

Proposition d'une nouvelle biozonation par ammonites de l'Albien du Bassin andin (Pérou)

Emmanuel Robert^{a*}, Luc Georges Bulot^b, Étienne Jaillard^c, Bernard Peybernès^a

^a EA 3029, « Dynamique des bassins sédimentaires », université Paul-Sabatier, 39, allées Jules-Guesde, 31062 Toulouse cedex 04, France

^b « Dynamique des récifs et des plates-formes carbonatées », Centre de sédimentologie-paléontologie, ESA-CNRS 6019, université de Provence, 13331 Marseille cedex 03, France

^c Misión IRD, apartado postal 17-12-857, Quito, Équateur

Reçu le 24 avril 2002 ; accepté le 23 septembre 2002

Présenté par Philippe Taquet

Abstract – Proposition for a new ammonite biochronology of the Albian series of the Andean Basin (Peru). The study of the ammonite fauna of the Albian formations allows a major revision of its biostratigraphic frame in northern and central Peru. A carving in ammonite biozones is proposed for the Inca, Chulec and Pariatambo Formations and the Pulluicana group. The Lower Albian is represented by the Nicholsoni Biozone (subdivided into the *umbilicostatus*, and *nicholsoni* biohorizons, followed by an interval subzone) and by the Raimondii Biozone (carved in three subzones: Haasi, Raimondii – itself subdivided into the *ebryi* and *alternum* biohorizons – and Mathewsi, including the *pseudolyelli* biohorizon). The Middle Albian is characterised by the Carbonarium Biozone, carved in the Ulrichi and Carbonarium Subzones. The base of Upper Albian is represented by the Cristatum Subzone. **To cite this article:** E. Robert et al., C. R. Palevol 1 (2002) 1–9. © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

biostratigraphy / palaeontology / ammonites / Albian / Cretaceous / central and northern Peru

Résumé – L'étude de la faune d'ammonites des séries de l'Albien permet une révision majeure du cadre biostratigraphique du Pérou central et septentrional. Un découpage en biozones d'ammonites est proposé pour les formations Inca, Chulec et Pariatambo et le groupe Pulluicana. L'Albien inférieur est représenté par la Biozone à Nicholsoni (subdivisée en deux bio-horizons, à *umbilicostatus* et à *nicholsoni*, suivis par une sous-zone d'intervalle) et la Biozone à Raimondii (découpée en trois Sous-zones à Haasi, Raimondii [bio-horizons à *ebryi* et *alternum*] et Mathewsi, dont le sommet est défini par le bio-horizon à *pseudolyelli*). L'Albien moyen est caractérisé par la Biozone à Carbonarium, découpée en deux Sous-zones, à Ulrichi et à Carbonarium. La base de l'Albien supérieur est représentée par la Sous-zone à Cristatum. **Pour citer cet article :** E. Robert et al., C. R. Palevol 1 (2002) 1–9. © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

biostratigraphie / paléontologie / ammonites / Albien / Crétacé / Centre et Nord Pérou

Abridged version

1. Introduction

The palaeogeography of the Andean Basin during the Lower–Mid-Cretaceous times is controlled by the development of a magmatic arc along the Peruvian margin (Fig. 1). During Albian, the back-arc zone sustains a major marine

transgression (Fig. 2). Three transgressive accelerations are characterised by specific sedimentations: the Lower Albian one is represented by mixed (calcareous and siliclastic) deposits (Inca and Pariahuanca Formations), a carbonate series (Chulec Fm) is taking over from the sedimentation; anoxic facies (Pariatambo Fm) characterise the Lowermost Middle Albian acceleration; the Upper/Middle to basal Upper Albian, which recorded a new 'peak', is represented by shelf-type carbonates in the Occidental Basin (Pulluicana

*Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : manu.robert@free.fr (E. Robert).

Group). The ammonites of the Peruvian Albian series have been broadly studied. However, only Benavides Cáceres [1] approached their biostratigraphic significance and proposed a carving in terms of assemblage zones. His scheme has been still effective until our new propositions, previously developed in 1998 [6], and improved in 2002 [7], which constitute the frame of the present work.

2. Definition of a new biostratigraphic standard for the Lower to basal Upper Albian interval

The new data recently evidenced [7] allow a major revision of the historical biostratigraphic frame. By a bed-by-bed sampling of ammonites, the systematic revision of the fauna, the repetition of this analysis on about fifteen sections (Fig. 2) at the basin scale and the definition of reference-sections, we define eleven subzones and biohorizons (Fig. 3).

The basal part of the **Lower Albian** seems missing in the Andean Basin. The first ammonite associations characterise an uppermost Lower Albian, subdivided into the *Nicholsoni* and *Raimondii* Biozones.

The base of the **Nicholsoni Biozone** is defined by the first appearance (FAD) of a representative of the *Neodeshayesites* genus. Its top is characterised by the appearance of the *Glottoceras* genus. This zone is subdivided into the *umbilicostatus* (1 in Fig. 4) and *nicholsoni* (2-A, 2-B in Fig. 4) biohorizons, each defined by the exact vertical extension of the index-species. Those subdivisions are successively defined at Baños del Inca and Tamberia Oeste sections (Fig. 3). An interval subzone characterises the end of the biozone, itself beginning by the last appearance of the *Neodeshayesites* and his top corresponding to the FAD of the *Parengonoceras* and/or *Glottoceras* genus.

