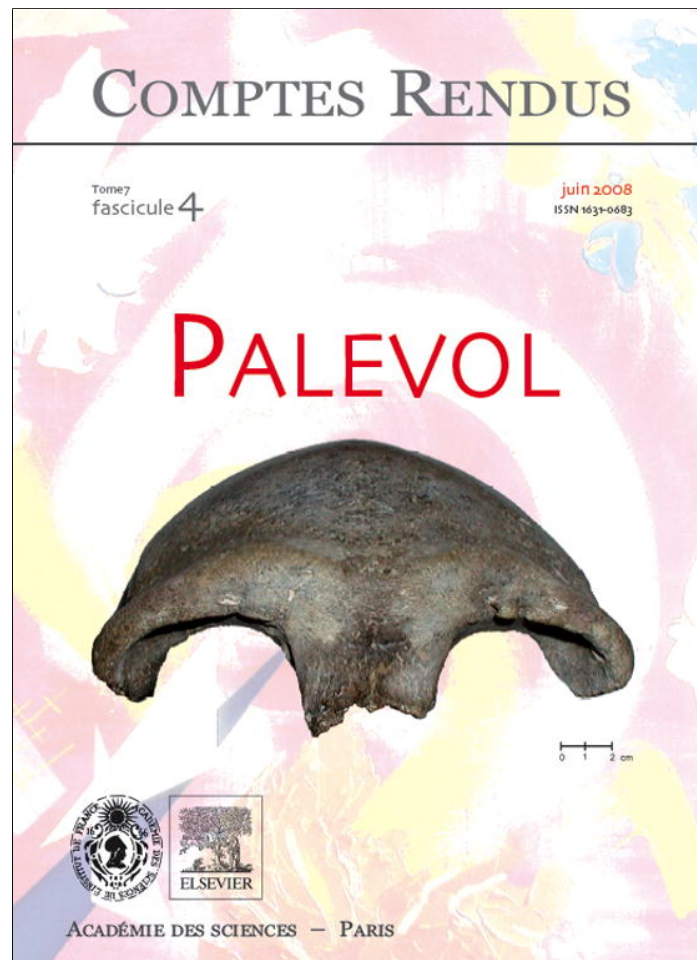


Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Paléontologie systématique (Micropaléontologie)

Biostratigraphie de *Radotruncana calcarata* (foraminifère), des gilianelles et autres microproblematica dans le Campanien–Maastrichtien du domaine péri-pyrénéen occidental

Gilles Serge Odin

Unité de géochronologie et sédimentologie océanique, université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu,
case 119, 75252, Paris cedex 05, France

Reçu le 21 novembre 2007; accepté après révision le 18 mars 2008

Disponible sur Internet le 12 mai 2008

Résumé

Les microproblematica du stratotype de la limite Campanien–Maastrichtien (Tercis, France) comprennent la lignée du genre *Aturella*, des taxons à courte durée de vie et d'autres à large extension biostratigraphique. Cette distribution se retrouve sur d'autres sites proches du stratotype (Angoumé, Peyrata), mais aussi beaucoup plus au sud, sur le flanc espagnol des Pyrénées. La découverte de ces nouveaux problematica permet de réaliser des corrélations biostratigraphiques régionales plus précises. Parmi les foraminifères contemporains, *Radotruncana calcarata* a été récolté dans sept coupes de faciès de plate-forme ou de flysch, où il était n'était que peu ou pas connu auparavant. Régionalement, ce foraminifère devient ainsi, comme dans d'autres secteurs géographiques, le marqueur le plus précis de la fin du Crétacé. Absents dans le faciès flysch, les microproblematica semblent inféodés aux calcaires à pithonelles de plate-forme. **Pour citer cet article : G.S. Odin, C. R. Palevol 7 (2008).**

© 2008 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Biostratigraphy of *Radotruncana calcarata* (foraminifera), gilianelles, and other microproblematica of the Campanian–Maastrichtian of the western circum-Pyrenean domain. Microproblematica from the Campanian–Maastrichtian boundary stratotype (Tercis, France) include the continuously evolving genus *Aturella*, short-living taxa, and widely distributed taxa. The same is true in the immediate vicinity as well as in the southern Pyrénées, 100 km apart. These newly established microfossils allow the most precise regional biostratigraphical correlations. Amongst contemporaneous foraminifera, *Radotruncana calcarata* was collected from seven sections from the platform and flysch facies where it was formerly unknown or poorly known. Regionally, this foraminifer is the most precise foraminiferal marker of the end of the Cretaceous, as it was already elsewhere in the world. Absent from the flysch facies, the microproblematica are restricted to the pithonellid-rich platform facies. **To cite this article: G.S. Odin, C. R. Palevol 7 (2008).**

© 2008 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Biostratigraphie ; Microproblematica ; Gilianelles ; *Radotruncana calcarata* ; Campanien ; Pyrénées

Keywords: Biostratigraphy; Microproblematica; Gilianelles; *Radotruncana calcarata*; Campanian; Pyrenees

Adresse e-mail : gilodin@ccr.jussieu.fr

Abridged English version

Introduction

The Campanian–Maastrichtian boundary stratotype section at Tercis, near Dax, southwestern France [11], displays pyroclastic minerals within the short total range zone of the planktonic foraminifera *Radotruncana calcarata* [12]. This foraminifer was poorly known from the Aturian Basin, northern Pyrenees [19]. We have tried to improve the knowledge of these fossils in the stratotype area surrounding Dax, the Basque Country, French and Spanish Navarra, and the northern border of the Aquitaine Basin in order to locate the corresponding short interval of deposition where the volcanic event is identified at Tercis. During the research, unknown microproblematica were discovered [15,18]. Gilianelles and other microproblematica are present in the whole Upper Campanian and Maastrichtian series at Tercis; this paper reports on the two main discoveries connected to this research: (1) the presence of microproblematica similar to those of Tercis in Spanish Navarra, with a similar stratigraphical distribution, and (2) the presence of *R. calcarata* in seven among the nine sections investigated and the resulting interest for biostratigraphical dating in the whole area.

