

Riv. It. Paleont. Strat.	v. 99	n. 4	pp. 515-550	tav. 1-4	Marzo 1994
--------------------------	-------	------	-------------	----------	------------

LE NANNOPLANCTON CALCAIRE ET LA FORMATION DES ALTERNANCES CALCAIRES-MARNES DANS LE LIAS DES BASSINS DE MARCHES-OMBRIE (ITALIE)

DENISE NOËL ⁽¹⁾, GEORGES BUSSON ⁽¹⁾,
ANNIE CORNÉE ⁽¹⁾ & ANNE-MARIE MANGIN ⁽²⁾

Key-words: Nannoplankton, Liassic, Corniola, Marne di Monte Serrone, Limestone/marl sedimentation, Interpretation.

Riassunto. Le classiche sezioni di Sentino Valdorbica, del Bosso e la sezione-tipo delle Marne di Monte Serrone hanno permesso di studiare le alternanze calcareo-marnose della Formazione Corniola (Sinemuriano sup.-Toarciano basale) e delle Marne di Monte Serrone (Toarciano inf.). Il contesto geologico è stato ripreso dai numerosi importanti lavori già pubblicati, che hanno fornito in particolare una buona scala stratigrafica ed un preciso quadro paleogeografico.

I calcari sono stati studiati in sezione sottile (tessitura, presenza ed abbondanza di Schizosfere, altre faune) e al SEM (struttura, presenza, abbondanza e stato diagenetico delle Schizosfere, ricerca di Cocoliti). Le marne sono state studiate al microscopio ottico per la ricerca di Cocoliti e Schizosfere e al SEM sia su residui di lavaggio e di centrifugazione per meglio definire le nannoflore presenti, sia sulle superfici fresche. Per la Formazione Corniola sono stati esaminati 69 preparati al SEM per i calcari e 94 per le marne; per le Marne di Monte Serrone 169 preparati al SEM per i calcari e 303 per le marne.

Le osservazioni hanno confermato l'importanza del contesto nannofloristico tra gli strati calcarei a Schizosfere e gli interstrati marnosi a Cocoliti. Questo contrasto sembra riflettere essenzialmente la differenza originaria dei fanghi che hanno generato tipi diversi di sedimenti. Il ruolo litogenetico del nannoplancton era quindi fortemente differenziato. Esso era legato ad un'alternanza di fasi di mari puliti, privi di argilla, nei quali si sviluppava un nannoplancton stabile, poco evolutivo (le Schizosfere) e di fasi di mari più ricchi in argilla, in cui prosperavano e si evolvevano i Cocolitoforidi, permettendo così la loro utilizzazione a fini biostratigrafici.

Résumé. Les coupes de Sentino-Valdorbica, du Bosso et la coupe-type des Marnes de Monte Serrone ont permis d'étudier les alternances calcaires/marnes pour la Formation Corniola (Sinémurien supérieur à Toarcien basal), et celle des Marnes de Monte Serrone (Toarcien inférieur). Le contexte géologique est repris des nombreux et importants travaux déjà publiés qui fournissent en particulier un bon calage stratigraphique et un cadre paléogéographique précis.

Les *calcaires* ont été étudiés en lame mince (texture, présence et abondance des schizosphères, faunes compagnes, etc.) et au MEB (structure, présence et abondance des schizosphères, leur état diagenétique, recherche des cocolithes). Les *marnes* ont été étudiées au microscope optique, en frottis de sédiment brut pour

(1) Laboratoire de Géologie du Muséum, 43, rue Buffon, 75005 Paris et URA 12 (CNRS) pour D.N.

(2) Laboratoire de Stratigraphie, Université P. et M. Curie, 4 Place Jussieu, 75230 Paris Cédex 05.

rechercher coccolithes et schizosphères, au MEB sur résidus de lavages et centrifugation, afin de mieux définir les nannoflores présentes et également sur surface brute. Les conclusions reposent pour la Formation Corniola sur 69 clichés MEB sur les calcaires et 94 sur les marnes; pour la formation Marnes de Monte Serrone, sur 169 clichés MEB sur les calcaires et 303 sur les marnes.

Ces observations démontrent l'importance du contraste nannofloristique entre bancs-calcaires à schizosphères et interbancs marneux à coccolithes. Ce contraste nannofloristique repose donc essentiellement sur une différence originelle des vases ayant abouti à ces deux types de sédiments. Le rôle lithogénétique du nannoplancton est fortement différencié. Il s'inscrit dans une alternance de phases de mers propres, sans argile, dans lesquelles se développe un nannoplancton stable, peu évolutif (les schizosphères) et de phases de mers plus riches en argile, où se multiplient et évoluent les coccolithophoridées, permettant ainsi leur utilisation à des fins biostratigraphiques.

Abstract. In the classical sections of Sentino-Valdorbia, Bosso and the Marne di Monte Serrone type-section the rhythmic, limestone/marl sedimentation of the following formations were studied: the Corniola (Late Sinemurian to Earliest Toarcian) and the Marne di Monte Serrone (Early Toarcian). The geological framework is drawn from the numerous and significant published papers which give a good stratigraphical scheme and a precise paleogeographic setting.

The limestones have been studied in thin sections (texture, occurrence and abundance of schizospheres, other fauna, etc.) and with SEM (structure, occurrence, abundance and diagenetic state of schizospheres; coccoliths). Marly interbeds have been studied in light microscopy on smear slides of raw sediment to find out coccoliths and schizospheres and with SEM, both on washed and centrifuged sediments (for a better definition of the nannofloras) and on freshly broken surfaces.

The conclusions are based upon 69 SEM pictures of limestones and 94 SEM pictures of marls from the Corniola Formation; on 169 SEM pictures of limestones and 303 SEM pictures of marls from the Marne di Monte Serrone Formation. The observations show the importance of the nannofloral contrast between the limestone beds with schizospheres and the marly interbeds with coccoliths. The contrast is thought to portray the original difference between the components which generated the two different types of sediments. The lithogenetic role of the nannoplankton was strongly differentiated and was linked to an alternation of clay-poor, sea-water phases when stable, calcareous nannoplankton (schizospheres) dominated and did not evolve and of clay-richer, sea-water phases when coccolithophorids expanded and evolved.

Introduction.

Le nannoplancton calcaire s'est déjà révélé d'un intérêt considérable pour une meilleure interprétation et compréhension d'alternances de calcaires et de marnes. Citons ainsi les premiers travaux sur les alternances du Crétacé inférieur de la fosse vocontienne (Noël, 1968; Darmedru et al., 1982) et leur développement récent (Bréhéret, sous presse; Busson & Noël, 1991). Par ailleurs, des travaux ont analysé quantitativement la productivité et le jeu de la diagenèse dans des séries à sédimentation rythmique, en Italie et en domaine océanique: par exemple, Erba (1986, 1987, 1992); Premoli Silva et al. (1989); divers résultats obtenus ont été clairement synthétisés récemment par Erba et al. (1992).