The **Raimondii Biozone**, introduced by Benavides Cáceres [1], is marked by the development of the Engonoceratidae and Lyelliceratinae, taxonomic unities from which are issued the whole index. Its base, equivalent to the one of the Haasi Subzone (Fig. 3), corresponds to the top of the previous biozone (see above mentioned). Its subdivisions, from the Haasi Subzone to the *pseudolyelli* biohorizon (Fig. 3) are defined by the first local appearance (LOD) of their index-species. This zone is characterised by a major diversity of the

ammonite taxa – their stratigraphic extension are presented in Fig. 3 and the index-species are illustrated in Fig. 4]. Note that *G. raimondii* is used in double reason, as index of the Raimondii Zone in the frame of the nomenclatural continuity with the historical stratigraphic standard [1] (even if it is absent in the first Haasi Subzone) and as index of the Raimondii Subzone, real distribution of the species.

The **Middle Albian** is characterised by the **Carbonarium Biozone**. Its base and top are respectively defined by the LOD of the both *R. ulrichi* and *L. lyelli* and the FAD of *D. cristatum*. The zone is subdivided into the Ulrichi and the Carbonarium Subzones, marked by the LOD of the index-species and representing the succession of the Lyelliceratinae and Mojsisovicziinae dominations. Note that *O. (O.) carbonarium* is only present in the upper part of the biozone; as *G. raimondii* (see above), this taxa is both used as index-species of the subzone (real distribution) and as index of the historical Carbonarium Zone of Benavides Cáceres [1], herein preserved for the nomenclatural stability.

The **Cristatum Subzone**, representing the **basal Upper Albian**, is marked by a poorly diversified cosmopolitan fauna. We placed, according to the IUGS recommendations, its base at the FAD of the *Dipoloceras* genus; the *cristatum* (index-) species appears above in the series. In the present knowledge, we cannot characterize the youngest parts of the Cristatum Subzone and the following zones of Upper Albian in the Andean Basin.

3. Conclusion

The new biostratigraphic approach, based on the recognition of elementary ammonite associations, allows us to review the zonal carving proposed by Benavides Cáceres [1]. We herein introduce eleven new subdivisions: the *Nicholsoni* Biozone is subdivided into the *umbilicostatus* and the *nicholsoni* biohorizons, followed by an interval subzone; three Haasi, Raimondii (itself consisting of the *ebrai* and *alternum* biohorizons) and Mathewi (including the *pseudolyelli* biohorizon) Subzones define the Raimondii Biozone; the Carbonarium Biozone is subdivided into the Ulrichi and the Carbonarium Subzones; finally, the basal Upper Albian is represented by the Cristatum Subzone.

1. Introduction

La paléogéographie éo/mésocrétacée du Bassin andin est contrôlée par le développement d'un arc magmatique de grande extension, qui se développe le long de la marge péruvienne (Fig. 1). La répartition des séries de cet âge est donnée par la Fig. 2 (intervalle Berriasien–Albien). Durant l'Albien, le secteur d'arrière-arc subit une transgression marine majeure. Plusieurs pics de transgression sont enregistrés. Chaque pulsation se caractérise par une sédimentation particulière. La série étudiée ici correspond à trois intervalles : (a) le pic de

transgression de l'Albien inférieur induit les premiers dépôts mixtes, carbonatés et détritiques, qui composent les formations Inca et Pariahuanca. Une unité marine à dominante carbonatée, la formation Chulec, prend ensuite le relais ; (b) la deuxième phase transgressive, datée de la base de l'Albien moyen, se marque par le dépôt de la formation Pariatambo, dont le faciès est souvent anoxique ; (c) l'Albien moyen élevé à supérieur basal enregistre le dernier pic transgressif, représenté par des faciès de plate-forme carbonatée dans le Bassin occidental (groupe Pulluicana).

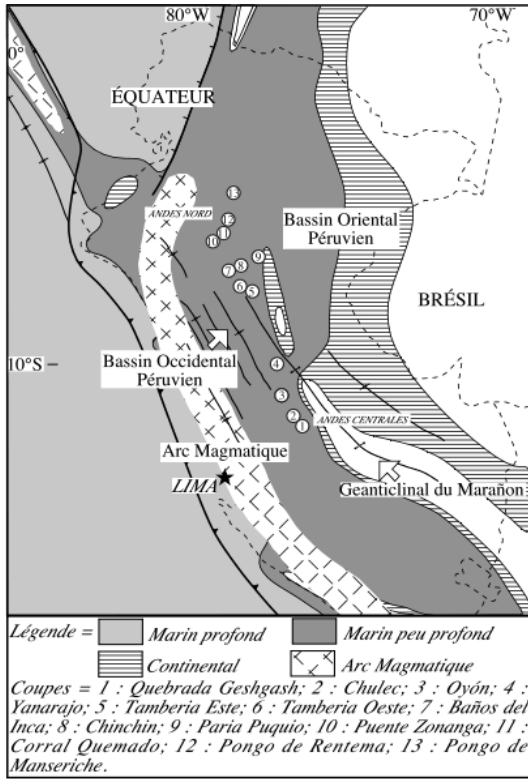


Fig. 1. Carte paléogéographique de la partie péruvienne du Bassin andin à l’Aptien–Albien. Positions respectives des coupes étudiées (d’après [5], modifié).

Fig. 1. Palaeogeographic map of the Peruvian part of the Andean Basin during the Aptian–Albian times. Respective positions of studied sections (from [5], modified).

