
Le GSSP du Bathonien à Bas Auran (réserve naturelle géologique de Haute-Provence, France)

David OLIVERO (1)
Giulio PAVIA (2)
Sixto R. FERNÁNDEZ-
LÓPEZ (3)
Charles MANGOLD (1)
Myette GUIOMAR (4)

The G.S.S.P. of the Bathonian stage in Bas Auran (Geopark of Haute-Provence, France)

Géologie de la France, n° 1, 2010, p. 65-77, 13 fig., 1 pl.

Mots-clés : G.S.S.P., Stratotype, Bathonien, Ammonoïdes, Biostratigraphie, Haute-Provence, France.

Keywords: G.S.S.P., Stratotype, Bathonian, Ammonoids, Biostratigraphy, Haute-Provence, France.

Résumé

Le Bathonien est le troisième étage du Jurassique moyen. Son nom dérive de la « Bath Oolithe », une formation définie près de Bath (Somerset, Angleterre). Mais, dans cette région, les niveaux condensés ne sont pas favorables pour définir le stratotype de l'étage. On ne peut pas sélectionner d'affleurements pouvant permettre de définir le stratotype de limite de l'étage. En France, trois coupes dans les environs de Bas Auran (Alpes de Haute-Provence, France) ont donc été proposées en 1967. En 1990, ces mêmes localités ont été présentées officiellement comme possible stratotype de la limite basale de l'étage (GSSP). Enfin en 2007, le GSSP a été formellement accepté par le « Bathonian Working Group » et, en 2008, par l'IUGS.

Les coupes ont été levées dans les ravins du Bès, d'Auran et des Robines, près du hameau de Bas Auran (commune de Chaudon-Norante, Alpes de Haute-Provence). Elles montrent une alternance marno-calcaire, d'une épaisseur de 13 mètres environ, coiffée par une surface durcie (hard-ground), constituant le mur de la formation des Terres Noires. Les âges s'étendent de la sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni, Bajocien supérieur) à la Sous-zone à Tenuiplicatus (Zone à Aurigerus, Bathonien inférieur). Des travaux récents ont permis de compléter et d'affiner les données existantes concernant les assemblages d'ammonoïdes, la sédimentologie et l'ichnologie.

Les associations d'ammonoïdés, les microfossiles, le nannoplancton, les assemblages ichnologiques et surtout, l'absence de discontinuités notables, permettent de proposer la

base du banc 71 de la coupe du Ravin du Bès comme stratotype de la limite inférieure du Bathonien.

Atout non négligeable, Bas Auran se situe au sein de la Réserve Géologique de Haute-Provence, ce qui permet la sauvegarde de ce site, très facile d'accès.

Abstract

The Bathonian is the third stage of the Middle Jurassic System. Its name derives from the "Bath Oolithe" formation, cropping out in the surroundings of Bath, in southern England. However, in this country, no outcrops make it possible to define the stratotype of the Bathonian Stage, as the succession is taphonomically and stratigraphically condensed. The Ravin du Bès section at Bas Auran was thus suggested as the bounding stratotype in 1967. Only later, in 1990, this section was officially proposed as possible stratotype (G.S.S.P.) of the basal boundary of the Bathonian Stage. Lastly, in 2007 this G.S.S.P. was formally accepted by the Bathonian Working Group and, in 2008, the proposal was ratified by the I.U.G.S.

Three sections were studied in the surroundings of the Bas Auran farm (Alpes de Haute-Provence, France). The succession is composed of marly and calcareous beds that alternate on nearly 13 metres, and is unconformably overlain by the "Terres Noires" Formation with a sharp hard ground at the lithostratigraphic boundary. The studied interval spans the Bomfordi Subzone (Parkinsoni Zone, late Bajocian) to the Tenuiplicatus Subzone (Aurigerus Zone, early Bathonian).

(1) Université de Lyon, F-69622, Lyon, France. Université Lyon 1, Villeurbanne - CNRS, UMR 5125, PaléoEnvironnements et PaléobioSphère,

(2) Dipartimento di Scienze della Terra, via Valperga Caluso 35, 10125 Torino (Italie)

(3) Departamento y UEI de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM) e Institute de Geología Económica (CSIC-UCM), 28040 Madrid (Espagne)

(4) Réserve Naturelle Géologique de Haute-Provence. Parc Saint Benoît – BP 156. 04005 Digne-les-Bains cedex (France)

Adresse de correspondance : Davide Olivero, UMR 5125 CNRS, Sciences de la Terre, Bât. Géode. Université Lyon 1, 43 bd. du 11 Novembre, 69622 Villeurbanne Cedex, France - Tél. : 04 72 43 13 22 ; e-mail : David.Olivero@univ-lyon1.fr

* Manuscrit présenté le 27 juillet 2009, accepté le 17 septembre 2009.

Recent work allowed completing and refining the existing date on ammonoid assemblages, ichnology and sedimentology.

The ammonoid biostratigraphy, the microfossil and nanoplankton assemblages, the ichnologic data and, mainly, the absence of any discontinuity in the lithologic and palaeobiological records help to propose the base of bed RB71 of the Ravin du Bès section as the G.S.S.P. of the Bathonian Stage. It is noteworthy that the Bas Auran site is comprised within the Réserve Géologique de Haute-Provence; this is an important aspect that favours the protection of those sections which are very easily accessible.

Introduction

Le groupe de travail sur le Bathonien (Bathonian Working Group) est né en 1984 lors du 1^{er} Symposium de Stratigraphie du Jurassique à Erlangen (Bavière, Allemagne). Son but était de rassembler les meilleures données sur la limite Bajocien-Bathonien. Le secteur du Bas Auran a été proposé comme candidat pour le stratotype de la limite de l'étage en 1967 par H. Torrens. La coupe du Bas Auran a été formellement présentée à Lisbonne en 1987 (Innocenti *et al.*, 1990). Ensuite, pendant vingt ans, plusieurs réunions du « Working Group » se sont déroulées. Au cours de cette période, les coupes des ravins du Bès, d'Auran et des Robines ont été mesurées, contrôlées et fouillées.

Le but de cet article est double :

- 1) présenter brièvement le résultat de ces études essentiellement sur la base de faune d'ammonoïdés, en parallèle avec ceux des microfossiles, des traces fossiles et de la sédimentologie des alternances marno-calcaires ;
- 2) prouver la pertinence d'une des coupes du Bas Auran comme G.S.S.P. (Global stratigraphic section and Point) de l'étage Bathonien.

Le Bathonien

Définition

Le Bathonien est le troisième des quatre étages du Jurassique moyen, entre le Bajocien et le Callovien (fig. 1). Le nom de l'étage a été introduit en 1843 par O. d'Halloy, puis

sous-étage	Province NW européenne		Province sub-méditerranéenne		Province méditerranéenne	
	Zones	Sous-zones	Zones	Sous-zones	Zones	Sous-zones
Bathonien inférieur	Tonuiplicatus		Aurigerus	Teruiplicatus	Postpollubrum	
	Zig-zag	Yeovilensis		Recinctus	Zig-zag	Yeovilensis
		Macrescens	Zig-zag	Macrescens	Macrescens	
		Convergens		Parvum	Dimorphitiformis	
Bathonien supérieur	Parkinsoni	Bomfordi	Bomfordi		Dimorphus	
		Truellei	Densicosta		Daubenyi	
			Acris			

Figure 1 - Tableau des zonations du Bajocien supérieur et du Bathonien, pour les provinces méditerranéenne, subméditerranéenne et NW-européenne.

Figure 1 - Zonation of the late Bajocian and of the Bathonian for Mediterranean, Submediterranean and NW-European provinces.

accepté comme étage par d'Orbigny (1850, p. 607-608). Il dérive de la Bath Oolithe ou Great Oolithe de la région de Bath (Somerset, Angleterre), utilisée comme pierre de construction déjà prise par les Romains et employée pour l'édification des beaux édifices de la ville anglaise.