Pour nous en tenir à un seul exemple, il s'est avéré que les bancs calcaires du Crétacé inférieur vocontien et la fraction calcaire des interbancs marneux sont majoritairement constitués de nannoplancton calcaire et, de plus, que les premiers et les seconds sont formés de populations différentes: schématiquement *Nannoconus* dans les calcaires; coccolithes dans les marnes. Dès lors les alternances sont, en grande partie au moins, originelles et, en outre, elles impliquent des modifications bio-écologiques radicales, répétitives, rythmiques pour le milieu océanographique où ces couches se sont

engendrées. Il nous a paru important de tenter de savoir si des phénomènes analogues pouvaient exister dans le Lias de la Téthys centrale.

Parmi les données qui pouvaient sembler favorables à une telle recherche, il y avait la présence, signalée dans la littérature, à la fois de schizosphères et de coccolithes. D'une façon très générale, Bown (1986, 1987), par exemple, observe que *Schizosphaerella punctulata* est fréquente tout au long du Lias et "spécialement commune dans l'Hettangien et le Sinémurien où elle forme souvent d'abondants assemblages monospécifiques". Un peu plus tard, Busson & Noël (1991) insistent sur la contribution primordiale de *S. punctulata* dans la formation des calcaires fins liasiques (et aaléniens), non seulement sur les plates-formes épicontinentales [comme l'avaient déjà dit Bown (1986) et Crux (1987)], mais également dans les bassins, et même dans les faciès considérés comme les plus profonds. Nous avons déjà évoqué par ailleurs (Noël & Busson, 1990) bien d'autres travaux où le rôle constructeur de ce taxon a été illustré, documenté et discuté. Certains de ces travaux seront rappelés ci-dessous.

Quant aux travaux qui ont rapporté la présence et même l'abondance des schizosphères dans les bassins de Marches-Ombrie, depuis ceux de Kälin (1980), ils sont légion et seront repris dans ce texte.

Toujours à la lumière de la littérature, l'importance des coccolithes dans les dépôts liasiques est également considérable. Sur un plan général, Bown et al. (1992, p. 9) rappellent qu'au passage Trias-Jurassique il n'existe - comme l'avait établi Prins dès 1969 - que le taxon *Crucirhabdus primulus*. Mais si à l'Hettangien il n'y a encore qu'une diversité faible et des assemblages peu abondants, dès le Sinémurien on note un accroissement rapide du nombre d'espèces (Roth, 1987; Bown et al., 1992).

En ce qui concerne plus spécifiquement les bassins de Marches-Ombrie, les références qui seront rappelées ci-dessous attestent, dès le début de nos études, la fréquence, l'abondance et la diversité des coccolithophoridées dans ces dépôts liasiques.

D'après les études antérieures, une disjonction semblait s'opérer dans la localisation de ces deux grands groupes de nannofossiles calcaires. Les schizosphères - essentiellement le taxon *S. punctulata* - et leurs avatars diagénétiques plus ou moins poussés étaient signalés par des pétrographes (cf. les travaux de Kälin, 1980; Kälin & Bernoulli, 1984; Noël & Busson, 1990) comme constituants de la pâte de calcaires fins. En revanche, les différentes espèces de coccolithophoridées, l'évolution des populations utilisables en biostratigraphie étaient décrites par des paléontologistes travaillant essentiellement sur des marnes lavables et, de ce fait, beaucoup plus propices à des observations, le plus souvent effectuées en microscopie optique. Restaient pourtant deux points fondamentaux. D'une part, les différences de contenu entre bancs calcaires et interbancs marneux ont été, de façon répétée, imputées à *a priori* à des différences de conservation. Si cette hypothèse, qui a pris trop souvent la forme d'une affirmation, se trouvait vérifiée, la différenciation entre populations de nannoplancton des bancs calcaires et des interbancs marneux n'avait plus rien d'originel et n'était donc pas significative de différences paléo-océanographiques. D'autre part, il fallait s'assurer que la différence entre les deux modes d'observation (sur fractures de roche au MEB pour les

calcaires et en lavages centrifugés pour le contenu nannoplanctonique des marnes) n'introduisait pas un biais qui aurait été responsable de contrastes plus apparents que réels.

L'implantation géographique de l'étude et ses limites thématiques.

Avant d'évoquer les raisons positives qui ont guidé notre choix vers les bassins de Marches-Ombrie, il convient de rappeler que les schizosphères ont été abondamment signalées et illustrées dans d'autres bassins. Nous en avons dressé l'inventaire dans un travail antérieur (Busson & Noël, 1991; Tab. 1 avec références).

Dans le bassin lombard, par exemple, de nombreux travaux ont attesté la présence de schizosphères et de coccolithophoridées, principalement dans la partie moyenne et supérieure du Lias - mais aussi dans les intervalles sus-jacents. Ainsi Kälin & Trümpy (1977), Kälin (1980), Kälin & Bernoulli (1984) ont à la fois abordé largement les problèmes de sédimentation et de resédimentation (y compris pour les schizosphères) et d'autre part les phénomènes de diagenèse qui ont affecté si profondément les calcaires à schizosphères. Erba et al. (1989), synthétisant les résultats de l'étude de nombreuses coupes depuis le Carixien, aussi bien en position bassin qu'en position haut-fond, précisent, par une analyse semi-quantitative, que les nannofossiles sont toujours présents, leur abondance fluctuant de rares à communs. La résolution biostratigraphique est excellente pour l'intervalle Carixien à Bajocien inférieur. Bien que notre échantillonnage nous ait fourni également de nombreux nannofossiles, nous n'avons pas retenu cette région pour une étude pétrographique très minutieuse: car il nous a semblé que les complications tectoniques et des datations parfois insuffisantes - du moins si on les rapporte aux épaisseurs de séries représentées - rendaient cette province moins favorable à notre étude.

Dans la région de Marches-Ombrie, les premiers dépôts du Lias correspondant aux Calcare Massiccio sont représentés par une formation carbonatée assez généralisée, malgré des disparités de milieux de dépôt et d'épaisseurs parfois considérables et remarquable par la présence au moins sporadique d'indices d'émersion (Centamore et al., 1971). Au cours du Sinémurien supérieur, cette plate-forme carbonatée sud-téthysienne s'est fracturée et fragmentée. Il en est résulté un dispositif plus complexe. D'une part, des zones hautes, dispersées, n'ont reçu qu'une sédimentation amincie, souvent

Tab. 1 - Observations sur la Formation Corniola.

- A) *Coupe du Bosso* (Sinémurien à Domérien). *Bancs calcaires*, teneur élevée en CaCO_3 (>90 % dans 7 sur 8 des niveaux étudiés); texture dominante de micrite (secondairement pelmicrite); en lame mince, abondance des schizosphères, observées au MEB sous forme de cristaux organo-induits (C.O.I.) ou de superstructure (S.S.); coccolithes très rares. *Interbancs marneux*, teneur décroissante en CaCO_3 du Sinémurien (52 %) au Domérien (15 %). Au MEB, pas de valves entières de Schizosphères; 3 à 4 taxons de coccolithes identifiables + fragments.
- B) *Coupe de Monte Serrone* (Toarcien basal). *Banc calcaire* (71 % CaCO_3), pelmicrite à tendance microspar; nombreux fragments de schizosphères; 1 seul taxon identifiable de coccolithe. *Marne* du couplet (51 % CaCO_3); 7 taxons au moins de coccolithes.