Les ammonites du Crétacé péruvien ont fait l’objet de nombreux travaux. Cependant, peu d’auteurs ont abordé l’aspect biostratigraphique des successions de faunes. Seul Benavides Cáceres [1] a proposé un découpage de l’Albien péruvien en zones d’assemblage. Ses subdivisions bio- et lithostratigraphiques sont restées en vigueur jusqu’à nos nouvelles propositions, formulées en 1998 [6] et récemment affinées [7], lesquelles constituent pour l’essentiel la trame du présent travail. Celui-ci, plus détaillé, débouche sur la biozonation fine et en grande partie nouvelle de l’intervalle Albien inférieur–Albien supérieur basal du Bassin andin du Pérou central et septentrional (Fig. 1) que nous présentons ici.

2. Proposition d’une nouvelle échelle biostratigraphique d’ammonites pour l’intervalle Albien inférieur–Albien supérieur basal

Les nouvelles données acquises [7] permettent de proposer une révision majeure du cadre biostratigraphique historique [1], grâce à la récolte précise d’ammonites au banc par banc, la révision de l’ensemble de cette faune, la répétition de cette analyse sur une quinzaine de coupes (Fig. 1) à l’échelle du bassin et la définition de coupes de référence. Nous proposons un découpage en 11 sous-zones et bio-horizons nouveaux (Fig. 3).

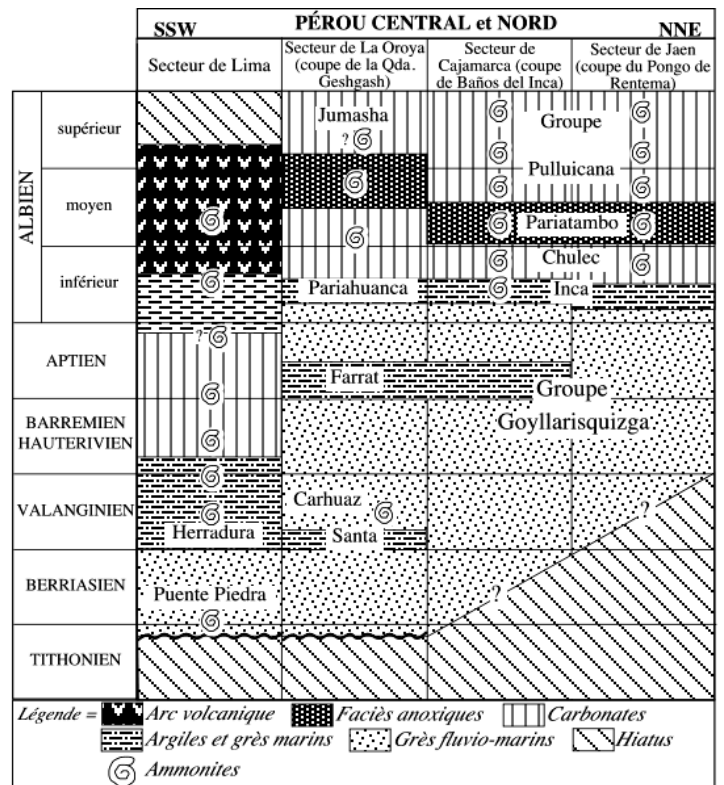


Fig. 2. Répartition des formations dans le schéma stratigraphique du Crétacé inférieur. Il est important de noter le caractère diachrone des faciès successifs (d’après [6], modifié).

Fig. 2. Repartition of the formations in the stratigraphic frame of the Lower Cretaceous. It is important to note the diachronic character of the successive facies (from [6], modified).

ÉCHELLES BIOSTRATIGRAPHIQUES (AMMONITES)				LIMITES DES SUBDIVISIONS	FORMATIONS	COUPES-TYPES	RÉPARTITION DES PRINCIPALES ESPÈCES D'AMMONITES					
Sous-Étages	ZONES	Sous-Zones	HORIZONS				Autochtones			"Américaines"	Cosmopolites	
ALBIEN SUPÉRIEUR		CRISTATUM		▲ <i>Dipoloceras cristatum</i>	Pullucana	Qda. Geshgash						
ALBIEN MOYEN	CARBONARIUM	CARBONARIUM		▲ <i>O. (Oxytropidoceras carbonarium</i>		Pariatambo	P. Rentema et Qda. Geshgash					
		ULRICHI		▲ <i>Ralphimlayites ulrichi</i> et <i>Lyelliceras lyelli</i>								
ALBIEN INFÉRIEUR	RAIMONDII		PSEUDOLYELLI	▲ <i>Lyelliceras pseudolyelli</i>	Chulec							
		MATHEWSI		▲ <i>Ralphimlayites mathewsi</i>								
		RAIMONDII	ALTERNUM	▲ <i>Ralphimlayites alternum</i>								
			EBRAYI	▲ <i>Glottoceras raimondii</i> et <i>Parengonoceras ebrayi</i>								
		HAASI		▲ famille Engonoceratidae cf. <i>Parengonoceras haasi</i>								
	NICHOLSONI	INTERZONE				▼ genre <i>Neodeshayesites</i>	Pariahuanca - Inca	Baños del Inca et Tamberia Oeste				
		NICHOLSONI		▲ <i>Neodeshayesites nicholsoni</i>								
			UMBILICOSTATUS			▲ genre <i>Neodeshayesites</i> cf. <i>N. umbilicostatus</i>						
Albien basal non représenté												

Fig. 3. Nouvelle biozonation de l'Albien inférieur à supérieur basal du Bassin andin (Pérou central et septentrional). Subdivisions biostratigraphiques, caractérisation des limites de subdivisions, coupes types et répartition des principales espèces d'ammonites.

