais s'en distinguant par une hauteur de spire plus faible et voisine de celle de *C. patelliformis*. C'est cette forme, illustrée ici de sections en faciès flysch qui paraît devoir être considérée pour situer la limite d'étage dans les dépôts océaniques riches en foraminifères planctoniques.

Cette étude micropaléontologique a permis de caractériser les niveaux où devraient se

situer les traces d'un épisode volcanique explosif bien mis en évidence dans la section stratotypique : présence de kaolinite d'origine hydrothermale probable, présence de cristaux de sanidine, de cristaux de biotite de faciès volcanique, de cristaux de zircon ou d'apatite automorphe, de sphérules de verre siliceux. Le sommet de cet épisode est situé vers 74,5 Ma dans la biozone d'existence de *Rd. calcarata*, immédiatement au-dessus de la disparition du microproblematica *Tubellus hunzikeri*, de l'apparition de *Lucernellus aubouini* et de celle de *Aquilegiella varia* dans la série. Bien mis en évidence dans les affleurements du faciès de plate-forme, l'épisode est plus difficile à identifier dans le faciès flysch où l'apport détritique, parfois proche, peut fournir des cristaux magmatiques peu érodés. L'épisode volcanique semble avoir laissé des traces dans tous les affleurements qui ont été étudiés dans un domaine étendu de 100 km N-S et 150 km E-O mais les observations sont restées très fragmentaires et aucun niveau de concentration n'a été décelé. Ceci inviterait à étendre les recherches pyrénéennes plus largement dans l'espoir de mieux caractériser la nature et la localisation du phénomène éruptif ayant alimenté le Bassin Aturien et d'envisager une interprétation ferme. Le sujet est à prendre aujourd'hui que nous sommes amenés à interrompre nos propres recherches.

Remerciements

José Antonio ARZ (Université de Saragosse) nous a guidé sur le terrain de la coupe de Zumaya et nous a conseillé dans l'identification des foraminifères planctoniques du flysch au laboratoire de Saragosse (été 2004). Jean-Pierre BELLIER (Paris) a aimablement répondu à nos questions sur la morphologie des foraminifères. Francis ROBASZYNSKI (Faculté Polytechnique de Mons) a bien voulu contrôler nos observations de *Rd. calcarata* en lames minces lors de la journée du Groupe Français du Crétacé à Tercis (IX-2002). Josette TOURENQ a partagé avec nous son expérience des "minéraux lourds" lors de l'examen des cristaux isolés. La collaboration de Giliane O. lors des prélèvements sur le terrain en 2004 et 2005 à Zumaya, Juandechaco et Lasseube a été appréciée. Mise en forme des planches et reconstitutions tridimensionnelles du microproblematica ont été réalisées par Alexandre LETHIERS (Université Pierre-et-Marie-Curie) sur logiciel libre de dessin assisté par ordinateur Blender (<http://www.blender.org/>) ; la mise en forme des figures des cristaux par Claude ABRIAL (Université Pierre-et-Marie-Curie). David LAMPLE a autorisé notre incursion sur son chemin à Lasseube. La lecture soigneuse de Michel BILOTTE, connaisseur des Pyrénées, a permis l'amélioration du texte initialement proposé. L'exposé des connaissances a, par ailleurs, bénéficié de nos discussions avec Francis ROBASZYNSKI (micropaléontologie), Bernard

AZAMBRE (Université Paris, pétrologie magmatique des Pyrénées) et Michel HENNEBERT (Faculté Polytechnique de Mons, signification des durées présentées dans son récent travail). Les investigations au microscope électronique ont été réalisées à l'Université Pierre-et-Marie-Curie (2008). L'Université de Saragosse a apporté son soutien lors de l'étude en Espagne en 2004. Nestor SANDER a porté toute son attention à la correction des portions en anglais de cette contribution. Ce travail a débuté lorsque l'auteur appartenait au CNRS mais cette recherche n'a pas été soutenue par cet organisme.