Coupes et N° Ech.	AGE	STRATONYMIE	Ca Coq %	BANC CALCAIRE					INTERBANC MARNEUX					
				LAME MINCE		MEB			MEB					
				TEXTURE	SCHIZO	AUTRES	Nbre clich.	STRUCTURE	SCHIZO.	COCCOLITHES	Nb clich.	SCHIZO.	COCCOLITHES	AUTRES
Monte Serro-ne SER 27 bis	TOARCIEN	Epaisseur: ~ 5cm	51							10	0	≥ 7 taxons dont D. ignatus Crepidolithus sp Parhabdolithus Padorkabodaceae	Éléments détritiques dominants. Nombreux granules isolés (1 µm peut-être COI de schizo)	
SER 27		Calcaire marneux. Ep. ~ 50cm	71	Pelmicrite	++	? Lamell. pélogiques Qz arrondis (~ 5µm)	3	Hétérogène	Fragments			1 coccolithe indéterminée (Peul-être Calyculus)		
VALD. SEN 58					Pelmicrite	+++	Rads; Forams; Lamell. pélog. prob.							
Bosse BOS 92	DOMERIEN		90	Micrite	++	Radiolaires (Ø 70µm) Ostracodes probab. Rhomboédres	10	Fin. Très compact	++			1 Discorb. + 2 fragments		
BOS 91 bis		Ep. ~ 15 cm	15							10	0	Rares fragm indéterminés	Détritiques abondants. Feuilles plats ≤ 4 µm	
BOS 91		Beige-clair à silex. Ep. : ~ 60cm	94	Micrite	+	Rads recristallisés. Algues (Girvanella ?); Forams probables. Qz anguleux, + corrodés	13	Très fin Très compact	Fragments +++ COI et SS			1 Lathoringius (?)		
BOS 90 bis	DOMERIEN	Ep. ~ 1 cm	26								33	0.	> 51 taxons dont 3 dans un m champ. Tubirhabdus sp. Lathoringius sp. Crucirhabdus ? Discorbodites ?	Détritiques abondants. Feuilles plats < 4 µm
BOS 90		Beige clair à silex. Ep. 50cm	90	Micrite grumeleuse	+++	2-3% élém fig Lamell. pélog. Forams; Ostrac.	18	Très fin Très compact	Nbreuses plages COI			0		
BOS 87		Beige clair Ep. ~ 15 cm	95	Pelmicrite Grumeaux "Fausses Oolithes"	+++	Oncolithes (Cayeuxia, Girvanella ?) Echimod) Forams (probables Polypiers) Lamell. silicifiés								
BOS 86	CARIXIEN	Beige clair à silex. Ep. ~ 35 cm	92	Micrite	+	"Lamell. pélogiques" (déformées); Nombreux Rhomboédres; Qz ± arrondis, ± corrodés (20 µm)								
BOS 85 bis		Ep. ~ 3 cm	36								17	0	≥ 2 taxons mal dégagés nourrissages	Très hétérogène. Détritiques abondants, mal classés
BOS 84 bis		Ep. ~ 1 cm	45								2	0	Fragments indéterminés	Très hétérogène, détritiques abondants mal classés. Rhomboédres Feuilles d'argile.
BOS 84	CARIXIEN	Calcaire à silex. Ep. : ~ 30 cm	94	Pelmicrite	+++	Forams, calciphères (Ø: 14µm); "Lamell. pélog"; Rads prob., Rhomboédres								
BOS 83 bis		Ep. : ~ 1 cm avec silex	56								12	0	2 taxons dont M. elegans	Très hétérogène; détrit. abondants mal classés. Cristallite Rhomboédres (3-4 µm)
BOS 83		Calcaire à silex. Ep. : ~ 25cm	95	Micrite	+	"Lamell. pélogiques" Fanômes Ostracod; Traces Forams; Rares Rhomboédres	18	Fin Très compact Struct. fibrariolées. Ø: 25µm Spicules ?	COI				1 Mitralthus	
BOS 81 bis	SINEMURIEN	Ep. ~ 5-6cm	52								10	0	4 taxons: Mitralthus cf. lenticularis Lathoringius sigillatus Parhabdolith. sp Nourrissag. imp.	Hétérogène; détritiques anguleux (6-8µm); Rhomboédres (15-18µm)
BOS 81		Calc. à rognons de silex. Ep. ~ 30cm	75	Pelmicrite	+	Rares Lamell. Forams ? Qz Rhomboédres	7	Hétérogène Rhomboédres: 10-12 µm	fragments COI et SS			Rares. Stade 2		
BOS 80		Calcaire fin			Pelmicrite	+++	Rads; Forams; Lamell. pélog. prob.							

organogène, dépourvue de dépôts gravitaires. Au contraire, des bassins plus ou moins profonds se sont individualisés entre ces zones hautes et se sont remplis de séries plus dilatées, mais caractérisées par des variations de faciès et d'épaisseurs relativement importantes. Les conditions de dépôt y auraient évolué du néritique au bathyal supérieur (Baldanza et al., 1988; Cresta, Monechi et al., 1989).

Nos études ont porté sur certaines de ces séries de bassins, séries dilatées souvent datées par des ammonites (Fig. 1) (Cecca, Cresta et al., 1987; Cecca, Dommergues et al., 1987; Cresta et al., 1988) et caractérisées, en règle générale, par leur faciès pélagique. La subsidence affectant ces aires a en effet entraîné le passage du faciès néritique au faciès pélagique au sens de Colacicchi et al. (1970); c'est-à-dire correspondant à des dépôts qui - quelle que soit leur profondeur - se sont formés essentiellement dans la masse d'eau et non sur le fond.

Précisons enfin certaines limites thématiques de cette étude. Une proportion élevée des articles dévolus aux alternances marnes/calcaires met en cause actuellement l'intervention des cycles de Milankovitch. C'est une approche dont nous ne méconnaissons pas l'importance; mais il s'agit là d'un aspect de ces problèmes que nous n'abordons pas ici. Nous n'y ferons donc pas allusion. Nous n'aborderons pas non plus l'examen - également très à la mode - des mécanismes responsables de cette alter-

M.A.	ÈRE	PERIOD	AGE	UNITÉS LITHOSTRATIGRAPHIQUES	
141	MÉSOZOÏQUE	CRET.	VALANGINIEN	MAIOLICA	
			BERRIASIEN		
		JURASSIQUE	TITHONIEN	CALCAIRE A SACCOCOMA	BUGARONE SUPERIEUR
			KIMMERIDIEN	CALCARI DIASPRIGNI	
			OXFORDIEN		
			CALLOVIEN		HIATUS
			BATHONIEN	CALCAIRES ET MARNES A POSIDONIA	
			BAJOCIEN		
			AALENIEN	Marnes du Mte Serrone-Rosso Ammonitico	BUGARONE INFERIEUR
			TOARCIEN		
			PLIENSBACHIEN	CORNIOLA	
			LOTHARINGIEN		
		195	SINEMURIEN	CALCAIRE MASSICCIO	
			HETTANGIEN		
TRIAS SUP.	CALCAIRE à R. contorta ANHYDRITE DE BURANO				

Fig. 1 - Les unités lithologiques du Trias supérieur à l'Hauteriviens dans les coupes de Marches-Ombrie. D'après Cresta, Pallini et al. (1989; fig 1).

nance: variations eustatiques, variations climatiques, etc... Ces démarches, fort intéressantes, nous paraissent quelquefois anticipées. Nous nous en tiendrons aux faits ou plutôt à un aspect des faits: le contenu nannoplanctonique dont l'intérêt nous paraît très grand et la connaissance jusqu'ici insuffisante.