Fig. 3. New biozonation of the Lower to basal Upper Albien of the Andean Basin (Central and Northern Peru). Biostratigraphic subdivisions, characterisation of the subdivision limits, section-types and repartition of the main ammonite species.

2.1. Albien inférieur

2.1.1. Biozone à *Nicholsoni* (Benavides Cáceres, 1956)

Espèce indice. *Neodeshayesites nicholsoni* (BENAVIDES CÁCERES, 1956).

Coupes de référence. L'enregistrement paléontologique ne permet pas de retenir une seule coupe type. Les deux bio-horizons à *umbilicostatus* et *nicholsoni* proposés dans cette zone sont respectivement mis en évidence sur les coupes de Baños del Inca et Tamberia Oeste (voir ci-après).

Définition et subdivisions. La base de la biozone est définie par la première apparition (FAD = *First Appearance Datum*) d'un représentant du genre *Neodeshayesites*, en l'occurrence celle de *N. umbilicostatus* et *Neodeshayesites* sp. 15 m au-dessus de la base de la formation Inca de la coupe de Baños del Inca. Le sommet coïncide avec la première apparition locale (LOD = *Last Occurrence Datum*) du genre *Glottoceras*.

La succession des *Neodeshayesites* au sein de la biozone permet de reconnaître deux bio-horizons, à

umbilicostatus à la base, suivi de *nicholsoni*. La partie terminale de la biozone est provisoirement une sous-zone d'intervalle.

Limites d'utilisation de l'indice. L'espèce indice ne caractérise que la partie moyenne de la biozone, où elle définit le bio-horizon à *nicholsoni* (voir ci-après). Nous avons conservé le nom de zone introduit par Benavides Cáceres [1] dans un souci de stabilité nomenclaturale.

2.1.1.1. Bio-horizon à *umbilicostatus* (Robert, 2002)

Espèce indice. *Neodeshayesites umbilicostatus* (SCOTT, 1940) (Fig. 4, 1).

Coupes de référence. L'horizon à *umbilicostatus* est individualisé sur la coupe de Baños del Inca, désignée comme coupe de référence [7]. Ce bio-horizon est défini par l'extension verticale de l'espèce type, qui est présente dans les premiers mètres de la formation Inca, associée à d'autres taxons.

Association caractéristique. Le premier niveau fossilifère, localisé environ 13 m au-dessus de la base des dépôts transgressifs albiens, comprend *Neodeshayesites* sp. et *N. umbilicostatus*. Les bancs suivants contiennent