Zigzagiceras zigzag (d'Orbigny, 1846) et *Gonolkites convergens* (Buckman) sont respectivement les espèces indices de zone et de sous-zone du Bathonien inférieur basal. La limite Bajocien-Bathonien a été fixée entre la Zone à Parkinsoni, Sous-zone à Bomfordi, et la Zone à Zigzag, Sous-zone à Convergens (province NW européenne) ou à Parvum (province sub-méditerranéenne) (Torrens, 1974 ; Mangold, 1990).

Toutefois, les localités autour de Bath ne sont pas adéquates pour la définition de la base de l'étage, car les coupes présentent des niveaux condensés ou lenticulaires (Torrens, 1974). Un autre secteur devait être proposé.

Le Bathonien dans les Alpes de Haute-Provence

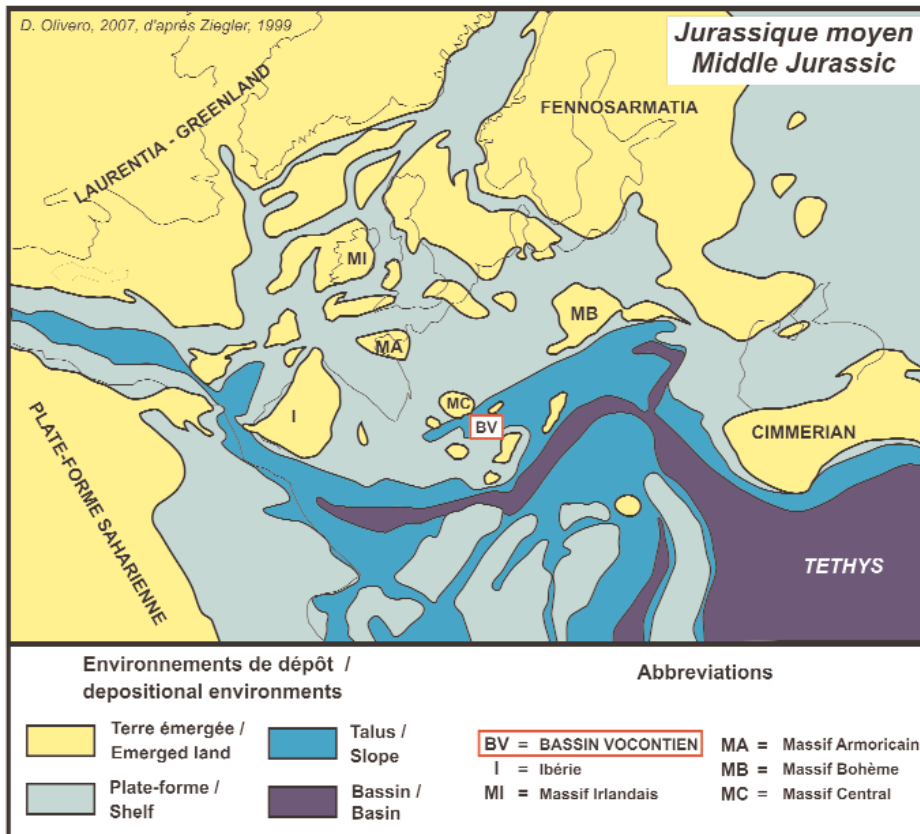
Depuis la fin du XIX^e siècle, le secteur de Digne-Barrême est considéré comme étant l'un des plus propices pour la stratigraphie du Bathonien (Garnier, 1872 ; Haug, 1891). En effet, les dépôts du Jurassique moyen affleurent largement et livrent d'abondants fossiles bien conservés, en particulier des ammonoïdes.

La région se situe dans le bassin vocontien (fig. 2), entre le Massif central à l'Ouest et le domaine océanique de la future chaîne alpine sur la marge NW de la Téthys à l'Est. Sa profondeur ne devait pas dépasser 700 à 800 m (Ferry, 1990).

Le Jurassique moyen du secteur Digne-Barrême est représenté par des dépôts de bas de talus ou de bassin. Parmi eux, les alternances marno-calcaires sont célèbres sous l'appellation « Marno-calcaires à *Cancellophycus* », dont l'âge s'étend de l'Aalénien au Bathonien, avec une hétérochronie qui se traduit par des âges progressivement plus récents en allant vers le Sud, où la formation passe latéralement à celle des « Calcaires à *Zoophycos* du Verdon », s'étendant du Bathonien inférieur au Callovien moyen (Olivero et Atrops, 1996). Les Marno-calcaires à *Cancellophycus* se terminent par une surface durcie, surmontée par la célèbre formation des « Terres Noires ».

Haug, en 1891, citait déjà le site remarquable du Bas Auran, visité ensuite lors d'une excursion de la Société géologique de France (Zürcher, 1895). Ce n'est qu'en 1967 que Carlo Sturani (fig. 3) de l'Université de Turin (Italie) publiait la première étude précise des faunes et leur succession détaillée pendant le Bajocien supérieur et le Bathonien.

Puis, Carlo Sturani, avec l'aide de G. Pavia et d'étudiants, entreprend la révision de sa monographie sur le Bas Auran grâce à de nouvelles récoltes ; son travail est inter-



le site de Bas Auran comme stratotype, mais c'est seulement à partir de 1974 que cette proposition apparaîtra dans des publications (Torrens, 1974, 1987, 2002). En 1990, Innocenti *et al.*, en intégrant les données de 10 années de nouvelles récoltes, proposent officiellement la localité comme candidate au stratotype de la base de l'étage.

Depuis, les réunions de travail du Bathonian Working Group se sont succédées et les récoltes d'ammonoïdes se sont poursuivies, en parallèle avec des études taphonomiques, paléontologiques, sédimentologiques, etc. L'aboutissement de ces recherches est la proposition formelle de la localité de Bas Auran comme localité type de la base de l'étage (GSSP = Global boundary Stratotype Section and Point) (Fernandez-Lopez *et al.*, 2007 ; Pavia *et al.*, 2008).

Le site de Bas Auran. Cadre géographique et géologique

Le secteur du Bas Auran, sur la commune de Chaudon-Norante (fig. 4) dans le département des Alpes de Haute-Provence, se situe à environ 25 km au SSE de Digne-les-Bains, dans la Réserve Naturelle Géologique de Haute-Provence.

Trois coupes ont été sélectionnées dans le secteur (fig. 5) : le Ravin du Bès, le Ravin d'Auran et le Ravin des Robines.

La meilleure coupe est celle du Ravin du Bès (RB - coordonnées : 43°57'38" N ; 6°18'55" E, altitude 730 m), car tous les bancs se montrent en section et permettent ainsi une étude précise de leur succession et de leurs épaisseurs ; la récolte de fossiles est facilitée par les nombreuses surfaces structurales.

Cette coupe (fig. 6) comprend 113 niveaux pour une épaisseur d'environ 13 m, avec des bancs calcaires de 3 à 35 cm. Certains, peu nombreux, présentent un aspect lenticulaire.

L'alternance marno-calcaire s'étend de la sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni, Bajocien supérieur) à la Sous-zone à Tenuiplicatus (Zone à Aurigerus, Bathonien inférieur). Au-dessus, après une ou deux surfaces durcies, vient la puissante formation des « Terres Noires », à la base de laquelle des niveaux lenticulaires (fig. 7) ont livré de rares fragments d'ammonites du Bathonien moyen-supérieur (Sturani, 1967).

Figure 2 - La marge nord-ouest de la Téthys, avec localisation du bassin vocontien (modifié d'après Ziegler 1999).

Figure 2 - The northwestern margin of the Tethyan Ocean, with the location of the French Subalpine Basin (modified from Ziegler 1999).

rompu en 1975 par son décès accidentel. Leurs travaux conduisent à plusieurs publications de paléontologie des ammonoïdes (Pavia et Sturani, 1968 ; Pavia, 1973, 2007).