Enfin nous ne discuterons pas ici des observations et arguments apportés par de nombreux auteurs (par exemple Einsele, 1982; Ricken, 1986; Beaudoin & Pinault, 1992) à l'appui de phénomènes diagénétiques ayant aggravé le contraste entre bancs et interbancs, voire l'ayant créé *ex-nihilo*. Ces hypothèses, en général formulées à l'aval des déductions faites par Bathurst (1975) à partir de ses observations, mettent en jeu des modélisations fondées sur la compaction, les dissolutions, les transferts de carbonates, etc... Nous pensons d'ailleurs que les séries que nous avons étudiées, principalement la Formation Corniola et la formation des Marnes de Monte Serrone, ne présentent pas les meilleures conditions pour un examen de ces phénomènes et les fondements des modélisations auxquelles ils donnent lieu. Disons simplement que nos observations et les interprétations que nous en tirons ne tendent pas à privilégier les phénomènes diagénétiques aux dépens des phénomènes originels, sans pour autant négliger l'importance fondamentale des cristallisations diagénétiques que nous allons évoquer dans cet article.

Le contexte géologique.

La Formation Corniola.

Le faciès très peu profond - voire à la limite de l'émersion - du Calcare Massiccio ne nous a pas incité à y entreprendre des recherches approfondies sur le nannoplancton. Par contre, la Formation Corniola, couvrant une bonne partie du Lias inférieur et la totalité du Lias moyen et se présentant sous faciès pélagique dans une bonne partie du domaine de Marches-Ombrie, nous a paru éminemment intéressante. Nous avons déjà dit que des mouvements tectoniques importants, survenus au cours du Sinémurien, ont été responsables de l'approfondissement des bassins, rendant compte de la substitution aux faciès très peu profonds du Massiccio des faciès pélagiques de la Corniola. Il y a un consensus des auteurs pour admettre l'opinion encore récemment résumée par Cresta, Monechi et al. (1989) de mouvements synsédimentaires, en particulier dans le Sinémurien supérieur (zone à Turneri) et dans le Lotharingien inférieur (zone à Obtusum): l'abondance des paquets resédimentés, des slumpings, des glissements, en portent le témoignage, parfois datés avec une bonne précision grâce à la présence de faune d'ammonites. L'ensemble de ces déformations contribue à expliquer les grandes disparités d'épaisseur qui caractérisent cette Formation Corniola: de l'ordre de 150 m dans la coupe du Bosso (voir ci-dessous), 200 m dans la coupe, très complète, de Burano surmontant un Massiccio présent (Ferretti, 1970), mais seulement une trentaine de mètres dans la coupe de Gorgo a Cerbara à 3 km de Piobbico (Kälin & Ureta, 1988), 10 à 20 m dans certaines coupes (Cresta, Monechi et al., 1989). Ces disparités

d'épaisseur s'accompagnent de passages de faciès spectaculaires. Sur les zones hautes, intra-bassin, à sédimentation peu épaisse, le régime de plate-forme antérieur (Massiccio) s'est perpétué pendant tout le Lias inférieur. Même quand des micrites apparaîtront au Pliensbachien, celles-ci se différencieront du faciès pélagique de la Corniola propre au fond de bassin, par un contenu organogène plus riche et plus varié.

La lithologie de la Formation Corniola, en faciès "bassin", a été évoquée, par exemple dans le travail synthétique de Cresta, Monechi et al. (1989). Ce sont des calcaires bruns à gris, régulièrement lités, en bancs de quelques centimètres à quelques décimètres, de texture en générale mudstone, parfois wackestone. Des cherts s'intercalent en particulier à la partie inférieure et des interbancs ou interlits argileux ne deviennent un peu plus abondants qu'à la partie supérieure.

Les fossiles de ces dépôts à dominante pélagique ont fait l'objet d'études nombreuses et remarquables. De nombreux horizons à ammonites ont été découverts et étudiés (Ferretti, 1970, 1972, 1975; Venturi, 1978; Elmi, 1981; Dommergues et al., 1983; Pallini, 1986; Cecca, Cresta et al., 1987; Cecca, Dommergues et al., 1987; Kálin & Ureta, 1988; Cecca et al., 1990) comme l'ont rappelé Cresta, Monechi et al. (1989) qui ont localisé ces niveaux sur leur illustration. La série a pu ainsi être datée de la zone à *Turneri* jusqu'à la zone à *Tenuicostatum* (Toarcien inférieur) qui ne semble occuper, quant à elle, que les derniers mètres de la Formation Corniola, en particulier dans les coupes de Valdorbja et de Monte Serrone.

Baldanza et al. (1988) ont évoqué, à partir de leurs travaux et de travaux antérieurs, les faunes, assez pauvres d'ailleurs, présentes dans ces dépôts. En dehors des radiolaires, il s'agit surtout de benthos. Les foraminifères typiques de plates-formes épicontinentales sont représentés en particulier par les *Nodosariidés*. Les gastropodes herbivores sont fréquents et ne marquent pas de signes de transport à longue distance: ils ont dû se développer dans des herbiers et par conséquent à profondeur relativement faible. Les spicules d'éponges, de petits brachiopodes, quelques échinodermes complètent la liste. Ces travaux, aboutissant à des profondeurs de dépôt de l'ordre de 200 m confirment les données antérieures de Colaccichi et al. (1970) et de Farinacci et al. (1981) qui, en leur temps, avaient récusé des interprétations beaucoup plus profondes.

Le nannoplancton calcaire a été évoqué dans la Corniola par nombre de nos prédécesseurs. Dans la coupe de Valdorbja, la Corniola ne présente, sur une vingtaine de mètres, qu'une partie du Domérien. La distribution stratigraphique des nannofossiles calcaires a été donnée par Monechi & Reale (1987), par Reale (1989), par Reale et al. (1992). Ces auteurs ont noté que les associations de nannofossiles étaient "scanty and poorly diversified because the lithology of the rocks is not conducive to good preservation of nannofossils". Toutefois quelques événements biostratigraphiques significatifs y ont été identifiés (Reale et al., 1992) sur lesquels nous reviendrons ci-dessous.