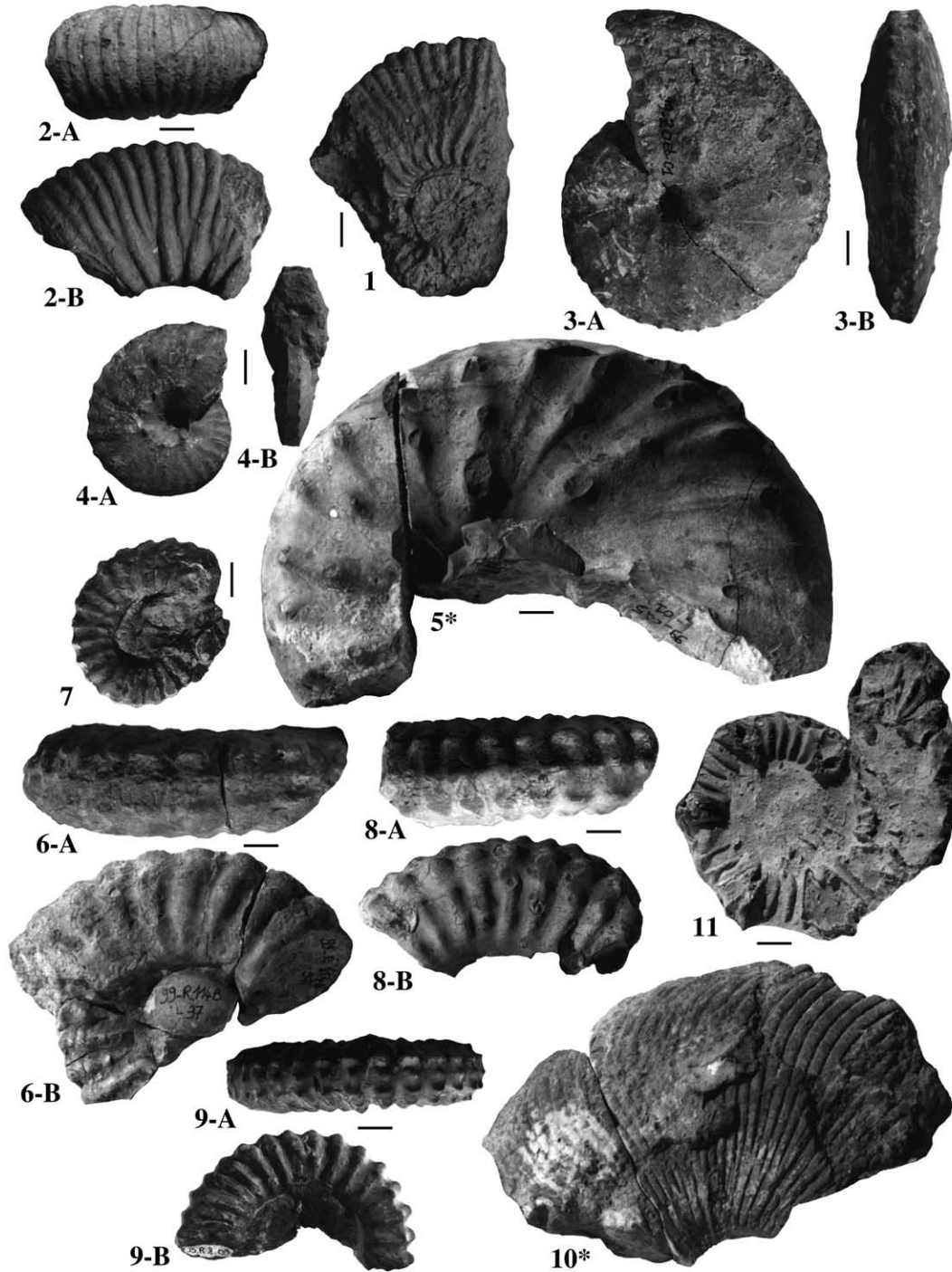


Fig. 4. L'ensemble des spécimens est illustré à l'échelle 1/2 sauf les individus 5 et 10, à l'échelle 1/2,5 (voir *). Les barres d'échelle indiquent une longueur de 1 cm. 1. *Neodeshayesites umbilicostatus* (Scott), formation Inca, Baños del Inca. 2-A, 2-B. *Neodeshayesites nicholsoni* (Benavides Cáceres), formation Inca, Tamberia Oeste. 3-A, 3-B. *Parengonoceras haasi* Benavides Cáceres, formation Inca, Puente Zonanga. 4-A, 4-B. *Glottoceras raimondii* (Lissón), formation Chulec, Paria Puquio. 5*. *Parengonoceras ebrayi* (de Loriol), formation Chulec, Corral Quemado. 6-A, 6-B. *Ralphimlayites alternum* Robert, formation Chulec, Pongo de Rentema (holotype). 7. *Ralphimlayites mathewsi* (Knechtel), formation Pariatambo, Pongo de Manseriche. 8-A, 8-B. *Lyelliceras pseudolyelli* (Parona & Bonarelli), formation Chulec, Corral Quemado. 9-A, 9-B. *Ralphimlayites ulrichi* (Knechtel), formation Chulec, Pongo de Rentema. 10*. *Oxytropidoceras* (*Oxytropidoceras*) *carbonarium* (Gabb), Gp. Pulluicana, Pongo de Rentema. 11. *Dipoloceras* cf. *cristatum* (Deluc), formation Pariatambo, Quebrada Geshgash. 1, 5, 7, 10, 11 : vue latérale. 2, 3, 6, 8, 9 : vues ventrale et latérale. 4 : vue latérale et section.

Fig. 4. All figures are represented at the 1/2 scale saving the 5 and 10, at a 1/2,5 scale (see *). The rung indicates a length of 1 cm. See captions above. 1, 5, 7, 10, 11: lateral view. 2, 3, 6, 8, 9: ventral and lateral views. 4: lateral view and section.

«*Beudanticeras*» sp., *Platynemiceras* sp., *Hamites* sp., *H. pseudattenuatus* et *Douvilleiceras rex* ; ces ammonites sont associées aux échinides *Heteraster obliquatus* et *H. roscheni*, ainsi qu'aux bivalves *Ceratostreon flabellatum* et *Scabotrigonia scabra*.

2.1.1.2. Bio-horizon à *nicholsoni* Robert (2002)

Espèce indice. *Neodeshayesites nicholsoni* (BENAVIDES CÁCERES, 1956) (Fig. 4, 2-A, 2-B).

Coups de référence. Le bio-horizon à *nicholsoni* est individualisé sur la coupe de Tamberia Oeste (Fig. 3), désignée comme coupe de référence [7]. Il se marque par l'extension verticale stricte de *N. nicholsoni*, associée à d'autres taxons ; les premiers représentants de l'espèce type ont été récoltés dans la seconde paraséquence calcaire de la formation Inca. Cette zone de distribution locale semble réduite au dernier banc de ce dernier faisceau de la coupe de Tamberia Oeste ; l'espèce indice est cependant associée avec d'autres taxons.

Association caractéristique. *N. nicholsoni* est associé à *Neodeshayesites* sp., «*Beudanticeras*» gr. *dupinianum-newtoni*, «*B.*» *chimuense*, *Desmoceras* sp., *Douvilleiceras offarcinatum* et *Douvilleiceras* sp. Les niveaux considérés contiennent une riche faune de trigonies, dont *Pterotrigonia tocimaana*, *Buchtrigonia abrupta* et *Yaadia hondaana*.

2.1.1.3. Sous-zone d'intervalle

Un intervalle azoïque est enregistré au sommet des formations gréso-carbonatées de la base de l'Albien sur la totalité des coupes étudiées, depuis les Andes centrales jusqu'au Nord du Bassin. Un hiatus paléontologique, sans doute relativement important, est ainsi enregistré entre la disparition des *Neodeshayesites*, premiers colonisateurs, et la venue plus tardive d'une faune d'ammonites dominée par la famille des Engonoceratidae. La base de cette sous-zone d'intervalle est ainsi définie par la dernière apparition des *Neodeshayesites*. Le sommet, équivalent de la base de la Biozone à Raimondii, correspond à la FAD des genres *Parengonoceras* et/ou *Glottoceras*.

2.1.2. Biozone à Raimondii (Benavides Cáceres, 1956)

Espèce indice. *Glottoceras raimondii* (LISSÓN, 1908).