Références bibliographiques

- ALIMEN H., CROUZEL F., DEBOURLE A., FOURMENTRAUX J., SCHOEFFLER J., HENRY J., CUVILLIER J., DELMAS M., DELOFFRE R. & DELBUSAYE J. (1954-1963).- Pau.- *Carte géologique au 1/50 000*, BRGM, Orléans, feuille XV-45.
- ANDREU B. & ODIN G.S. (2008).- Nouvelles études micropaléontologiques sur le stratotype de la limite Campanien-Maastrichtien à Tercis (SO France) : compléments sur les ostracodes extraits par acétolyse.- *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, Brest, Article 2008/02 (CG2008_A02), 14 p.
- ARZ J.A. (1996).- Los foraminíferos planctónicos del Campaniense y Maastrichtiense : Bioestratigrafía, Cronoestratigrafía y eventos paleoecológicos.- Tesis Doctoral, Prensas Universitarias de Zaragoza, 419 p.
- ARZ J.A. & MOLINA E. (2001).- Planktic foraminiferal quantitative analysis across the Campanian-Maastrichtian boundary at Tercis. *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), *The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.*- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5b, p. 338-348.
- ARZ J.A. & MOLINA E. (2002).- Bioestratigrafía y cronoestratigrafía con foraminíferos planctónicos del Campaniense superior y Maastrichtiense de latitudes templadas y subtropicales (España, Francia y Tunisia).- *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, Stuttgart, Band 224, Heft 2, p. 161-195.
- BAADSGAARD H., LERBEKMO J.F., WIJBRAN R., SWISHER III C.C. & FANNING M. (1993).- Multi-method radiometric age for a bentonite near the top of the Baculites reesidei zone of southwestern Saskatchewan (Campanian-Maastrichtian stage boundary?).- *Canadian Journal of Earth Sciences*, Kelowna, vol. 30, p. 769-775.
- BILOTTE M., ODIN G.S. & VRIELYNCK B. (2001).- Geology and Late Cretaceous palaeogeography of the geological site at Tercis les Bains (Landes, France). *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), *The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.*- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. A4, p. 47-59.
- CARBAYO OLIVARES A., LEÓN GONZALES L., VALLE DE LERSUNDI J. del. & VILLALOBOS VILCHEZ L. (1978).- Garralda.- *Mapa Geológico de España, Hoja 1/50 000*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 116, 36 p.
- CARON M. (1985).- Cretaceous planktic foraminifera. *In* : BOLLI R., SAUNDERS J.B. & PERCH-NIELSEN K. (Eds.), *Plankton stratigraphy.*- Cambridge University Press 1, p. 17-86.
- CARON M. & ODIN G.S. (2001).- Report on a preliminary study of the planktonic foraminifera of the Campanian-Maastrichtian succession at Tercis (Landes, France). *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), *The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.*- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5a, p. 334-337.
- CASTERAS M., CANÉROT J., PARIS J.-P., TISIN D., AZAMBRE B. & ALIMEN H. (1970a).- Oloron Ste Marie.- *Carte géologique au 1/50 000*, BRGM, Orléans, feuille XV-46, 19 p.
- CASTERAS M., VILLANOVA M., GODECHOT M., BLANC R., LABOURGUIGNE J., DELOFFRE R., AZAMBRE B. & ALIMEN H. (1970b).- Lourdes.- *Carte géologique au 1/50 000*, BRGM, Orléans, feuille XVI-46, 20 p.
- DELOFFRE R. (1965).- Étude géologique du flysch Crétacé supérieur, entre les vallées de l'Ouzom et du Gave de Mauléon (Basses Pyrénées).- Thèse d'État, Université de Paris, Laboratoire de Micropaléontologie, 264 p.
- HANCOCK J.M. & KENNEDY W.J. (1993).- The high Cretaceous ammonite fauna from Tercis, Landes, France.- *Bulletin de l'Institut royal de Sciences naturelles de Belgique*, Bruxelles, vol. 63, p. 149-209.
- HANCOCK J. M., PEAKE N.B., BURNETT J., DHONDT A.V., KENNEDY W.J. & STOKES R.B. (1993).- High Cretaceous biostratigraphy at Tercis, SW France.- *Bulletin de l'Institut royal de Sciences naturelles de Belgique*, Bruxelles, vol. 63, p. 133-148.
- HENNEBERT M., ROBASYNSKI F. & GOOLAERTS S. (2009).- Cyclostratigraphy and chronometric scale in the Campanian - Lower Maastrichtian: the Abiod Formation at Ellès, central Tunisia.- *Cretaceous Research*, London, vol. 30, p. 325-338.
- HERM D. (1965).- Mikropaläontologisch-stratigraphische Untersuchungen im Kreideflysch zwischen Deva und Zumaya (Prov. Guipuzcoa, Nordspanien).- *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Stuttgart, vol. 115, p. 277-348.
- HICKS J.F., OBRADOVICH J.D. & TAUXE L. (1999).-