Frame of the study

The Campanian–Maastrichtian boundary stratotype is located in the Grande Carrière at Tercis [11], which is part of the Aturian palaeobasin located to the north of the Pyrenees. The biostratigraphical record of the reference section located in a platform facies will be compared to that available in the immediate vicinity, to the deeper flysch facies, south of Pau (three sections at Lasseube, Rébénacq, Pareil), 70 to 85 km southeast of Tercis, and between Zumaya and Deba, 100 km WSW of Tercis, as well as to the platform facies of Spanish Navarra, Juandechaco Mount, 25 km northeast of Pamplona, and about 90 km SSE of Tercis (Fig. 1).

Clay samples were washed: thirty-nine levels at Lasseube, twenty at Rébénacq, three at Pareil, twelve in the Zumaya–Deba section. Hard rocks of Tercis and Juandechaco were dissociated using acetolysis [15]: thirty-two levels in the stratotype, four levels for the nearby section at Peyrata, and fifteen levels in Spanish Navarra.

Results from the Campanian–Maastrichtian boundary stratotype area

In the Grande Carrière at Tercis, acetolysis allowed collection of the first three-dimensional fossils in the

hard rocks of the total range zone of *R. calcarata*. Five samples between levels 52.2 and 62.0 gave 24 specimens of the key fossil (Fig. 2A). These findings confirm the much rarer ones previously quoted from thin sections [7]. A comparatively low number (300 to 700) of globotruncanids were observed, including one to ten specimens of the key form per 100 g of dissociated sediment. Fig. 3 shows the taxon with a filled line where it was repeatedly observed (levels 50 to 62) and an interrupted line where few possible occurrences of thin section are suspected (levels 41 to 50). The heteromorph ammonite *Bostrychoceras polyplacum* collected from between levels 21 and 45 at Tercis is another key marker for field location of the possible microproblematica-bearing layers (Fig. 3).

Sixty forms of microproblematica (for example, Fig. 2B) are now known from the type section, where they are 10 to 50 times more abundant than planktonic foraminifera. The maximum number of contemporaneous forms is 28. Gilianelles are now more clearly distinguished from other microproblematica compared to our former preliminary work [15], especially thanks to the observation of the nanostructure of the shell wall [18]. Forty-four gilianelles and ten other microproblematica are taxonomically defined [16]; additional forms are present, but still insufficiently documented. We will still use here the code names defined in the two former works; they unambiguously identify the taxa.

Fig. 3 shows the distribution of eighteen microproblematica from Tercis, which comprise a continuously evolving genus *Aturella* with the code names A4a, A4b, A4b', and A6, which distinguish distinct morphologies with no apparent break between them, short-ranged forms (lying in layers deposited during 0.2 to 2 Ma) and long-ranged ones. The same morphologies and distribution were recognised from a series outcropping on the other flank of the Tercis–Angoumé diapir anticline, near a farm called Peyrata.

Results from Spanish Navarra

Upper Campanian outcrops from Spanish Navarra are known from former studies of ammonites [9]. Planktonic foraminifera were poorly known; consequently, the latest version of the geological map [3] could not allow us to distinguish between the Campanian and Maastrichtian deposits.

Sampling of Mount Juandechaco led us to collect several ammonites including three specimens of *B. polyplacum* at our levels 53, 55, 60 (Fig. 3). The facies is similar to that in Tercis with abundant echinoids of the genus *Micraster*, which documents a palaeo-depth in the interval 50–100 m [10]. Acetolyses confirm

the abundance of microechinoderm remains (asteroids, ophiuroids, crinoids) and pithonellids, all of them being common at Tercis. Foraminifera are not abundant, with 450 to 1000 globotruncanids per 100 g of dissociated sediment. In spite of this, twenty-six specimens of *R. calcarata* were found for the first time in this area (Fig. 2A), and a more than 13-m-thick local range zone is now documented.

Fig. 3 summarises the results on microproblematica; a few to 200 specimens of them were picked from nine levels. Their preservation is moderate to poor and the abundance is low, but, in the lowest level, fifteen taxa were identified; their distribution is similar to that observed in the reference section at Tercis: both internally consistent and consistent with macrofossil and other microfossil finds. The recently discovered microproblematica thus appear good and precise regional time markers.

Results from the flysch basin

Rare finds of *R. calcarata* are known from the flysch basin north of the Pyrenees [19]. Deloffre [5] also found the foraminifera when preparing the geological map. New samplings were undertaken along the road between Gan and Rébénacq, south of Lasseube, and in a quarry at Pareil (Fig. 1). Planktonic foraminifera are common (600 to 10 000 per 100 g). The total range zone of *R. calcarata* covers about 100 m. No microproblematica were found.

In the Spanish Basque Country, the thickness of the total range zone of *R. calcarata* was estimated at 93 to 105 m [6], or at 22 m [2] in the Zumaya–Deba section. Our new sampling led us to collect the foraminifera from eleven levels, comprising a 64-m-thick interval with the portion of the section immediately below these finds not exposed. Another foraminifer, *Schackoina multispinata*, was found to be partly contemporaneous with *R. calcarata*, which is about 6 Ma younger than its previously known last occurrence in the *Globotruncanita elevata* zone of the Lower Campanian [4]. No microproblematica were found there or in the few Campanian carbonate flysch samples collected in the Bay of Loya, near the French-Spanish frontier.

Discussion

R. calcarata and microproblematica are absent from the outcrops sampled in the northern Aquitaine Basin. The latter are also absent from the flysch facies; they thus appear to be restricted to the pithonellid-rich limestones

of the platform facies, deeper than in northern Aquitaine, shallower than the flysch facies.