Coups de référence. La Sous-zone à Haasi et le bio-horizon à *ebrai* (voir ci-dessous) sont bien individualisés sur les coupes de Baños del Inca et de Puente Zonanga (Fig. 3), choisies comme coupes types pour ces deux premières subdivisions [7]. Les sous-zones et horizons suivants (voir ci-après) sont bien caractérisés sur la coupe du Pongo de Rentema.

Définition et subdivisions. La LAD des Engonoceratidae définit la base de la Biozone à Raimondii ; la phylogénèse des Engonoceratidae, puis des Lyelliceratinae, nous a conduits à individualiser trois sous-zones successives, à Haasi, Raimondii et Mathewsi, discriminées par la FAD chaque espèce indice. La Sous-zone à Raimondii est divisée en deux bio-horizons, à *ebrai* et *alternum*, définis par la LAD des espèces citées. Un dernier bio-horizon à *pseudolyelli*, caractérisé par l'apparition de l'espèce indice, est décrit au sommet de la Sous-zone à Mathewsi ; le sommet de la biozone correspond à la FAD simultanée de *Ralphimlayites ulrichi* et de *Lyelliceras lyelli*, marqueurs de l'Albien moyen.

2.1.2.1. Sous-zone à Haasi (Robert, 2002)

Espèce indice. *Parengonoceras haasi* BENAVIDES CÁCERES (1956) [Fig. 4, 3-A, 3-B].

Définition et coupes de référence. La Sous-zone à Haasi est définie par la FAD d'un représentant de la famille des Engonoceratidae (voir ci-dessus).

Associations caractéristiques. Dans les coupes de référence, *P. haasi* est associé à :

- *Parengonoceras* sp., *Glottoceras* sp. juv. cf. *attenuatum*, *Desmoceras* sp. et ? *Tegoceras* sp. ainsi qu'au foraminifère *Epistomina* sp. à Puente Zonanga ;
- *Parengonoceras* sp. juv. cf. *champaraense*, *G. raimondii*, *G. raimondii* var. *largum*, *G. ollonense*, *G. gracilecostatum*, *G.* cf. *bassleri*, *Glottoceras* sp. juv., *Prolyelliceras peruvianum*, *Ralphimlayites prorsocurvatum* et ? *Mojsisoviczia ventanillensis* sur la coupe de Baños del Inca ; on note aussi la présence des échinides *Heteraster roscheni* et *Pygorhynchus* (? nov.) sp.

2.1.2.2. Sous-zone à Raimondii (Robert, 2002)

Espèce indice. *Glottoceras raimondii* (LISSÓN, 1908) [Fig. 4, 4-A, 4-B].

Définition et coupes de référence. La Sous-zone à Raimondii est représentée sur de nombreuses coupes. Sa base est placée à la LOD de l'espèce indice. Elle est bien caractérisée sur la coupe de Puente Zonanga, choisie comme coupe type [7]. La partie supérieure de la sous-zone est bien développée sur la coupe du Pongo de Rentema, retenue comme seconde coupe type. Le sommet est défini par la LOD de *R. mathewsi*, espèce indice de la subdivision supérieure.

Discussion. L'espèce *G. raimondii* est utilisée à double titre :

- comme indice de la Zone à Raimondii de l'échelle stratigraphique historique [1] ; malheureusement, la FAD de l'espèce indice *G. raimondii* ne se situe pas exactement à la base de la zone qu'elle définit, puisqu'elle n'est pas présente dans la première sous-zone à Haasi (voir ci-dessus) ;

– comme indice de la Sous-zone à Raimondii, ici nouvellement introduite, qui correspond à la répartition observée de l'espèce.

Subdivisions. Cette sous-zone, période de maximum de biodiversité de la famille des Engonoceratidae, est subdivisée en deux bio-horizons (*ebrayi* et *alternum*) décrits ci-après.

2.1.2.2.1. Bio-horizon à ebrayi (Robert, 2002)

Espèce indice. *Parengonoceras ebrayi* (DE LORIO, 1882) [Fig. 4, 5].

Définition et coupe de référence. Ce bio-horizon est défini par l'acmé de *P. ebrayi*. La coupe de Puente Zonanga est proposée comme coupe de référence [7] : les alternances de calcaires noduleux et de marnes de la base de la formation Chulec renferment une très grande quantité de représentants de l'espèce indice (Fig. 3).

Association caractéristique. L'association d'ammonites de la coupe de Puente Zonanga est marquée par la présence de *Parengonoceras pernodosum* et de *Glottoceras crassinodosum*, espèces communes de l'ensemble de la Zone à Raimondii. La faune comporte également *Protanisoceras* sp., *P. cantianum* et *Tegoceras* sp. Elle est complétée par les échinides *Heteraster* sp. et *H. tschudii* et les foraminifères *Epistomina* sp. et *Hedbergella* sp.

2.1.2.2.2. Bio-horizon à alternum (Robert, 2002)

Espèce indice. *Ralphimlayites alternum* (ROBERT, 2002) [Fig. 4, 6-A, 6-B].

Définition et coupe de référence. À partir de ce bio-horizon, l'Albien inférieur et la base de l'Albien moyen montrent une meilleure qualité de l'enregistrement sédimentaire et de la richesse faunistique sur la coupe du Pongo de Rentema. La base du bio-horizon correspond à la LOD de l'espèce indice ; le sommet se confond avec celui de la Sous-zone à Raimondii et correspond à la FAD de *R. mathewsi* (voir ci-après).

Association caractéristique. Sur la coupe de référence du Pongo de Rentema, l'espèce indice est associée à une faune variée d'Engonoceratidae, dont *Glottoceras semicostatum* et *G. crassinodosum* ; la deuxième moitié de l'horizon montre la présence de *Prolyelliceras* sp. juv.