- Magnetostratigraphy, isotopic age calibration and intercontinental correlation of Red Bird section of the Pierre Shale, Niobrara County, Wyoming, USA.- *Cretaceous Research*, London, vol. 20, p. 1-27.
- ION J. & ODIN G.S. (2001).- Planktonic Foraminifera from the Campanian-Maastrichtian at Tercis les Bains (Landes, France). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5c, 349-370.
- JAGT J.W.M. & ODIN G.S. (2001a).- Campanian-Maastrichtian ophiuroids (Echinodermata) from Tercis les Bains (Landes, France). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C7, p. 414-420.
- JAGT J.W.M. & ODIN G.S. (2001b).- Campanian-Maastrichtian crinoids (Echinodermata) from Tercis les Bains (Landes). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D7, p. 635-644.
- KEUPP, H. (1979).- Lower Cretaceous Calci-sphaerulidae and their relationship to dinoflagellate cysts.- *Bulletin du Centre de Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine*, Pau, vol. 3, n° 2, p. 641-663.
- KIENAST J.-R., HERNANDEZ J. & ODIN G.S. (2001).- Microanalysis of feldspar crystals from the upper Campanian beds at Tercis (Landes, France). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. B1a, annexe 2, p. 109-112.
- KÜCHLER T. (2000).- Upper Cretaceous of the Barranca (Navarra, northern Spain); integrated litho-, bio-, and event stratigraphy, Part II: Campanian and Maastrichtian.- *Acta Geologica Polonica*, Warszawa, vol. 50, n° 4, p. 441-499.
- KÜCHLER T. & KUTZ A. (1989).- Biostratigraphie des Campan bis Unter-Maastricht der E-Barranca und des Urdiroz/Imiscoz-Gebietes (Navarra, N-Spanien). In : J. WIEDMANN (Éd.), *Cretaceous of the Western Tethys*. Proceedings 3rd International Cretaceous Symposium, Tübingen 1987, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p. 191-213.
- KÜCHLER T., KUTZ A. & WAGREICH M. (2001).- The Campanian-Maastrichtian boundary in northern Spain (Navarra Province): the Imiscoz and Erro sections. In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. E3, p. 723-744.
- KÜCHLER T. & ODIN G.S. (2001).- Upper Campanian-Maastrichtian ammonites (Nostoceratidae, Diplomoceratidae) from Tercis les Bains (Landes, France). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D4e, p. 500-528.
- LI L. & KELLER G. (1998).- Diversification and extinction in Campanian-Maastrichtian planktic foraminifera of Northwestern Tunisia.- *Ecolgae geologiae Helveticae*, Basel, vol. 91, p. 75-102.
- NEDERBRAGT A.J. (1991).- Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (planktic foraminifera).- *Micropalaeontology*, New York, vol. 37, n° 4, p. 329-372.
- NÉRAUDEAU D. & ODIN G.S. (2001).- Echinoids from the geological site at Tercis les Bains (Landes, France). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D6, 612-634.
- OBRADOVICH J.D., BRAYANT W.A., COBBAN W.A. & KENNEDY W.J. (1990).- An isotopic age for the late Campanian *Globotruncanita calcarata* planktic foraminifer from the Annona Chalk of S.W. Arkansas and its relation to the Western Interior ammonite zones.- *Geological Society of America Annual meeting Report*, Dallas, A235, abstract 15016.
- OBRADOVICH J.D. & COBBAN W.A. (1976).- A time scale for the Late Cretaceous of the Western Interior of North America.- *Geological Association of Canada, Special Paper*, St. John's, 13, p. 31-54.
- ODIN G.S. (1994).- Geological time scale (1994).- *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, Sciences de la Terre, (II), t.

- 318, p. 59-71.
- ODIN G.S. (Éditeur, 2001).- The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, xxviii + 881 p.
- ODIN G.S. (2001*).- Descriptive lithostratigraphy of the Campanian-Maastrichtian succession at Tercis les Bains (SW France). *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. B1a, p. 85-109.
- ODIN G.S. (2008a).- Description et illustration de quarante-quatre gilianelles (microproblematica) et dix autres microproblematica du Crétacé de la section stratotypique de Tercis (limite Campanien-Maastrichtien), Sud-Ouest France.- *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, Brest, Mémoire 2008/01 (CG2008_M01), 82 p.
- ODIN G.S. (2008b).- Présentation des microfossiles extraits par acétolyse dans le Campanien supérieur du Mont Juandechaco (Navarre, Espagne) ; potentiel chronologique global et vis à vis du stratotype de limite Campanien-Maastrichtien à Tercis (Sud Ouest France).- *Revista Española de Micropaleontología*, vol. 40, n° 1-2, p. 115-133.
- ODIN G.S. (2008c).- Biostratigraphie de *Radotruncana calcarata* (foraminifère), des gilianelles et autres microproblematica dans le Campanien-Maastrichtien du domaine péri-pyrénéen occidental.- *Comptes Rendus Palevol*, Paris, vol. 7, n° 4, p. 195-203.
- ODIN G.S. (2009a).- Découverte d'un micro-organisme commensal impliqué dans une crise biologique chez les gilianelles du Crétacé de Tercis (Landes, France) : *Convictorella pusula*, nov. gen., nov. sp. (microproblematica).- *Comptes Rendus Palevol*, Paris, vol. 8, n° 1, p. 39-48.
- ODIN G.S. (2009b).- Description de nouvelles Gilianelles (microproblematica) et de leurs expansions ; identité, classification, évolution, distribution, biologie au Crétacé Supérieur.- *Revue de Paléobiologie*, Genève, vol. 28, p. 175-209.
- ODIN G.S. (sous presse).- Gilianelles: Late Cretaceous Microproblematica.- *Palaeontology*, London.
- ODIN G.S. & AMOROSI A. (2001).- Interpretative reading of the Campanian-Maastrichtian deposits at Tercis les Bains: sedimentary breaks, rhythms, accumulation rate, sequences. *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. B1c, p. 120-131.
- ODIN G.S., ARZ J.-A., CARON M., ION J. & MOLINA E. (2001a).- Campanian-Maastrichtian planktonic foraminifera at Tercis les Bains (Landes, France); synthetic view and potential for global correlation. *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5d, p. 379-395.
- ODIN G.S., COURVILLE P., COBBAN W.A. & MACHALSKI M. (2001b).- The Campanian-Maastrichtian ammonite fauna from Tercis (Landes, France); a synthetic view. *In* : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D4g, p. 550-561.
- ODIN G.S., HUNZIKER J.C., JEPSON L. & SPJELDNAES N. (1986a).- Âges radiométriques K-Ar de biotites pyroclastiques sédimentées dans le Wenlock de Gotland (Suède). *In* : G.S. ODIN Éd., Calibration of the Phanerozoic Time Scale, Special Issue.- *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* 59, p. 117-125.
- ODIN G.S., HURFORD A.J. & MONTANARI A. (1993).- Study of a presumably volcano-sedimentary layer near the Cretaceous-Palaeogene boundary in Central Apennines. *In* : G.S. ODIN (éditeur), Phanerozoic time scale.- *Bulletin de Liaison et Informations, IUGS Subcommission on Geochronology*, Paris, 11, p. 26-28.
- ODIN G.S., HURFORD A.J., MORGAN D.J. & TOGHILL P. (1986b).- K-Ar biotite data for Ludlovian bentonites from Great Britain. *In* : G.S. ODIN, Éd., Calibration of the Phanerozoic Time Scale, Special Issue.- *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, Amsterdam, vol. 59, p. 127-131.
- ODIN G.S. & LAMAURELLE M.A. (2001).- The global Campanian-Maastrichtian stage boundary at Tercis les Bains, Landes, SW France.- *Episodes*, Beijing, vol. 24, n° 4, p. 229-238.
- ODIN G.S. & ODIN P. (1994).- Première description d'une coupe dans la localité atu-rienne de Tercis (Landes) : contribution à l'étude de la limite Campanien-Maastrichtien.- *Géologie de la France*, Orléans, n° 2 (1994), p. 31-37.
- ODIN G.S. & WALASZCZYK I. (2003).- Sur les