The total range zone of *R. calcarata* was estimated to be about 0.8 Ma long in Tercis and 1.0 ± 0.2 Ma long in the Apennines [13]. We may use a mean Campanian deposition rate of 130 m/Ma in the flysch according to the thickness of the Campanian flysch facies (about 1100 m) and the known age of the Campanian duration between a base at 83 Ma and a top at 74.5 Ma, which is the age estimate for the last occurrence of *R. calcarata* [13]. If this is accepted, the duration of 0.75 to 0.83 Ma can be calculated from the flysch facies in French Navarra and the Spanish Basque Country. *R. calcarata* must now be considered a very useful and reproducible time marker in the Pyrenean domain, as formerly known from other areas [14,20],

Conclusion

The recently discovered microproblematica of the Campanian–Maastrichtian boundary type section at Tercis comprise at least 60 forms. Their distribution is similar in the immediate vicinity as well as in a platform facies series sampled on the other side of the Pyrenees. These micro-remains thus made up a new, precise, regional correlation tool.

On the one hand, *Radotruncana calcarata* is present in both the flysch facies and the platform facies, where it was formerly insufficiently known in French or Spanish Navarra. Its total range zone represents about 0.8 Ma of deposition and the species is the most precise foraminiferal time marker of the end of the Cretaceous. On the other hand, microproblematica seem to be the most precise time markers of the pithonellid-rich limestones of the platform.

1. Introduction

La section où fut définie la limite Campanien–Maastrichtien, à Tercis, près de Dax, dans le Sud-Ouest de la France [11], renferme des minéraux pyroclastiques localisés dans la zone d'extension du foraminifère *Radotruncana calcarata* [12]. La présence de ce microfossile dans le Bassin aturien était elle-même peu connue [19]. Les recherches poursuivies pour parfaire la connaissance de la répartition de ce fossile dans le domaine péri-pyrénéen (environs de Dax, Navarre et Pays basque franco-espagnol, bordure septentrionale du bassin d'Aquitaine) et pour localiser le court intervalle de temps de dépôt qu'il caractérise (avec son événement volcanique) ont conduit à la découverte de microproblematica contemporains inconnus, dont

l'essentiel appartient au groupe des gilianelles [15,18]. Ces microproblematica sont présents dans toute la série, du Campanien supérieur au Maastrichtien de Tercis.

Cette communication rend compte, en se restreignant aux découvertes les plus intéressantes pour le géologue, de résultats concernant les foraminifères et les microproblematica pour lesquels, après avoir brièvement cadré l'objet d'étude essentiellement dans une aire de 150 km longitudinalement et 100 km latitudinalement, nous indiquerons, faciès par faciès et localité par localité, la présence, l'abondance et la répartition stratigraphique des fossiles les plus significatifs, pour en souligner l'intérêt biostratigraphique.

2. Cadre de l'étude

Les connaissances rassemblées par 70 auteurs autour de la limite Campanien–Maastrichtien ont fait l'objet d'une mise au point détaillée qui a conduit à proposer et faire accepter le site de la Grande Carrière de Tercis comme localité de référence internationale pour la définir [11]. Situé dans le Bassin aturien, allongé au nord des Pyrénées en cours de formation à l'époque, cet affleurement expose des dépôts de plate-forme riches en restes fossiles de macrofaune et de microfaune. Pour comparer cet enregistrement de référence, mais particulier avec d'autres, des investigations (Fig. 1) ont été entreprises : (1) dans le voisinage immédiat – affleurement de la commune voisine d'Angoumé de l'autre côté du fleuve Adour et sur le même flanc nord de l'anticlinal diapirique de Tercis–Angoumé, ainsi que sur le flanc sud au lieu-dit Peyrata, dans la commune de Tercis – ; (2) dans les faciès plus profonds des flyschs nord-pyrénéens – affleurements au sud de Pau (Lasseube, Rébénacq, Pareil), ainsi que dans les flyschs de

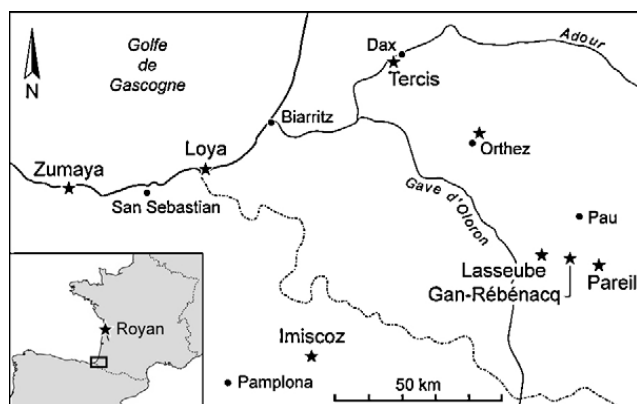


Fig. 1. Localisation des affleurements du Campanien–Maastrichtien considérés pour ce travail en France et en Espagne (étoiles).

Fig. 1. Location of Campanian–Maastrichtian sections investigated in France and Spain (stars).

la section en bord de mer entre Zumaya et Deba et dans ceux, plus carbonatés, de la Baie de Loya à Hendaye – ; (4) dans les faciès de plate-forme de Navarre, de l'autre côté des Pyrénées, au mont Juandechaco ; (5) dans les faciès à grand foraminifères des Charentes, (Royan, Meschers, au nord de l'estuaire de la Gironde).

Sur ce matériel pour lequel l'ensemble du contenu fossilifère et parfois minéralogique a été étudié, les résultats nouveaux les plus utiles au géologue ont été obtenus au sujet de la distribution du foraminifère *R. calcarata*, de reconnaissance aisée, et sur les microproblematica, pour lesquels ce travail situe leur première découverte au voisinage et hors des environs du stratotype de limite à Tercis.