2.1.2.3. Sous-zone à Mathewsi (Robert, 2002)

Espèce indice. *Ralphimlayites mathewsi* (Knechtel, Richards et Rathburn, 1947) (Fig. 4, 7).

Coupe de référence. La faune de cette sous-zone est bien individualisée sur la coupe du Pongo de Rentema, désignée comme coupe type [7].

Définition et subdivisions. Cette dernière sous-zone de l'Albien inférieur est définie par la FAD de

R. mathewsi. Sa partie supérieure est caractérisée par un bio-horizon à *pseudolyelli* (défini par l'acmé de son espèce indice), dont les caractéristiques sont exposées plus loin. Le sommet correspond à la LOD de *R. ulrichi* et de *L. lyelli*, qui marquent la base de l'Albien moyen.

Association caractéristique. Sur la coupe de référence, la partie inférieure de la sous-zone se compose de l'espèce indice, de *Ralphimlayites* sp., *R. cf. prorsocurvatum*, *Parengonoceras duartei*, *Glottoceras* sp. juv. et de représentants du sous-genre *Mirapelina*, dont l'espèce *M. douglasi*.

2.1.2.3.1. Bio-horizon à pseudolyelli (Owen, 1971)

Espèce indice. *Lyelliceras pseudolyelli* (PARONA et BONARELLI, 1897) [Fig. 4, 8-A, 8-B].

Définition et coupe de référence. La faune du bio-horizon à *pseudolyelli* est présente sur la coupe du Pongo de Rentema, désignée comme coupe de référence [7]. Le bio-horizon est défini par l'acmé de son espèce indice. Le sommet correspond à la LOD de *R. ulrichi* et de *L. lyelli*.

Discussion. *L. pseudolyelli* est le premier *Lyelliceras* s. str. de la série albienne du Bassin andin. Comme dans le Bassin anglo-parisien [3, 8], cette espèce apparaît avant le génotype *L. lyelli*. L'hypothèse de la définition de la base de l'Albien moyen par la LOD de *L. pseudolyelli* doit donc être envisagée, comme suite à la discussion développée par la sous-commission de stratigraphie de l'IUGS [2]. Néanmoins, la reconnaissance de ce bio-horizon est délicate sur de nombreuses coupes, en raison d'une condensation de la série. La base de l'Albien moyen est donc placée à l'apparition simultanée de *L. lyelli* et *R. ulrichi*.

Association caractéristique. L'espèce indice n'est associée qu'à *Lyelliceras* sp. et aux foraminifères *Hedbergella* sp. et *Alveocyclamina andina*.

2.2. Albien moyen

2.2.1. Biozone à Carbonarium (Benavides Cáceres, 1956)

Espèce indice. *Oxytropidoceras* (*Oxytropidoceras*) *carbonarium* (GABB, 1877).

Coupes de référence. Cette biozone est bien exprimée sur les coupes du Pongo de Rentema et de la Quebrada Geshgash (Fig. 3), retenues comme coupes types [7].

Définition et subdivisions. Sa base est fixée à la LOD de *R. ulrichi* et *L. lyelli*. Nous individualisons deux nouvelles Sous-zones à Ulrichi et Carbonarium. Le sommet est caractérisé par la LOD de *Dipoloceras cristatum*, marqueur classique de l'Albien supérieur [2].

2.2.1.1. Sous-zone à *Ulrichi* (Robert, 2002)

Espèce indice. *Ralphimlayites ulrichi* (Knechtel, Richards et Rathburn, 1947) [Fig. 4, 9-A, 9-B]

Coupe de référence et définition. L'association faunique de la sous-zone s'observe bien sur la coupe du Pongo de Rentema, désignée comme coupe de référence [7]. La base est définie par la LOD de l'espèce indice et de *L. lyelli*. Son sommet est placé à la LOD d'*Oxytropidoceras* (*O.*) *carbonarium*, espèce type de la sous-zone sus-jacente.

Association caractéristique. Sur la coupe de référence, *R. ulrichi* et *L. lyelli* sont associés à une ammonitofaune très diversifiée, constituée de *Prolyelliceras* sp., *Ralphimlayites* cf. *apuloense*, *R.* cf. *alternum*, *Lyelliceras* sp. juv., *Eubrancoceras* ? *aegoceratoides*, *Parabrancoceras* sp. juv., *Parabrancoceras* sp., ainsi que de plusieurs représentants du genre *Glottoceras* et du genre *Oxytropidoceras* tels *O. (Oxytropidoceras)* cf. *peruvianum*, *O. (O.)* sp. juv., *O. (O.)* sp., *O. (Mirapelia)* *mirapelianum*, *O. (M.) douglasi*, *O. (M.)* sp. et *O. (Benavidesites)* sp.

2.2.1.2. Sous-zone à *Carbonarium* (Robert, 2002)

Espèce indice. *Oxytropidoceras (Oxytropidoceras) carbonarium* (GABB, 1877) [Fig. 4, 10].

Coupes de référence et définition. Les coupes du Pongo de Rentema et de la Quebrada Geshgash offrent les meilleures représentations des associations de la sous-zone. Elles sont proposées comme coupes types [7]. La base de la sous-zone est placée à la LOD de l'espèce indice. Le sommet est souligné par l'apparition du genre *Dipoloceras*, marqueur de l'Albien supérieur basal.