- inocérames de Tercis (Landes, France) : le meilleur outil corrélatif entre Europe et Amérique du Nord autour de la limite Campanien-Maastrichtien / Inoceramids of the site of Tercis (Landes, France): the best correlative tool between Europe and North America across the Campanian-Maastrichtian boundary.- *Comptes rendus Géosciences*, Paris, vol. 335, n° 2, p. 239-246.
- PREMOLI SILVA I. & SLITER V. (1995).- Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy and evolutionary trends from the Bottaccione section.- *Palaeontographica Italica*, Pisa, vol. LXXXII, p. 1-89.
- PUCKETT T.M., & MANCINI E.A. (1998).- Planktic foraminiferal *Globotruncana calcarata* total range zone: its global significance and importance to chronostratigraphic correlation in the Gulf Coastal Plain, USA.- *Journal of Foraminiferal Research*, Lawrence, vol. 28, n° 2, p. 124-134.
- ROBASZYNSKI F. & CARON M. (1995).- Foraminifères planctoniques du Crétacé : Commentaire de la zonation Europe-Méditerranée.- *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, t. 166, n° 6, p. 681-692.
- ROBASZYNSKI F., CARON M., GONZALES J.M., WONDERS A.H. (Eds.) & European Working Group on Planktonic Foraminifera (1984).- Atlas of Late Cretaceous globotruncanids.- *Revue de Micropaléontologie*, Paris, vol. 26, p. 145-305.
- ROBASZYNSKI F., GONZALES J.M., LINARES D., AMÉDRO F., CARON M., DUPUIS C., DHONDT A. & GARTNER S. (2000).- Le Crétacé Supérieur de la Région de Kalaat Senan, Tunisie Centrale. Litho-biostratigraphie intégrée : zones d'ammonites, de foraminifères planctoniques et de nannofossiles du Turonien supérieur au Maastrichtien.- *Bulletin des Centres de Recherche Exploration Production Elf-Aquitaine*, Pau, vol. 22, n° 2, p. 359-490.
- ROBASZYNSKI F. & MZOUGH M. (sous presse).- The Abiod at Ellès (Tunisia): stratigraphies, Campanian-Maastrichtian boundary, correlation.- *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology*, Brest, Article 2010/04 (CG2010_A04).
- ROCHER M. (2001).- The site at Tercis les Bains (Landes), stratotype of the Campanian-Maastrichtian limit: insights from tectonic studies. In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. A6, p. 68-81.
- TRONCHETTI G. (2001).- Les foraminifères benthiques des affleurements campano-maastrichtiens de Tercis les Bains. In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, Chap. C4b, p. 314-327.
- VILLIER L. & ODIN G.S. (2001).- Stratigraphie et écologie des astérides (Asteroidea, Echinodermata) du Campanien-Maastrichtien de Tercis les Bains (Landes, France). In : ODIN G.S. (Éd., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D5a, p. 568-581.
- WALASZCYK I., COBBAN W.A. & ODIN G.S. (2002).- The inoceramid succession across the Campanian-Maastrichtian boundary.- *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, Copenhagen, vol. 49, p. 53-60.
- WALASZCYK I., ODIN G.S. & DHONDT A.V. (2002).- Inoceramids from the Upper Campanian and Lower Maastrichtian of the Tercis section, SW France; taxonomy, biostratigraphy and correlation potential.- *Acta Geologica Polonica*, Warszawa, vol. 52, p. 269-305.
- WARD P.D. (1990).- A review of Maastrichtian ammonite ranges.- *Geological Society of America, Special Paper*, New York, vol. 247, p. 519-530.
- WARD P.D. & KENNEDY W.J. (1993).- Maastrichtian ammonites from the Biscay region (France and Spain).- *Journal of Paleontology*, Tulsa, vol. 34, p. 1-58.
- WARD P.D. & ORR W. (1997).- Campanian-Maastrichtian ammonite and planktonic foraminiferal biostratigraphy from Tercis, France.- *Journal of Paleontology*, Tulsa, vol. 71, p. 407-418.