Nous donnerons quelques détails supplémentaires sur la coupe du Bosso, la seule que nous avons échantillonnée, de bas en haut. Cette coupe très classique du Bosso a fait l'objet de très nombreuses descriptions (Centamore et al., 1971; Ferretti, 1972, 1975; Baumgartner, 1984, 1987; Channell & Grandesso, 1987; Cecca et al., 1990;

Cresta, Monechi et al., 1989). Elle se situe à environ 4 km au Sud-Ouest de Secchiano, 500 m à l'Ouest-Sud-Ouest de l'Eremita, le long de la route de Cagli à Pianello.

La formation affleure depuis le kilomètre 7,3 avec deux lacunes principales. Le premier segment, dont le contact avec les couches sous-jacentes n'est pas visible, est fait de calcaires mudstone à wackestone à galets, avec radiolaires et spicules d'éponges. La partie supérieure de la coupe présente deux grands slumps remarquables. Les *Arnioceras* permettent de dater de la zone à Turneri la partie sous-jacente au grand slump. Au-dessus du banc 54 in Cresta, Monechi et al. (1989), la série est attribuable au Lotharingien. Le deuxième segment a livré des ammonites du Carixien de la zone à Ibex. Le troisième segment correspondant à environ 50 m de série est d'âge domérien et présente encore des slumps comme les deux segments précédents. Les derniers mètres de Corniola comprennent les habituels céphalopodes de la zone à Tenuicostatum. Des auteurs tels que Cecca et al. (1990) ont déduit de l'abondance de ces slumps la présence probable d'escarpements de faille séparant cette zone bassin du haut régional du Monte Nerone.

Le Toarcien.

Description générale.

La Formation des marnes et calcaires de Monte Serrone (Pialli, 1969).

Cette unité a également été nommée: Unità Calcareo-Marnosa del Sentino (Cresta, Monechi et al., 1989). Il s'agit d'une soixantaine de mètres au maximum d'argiles et marnes intercalées de bancs de calcaires souvent argileux. Elle est d'âge Toarcien inférieur et partiellement moyen. Les arguments éco-sédimentologiques tirés de l'étude de cette séquence ont incliné les auteurs (voir par exemple Baldanza et al., 1988) à parler d'approfondissement par rapport aux dépôts immédiatement antérieurs de la Formation Corniola. Le très important influx argileux qui caractérise ainsi - à peu de chose près - le passage Domérien-Toarcien est un phénomène d'extension très générale. Dans ces bassins de Marches-Ombrie comme ailleurs, pour rendre compte de cet influx, des auteurs ont privilégié la responsabilité de mouvements tectoniques affectant les zones nourricières, tandis que d'autres ont mis l'accent sur une relation avec une élévation générale du niveau marin. Parmi quelques auteurs qui ont publié sur cette série, rappelons Donovan (1958), Bernoulli (1967), Elmi (1981).

Dans la synthèse récente de Cresta, Monechi et al. (1989), la série est décrite comme une succession de marnes grises à brunes. Nous avons pu noter sur le terrain l'étonnante fraîcheur de ces marnes tendres et très aisées à laver. Les bancs intercalés présentent une grande diversité de faciès, de calcaires argileux fins à des calcarénites. L'épaisseur totale évoquée ci-dessus ne vaut que pour les coupes "bassin" (Sentino-Valdorbis; coupe-type des Marnes de Monte Serrone). La formation s'amincit à quelques mètres dans des coupes telles que celles de Gorgo à Cerbara ou du Bosso; les marnes de cette dernière coupe étant atypiques par leur couleur rouge (op. cit.).

Les fossiles ne sont pas très abondants dans cette formation et leur état de conservation laisse parfois à désirer. On a pu néanmoins localiser - plus ou moins précisément - les zones à *Tenuicostatum*, *Serpentinus* et *Bifrons*. Dans Cresta, Monechi et al. (1989), la figure 87 récapitulant de nombreuses données antérieures donne une image synthétique de la répartition de la nannoflore et de la microfaune et des principaux événements relatifs à ces groupes. Dès le début de la formation, les ostracodes plaident pour un milieu infra- à circa-littoral (Reale, 1989); sauf dans la coupe-type où les données de la microfaune évoquent même du bathyal supérieur (Baldanza, 1989). De ce fait, les Marnes de Monte Serrone, et en particulier leur partie inférieure, pourraient correspondre aux conditions les plus profondes connues par ces bassins de Marches-Ombrie.

Alméras et al. (1988) ont noté que, comme dans la plupart des coupes "bassins" du Lias, ces Marnes de Monte Serrone sont caractérisées par l'absence des brachiopodes.

Un ensemble de black shales existe dans plusieurs coupes vers la base de cette formation: par exemple dans la coupe de Valdorbja (Cresta, Monechi et al., 1989; fig. 31-34) et celle de Fosso del Presale (Reale et al., 1992). Parmi les nombreux auteurs qui ont étudié ces couches, rappelons Jenkyns (1985), Jenkyns & Clayton (1986) et, dans un contexte plus général, Jenkyns (1988). Selon les points, cet ensemble de black shales débute à une hauteur très variable au-dessus du toit de la Corniola, de l'ordre du centimètre à plusieurs mètres. L'âge de cet ensemble serait à rapporter à la zone à *Tenuicostatum*, le sommet atteignant parfois la zone à *Serpentinus*. Rappelons toutefois que l'événement océanique anoxique envisagé par Jenkyns (1988) à l'échelle mondiale est plutôt daté par cet auteur de la zone à *Serpentinus*. Lithologiquement, il s'agit d'une série d'argilites sombres ou noires, non bioturbées, contenant peu ou très peu de macrofaune. Les teneurs en carbone organique total, très variables, manifestent un enrichissement par rapport aux marnes banales. Les sédiments encadrants marquent une déficience en oxygène, mais qui n'est pas aussi poussée qu'elle ne l'est dans l'ensemble de black shales. En effet les passées anoxiques sont encadrées par des passées disaérobiques. L'étude des conditions de milieu révèle que ces black shales correspondraient aux profondeurs les plus grandes ayant présidé à ces dépôts liasiques. Il est légitime, en outre, de considérer que les bassins les plus creux ont été les plus aptes à piéger des corps d'eau méromictiques, propres à la genèse de ces black shales. Il n'en est que plus remarquable que les dépôts du bassin de Monte Serrone - parmi les plus épais connus - ne présentent aucune de ces passées.

Les coupes principales (Fig. 2).

Donnons quelques détails sur les deux coupes que nous avons étudiées. Les échantillons ont été situés sur les coupes des auteurs italiens.

a) La coupe-type des Marnes de Monte Serrone.