L'intérêt pour Bas Auran ne se limite pas à l'étude des ammonoïdes et sa qualité et son adéquation comme coupe-type de limite inférieure du Bathonien s'impose de plus en plus. Torrens, en 1967, au Colloque du Luxembourg, propose



Figure 3 - Carlo Sturani à Chaudon Norante (photo F. Campanino).

Figure 3 - Carlo Sturani at Chaudon Norante (picture from F. Campanino).

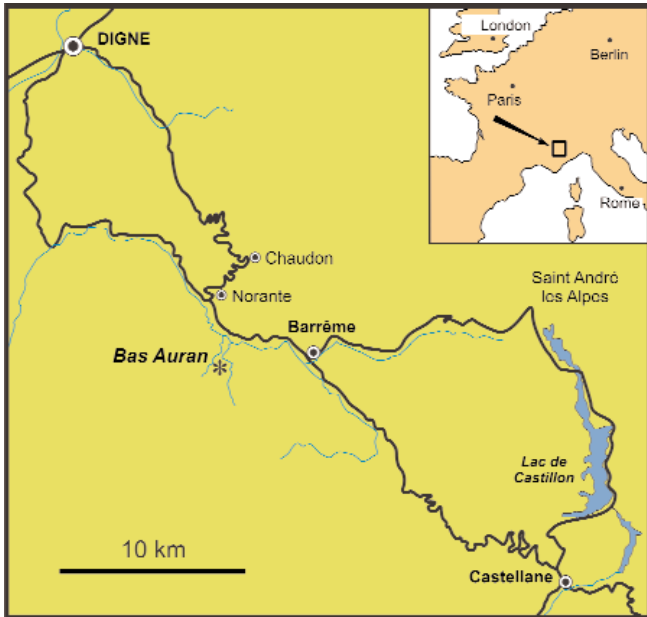


Figure 4 - Cadre géographique du secteur du Bas Auran.
 Figure 4 - Geographical location of the Bas Auran area.

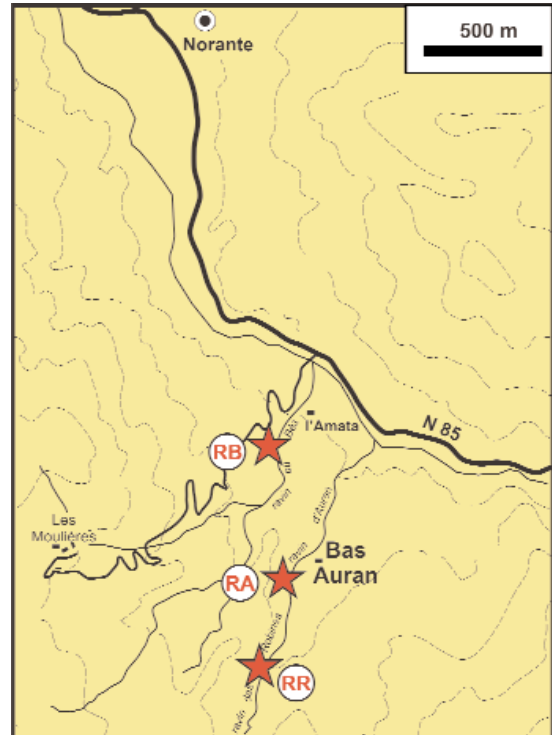


Figure 5 - Localisation des trois coupes du Bas Auran (RB : Ravin du Bès ; RA : Ravin d'Auran ; RR : Ravin des Robines).

Figure 5 - Location of the three Bas Auran sections (RB: Ravin du Bès; RA: Ravin d'Auran; RR: Ravin des Robines).

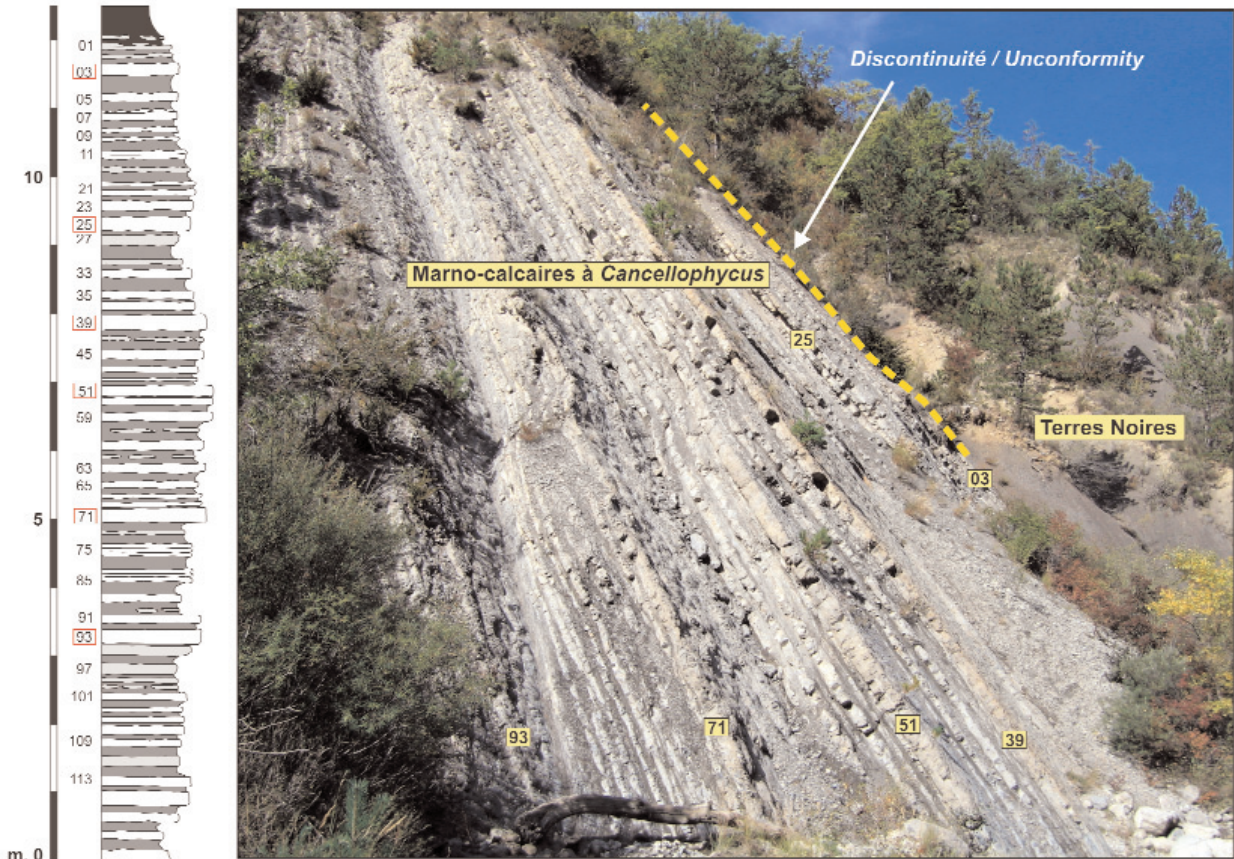


Figure 6 - Coupe du Ravin du Bès et log correspondant. Six niveaux repères sont indiqués. Remarquer la Formation des Terres noires au-dessus des Marno-Calcaires à *Cancellophycus*.

Figure 6 - Ravin du Bès section and corresponding stratigraphical log on the left. Six marker beds are indicated. Notice the Terres Noires Fm overlying the Marly-Calcareous at *Cancellophycus* Fm.

Lytoceratina représentent 20 % des ammonoïdes, mais comme ils ont une large extension et donc un intérêt biostratigraphique limité, ils n'apparaissent pas dans la figure 8. Celle-ci montre l'extension des 512 spécimens du sous-ordre des Ammonitina, collectés au cours des dernières 40 années dans les trois coupes de Bas Auran, entre les derniers niveaux de la sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni) et la Zone à Zigzag, Sous-zone à Convergens et base de la Sous-zone à Macrescens.