Annexe 1 : Description de deux *incertae sedis* nouveaux de la section de Tercis (Sud Ouest France)

On entend ici par *incertae sedis* des restes d'origine organique probable dont la nature n'est pas identifiée : organisme, morceau d'organisme ou élément lié à la perpétuation. Ce concept est plus vague que le terme de microproblematica utilisé auparavant ODIN (2008a) pour ce que nous pensons être des tests de micro-organismes comprenant des gilianelles et des membres d'autres groupes qui ont en commun d'avoir un test uniloculaire possédant un orifice.

Incertainae sedis A (Pl. 2, vues 13 & 15)

Nom commun : Microsphère ananas

Description.- Microsphère carbonatée légèrement aplatie à symétrie axiale, de diamètre proche de 150 μm ; orifice (? ou point d'attache) circulaire de diamètre 22 μm présent en dépression au centre d'une portion déprimée (Pl. 2, vue 13, partie supérieure) ; nanostructure en cellules hexagonales recouvrant la surface de façon homogène rappelant l'aspect d'un ananas ; cellules composées d'arrangements de cristaux plus grands autour (taille 5 à 10 μm), plus petits et désordonnés au centre de chaque cellule ; cellules de diamètre régulièrement compris entre 12 à 15 μm à l'exception du pourtour de l'orifice (?) entouré d'une première rangée de cellules de diamètre 8-9 μm puis d'une seconde de diamètre 10 μm avant d'arriver aux cellules de taille homogène ; centre de l'orifice (?) occupé par des cristaux fins radialement ordonnés, dessinant un cône bas.

Témoin.- Le spécimen illustré est conservé au Musée du site géologique sur le plot d'observation au microscope électronique A, spécimen n° 32.

Discussion.- La nanostructure de surface distingue ce taxon des pithonelles, de la gilianelle *Tercensella globosa* ODIN, 2008a, comme d'un troisième microproblematica en microsphère : *Pilella reticulata* ODIN, 2008a. Un parallèle peut être fait avec des exemplaires d'une quatrième sorte de microsphère : *Piperella dercourtii* ODIN, 2008a, (microproblematica) dont la surface est arrangée en cellules hexagonales (Pl. 2, vue 16), ces cellules étant plus réduites autour d'un orifice bien caractérisé (Pl. 2, vue 15). L'arrangement des cellules hexagonales est plus irrégulier chez *P. dercourtii* ; les cristallisations bordant les cellules sont orientées parallèlement aux six côtés chez *P. dercourtii* tandis que les cristallites

bordant les cellules de la microsphère ananas s'orientent indépendamment des côtés des hexagones occupant parfois 2 voire 3 côtés de ceux-ci. L'observation et l'illustration d'un plus grand nombre de spécimens seraient nécessaires pour nommer ce nouveau taxon et estimer correctement ses différences ou son rattachement au genre *Piperella*. Le hasard seul ayant mis ce spécimen sous l'objectif du microscope, la suite de son étude n'a pu être réalisée. S'il ne peut être formellement nommé, sa présentation soutient notre point de vue selon lequel les "microsphères" rencontrées dans le faciès des "calcaires à pithonelles" ont des natures variées. Aussi, l'identification de l'une d'elle et son rapprochement avec un groupe fossile déjà connu, par exemple les kystes de dinoflagellés (KEUPP, 1979) ne doit pas entraîner l'assimilation de toutes les microsphères de taille semblable à ce même groupe biologique.

Répartition.- Le spécimen illustré provient de la cote 94,2 de la section type dans le Campanien supérieur âgé d'environ 72,5 Ma.

Incertainae sedis B Genre : *Velafer* nov. gen.