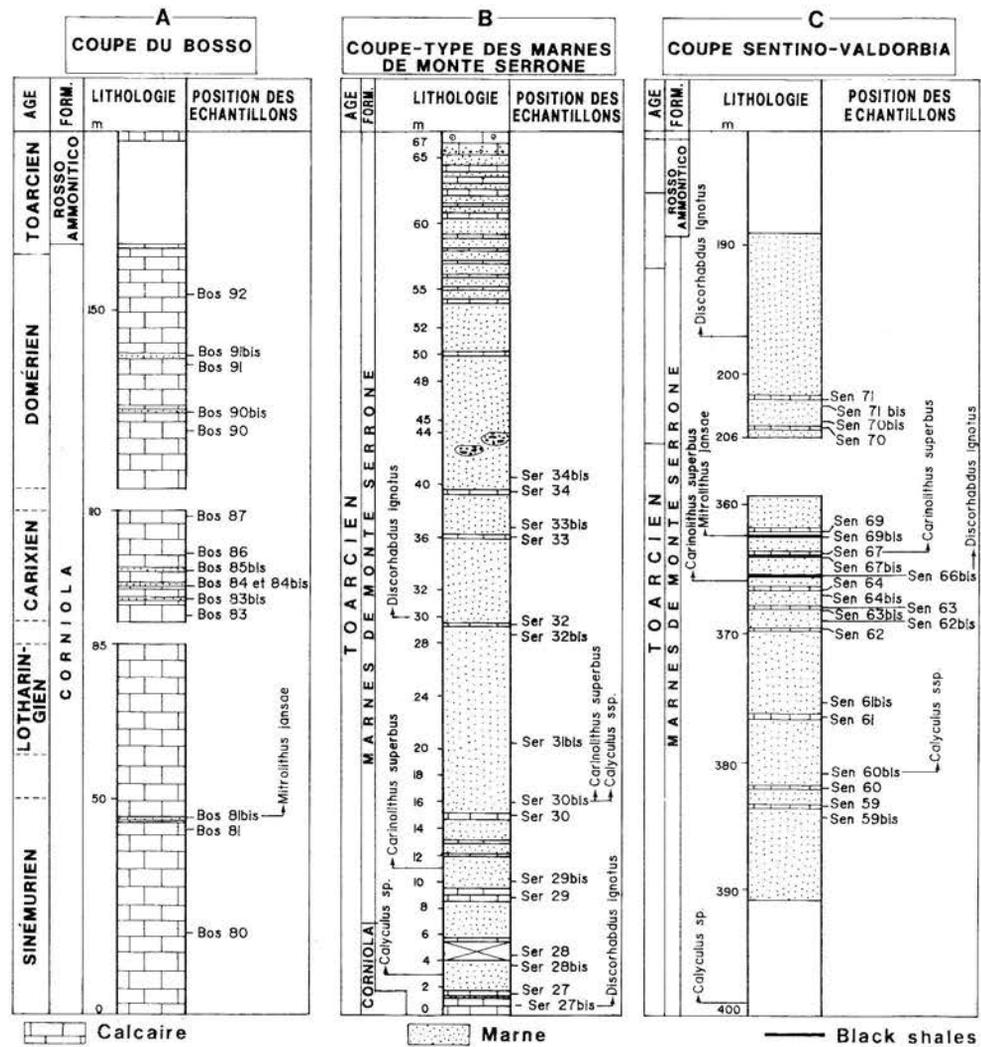


Fig. 2 - Logs lithologiques des coupes étudiées, avec localisation des échantillons. (A: d'après Cecca et al. (1990), fig. 57; B: d'après Baldanza (1989), fig. 87; C: d'après Reale (1989), fig. 34). De part et d'autre de la colonne lithologique, les événements biostratigraphiques nannofossiles ont été situés. A gauche d'après Reale et al. (1992; fig. 3 pour Monte Serrone, fig. 4 pour Sentino Valdorbia); à droite d'après nos observations.

Elle affleure sur le flanc sud du Monte Serrone, le long de la route menant de l'Abbaye de Sassovivo à Casale. Cette coupe, particulièrement remarquable pour les faciès marneux dilatés du Lias supérieur déjà décrits par Piali (1969), a été datée par des travaux paléontologiques modernes (Venturi, 1981, et synthèse dans Cresta, Monechi et al., 1989, fig. 88). Baldanza (1989) a distingué trois lithozones. La première comporte des calcilutites marneuses d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, inter-

calées avec des marnes verdâtres riches en argile, de 5 à 10 cm d'épaisseur. Elle affleure sous la route dans un petit thalweg où se voit la superposition à la Formation Corniola. La deuxième lithozone, affleurant le long et au-dessus de la route, est particulièrement riche en marnes verdâtres, grises, argileuses, avec des bancs plus indurés, plus riches en calcaire à plusieurs niveaux. La lithozone 3 comprend des calcarénites marneuses "alternant régulièrement avec des marnes et des marnes argileuses". Au total, la coupe-type mesure 64 m.

La base de l'Ammonitico Rosso sus-jacent se situant dans la zone à Bifrons, les Marnes de Monte Serrone en cette localité-type comprennent la zone à *Tenuicostatum* (*p.p. max*), la zone à *Serpentinus* et la zone à Bifrons (*pars*).

Baldanza (1989) rappelle que les études paléontologiques minutieuses menées sur cette coupe ont permis la définition dans cette formation de huit horizons fossilifères. Elle mentionne que la partie argileuse et marneuse de la formation a singulièrement favorisé la conservation - et par conséquent l'étude - des nannofossiles calcaires qui sont abondants et permettent de préciser une succession d'événements importants. Elle décrit avec minutie non seulement l'évolution des coccolithophoridées mais aussi celle des foraminifères benthiques, des radiolaires et des ostracodes, les unes et les autres pleines d'enseignement et dont nous ne reprendrons évidemment pas le détail ici.

b) La coupe de Sentino-Ouest.

Cette très belle coupe est située au coeur d'un des anticlinaux des Marches-Ombrie allongés Nord-Ouest - Sud-Est. Elle a été décrite sous le nom de Sentino-Ouest (le long de la route) ou Sentino-Est (le long du cours d'eau Sentino) ou Valdorbina, ou Ponte Calcara (Venturi, 1981). Elle affleure remarquablement entre les kilomètres 4 et 5 de la strada 360 allant de Scheggia à Sassoferrato. Elle a fait l'objet de très nombreuses descriptions dont nous rappellerons celles de Centamore et al. (1969, 1971), d'Elmi (1981).

Cette formation, épaisse d'un peu moins de 50 m, se divise en deux unités successives séparées par une lacune de visibilité (cf. Cresta, Monechi et al., 1989, fig. 34). Elle consiste en marnes parfois sombres avec intercalations de bancs de calcarénites dont l'épaisseur va jusqu'à un mètre. Au sommet de la première unité - à peu près 25 m au dessus du toit de la Corniola - apparaissent trois horizons de black shales rapportés, en particulier par Jenkyns (cf. ci-dessus), à l'événement océanique anoxique mondial d'âge Toarcien inférieur. La formation est couronnée par les premiers dépôts attribuables à l'Ammonitico Rosso.

Les études paléontologiques ont d'abord permis un certain calage stratigraphique. Les ammonites récoltées (Elmi, 1981; Venturi, 1981 et Cresta, Pallini et al., 1989) dès la base de la formation marneuse et, malgré un état de conservation assez mauvais, permettent de dater la zone à *Tenuicostatum*. On sait qu'une association de la zone à *Serpentinus* a été trouvée immédiatement sous le banc 4 d'Elmi (Cresta, 1989) sans que l'on puisse pour l'instant fixer avec plus de précision la limite entre les zones à *Tenuicostatum* et à *Serpentinus*.