La base du Bathonien et de la Zone à Zigzag correspond à la première apparition de *Gonolkites convergens* (pl. 1, figs. 8-9) et au renouvellement des Parkinsoniidae, avec *Parkinsonia pachypleura* (base du banc RB071), elle coïncide aussi avec la première apparition de *Morphoceras parvum* (pl. 1, figs. 6-7). Ainsi, la base des deux sous-zones, à Convergens (nord-ouest européenne) et à Parvum (subméditerranéenne) est également représentée dans le secteur de Bas Auran.

L'extension des espèces permet de fixer la limite inférieure des Sous-zones à Convergens et à Macrescens, respectivement à la base des bancs calcaires RB071 et RB025.

La limite Bajocien-Bathonien est donc fixée à la base du niveau RB071 (niveau 23 de Sturani, 1967) de la coupe du Ravin du Bès (fig. 6), où l'enregistrement paléontologique et stratigraphique est très complet. Cette coupe se caractérise par une excellente continuité biostratigraphique et par la richesse des associations d'ammonites de la sous-zone à Convergens.

La coupe du Ravin du Bès peut ainsi être considérée aujourd'hui comme l'une des plus complètes connues.

Taphonomie

La qualité exceptionnelle de la succession biostratigraphique des ammonoïdes a été contrôlée par des analyses taphonomiques fines (Fernández-López, 2007).

Les ammonoïdes sont présents dans l'ensemble de la coupe, leur abondance et leur concentration augmentent entre le Bajocien supérieur et le Bathonien inférieur. Au passage des deux étages, les spécimens sont assez éparpillés pour devenir plus concentrés plus haut.

La préservation des fossiles est similaire dans la partie supérieure de la Sous-zone à Bomfordi et dans les parties inférieure et moyenne de la Sous-zone à Convergens. Dans cet intervalle, les ammonoïdes, peu ou pas écrasés, sont des moules internes calcaires, à remplissage complet, similaire à l'encaissant. Dans certains niveaux, les moules internes sont partiellement phosphatés ou à nucleus pyritisé. Les déformations asymétriques (compaction) sont rares. Les phragmocônes ne montrent aucun signe de bioérosion ou d'encroûtement. En résumé, la conservation et l'abondance des associations fossilifères permet une analyse biostratigraphique fine.

En conclusion, les caractéristiques de la succession des ammonites indiquent l'absence de mélange stratigraphique, de remaniement ou de discontinuité au passage Bajocien-

Bathonien. Ce qui nous permet donc de proposer la série calcaréo-marneuse du Ravin du Bès, comme étant la coupe la plus appropriée pour servir de référence à la limite inférieure de la Zone à Zigzag et de l'étage Bathonien.

Microfossiles

Les nannofossiles sont présents dans tous les niveaux (Erba, 1990 ; Tiraboschi et Erba, 2010), en particulier au passage entre les deux étages. D'autres groupes ont été étudiés dans la coupe du Ravin du Bès, tels les foraminifères et les ostracodes. Toutefois, les résultats n'ont pas encore été publiés. D'après des études préliminaires (Bodergat, in Mangold 1999), les ostracodes sont présents dans tous les niveaux marneux. Parmi les taxons récoltés, *Pontocyprilla*, *Isobythocypris* et *Cordobairdia* indiquent des milieux profonds (plus de -200 m).

Pour les nannofossiles, 59 échantillons (à peu près un tous les 20 cm) du Ravin du Bès ont permis de reconnaître 37 taxons, les uns très rares, les autres communs.

Les assemblages de nannoflores sont dominés, entre autres, par *Watznaueria britannica*, *W. communis*, associés à *Schizosphaerella punctulata* et *W. manivitiae*.

Traces fossiles

Leur étude a été entreprise afin de détecter d'éventuelles discontinuités sédimentaires.

Une bioturbation de fond à contours flous, souvent associée à des *Planolites*, terriers plus ou moins sinueux, est largement dominante surtout dans la partie inférieure de la coupe. Cette bioturbation indique un milieu à sédimentation continue, une oxygénation normale et un substrat de type « soup-ground », caractéristiques des dépôts hémipélagiques.

D'autres traces à contours mieux définis sont aussi présentes.

Avant tout, il y a les *Zoophycos* (fig. 9) ou *Cancellophycus* des anciens auteurs, des terriers produits par des organismes limivores (Olivero, 2003, 2007). Ils sont considérés comme de bons indicateurs de dysaérobie (Bromley et Ekdale, 1984 ; Olivero et Gaillard, 2007), de substrats du type « soft- à firm-ground » et d'une sédimentation irrégulière (Olivero, 1996). Les *Zoophycos* deviennent abondants à partir du banc RB039, ce qui suggère, à partir de ce niveau, une sédimentation saccadée, interrompue par des discontinuités plus ou moins marquées.

Limités à la partie supérieure de la coupe, les *Thalassinoides* (fig. 10) sont des terriers pouvant atteindre une vingtaine de cm de long, parfois bifurqués ; les *Rhizocorallium* sont des terriers en forme de U couché avec deux ouvertures verticales. D'autres terriers sont plus ou moins rectilignes, avec des chambres sphéroïdales intermittentes (fig. 10). Ces traces fossiles, produites par des crustacés suspensivores (Frey *et al.*, 1984), indiqueraient des

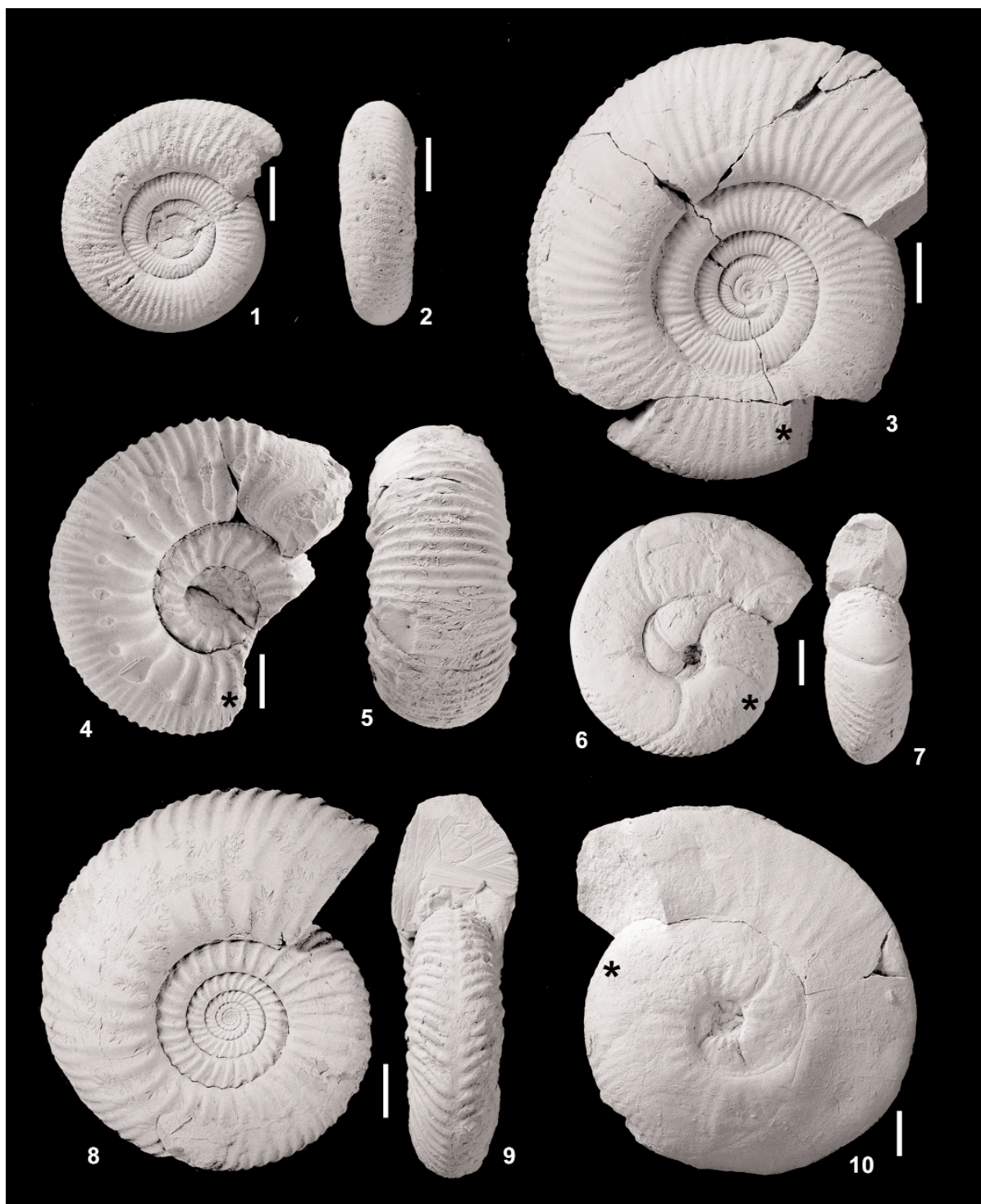


Planche 1.