Étymologie.- du latin vela, voiles (pluriel) et du latin ferre porter ; nom masculin ; c'est un porte-voiles.

Espèce type.- *Velafer ovatus* nov. sp.

Description.- Espèce unique (voir description ci-dessous). Les caractéristiques morphologiques du spécimen observé sont si particulières qu'il a semblé intéressant de formaliser un taxon malgré sa rareté.

***Velafer ovatus* nov. sp. (Pl. 5, vues 1-4 ; Figs. 17 - 18)**

Description.- Test carbonaté ovoïde à symétrie axiale (pointe plus aiguë considérée comme le haut de la structure) ; diamètre axial du corps 100 μm et 75 μm perpendiculairement ; contour latitudinal aplati en triangle équilatéral à faces convexes sur les 2/3 supérieurs du test ; un pôle plus étroit (orienté vers le haut) occupé par une dépression, probablement un orifice, de diamètre 25 μm bordé d'une lèvre aiguë (Pl. 5, vue 2) ; 3 ailettes méridiennes, transparentes sous la loupe binoculaire, hautes de 15 μm , interrompues vers le pôle plus large au niveau d'expansions en griffes ; une seule est conservée sur le spécimen illustré, les 2 autres laissent une trace de leur déchaussement (Pl. 5, vue 3) ; test parcouru d'une nanostructure méridienne côtelée ; nanostructure homogène sur le test et les 3 ailettes formée de cristallites allongés d'orientation perpendiculaire aux côtes se rejoignant au pôle plus large (Pl. 5, vue 4).