Dans les faciès flysch, les sédiments meubles (argile) ont été désagrégés classiquement : trente-neuf niveaux pour Lasseube, vingt pour Rébénacq, trois pour Pareil, douze pour Zumaya. Dans les faciès indurés de Tercis, de Juandechaco et d'Hendaye, les roches ont été dissociées par acétolyse (traitement à l'acide acétique concentré) avec trente-deux niveaux pour le stratotype, quatre pour la section voisine de Peyrata, quinze niveaux en Navarre espagnole et deux à Hendaye.

3. Résultats

3.1. Région stratotypique

Dans la section-type de la grande carrière de Tercis, l'acétolyse a permis d'obtenir pour la première fois des foraminifères dégagés dans les niveaux indurés, ce qui est le cas de tout l'intervalle de présence connue de *R. calcarata*. Cinq niveaux compris entre les cotes 52,2 et 62,0 ont livré 24 spécimens dégagés (Fig. 2A). Ces trouvailles confirment les rares observations faites en lames minces. L'abondance est variable, depuis moins de un jusqu'à dix spécimens par 100 g de sédiment dissocié, dans lesquels 300 à 700 globotruncanides ont été observés, ce qui constitue une faible teneur ; ces quantités sont estimées pour des comptages de 500 à 1000 spécimens. La Fig. 3 localise le taxon avec un trait plein pour la portion où il a été observé à plusieurs reprises (cotes 50 à 62) et en pointillé pour la portion où il a été soupçonné dans quelques lames minces (cotes 41 à 50). L'ammonite déroulée *Bostrychoceras polyplacum*, dont quelques exemplaires ont été récoltés entre les cotes 21 et 45, est un marqueur de temps qui guide le repérage sur le terrain.

Concernant les microproblematica, leur distribution a été soigneusement établie dans la section-type. Parmi eux, on distingue plus radicalement aujourd'hui les gilianelles des autres restes problématiques. Lors de notre

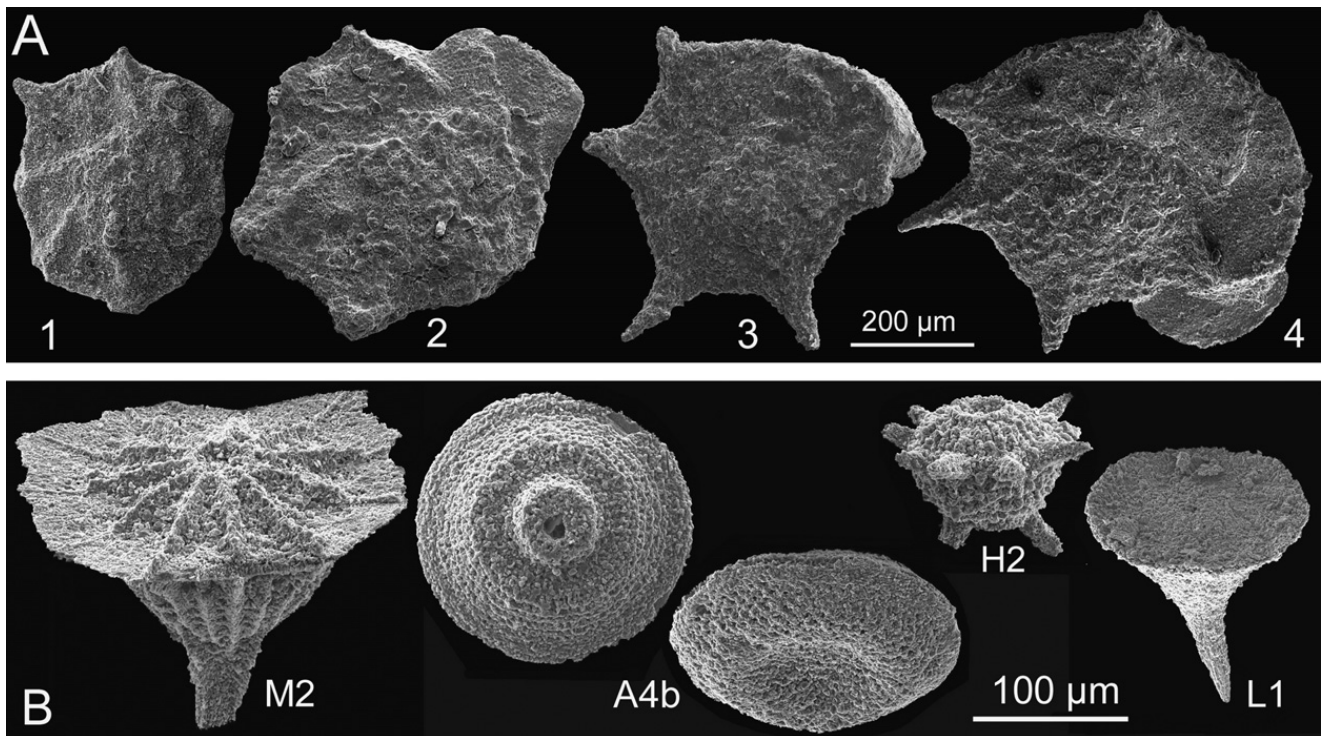


Fig. 2. Fossiles marqueurs du Campanien supérieur, vus au microscope électronique à balayage. (A) Vues de la face spirale de *Radotuncana calcarata* (1) à Tercis, (cote 52,2), (2) au mont Juandehaco, Navarre espagnole (cote 83,6, partie inférieure de la zone), (3) au sud de Lasseube (cote 89,5 au milieu de la zone) et (4) entre Gan et Rébénacq (cote -76, partie supérieure de la zone d'extension) en Navarre française. (B) Microproblematica de Tercis, gilianelles M2, A4b (vues orale et profil aboral) et H2; autre microproblematica, L1.