Dans la synthèse déjà citée, Reale et al. (1989, p. 80, fig. 34) donnent la répartition stratigraphique des foraminifères, ostracodes, nannofossiles calcaires et autres groupes dans cette coupe de Sentino Valdorbia, se fondant sur les travaux de Cresta et al. (1988). Les nannofossiles, examinés en particulier par Reale (1989), Reale et al. (1992), apparaissent dans cette formation sous la forme d'associations plus abondantes et plus diversifiées que dans la formation précédente, pour deux raisons: "the period of explosive evolution at the base of the Toarcian linked to a period of greater productivity, and a change in lithology which led to better preservation of the nannofossils" (Reale, 1989, p. 81). Par ailleurs, Kälín (1980), Kälín & Bernoulli (1984) ont illustré la présence de schizosphères dans les bancs calcaires de cette formation.

Cresta, Monechi et al. (1989 a) se sont efforcés de corréliser les échelles de nannoplancton et d'ammonites. Ils ont également noté les principaux événements biostratigraphiques, apparitions, disparitions, observables dans cette coupe. Les foraminifères sont caractérisés par leur petite taille, moins de 300 μm . Les gastropodes, les bivalves et les ostracodes apparaissent également comme des faunes naines (moins de 500 μm). Les ostracodes présents dans la partie supérieure de la zone à *Tenuicostatum* plaident pour un milieu infra- à circalittoral tandis que ces mêmes ostracofaunes dans la zone à *Serpentinus* pourraient indiquer le passage à un milieu bathyal supérieur. Les radiolaires sont encore relativement nombreux.

Méthodes d'étude pétrographique.

Les calcaires. Le choix des bancs étudiés résulte d'une sélection rigoureuse sur le terrain après étude attentive du faciès banc par banc. Nous avons récolté les niveaux les plus fins, les plus homogènes, les moins argileux possible dans une coupe donnée.

Au laboratoire, certains de ces calcaires ont fait l'objet de lames minces, très fines, afin d'y déceler la présence et l'abondance relative des schizosphères, de déterminer la texture et la nature et l'importance des faunes compagnes. Nous avons surtout étudié ces calcaires en microscopie électronique à balayage (M.E.B.), sur cassures fraîches de roches, métallisées à l'or-palladium.

Les marnes ont été recueillies, aussi souvent que possible, dans le cadre d'un couplet calcaire/marne, même lorsque l'interbanc marneux était à peine centimétrique (dans la Formation Corniola de la coupe du Bosso notamment). Elles ont été étudiées en microscopie optique sur frottis de sédiment brut, puis au M. E. B. sur cassure fraîche de roche, comme les calcaires et/ou après lavages et centrifugations visant à extraire le mieux possible les nannofossiles de leur gangue argileuse. Dans ce dernier cas, la structure des nannofossiles est beaucoup mieux observable, ce qui facilite les déterminations. Les méthodes d'observation différentes pour les calcaires et pour les marnes et le risque de biais que cette différence peut introduire seront repris dans le paragraphe "Discussion".

Les échantillons - calcaires et marnes - ont été étudiés minutieusement au MEB, pour s'assurer de la représentativité des images obtenues. Il s'en suit que de telles études sont longues et que la maille d'échantillonnage ne peut être aussi fine que celle pratiquée pour les études sur frottis de marnes au microscope optique.

Observations et résultats.

Les échantillons étudiés sont pointés sur les coupes de la Fig. 2. Les observations de terrain, en microscopie optique et surtout en microscopie à balayage, sont présentées de façon synoptique et très résumée sur les tableaux ci-joints.

La Formation Corniola (Sinémurien pars, Pliensbachien, Toarcien basal).

A) La coupe du Bosso (Sinémurien à Domérien) (Fig. 2A; Tab. 1; Pl. 1, fig. 1 à 6; Pl. 2, fig. 1).

La dominante calcaire y est très prononcée, les interbanes marneux étant beaucoup moins épais que les bancs calcaires. Dans les *calcaires*, en lame mince et au MEB, on a noté l'abondance des schizosphères et de leurs produits de diagenèse (Pl. 1, fig. 1) et de très rares coccolithes, malgré un nombre relativement élevé de clichés MEB effectués (69). Dans les *interbanes marneux* (94 clichés MEB), au contraire, aucune valve entière de schizosphère n'a été observée, seulement la présence de cristaux organo-induits (Pl. 1, fig. 3), peut-être même d'origine détritique. Il est évident que les maigres flux argileux pulsatoires ont dû, très vraisemblablement, s'accompagner d'un remaniement au moins partiel des éléments des calcaires déposés auparavant. Les coccolithes sont au contraire présents dans chacun des sept échantillons étudiés (Pl. 1, fig. 2, 3; Pl. 2, fig. 2), l'échantillon sinémurien étant le moins riche. Mais on a rappelé ci-dessus que cet étage n'a pas encore vu l'explosion de formes qui caractérisera la suite des temps liasiques. La mauvaise conservation des coccolithes ne permet pas toujours une identification, même au niveau générique. Cependant il est possible d'observer sur les corpuscules rencontrés des différences morphologiques indubitables qui montrent des appartenances génériques différentes, même si celles-ci ne peuvent pas être clairement attribuées.

B) La coupe de Monte Serrone (Toarcien basal) (Fig. 2B; Tab. 1; Pl. 2, fig. 2).

Le couple calcaire/marne échantillonné se situe au toit de la Formation Corniola.

La formation des Marnes de Monte Serrone (Toarcien).

A) La coupe-type (Fig. 2B; Tab. 2; Pl. 2, fig. 3 à 6; Pl. 3, fig. 1 à 5; Pl. 4, fig. 1, 2, 3, 5). Dans l'ensemble, la diagenèse des *bancs calcaires* (114 clichés MEB) intercalés dans une série marneuse dominante a été beaucoup moins forte que celle observée dans la Formation Corniola. En outre, elle est décroissante du bas vers le haut de la coupe. Ainsi de belles coques emboîtées de schizosphères ont été observées dans l'échantillon prélevé à la base de la formation (Pl. 2, fig. 3, 5). Plus haut, les cristaux de superstructure deviennent moins abondants (Pl. 4, fig. 2). Nous avons même observé des valves de schizosphères sur lesquelles la structure originelle se devinait encore (Pl. 4, fig. 1).

Sur les 60 m de cette formation, les échantillons de *marnes* étudiés (201 clichés MEB) se situent dans les 40 premiers mètres de l'affleurement. Les marnes ne renferment que quelques fragments de schizosphères, au stade de diagenèse correspondant aux cristaux organo-induits (Pl. 2, fig. 6; Pl. 3, fig. 1; Pl. 4, fig. 3).

Les coccolithes (Tab. 3) augmentent en abondance et en diversité en montant dans la coupe.