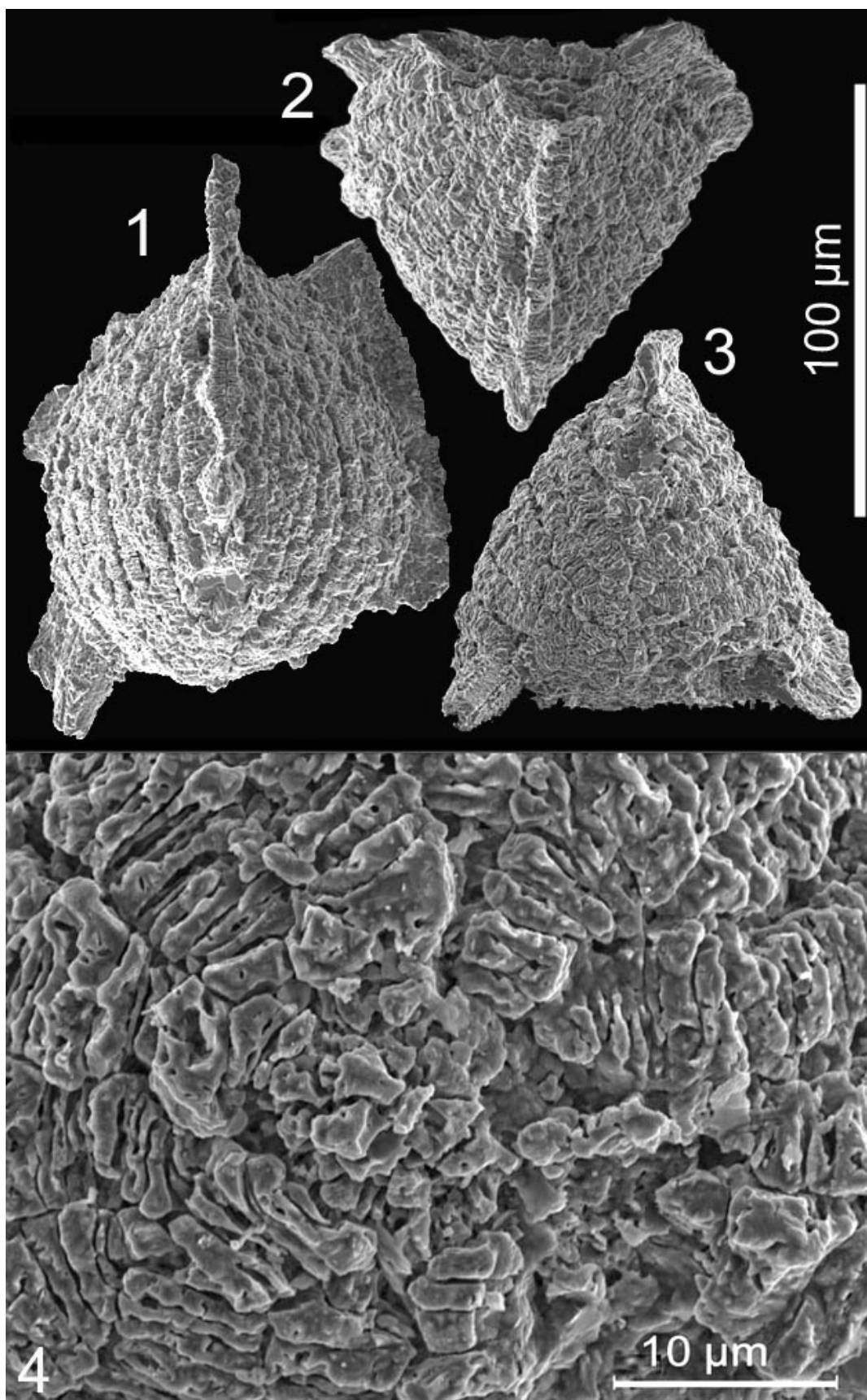


Planche 5 : *Velafer ovatus* nov. gen. nov. sp., holotype provenant du niveau 11,0 à Tercis. 1 : vue cavalière ; 2 : vue du pôle supérieur de la vue 1 (orifice supposé) ; 3 : vue du pôle inférieur du même spécimen (noter 2 des 3 expansions brisées) ; 4 : détail du pôle inférieur.

Plate 5: *Velafer ovatus* nov. gen. nov. sp., *incertae sedis* from level 11.0 at Tercis (Landes). 1: oblique view; 2: view from the upper side of view 1 (probably with an aperture); 3: view from the lower side of the same specimen (2 of the 3 expansions are lacking); 4: detail of the lower side.

Étymologie.- Le nom d'espèce dérive du latin *ovatus* : en forme d'oeuf.

Holotype.- Le spécimen illustré est archivé sous le sigle TCSX105, conservé au Musée du site géologique sur le plot d'observation au microscope électronique IX, spécimen n° 53.

Discussion.- La structure placée en haut (orifice ou trace d'attache) n'est pas claire. Bien que morphologiquement bien caractérisé, l'objet illustré ne peut être interprété, raison pour

laquelle il est classé *incertae sedis* comme l'objet précédent. À l'opposé de ce dernier, son originalité a été décelée dès le tri sous la loupe binoculaire permettant de le désigner comme forme non répertoriée de porte-voiles en forme d'oeuf.

Distribution.- Le seul spécimen disponible est illustré et provient de la section type de Tercis à la cote 11,0 : un Campanien "moyen" vers 76,5 Ma.

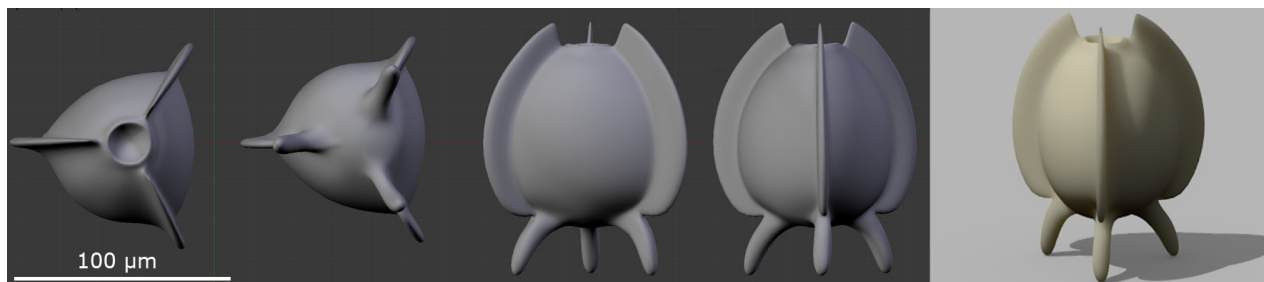


Figure 17 : Reconstitution tridimensionnelle de *Velafer ovatus* (*incertae sedis*, Campanien moyen de Tercis), vues du pôle supérieur, du pôle inférieur, latérale, latérale, cavalière.

Figure 17: Tri-dimensional reconstruction of *Velafer ovatus*. View from the top, view from the bottom, lateral view, lateral view, oblique view; drawing by Alexandre LETHIERS using software Blender (<http://www.blender.org/>).



Figure 18 : Reconstitution tridimensionnelle animée de *Velafer ovatus*.

Figure 18: Animation of tri-dimensional view of a reconstruction of *Velafer ovatus* from the Middle Campanian of Tercis; animation by Alexandre LETHIERS.

L'animation peut être téléchargée à partir de :

The video file can be downloaded from:

<http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2010_A02/images/CG2010_A02_Fig_18.avi> = 684 KB

Annexe 2 : Précisions sur l'échantillonnage

Les affleurements cités dans ce travail se situent dans un rayon de 100 km autour de Dax (Fig. 1). Dans chacun, les niveaux meubles ont été récoltés et soumis à un lavage sur tamis. Cette technique est suffisante dans les dépôts du faciès flysch constitués d'une alternance de niveaux gréseux et marneux (Lasseube, Gan, Pareil, Orthez, Zumaya). Pour les dépôts de plate-forme (environs de Dax et d'Imiscoz) les

niveaux indurés ont été dissociés par acétolyse (ODIN, 2008b). La microfaune a été examinée dans le résidu du tamis de 100 µm. Pour obtenir les éléments pyroclastiques sans altérer l'apatite, le sédiment total ou dissocié a été décalcifié à l'acide acétique tamponné (solution avec 7% d'acide acétique, 63 % d'eau et 30% de liqueur saturée en acétate de calcium) puis séparé en fraction attirable (contenant les minéraux ferromagnésiens dont la biotite) et fraction non attirable au séparateur magnétique. Cette fraction non attirable a été traitée aux liqueurs denses (mélanges bromoforme-acétone) pour isoler les feldspaths (densité inférieure à 2,62), le zircon et l'apatite (densité supérieure à 2,9).