Figs. 1, 2. *Planisphinctes tenuissimus* (Siemiradzki). Ravin du Bès, banc RB RB083, Sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni, Bajocien) - *Planisphinctes tenuissimus* (Siemiradzki). Ravin du Bès, bed RB RB083, Bomfordi Subzone (Parkinsoni Zone, Bajocian).

Fig. 3. *Lobosphinctes costulatosus* (Buckman). Ravin du Bès, banc RB89 Sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni, Bajocien) - *Lobosphinctes costulatosus* (Buckman). Ravin du Bès, bed RB89, Bomfordi Subzone (Parkinsoni Zone, Bajocian).

Figs. 4, 5. *Cadomites* [m] cf. *stegeus* (Buckman). Ravin du Bès, banc RB73, Sommet sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni, Bajocien). - *Cadomites* [m] cf. *stegeus* (Buckman). Ravin du Bès, bed RB73, top of Bomfordi Subzone (Parkinsoni Zone, Bajocian).

Figs. 6, 7. *Morphoceras parvum* Wetzel. Ravin du Bès, banc RB53, Sous-zone à Convergents (Zone à Zigzag, Bathonien) - *Morphoceras parvum* Wetzel. Ravin du Bès, bed RB53, Convergents Subzone (Zigzag Zone, Bathonian).

Figs. 8, 9. *Gonolkites convergens* Buckman. Ravin du Bès, banc RB45, Sous-zone à Convergents (Zone à Zigzag, Bathonien). - *Gonolkites convergens* Buckman. Ravin du Bès, bed RB45, Convergents Subzone (Zigzag Zone, Bathonian).

Fig. 10. *Morphoceras macrescens* (Buckman). Ravin du Bès, banc RB25, Sous-zone à Macrescens (Zone à Zigzag, Bathonien) - *Morphoceras macrescens* (Buckman). Ravin du Bès, bed RB25, Macrescens Subzone (Zigzag Zone, Bathonian).



Figure 9 - Zoophycos, banc RB 05, Ravin du Bès

Figure 9 - Zoophycos, bed RB05, Ravin du Bès.

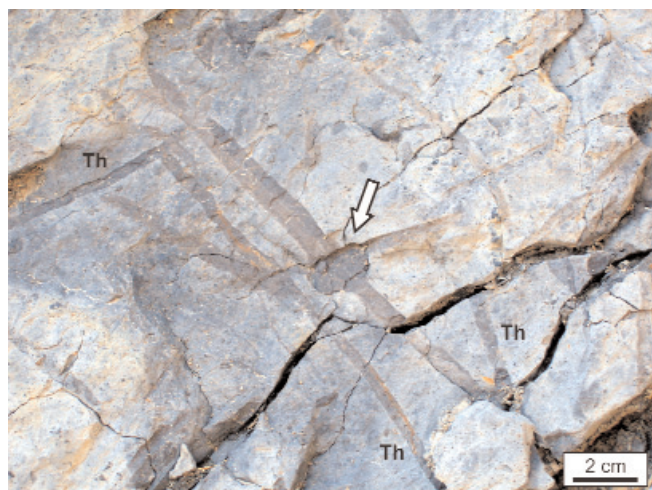


Figure 10 - *Thalassinoides* (Th) et autres terriers de crustacés avec chambre sphéroïdale (flèche). Banc RB01, Ravin du Bès.

Figure 10 - *Thalassinoides* (Th) and crustaceans burrows with spheroidal chamber (arrow). Bed RB01, Ravin du Bès.

substrats bien oxygénés (milieu aérobie) et de consistance intermédiaire entre le « soft- et le firmground ».

Abondants au voisinage du banc RB039 et peu avant le passage aux Terres Noires, les *Chondrites*, petits terriers bifurqués, indiqueraient des milieux très faiblement oxygénés (Seilacher, 1990), dans des substrats « soft- à firmground ».

Enfin, dans le dernier niveau de la succession et dans les petits niveaux lenticulaires à la base des « Terres Noires », existent des perforations, parfois très abondantes. Attribuées à l'ichnogène *Zapfella* par Sturani (1967) et Torrens (1987), elles ont probablement été produites par des bernacles (cirripèdes), dans des substrats intermédiaires entre le « firm- et le hard-ground ».

Ceci confirme, s'il en était besoin, la présence d'une discontinuité majeure au passage entre les deux formations.

De la répartition de l'ichnofaune (fig. 11), il ressort que des discontinuités, même discrètes, sont présentes à partir

du banc RB039. Des arrêts de sédimentation plus sensibles sont localisés immédiatement sous les « Terres Noires ». Mais, au passage Bajocien-Bathonien, la sédimentation a été continue sans aucune discontinuité majeure.

Les autres données

Sédimentologie

Les différences entre les niveaux calcaires et les niveaux marneux résulteraient des variations cycliques des apports carbonatés, en relation avec des cycles climatiques directement liés aux variations des paramètres orbitaux (cycles de Milankovitch).

Le taux de sédimentation diminue du Bajocien supérieur au Bathonien inférieur, lorsque les épisodes de sédimentation saccadée deviennent plus fréquents (fig. 12), comme l'attestent aussi les traces fossiles (fig. 11). La répartition des traces fossiles et la taphonomie des ammonoïdes montrent que la turbulence de l'eau augmente vers le haut de la succession (fig. 12).

Les dépôts du Jurassique moyen des Chaînes subalpines ont déjà fait l'objet de nombreuses études de stratigraphie séquentielle (Graciansky *et al.*, 1993, 1998 ; Olivero, 1996). C'est en se basant sur ces travaux, que les coupes du Bas Auran ont été étudiées, mais en intégrant les données sédimentologiques, palichnologiques et taphonomiques.

Trois types de cycles ont été mis en évidence (fig. 12).

À plus petite échelle, neuf cycles de cinquième ordre (B. Pittet, comm. pers.), d'origine climatique, d'une durée d'environ 100 000 ans pour une épaisseur d'environ 1 à 1,5 mètres.

Ces cycles s'intègrent dans un cycle de troisième ordre, avec un bas niveau marin sous le banc RB093, suivi d'un cortège transgressif jusqu'au hardground sous-jacent aux « Terres Noires ». Son épaisseur dépasse 13 m pour une durée de 1 à 5 Ma et son origine serait tectonique.

Enfin, l'ensemble s'inscrit dans un cycle de deuxième ordre, avec une tendance générale à l'approfondissement du milieu (cortège transgressif). Son origine est tectonique, liée à une phase d'extension et d'enfoncement du bassin vocontien.

Toutefois, malgré l'existence de ces trois cycles emboîtés, le passage Bajocien-Bathonien ne se traduit par aucune discontinuité, ni absence de séquence. Dans cet intervalle, la sédimentation peut être considérée comme relativement constante et exempte de toute perturbation majeure.