Fig. 2. Scanning electron microscope views of Upper Campanian key microfossils. (A) Spiral views of *Radotuncana calcarata* (1) at Tercis (level 52.2), (2) at Mount Juandehaco, Spanish Navarra (level 83.6, lower part of the range zone), (3) at Lasseube (level 89.5, middle part of the range zone), and (4) at Rébénacq (level -76, upper part of the range zone) in French Navarra. (B) Microproblematica from Tercis: gilianelles M2, A4b (oral and aboral profile views) and H2; other microproblematica L1.

travail préliminaire [15], cette distinction restait délicate à la suite des seules études optiques ; ainsi, la nanostructure de la paroi des problematica F et L est-elle différente de celle des gilianelles [18]. Aujourd'hui, le groupe est défini par :

- un test uniloculaire, carbonaté, petit (80–200 µm), composé d'une couche de cristallites radiaires ;
- une symétrie axiale à radiaire, parfois bilatérale, avec polarité avant–arrière ;
- un orifice unique, petit, distinguant une face orale d'une face aborale parfois différenciée en flanc et surface aborale ;
- une nanostructure de surface du test en napperon, dont le réseau peut s'organiser en microstructures rayonnées ou concentriques ;
- la présence commune d'expansions (bras équatoriaux, pieds aboraux, ou collerettes dont la nanostructure est distincte de celle de la paroi du test).

Quarante-quatre gilianelles ont été nommées, ainsi que dix autres restes [16], parmi une soixantaine de

formes, pour lesquelles les appellations codifiées utilisées ici ont été établies avec leur illustration [15,18], permettant une reconnaissance sans ambiguïté et dont quelques exemples sont rappelés (Fig. 2B).

La Fig. 3 donne la répartition de 18 microproblematica trouvés à la fois à Tercis et en Espagne. À Tercis, leur abondance varie de 30 à 300 spécimens par gramme de sédiment traité, soit 10 à 50 fois plus que pour les foraminifères planctoniques de la même section. La variété atteint 28 espèces par niveau.

Quatre taxons sont attribués au genre *Aturella* (codes A4a, A4b, A4b', A6), qui évolue tout au long de la section sans rupture. Six marqueurs : A3, un ensemble d'espèces attribué au genre *Pocillella* (code E), L1 qui n'est pas une gilianelle, non plus que F1 plus rare mais très caractéristique, H2 et M1 sont présents dans des intervalles limités correspondant à 0,2–2 Ma de dépôt. Un troisième ensemble comprend quatre formes largement réparties (plus de 3 Ma de dépôts).

Quatre acétolyses test, réalisées sur le site de Peyrata, ont livré des restes reproduisant ceux observés dans la grande carrière. Une trentaine de taxons, de courte répar-

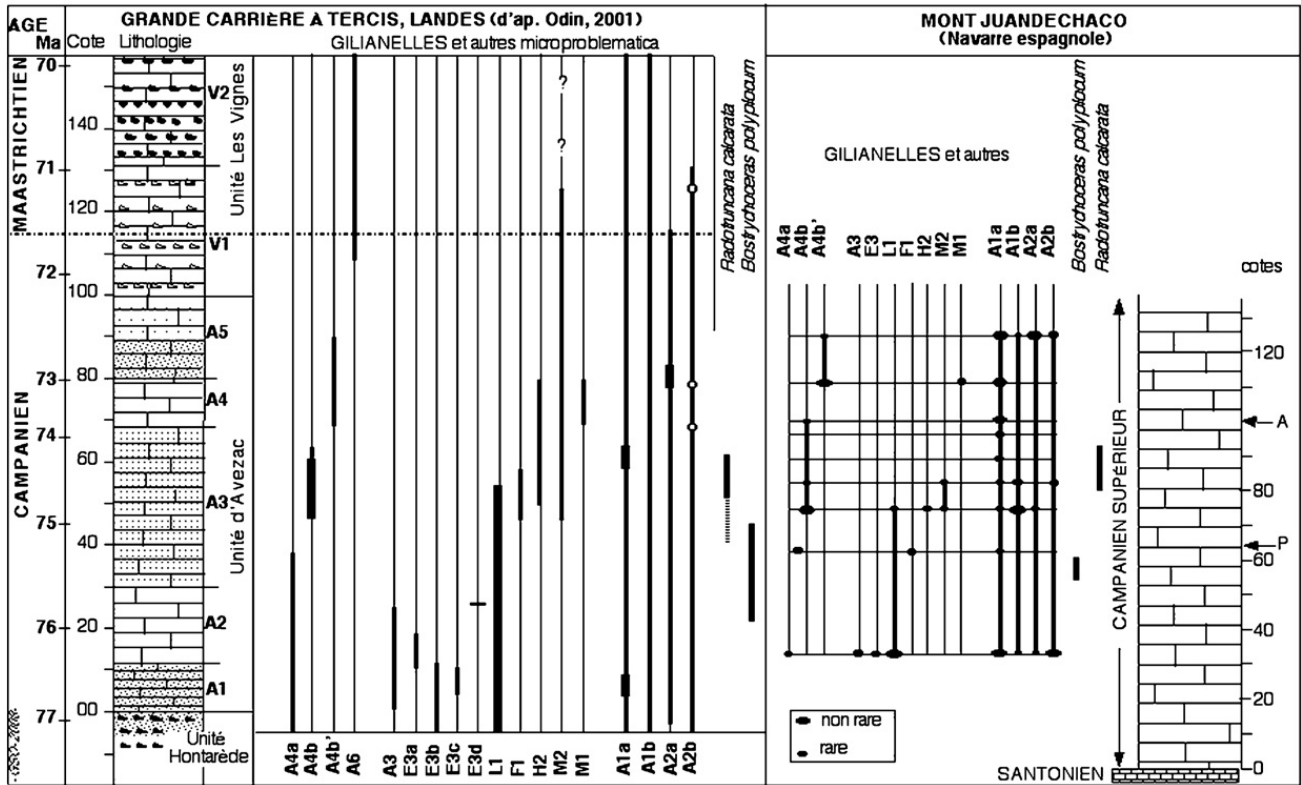


Fig. 3. Localisation stratigraphique des fossiles bons marqueurs de temps à Tercis (section-type) et en Navarre espagnole. Les repères de terrain espagnols sont P, poteau de ligne à haute tension, et A, arbre mort. L'épaisseur des signes indique l'abondance relative des microproblematica. L'un des taxons observé en Espagne est une forme intermédiaire notée entre et non sur l'une des colonnes A4a ou A4b.