À Tercis, les compléments d'étude micropaléontologique ont été entrepris sur lames minces puis sur une cinquantaine de niveaux indurés dissociés par acétolyse. Ils se répartissent sur les 170 m de la section type de la Grande Carrière ainsi que sur les 40 m qui précèdent la limite Crétacé/Paléogène qui surplombe le lit de l'Adour. On ne donne ici, pour l'essentiel, que les observations concernant l'intervalle à *Rd. calcarata* et les niveaux bas du Maastrichtien.

Toujours à Tercis, la section de Peyrata comprend des couches redressées verticalement et orientées Est-Ouest comme dans la section type. Géographiquement à 1500 m plein Sud de la Grande Carrière de Tercis, cet affleurement de bord de route est situé sur le flanc sud du même anticlinal. Il était paléogéographiquement plus éloigné puisque les couches plongent verticalement jusqu'à 2 km de profondeur et ont été redressées et rapprochées par la compression pyrénéenne. Sur une longueur de 75 m, des couches

calcaires fossilifères affleurent dans un talus d'environ 1 mètre. Après marquage mètre à mètre, des échantillons ont été prélevés et des macrofossiles récoltés.

La succession du Mont Juandechaco est illustrée dans un travail précédent (ODIN, 2008b). La section décrite d'abord par KÜCHLER & KUTZ (1989) et reprise par KÜCHLER *et alii* (2001) est située à environ 25 km ENE de Pampelune, 1,5 km à l'Est du village d'Imiscoz ; elle présente une pente peu escarpée légèrement couverte mais latéralement très ample permettant des recherches fructueuses.

Entre Gan et Rébénacq, la succession est visible sur le talus ouest de la RN 134 bis (Fig. 1). La cote 0 a été fixée au niveau de la sortie de buse, au Sud du chemin montant à la maison Le Barrailh (pendage 45° N). Les bornes hectométriques utilisées autrefois comme repère (DELOFFRE, 1965) étant absentes, les distances ont été mesurées au compteur automobile depuis le carrefour de la RN 134 bis avec la voie se rendant vers Rébénacq. Depuis ce carrefour, au Sud et en remontant vers le Nord et Gan, la distance jusqu'à notre cote 0 est de 2.850 m. Vers le Sud, les cotes sont négatives (temps plus anciens) et positives vers le Nord (Fig. 6). Vingt échantillons ont été récoltés entre les cotes GR -250 et GR +380. Sous la cote GR -250 existe une zone non exposée de quelques dizaines de mètres. Les conditions générales d'affleurement sont peu favorables à la lecture des couches ; en effet, si le pendage est le plus souvent visible, la polarité des couches ne peut être examinée en continu et ne permet pas de déceler d'éventuels plissements isoclinaux.

La série de Lasseube (ALIMEN *et alii*, 1954) affleure au Sud du village, dans le lit de La Bastarde auquel on accède en descendant, à l'Ouest de la D34 par un chemin privé vers la propriété de Mr. LAMPLE. Grâce à un petit pont, le chemin croise très vite le ruisseau longeant la route. La cote 0 a été fixée au niveau du plus grand ressaut du ruisseau (près d'1 m de haut) lié à un banc gréseux plus épais que les autres situé à environ 25 m en aval et au Sud du petit pont (Fig. 6). Vers le Sud (cotes négatives), la section se poursuit vers le Campanien inférieur ; vers le Nord (cotes positives) elle se dirige vers le Maastrichtien. Les couches alignées Est-Ouest sont le plus souvent sub-verticales (pendage entre 75° et 90°) mais la série n'est pas dépourvue de complexité tectonique.

Au lieu-dit Pareil, la série a essentiellement été étudiée dans un affleurement qui se situe à l'Ouest de la départementale 287 entre Nay et Bruges. Il est atteint en quittant la D 287 à 2 km au Sud de Nay vers Labasserres pour se diriger vers le lit du Luz. À mi-chemin entre l'embranchement et le ruisseau une large aire de stationnement (place des fêtes municipales ; carrière au fond ; pendage vers le Nord) située au Sud de la route livre une section dans le flysch sur au moins une quinzaine de mètres (végétalisée vers les niveaux anciens).

Entre Zumaya et Deba, une nouvelle récolte a été entreprise sur une épaisseur de 82 m de part et d'autre du repère 14 de ARZ & MOLINA (2001), encore visiblement inscrit sur la coupe en 2004, pour rechercher la présence de restes pyroclastiques.