Spectrométrie à rayons Gamma

Les relevés sur le terrain (Ravin du Bès) par spectrométrie à rayon Gamma ont été entrepris en avril 2007 par

Distribution des traces fossiles.
Coupe du ravin du Bès

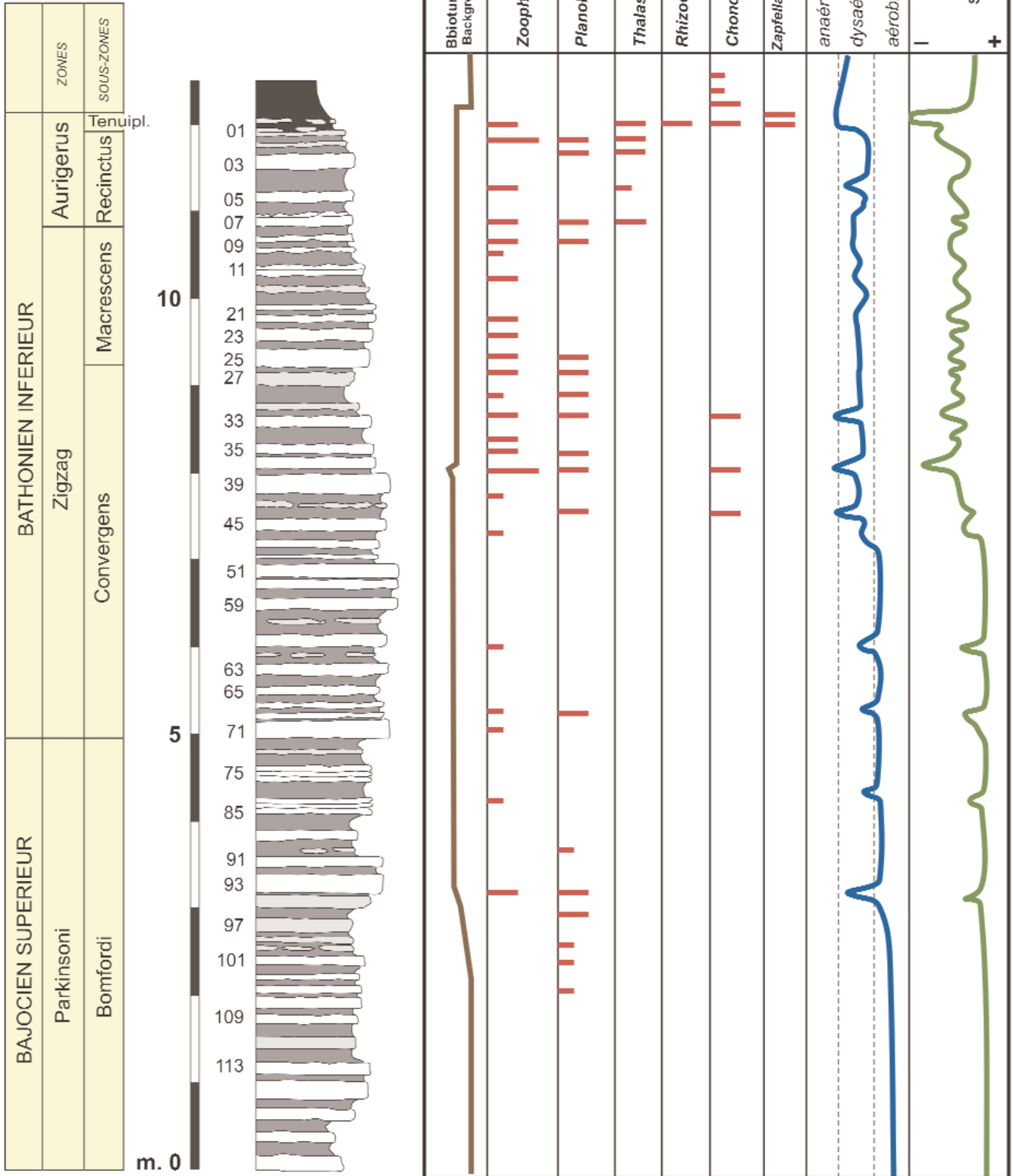


Figure 11 - Distribution des traces fossiles, courbes d'oxygénation du substrat et du taux de sédimentation.
Figure 11 - Distribution of trace fossils, oxygenation of the substrate and sedimentation rate.

Sédimentologie et stratigraphie séquentielle.
Coupe du ravin du Bès

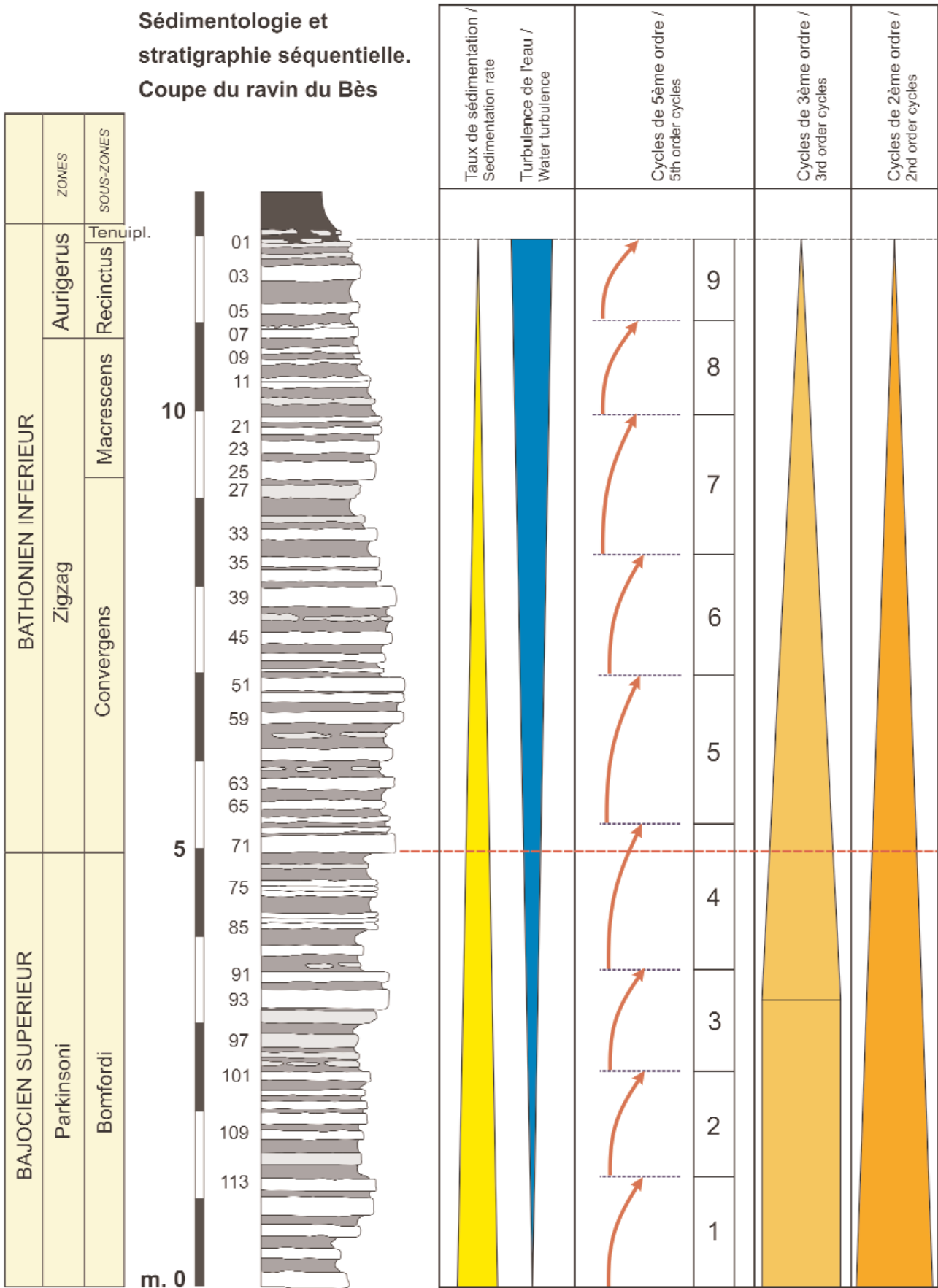


Figure 12 - Sédimentologie et stratigraphie séquentielle.