Fig. 3. Stratigraphical location of key fossil markers at Tercis (type-section) and in Spanish Navarra, where field marks are P, high-voltage pylon, and A, dead tree. The thickness of the bars points out the relative abundance of the microproblematica. A dot is shown between columns A4a and A4b because an intermediate morphotype was found at level 63 (Juandechaco).

tition stratigraphique, permettent des repérages avec une incertitude de l'ordre de ± 2 m, correspondant à moins de 0,1 Ma. Ainsi, localement, ces restes d'affinité incertaine peuvent servir le stratigraphe. Ce point étant établi, il s'agissait de tenter d'étendre l'observation.

3.2. Plate-forme de Navarre espagnole

Divers affleurements du Campsien supérieur de la Navarre espagnole ont fait l'objet d'études biostratigraphiques, notamment pour les ammonites [9]. Celui de Juandechaco a été choisi, car c'était le plus riche d'information et le plus étendu. Les foraminifères caractérisant le Campsien étaient inconnus dans ces couches de Navarre espagnole, comme le note la dernière édition de la notice de la carte géologique locale [3]: « Al no encontrar una microfauna determinativa de edad Campsiense hemos optado por unir este tramo al Maastrichtiense » (en l'absence de microfaune caractéristique du Campsien, nous avons choisi d'attribuer cet ensemble au Maastrichtien). Ainsi, la carte ne subdivise pas l'ensemble Campsien–Maastrichtien faute de micro-

faune, et il était tentant de voir si les microproblematica et la technique de dissociation par acétolyse pouvaient résoudre ce problème pratique de datation relative.

Au mont Juandechaco, les cotes des auteurs précédents [9] n'ont pu être repérées dans une série carbonatée très homogène, et un lever distinct a été entrepris. Quelques ammonites, dont trois spécimens de *B. polyplacum* (nos cotes 53, 55 et 60), ont guidé les prélèvements pour analyse de la microfaune. Le faciès est proche de celui de Tercis, avec ses ammonites, ses inocérames et ses oursins abondants, dominés par le genre *Micraster*, indicateur d'une profondeur de 50 à 100 m [9]. Les dissociations par acétolyse ont confirmé la similitude du biofaciès: abondance de micro-restes d'échinodermes (astérides, ophiures, crinoïdes), ostracodes, quelques micro-brachiopodes, pithonelles. Ce sont les niveaux riches en pithonelles qui ont livré les gilianelles en abondance à Tercis. Les foraminifères ne sont pas rares, avec un rapport entre benthiques et planctoniques compris entre 0,6 et 1,5 et des teneurs de 450 à 1000 globotruncanides pour 100 g de sédiment dissocié. Parmi ces derniers, 26 *R. calcarata* ont été récoltées pour

la première fois dans cette région entre nos cotes 80 et 93 ; de part et d'autre, les acétolyses n'ont rien livré, ni aux cotes 74,5 et 79,0, ni aux cotes 96 et 100 ; la zone d'extension locale semble circonscrite.

La Fig. 3 localise la présence de *B. polyplocum* sur une dizaine de mètres au mont Juandechaco, d'après nos récoltes ; l'espèce était signalée par ailleurs sur une épaisseur de 30 m [9] et notre repérage est donc partiel. Comme à Tercis, l'ammonite est plus ancienne que le foraminifère.

Les tris effectués sur une vingtaine d'acétolyses ont permis de récolter de quelques-uns à 200 spécimens de microproblematica dans neuf niveaux. L'état de préservation est modéré, mais quinze espèces ou genres ont été reconnus et deux autres restent à confirmer. La répartition relative de trois espèces du genre *Aurella* est vérifiée au mont Juandechaco (Fig. 3) ; la quatrième est absente, car les sédiments maastrichtiens n'ont pas été prélevés.

Pour les cinq espèces ou genres de gilianelles A3, E3, H2, M2, M1, la distribution verticale relative est identique à celle observée à Tercis, avec deux taxons dans la partie basse, deux dans la partie moyenne et un (M1) dans la partie un peu plus récente de la section échantillonnée. Les quatre taxons de gilianelles, de répartition verticale large à Tercis, ont les mêmes caractéristiques au mont Juandechaco. Enfin, les deux espèces d'autres microproblematica communes aux deux affleurements (F1 et L1) se positionnent de même façon par rapport aux marqueurs précédents.

L'ensemble des microproblematica se révèle ainsi comme un outil marqueur de temps régional, ce qui est une avancée significative dans leur connaissance.

3.3. Bassin du flysch pyrénéen

De rares observations de *R. calcarata* sont publiées dans le faciès flysch au nord des Pyrénées, y compris près d'Orthez [19]. Deloffre [5] avait aussi signalé le foraminifère dans une dizaine d'affleurements échantillonnés pour établir la carte géologique au sud de Pau, après l'examen de deux à trois niveaux par site.