Limite d'utilisation de l'indice. L'espèce indice n'est présente que dans la partie supérieure de la première zone de l'Albien moyen. Elle définit ainsi une Sous-zone à Carbonarium, qui correspond à sa réelle répartition stratigraphique. Cette espèce est donc utilisée à la fois comme espèce type de la sous-zone ici décrite et comme indice de la Zone à Carbonarium historique de Benavides Cáceres [1], maintenue afin de garder une stabilité nomenclaturale.

Association caractéristique. Sur la coupe du Pongo de Rentema, l'espèce type est associée à *Glottoceras moorei*, *G. crassinodosum*, *Parengonoceras* sp., *P.* cf. *pernodosum*, *Engonoceras* gr. *hilli-stolleyi* et *Oxytropidoceras (O.)* cf. *bösei*. Sur la coupe de la Quebrada Geshgash, la sous-zone se compose d'une faune plus variée. Elle est centrée sur le sous-genre *Oxytropidoceras*, avec les espèces *O. (O.) peruvianum*, *O. (O.)*

bösei, *O. (O.)* cf. *alticarinatum* et *O. (O.)* sp. Elle est complétée par *Mojsisoviczia* sp., *M.* cf. *ventanillensis* et *Hamites* cf. *maximus*.

2.3. Albien supérieur

2.3.1. Sous-zone à *Cristatum* (Spath, 1941)

Espèce indice. *Dipoloceras cristatum* DELUC in CUVIER et BRONGNIART (1822) [Fig. 4, 11].

Définition et coupe de référence. La faune de la Sous-zone à Cristatum est uniquement représentée sur la coupe de la Quebrada Geshgash, désignée comme coupe type [7].

La sous-commission de stratigraphie de l'IUGS [4] place la base de l'Albien supérieur à la FAD de *D. cristatum* ou de toute autre espèce de ce genre. Dans le Bassin andin, les premiers *Dipoloceras* sont des spécimens indéterminés. L'espèce indice *cristatum* apparaît plus haut dans la série. Nous plaçons, suivant les recommandations de l'IUGS, la base de la sous-zone à la LOD du genre *Dipoloceras*. Seules les associations de la base de la sous-zone sont ici présentées. Dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne pouvons pas caractériser les parties plus élevées de la Sous-zone à Cristatum et les autres sous-zones de l'Albien supérieur.

Association caractéristique. La sous-zone contient, associés à l'espèce indice, *Dipoloceras* sp., *Hysterocebras* gr. *varicosum* (dont l'association avec l'espèce indice a été discutée [7]) et *Hamites* sp. Malgré une faune à faible biodiversité, la présence de taxons caractéristiques nous permet d'individualiser de manière formelle l'Albien supérieur.

3. Conclusion

La nouvelle approche biostratigraphique, basée sur la reconnaissance d'associations fauniques élémentaires d'ammonites, nous a permis d'affiner le découpage zonal antérieurement proposé par Benavides Cáceres [1]. Nous introduisons ainsi 11 divisions supplémentaires : la Biozone à *Nicholsoni* est subdivisée en deux bio-horizons à *umbilicostatus* et *nicholsoni*, suivis par une sous-zone d'intervalle ; les trois Sous-zones à Haasi, Raimondii (divisée en deux bio-horizons à *ebrayi* et *alternum*) et Mathewsi (dont le sommet est marqué par un bio-horizon à *pseudolyelli*) définissent la Biozone à Raimondii ; la Biozone à Carbonarium est découpée en deux Sous-zones, à Ulrichi et Carbonarium ; enfin, la base de l'Albien supérieur est définie par la Sous-zone à Cristatum.

Remerciements. Les auteurs remercient D. Néraudeau, L. Villier et A. Dhondt pour les déterminations respectives des oursins et des huîtres et bivalves, ainsi que J. Kennedy pour ses conseils lors de l'élaboration du mémoire de thèse de l'un des auteurs.

Références

- [1] V. Benavides Cáceres, The Cretaceous system in Northern Peru, *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* 108 (4) (1956) 357–493.
- [2] M. Hart, F. Amedro, H.G. Owen, The Albian stage and substage boundaries, *Bull. Inst. R. Sci. Nat. Belg.* 66 (suppl) (1996) 45–56.
- [3] H.G. Owen, Middle Albian Stratigraphy in the Anglo-Paris Basin, *Suppl. Bull. Br. Mus. Nat. Hist.* 8 (1971) 1–164.
- [4] H.G. Owen, Albian Stage Substage boundaries, *Bull. Geol. Soc. Denmark* 33 (1984) 183–189.
- [5] J.L. Pindell, K.D. Tabbutt, Mesozoic-Cenozoic Andean Paleogeography and Regional Controls on Hydrocarbon Systems, in: A.J. Tankard, R.S. Suarez, H.J. Welsink (Eds.), *Petroleum Basins of South America*, AAPG Mem. 62 (1995) 101–128.
- [6] E. Robert, L.G. Bulot, A. Dhondt, E. Jaillard, R. Villagómez, M. Rivadeneira, M. Paz, La transgresión del Cretáceo inferior en el margen andino (Perú y Ecuador): datos preliminares, *Boll. Soc. Geol. Perú* 88 (1998) 73–86.
- [7] E. Robert, La transgression albienne dans le Bassin andin (Pérou) : biostratigraphie, paléontologie (ammonites) et stratigraphie séquentielle, thèse, université Toulouse-3, 2002, 377 p. ; *Strata* 38 (2002) 1–377.
- [8] L.F. Spath, A monograph of the Ammonoidea of the Gault, *Palaeontol. Soc. Monogr.* (1941) 609–668.