Figure 12 - Sedimentology and sequence stratigraphy.

D. Olivero, G. Pavia, avec l'aide de P. Lazzarin et L. Leroy. Le but était la mise en évidence d'éventuelles discontinuités pour compléter l'analyse séquentielle. Théoriquement, des niveaux élevés du rayonnement gamma, associés à des taux de sédimentation réduits et de fortes concentrations d'ammonites, correspondraient à des niveaux condensés. De plus, les pics marqueraient les surfaces d'inondation maximale (Schnyder *et al.*, 2006).

Les résultats obtenus montrent : 1) un approfondissement entre le Bajocien terminal et le sommet du Bathonien inférieur ; 2) une augmentation du rayonnement gamma au sommet de la coupe, avec un pic positif au sommet du Bathonien inférieur ; 3) une absence de discontinuité au passage entre le Bajocien et le Bathonien.

La base du banc RB071 ne présente donc aucun hiatus sédimentaire significatif, compatible avec l'absence de lacune biostratigraphique.

Conclusion : un GSSP à Bas Auran ?

La coupe de référence ou GSSP d'un étage doit satisfaire certains conditions (Remane *et al.*, 1996) que nous examinons ici.

Exposition d'une épaisseur adéquate ?

La succession dans le Ravin du Bès affleure dans d'excellentes conditions sur près de 13 m : 5 m sous la limite et 8 m au-dessus. De plus, les affleurements peuvent être suivis sur plusieurs centaines de mètres.

Sédimentation continue, absence de discontinuité ?

Toutes les analyses, qu'elles soient bio-chronostratigraphiques, sédimentologiques, paléontologiques ou taphonomiques montrent une sédimentation continue au passage Bajocien-Bathonien, sans discontinuité notable.

Absence de perturbation synsédimentaire, tectonique, diagénétiques ou métamorphique ?

Aucune perturbation synsédimentaire ou tectonique, aucune altération diagénétique ou métamorphique n'affectent ni la succession ni les macrofossiles.

Abondance et diversité des fossiles, enregistrement biostratigraphique complet ?

Les fossiles, en particulier les ammonites, sont abondants, divers et bien conservés. Des marqueurs clés ont été identifiés et proposés chez les ammonoïdes et les nanofossiles permettant des corrélations à grande échelle. Au passage Bajocien-Bathonien, l'enregistrement biostratigraphique est complet et sans lacune décelable.

Stratigraphie séquentielle, gamma-ray... ?

La stratigraphie séquentielle montre un cortège transgressif, avec une tendance à l'approfondissement et à une diminution du taux de sédimentation.

Les analyses des rayons gamma montrent là aussi une tendance à l'approfondissement et l'absence de discontinuités au passage Bajocien-Bathonien.

Facilité d'accès, protection du site, etc.

Les coupes de Bas Auran se caractérisent par un atout non négligeable. Elles se situent au sein de la « Réserve Naturelle Géologique de Haute-Provence ». Cette réserve s'étend sur 59 communes des départements des Alpes de Haute-Provence (principalement) et du Var. En tant que Réserve Naturelle Nationale, sa mission essentielle est la protection du patrimoine naturel avec ici une spécificité géologique. La conservation et la gestion du patrimoine géologique sous-entendent la réalisation d'inventaires et d'études permettant d'identifier les sites prioritaires aussi bien pour leur protection et leur surveillance que pour leur valorisation à destination du grand public. Ainsi, au-delà de ses missions scientifiques, la Réserve développe de nombreuses actions de sensibilisation et de découverte. En réalisant à l'échelle internationale la promotion de son territoire, la Réserve participe de plus au soutien de l'économie locale. La géologie est devenue un atout pour le développement touristique local si bien que l'appropriation du patrimoine géologique par les habitants est un phénomène qui prend de l'ampleur.

En termes réglementaires, les sites géologiques de la Réserve bénéficient aujourd'hui de deux niveaux de protection. Certains sites sont classés (par décret ministériel) en Réserve Naturelle Nationale, et sont soumis à une réglementation très stricte, l'extraction et le ramassage de fossiles y étant interdits. L'organisation de travaux sur les sites classés relève d'une procédure assez longue à mettre en oeuvre. La coupe du Ravin d'Auran fait partie des 18 sites classés RNN depuis 1984.

Le reste du territoire, défini en périmètre de protection (arrêtés préfectoraux), offre une réglementation plus souple : le ramassage des fossiles y est toléré et si l'extraction en est interdite, des autorisations peuvent être obtenues facilement en particulier dans le cadre de travaux scientifiques. La coupe du Ravin du Bès fait partie de ce périmètre de protection.

L'ensemble des coupes bénéficie donc déjà d'un contexte tout à fait favorable à leur préservation. Comme c'est le cas pour l'actuel stratotype du Barrémien également situé en zone de protection, la réglementation sur le site peut être renforcée et les autorisations de prélèvement réservés aux seuls scientifiques. Des tournées de surveillance sont de plus organisées pour les sites les plus sensibles afin d'enrayer les risques d'exploitations illicites. Enfin comme c'est le cas pour d'autres sites majeurs de la Réserve, les projets de gestion, incluant l'accès, l'aménagement du GSSP et de ses abords, pourront être discutés avec l'ensemble des partenaires : élus locaux, propriétaires et scientifiques, la Réserve pouvant se charger de l'aspect technique du dossier et des négociations.

La conclusion est que la coupe du Ravin du Bès (et secondairement celles du Ravin d'Auran et des Robines) satisfait pleinement aux conditions nécessaires pour en faire un GSSP.

La limite entre la sous-zone à Bomfordi (Zone à Parkinsoni, Bajocien supérieur) et la sous-zone à

Convergents (Zone à Zigzag, Bathonien inférieur) est placée au mur du banc RB071 (fig. 13). Cette proposition est acceptée par votes fin 2007 par le Groupe de travail du Bathonien, par la Commission internationale de stratigraphie (CIS) et l'Union internationale des sciences géologiques (IUGS) le 24 juin 2008.

Ainsi, 117 années après Haug et surtout 41 ans après les premiers travaux de Carlo Sturani sur les ammonites de Bas Auran, le stratotype de la limite inférieure de l'étage Bathonien (GSSP) est fixé et reconnu internationalement à Bas Auran, coupe du Ravin du Bès (Alpes de Haute-Provence, France).

Remerciements

Ce travail est dédié à la mémoire de Carlo Sturani qui, le premier, a étudié la succession des faunes d'ammonoidés des coupes du Bas Auran. Nous remercions les membres du « Bathonian Working Group ». Notre reconnaissance va également à G. Bortolotti, B. Cavallo, A. Defaveri, A. Galacz, M. Innocenti, P. Lazarin, L. Leroy, M. Pavia et P. Rosso qui nous ont apporté leur aide sur le terrain. Les recherches ont été financées par le projet CGL2004-0694/BTE (MEC-CSIC), par les projets Géoconservation 2006 et 2007 (universités de Torino et de Madrid) et par le CNRS (université de Lyon).

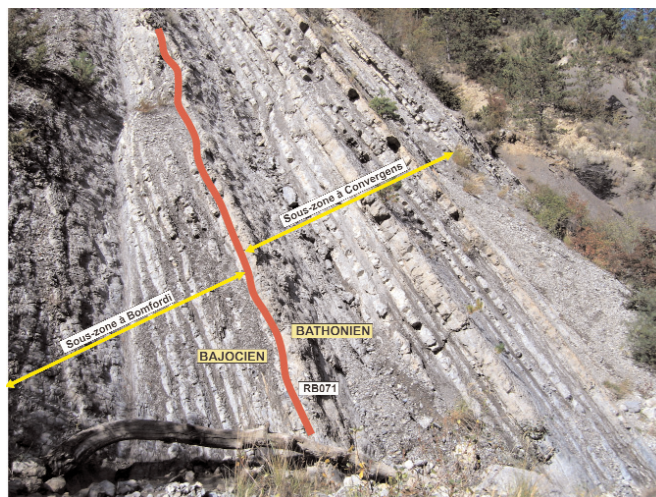


Figure 13 - Le G.S.S.P. du Bathonien, base du banc RB071. Ravin du Bès.