Une coupe entre Gan et Rébénacq (échantillonnée sur 250 m), une autre au sud de Lasseube (échantillonnée sur 700 m), une troisième dans la carrière de Pareil (affleurement de 15 m) ont été choisies ; seules les deux premières exposent tout le Campanien supérieur. Les teneurs en globotruncanides sont supérieures à celles du faciès de plate-forme et varient de 600 à 10 000 pour 100 g de sédiment dissocié. *R. calcarata* représente de 4 à 15 % de ces foraminifères, avec quelques niveaux plus pauvres et d'autres riches (jusqu'à 70 % vers le milieu

de la zone d'extension, au sud de Lasseube). Au sud de Lasseube, cette zone couvre 157 m de terrain, mais la série est perturbée par des plissements isoclinaux, qui réduisent l'épaisseur stratigraphique à un maximum de 115 m ; entre Gan et Rébénacq, la même zone couvre au moins 90 m. Aucune gilianelle n'a été observée dans les lavages.

Au Pays basque espagnol, la falaise entre Zumaya et Deva expose une grande partie du Crétacé supérieur et le Paléogène. Herm [6] a noté avec certitude la présence de *R. calcarata* sur une épaisseur de 93 m dans un Campanien épais de 1110 m, se terminant au sommet de la zone à *R. calcarata*, au sens admis à l'époque.

Arz-Sola [2] n'a observé la présence du foraminifère que dans les 22 m situés à l'est et stratigraphiquement au-dessus de son repère 14 inscrit sur la coupe. Une nouvelle récolte a été entreprise sur une épaisseur de 82 m de part et d'autre de ce repère. Les lavages ont livré de 300 à 10 000 globotruncanides par 100 g de sédiment. *R. calcarata* a été récoltée dans les onze échantillons situés entre +5 m et -59 m, avec une abondance de 0,5 à 10 % par rapport à l'ensemble des globotruncanides. L'investigation vers des niveaux inférieurs a été partielle, car l'affleurement s'interrompt. Les observations de Herm sont donc confirmées par notre travail. Accessoirement, des spécimens de *Schackoina multispinata* ont été récoltés, avec *R. calcarata* à 40 m sous le repère 14, alors que le genre est supposé disparaître dans la zone à *Globotruncanita elevata* du Campanien inférieur [4], 6 Ma avant. Aucun des microproblematica de Tercis n'a été trouvé dans ces flyschs.

4. Discussion

Les sédiments d'Aquitaine septentrionale n'ont donné ni, *R. calcarata*, ni microproblematica. Dans le bassin du flysch, les microproblematica étudiés sont absents. Dans les affleurements de plate-forme, elles sont présentes avec les pithonelles. Les microproblematica de Tercis sont donc inféodés à un faciès à biodiversité remarquable, où les foraminifères planctoniques sont présents, mais d'utilisation malaisée sans acétolyse. Ainsi, Kuchler [8] a cité des globotruncanides campaniens en Navarre, mais n'a pu identifier la zone à *R. calcarata*. Incidemment, nos traitements à l'acide fluorhydrique ont livré des kystes de dinoflagellés pour la première fois dans cette province : par exemple, *Corradinisphaeridium horridum*, qui est un bon marqueur disparaissant au sommet du Campanien [1].

R. calcarata a été utilisé sans difficulté dans les flyschs pour repérer les niveaux susceptibles de renfermer des gilianelles et du matériel pyroclastique. L'épaisseur de sa zone d'extension à Tercis représente au moins 0,5 Ma entre les cotes 50 et 62, voire 0,8 à 0,9 Ma, si l'on considère l'intervalle entre les cotes 41 et 62 [7] pour un taux moyen d'accumulation de 40 m/Ma [17]. À Zumaya, une épaisseur de 93 à 105 m est probable; si l'on postule un taux d'accumulation moyen constant au Campanien (de l'ordre de 130 m/Ma d'après une épaisseur d'environ 1100 m entre la base du Campanien, estimée à 83,0 Ma, et l'âge du sommet de la zone à *R. calcarata*, estimé à 74,5 Ma [13]), ces dépôts représentent entre 0,75 et 0,83 Ma. Dans la série de Lasseube, les épaisseurs sont du même ordre que celle vues à Zumaya. Enfin, dans les Apennins, la zone épaisse de 10 m dans la série de la Bottaccione correspond à une durée probable de $1 \pm 0,2$ Ma [13]. *R. calcarata* est donc un marqueur précis et reproductible, répandu dans le domaine pyrénéen et alentours, comme ailleurs dans le monde où cela a été souligné [14,20].

5. Conclusions

La section de référence pour la limite Campanien–Maastrichtien à Tercis a été enrichie d'une soixantaine de microfossiles comprenant des gilianelles et d'autres microproblematica. Leur répartition verticale suit trois modèles: une évolution continue permettant de définir des taxons successifs sans coupure, des taxons très localisés dans le temps, des taxons présents dans la majorité de la section de référence. Cette répartition est reproduite dans le voisinage du stratotype et permet un découpage de la série, plus fin qu'aucun autre outil biostratigraphique.

La même répartition a été retrouvée de l'autre côté des Pyrénées, dans des sédiments de même âge et de faciès voisin pour la quinzaine de taxons identifiés là à ce jour. Ces microrestes constituent donc un outil de corrélation régional pratique (il suffit d'utiliser l'acétolyse pour les carbonates indurés), aisé (les formes sont faciles à reconnaître) et précis (de nombreux signaux se succèdent dans le Campanien supérieur).

Dans le faciès flysch comme dans les faciès de plateforme, *Radotruncana calcarata* a été récoltée partout, même dans les lieux où elle n'était pas (sur la plateforme) ou que mal connue (dans les flyschs) jusqu'ici. Sa zone d'extension, de durée voisine de 0,8 Ma, en fait le marqueur de temps le plus précis parmi les foraminifères du Campanien et du Maastrichtien. Les microproblematica, eux, sont inféodés au faciès des calcaires à pithonelles.

Remerciements

J.-A. Arz nous a guidé sur le terrain de la coupe de Zumaya et au laboratoire de Saragosse pour nous conseiller dans nos déterminations de foraminifères. P. Razin nous a présenté le Crétacé supérieur de la Baie de Loya. Les échantillons du Campanien des Charentes ont été fournis par J.-P. Platel. Nous avons apprécié la collaboration de Giliane O. lors des prélèvements sur le terrain à Zumaya, Juandehaco et Lasseube. Les relecteurs sont vivement remerciés pour leurs utiles suggestions.

Annexe 1

Désignations taxonomiques des 15 microproblematica, dont 13 gilianelles, cités dans ce travail (tous nov. gen., nov. sp. Odin, [16]). A1a: *Numismella tarbellica*. A1b: *Scutellella crassa*. A2a: *Scutellella circularis*. A2b: *Scutellella longivelifera*. A3: *Scutellella pulchrevelifera*. A4a: *Aturella altodepressa*. A4b: *Aturella aequilatera* A4b': *Aturella angulata*. A6: *Aturella edentula*. E3: *Pocillella* espèces *grandicula* (a), *minuta* (b), *cylindrata* (c), *cochleare* (d). F1: *Lucernellus aubouini* (non gilianelle). H2: *Aquilegiella varia*. M1: *Coraliella simplex*. M2: *Coraliella cantharella*. L1: *Tubella hunzikeri* (non gilianelle).

Références

- [1] E. Antonescu, J.-C. Foucher, G.S. Odin, Les kystes de dinoflagellés de la carrière de Tercis-les-Bains (Landes, France), in: G.S. Odin (Ed.), The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 235–249.
- [2] J.-A. Arz-Sola, Los foraminiferos planctonicos del Campaniense y Maastrichtiense: biostratigrafia, cronozestratigrafia y eventos paleoecologicos, thèse, Universidad de Zaragoza, 1996.
- [3] A. Carbayo, L. Leon, J. del Valle de Lersundi, L. Villalobos, Mapa Geologica de España, 1:50 000, 116, Garralda, Instituto Geologico y Minero de España, Noticia, 1978.
- [4] M. Caron, Cretaceous planktic foraminifera, in: R. Bolli, J.B. Saunders, K. Perch-Nielsen (Eds.), Plankton Stratigraphy, Cambridge University Press, 1985, pp. 17–86.
- [5] R. Deloffre, 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, 1965.
- [6] D. Herm, Mikropalaontologische Untersuchungen im Kreideflysch zwischen Deva und Zumaya (Prov. Guipuzcoa, Nordspanien), Z. dtsh. Geol. Ges., Bd 115/1 (1965) 277–348.
- [7] J. Ion, G.S. Odin, Planktonic Foraminifera from the Campanian–Maastrichtian at Tercis-les-Bains (Landes, France), in: G.S. Odin (Ed.), The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 349–370.

- [8] T. Kuchler, Upper Cretaceous of the Barranca (Navarra, northern Spain); integrated litho, bio- and event stratigraphy, *Acta Geol. Pol.* 50 (2000) 441–499.
- [9] T. Kuchler, A. Kutz, M. Wägrich, The Campanian–Maastrichtian boundary in northern Spain (Navarra province: the Imiscoz and Erro sections), in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 723–744.
- [10] D. Néraudeau, G.S. Odin, Echinoids from the geological site at Tercis-les-Bains (Landes, France), in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 612–634.
- [11] G. S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*. IUGS Spec. Publ. (monograph) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 1–881.
- [12] G.S. Odin, Descriptive lithostratigraphy of the Campanian–Maastrichtian succession at Tercis-les-Bains (SW France), in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 85–109.
- [13] G.S. Odin, Numerical age calibration of the Campanian–Maastrichtian succession at Tercis-les-Bains (Landes, France) and in the Bottaccione Gorge (Italy), in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 775–782.
- [14] G.S. Odin, *The Campanian–Maastrichtian boundary: correlation from Tercis (Landes, SW France) to Europe and other continents*, in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 805–819.
- [15] G.S. Odin, Sur des microfossiles calcaires problématiques du stratotype de la limite Campanien–Maastrichtien de Tercis (Sud-Ouest, France): les gilianelles, *C. R. Palevol* 6 (3) (2007) 181–188.
- [16] G.S. Odin, 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, Brest, Mémoire 2008/01, 2008. http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2008_M01/.
- [17] G.S. Odin, A. Amorosi, Interpretative reading of the Campanian–Maastrichtian deposits at Tercis-les-Bains: sedimentary breaks, rhythms, accumulation rate, sequences, in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 120–131.
- [18] G.S. Odin, A. Lethiers, Nouvelles études micropaléontologiques sur le stratotype de la limite Campanien–Maastrichtien à Tercis (SO France): les gilianelles (microproblematica) extraites par acétolyse, Carnets de Géologie, Brest, Article 2006/05, 2006, http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2006_A05/index.html.
- [19] G.S. Odin, J.-A. Arz, M. Caron, J. Ion, E. Molina, Campanian–Maastrichtian planktonic foraminifera at Tercis-les-Bains (Landes, France); synthetic view and potential for global correlation, in: G.S. Odin (Ed.), *The Campanian–Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis-les-Bains (France) and correlation with Europe and other continents*, IUGS Spec. Publ. (monogr.) Ser. 36; Dev. Palaeontol. Stratigr. Ser. 19 (2001) 379–395.
- [20] T.M. Puckett, E.A. Mancini, Planktic foraminiferal *Globotruncanita calcarata* total range zone: its global significance and importance to chronostratigraphic correlation in the Gulf Coastal Plain, USA, *J. Foram. Res.* (1998) 124–134.