Figure 13 - The G.S.S.P. of the Bathonian, base of the bed RB071. Ravin du Bès section.

Références bibliographiques

- Bromley R.G., Ekdale A.A.** (1984) - *Chondrites* : a trace fossil indicator of anoxia in sediments. *Science*, 224, p. 872-874.
- Erba E.** (1990) - Calcareous nannofossils biostratigraphy of some Bajocian sections from the Digne area (SE France). *Mem. descrittive Carta Geol. Italia*, 60, p. 237-256.
- Fernández-López S.R.** (2007) - Ammonoid taphonomy, palaeoenvironments and sequence stratigraphy at the Bajocian-Bathonian boundary on the Bas Auran area (Subalpine Basin, SE France). *Lethaia*, 40, p. 377-391.
- Fernández-López S.R., Henriques M.H., Mangold C., Pavia G.** (2007) - New Early Bathonian Bigotitinae and Zigzagiceratinae (Ammonoidea, Middle Jurassic). *Riv. Ital. Paleontol. S.*, 113, p. 383-399.
- Ferry S.** (1990) - Post-field comments. Mesozoic eustacy record on western Tethyan margins. Post-meting field-trip in the Vocontian Trough. *Publ. Ass. Sédiment. français*, 12, p. 121-140.
- Frey R.W., Curran A.H., Pemberton G.S.** (1984) - Tracemaking activities of crabs and their environmental significance: the ichnogenus *Psilonichnus*. *J. Paleontol.*, 58, p. 511-528.
- Garnier A.** (1872) - Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France à Digne. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 29, p. 626-656.
- Graciansky P.-C. de, Dardeau G., Dumont T., Jacquin T., Marchand D., Mouterde R., Vail P.R.** (1993) - Depositional sequence cycles, transgressive-regressive facies cycles, and extensional tectonics, example from the southern subalpine Jurassic basin, France. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 164, p. 709-718.
- Graciansky P.-C. de, Dardeau G., Bodeur Y., Elmi S., Fortwengler D., Jacquin T., Marchand D., Thierry J.** (1998) - Les Terres Noires du Sud-Est de la France (Jurassique moyen et supérieur) : interprétation en termes de stratigraphie séquentielle. *Bull. Centre Rech. Elf Exploration-Production*, 22, p. 35-66.
- Halloy J.J. d'O.** (1843) - Précis élémentaire de géologie. A. Bertrand Ed., Paris, 790 p.
- Haug E.** (1891) - Les Chaînes subalpines entre Gap et Digne. *Bull. Serv. Carte géol. France*, 3/21, p. 1-192.
- Innocenti M., Mangold C., Pavia G., Torrens H.S.** (1990) - A proposal for the formal ratification of the basal boundary stratotype of the Bathonian Stage based on a Bas Auran section (S.E. France). In: Rocha, R.B., Soares, A.F. (eds.). 2nd International Symposium on Jurassic Stratigraphy 1987 (1988). Centro de Estratigrafia e Paleobiologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisbonne, p. 333-346.
- Mangold C.** (1990) - Le Bathonien du Cap Mondego (N de Figueira da Foz, Portugal). Biochronologie et corrélations. *Cahiers Univ. Cath. Lyon*, 4, p. 89-105.

- Mangold C.** (1999) - Report of the Bajocian-Bathonian boundary Working Group. International Subcommittee on Jurassic Stratigraphy. *Newsletter*, 26, p. 50-52.
- Olivero D.** (1996) - *Zoophycos* distribution and sequence stratigraphy. Examples from the Jurassic and Cretaceous deposits in south-eastern France. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 123, p. 273-287.
- Olivero D.** (2003) - Early Jurassic to Late Cretaceous evolution of *Zoophycos* in the French Subalpine Basin (southeastern France). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 192, p. 59-78.
- Olivero D.** (2007) - *Zoophycos* and the role of type specimens in ichnotaxonomy. In: W. Miller (Ed.). Trace fossils: concepts, problems, prospects. *Elsevier*, p. 219-231.
- Olivero D., Atrops F.** (1996) - Les séries à *Zoophycos* du Bathonien-Callovien de l'Arc de Castellane (SE de la France) dans la zone de transition plate-forme/bassin : stratigraphie et paléotectonique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 323, p. 81-88.
- Olivero D., Gaillard C.** (2007) - A constructional model for *Zoophycos*. In: W. Miller (Ed.). Trace fossils: concepts, problems, prospects. *Elsevier*, p. 466-477.
- Orbigny A. d'** (1842-1851) - Paléontologie française. Terrain Jurassique. 1. Céphalopodes. Paris, 641 p.
- Pavia G.** (1973) - Ammoniti del Bajociano superiore di Digne (Francia SE, Dip. Basses-Alpes). *Boll. Soc. Paleontol. It.*, 10/ 2 (1971), p. 75-142.
- Pavia G.** (2007) - *Lissoceras monachum* (Gemellaro), a ghost Ammonitida of the Tethyan Bathonian. *Boll. Soc. Paleontol. It.*, 45 (2006), p. 217-226.
- Pavia G., Fernández-López S.R., Mangold C.** (2008) - Ammonoid succession at the Bajocian-Bathonian transition in the Bas Auran area, Digne district, south-east France. *Riv. Ital. Paleontol. S.*, 114/2, p. 287-311.
- Pavia G., Sturani C.** (1968) - Étude biostratigraphique du Bajocien des Chaînes Subalpines aus environs de Digne (Basses-Alpes). *Boll. Soc. Geol. It.* 87, p. 305-316.
- Remane J., Bassett M.G., Cowie J.W., Gorbhardt K.H., Lane H.R., Milchelson O., Wang N.** (1996) - Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission of Stratigraphy (ICS). *Episodes*, 19, p. 77-81.
- Schnyder J., Ruffell A., Deconinck J.F., Baudin F.** (2006) - Conjunctive use of spectral gamma-ray logs and clay mineralogy in defining late Jurassic-early Cretaceous palaeoclimate change (Dorset, U.K.). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 229, p. 303-320.
- Seilacher A.** (1990) - Aberration in bivalve evolution related to photo-chemosymbiosis. *Hist. Biol.*, 3, p. 289-311.
- Sturani C.** (1967) - Ammonites and stratigraphy of the Bathonian in the Digne-Barrême area (South Eastern France). *Boll. Soc. Paleontol. It.*, 5, p. 3-57.
- Tiraboschi D., Erba E.** (2010) - Calcareous nannofossil biostratigraphy (upper Bajocian-Lower Bathonian) of the Ravin du Bès section (Bas Auran, Subalpine Basin, S.E. France): Evolutionary trend of *Watzunaueria barnesia* and new findings of "Rucinolithus" morphotypes. *Geobios*, 43, p. 59-76.
- Torrens H.** (1974) - Standard zones of the Bathonian. *Mem. Bur. Rech. géol. min. Paris*, 75 (1971), p. 581-604.
- Torrens H.** (1987) - Ammonites and stratigraphy of the Bathonian rocks in the Digne-Barrême area (South-Eastern France, Dept. Alpes de Haute Provence). *Boll. Soc. Paleontol. It.*, 26, p. 93-108.
- Torrens H.** (2002) - From d'Orbigny to the Devonian: some thoughts on the history of the stratotype concept. *C.R. Palevol*, 1, p. 335-345.
- Zurcher P.** (1895) - Compte rendu de la course du 23 septembre de Digne à Barrême. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 23, p. 866-873.