B) La coupe de Sentino-Ouest (Valdorbia) (Fig. 2C; Tab. 4; Pl. 4, fig. 4 et 6).

N° Ech.	STRATONYMIE	CaCO ₃ %	BANC CALCAIRE						INTERBANC MARNEUX						
			LAME MINCE			MEB			MEB						
			TEXTURE	SCHIZO	AUTRES	Nbre clich.	STRUCTURE	SCHIZO.	COCCOLITHES	Nbre clich.	SCHIZO.	COCCOLITHES	AUTRES		
SER 34bis	Ep. ~ 40cm									43	Fragments avec COI Qq vestiges structures origin. Qq particules anguleuses ~ 20 µm 1 Rhomb.	15 taxons (C. superbus, abondants)	Hétérogène Qq particules de grande taille (~ 20 µm) 1 petit Rhomboèdre		
SER 34						12	Hétérogène Éléments anguleux (10-15 µm)	En COI Structure originelle se devine		0					
SER 33bis		39										30	1 petit fragment peu diogén.	7 taxons.	Particules de la taille des coccolithes
SER 33		76	Microspar	++	Phosphates abondants Lamell. pélogigues Traces Forams. Calcisphères	29	Compact. Qq éléments anguleux (8-15 µm)	++ en COI		D. ignotus					
SER 32						10	Compact	+ en COI		3 taxons					
SER 32bis											44	Peu diogénéisées Vides Enlières + fragments	10 taxons (C. superbus, abondants)	Hétérogène: particules détritiques 10-15 µm anguleuses	
SER 30bis	Marnes rouges et vertes	44									44	Fragments peu diogén. Qq schizo, vides dl. 1 avec couche int. amorphe	≥ 9 taxons (C. superbus, abondants)	Particules détritiques 5-10 µm, anguleuses, rarement 20 µm	
SER 30	Beige-gris, un des bancs les plus épais de la série (10-12 cm)	84	Micrite tendance microspar	+++	6-7 éléments figurés. Rads } probab. Calcisphères } Forams } possib. Globochaetae } Ecailles phosphat.	22	Compact	++ COI > SS		2 taxons + fragments					
SER 29bis											8	1 fragment en COI	≥ 4 taxons mal dégagés	Particules détritiques mal classées 1 Rhomboèdre	
SER 29			Micrite tendance microspar	+++	3 % éléments fig. Rads probables, écailles phosphatées petits Qz détritiques 1 cristal glauconie. Cristaux calcite ~ 10 µm	14	Très compact	++ COI > SS		0					
SER 28		85	Micrite	+++	Lamell., Ostracodes Forams, possibles Fragments Chara Qz arrondi; Rhomb.	27	Très compact	+++ en COI et en SS		0					
SER 28bis		60									32	1 schizo, avec ses 2 valves	8 taxons; Nombreux fragments	Hétérogène Particules détritiques (1-10 µm)	

Tab. 2 - Observations sur la formation des Marnes de Monte Serrone - Coupe-Type. *Bancs calcaires*. En montant dans la coupe on observe: une légère diminution de la teneur en CaCO₃ (85 à 76 %); le passage d'une micrite à une texture microspar; en lame mince: schizosphères en abondance décroissante et moins fortement diagenétisées. *Interbancs marneux*: au MEB, fragments de schizosphères avec C.O.I.; augmentation de la diversité des coccolithes (7 taxons à la base; 15 pour l'échantillon le plus élevé).

SER 28	SER 29	SER 30	SER 32	SER 33	SER 34	SER 35	SER 36		
Marnes de Monte Serrone							Ammonitico Rosso		FORMATION
									SCHIZOSPHERES
+	+	+	+	+	+	+	+		COCCOLITHES
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Biscutum grandis</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Biscutum sp.</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Crepidolithus crassus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Crepidolithus granulatus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Discorhabdus ignotus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Discorhabdus striatus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Mitrolithus ssp.</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Biscutum dubium</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Biscutum finchii</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	? <i>Conusphaera zlabachensis</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Carinolithus superbus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Calyculus ssp.</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Crepidolithus cavus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Lotharingius barozii</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Holococcolithe sp 1 (Pl. 3; Fig.1)</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Biscutum novum</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Parhadolithus liasicus et ssp.</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Discorhabdus criotus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	? <i>Biscutum intermedium</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	? <i>Crucirhabdus primulus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Lotharingius sigillatus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Polypodorhabdus ssp.</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Sollasites (?)</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Lotharingius aff. imprimus</i>	
+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Lotharingius sp.</i>	

Tab. 3 - Répartition des différents taxons de coccolithophoridées observés au MEB dans la formation des Marnes de Monte Serrone, dans la coupe-type.

Les calcaires intercalés dans cette série et étudiés se situent au-dessous, et au-dessus des black shales.

Les marnes (202 clichés MEB) n'ont livré que des cristaux organo-induits dispersés - très vraisemblablement détritiques - et des fragments de schizosphères, quelquefois conservés en volume (Pl. 4, fig. 4). Les coccolithes sont présents dans tous ces échantillons marneux. La difficulté de laver certains échantillons, en particulier les passées marneuses intercalées dans les black shales - ou proches des black shales - rend les déterminations difficiles voire impossibles.

N° Ech.	STRATONYMIE	CaCO ₃ %	BANC CALCAIRE						INTERBANC MARNEUX					
			LAME MINCE			MEB			MEB					
			TEXTURE	SCHIZO	AUTRES	Nbre clich.	STRUCTURE	SCHIZO.	COCCOLITHES	Nbre clich.	SCHIZO	COCCOLITHES	AUTRES	
SEN 71	calcaire dur, massif	72	Micrite à pelmicrite	♦♦	Lamellibranches, Rads et forams, Rhomboédres parfois corrodés, Pyrite, Petits Qz.									
SEN 70		77				39	Très compacte Qq particules 10-20 µm	Nombreux stades COI en volume J-2 vestiges struct. orig.	I Carinolithus I Latharingius I Discorhabdus					
SEN 69		80	Micrite à Microspar	♦	Lamellibranches ? Qz probables	5	Hétérogène; pas fin		I face prox. d'Ellipsogelasp?					
SEN 69bis	B.S. passée la plus épaisse de la série Ep. ~ 20 cm	18								24	Fragments	Empâtés Biscutum Latharingius ? Crepidolithus Ellipsogelasp.	Cristaux détritiques (µm)	
SEN 67	Calcaire plus fin que SEN 66 (ép. ~ 50cm)	85	Micrite à Microspar	♦♦	Rads +++ 0 50µm Ostracodes ?									
SEN 67bis	B.S. Shales Ep. ~ 15cm	30								4		≥ 2 taxons Carinolithus Latharingius + Autres en agrégats	Hétérogène; particules détritiques (1-10µm) Grumeaux	
SEN 66bis	B.S. très noire (ép. ~ 12 cm)	18								16	Fragments	3 taxons mal dégagés dont Discorhabdus	Hétérogène. Plages amorphes Particules détritiques mal classées	
SEN 64bis		5								9	I coeur schizo.	3 taxons Latharingius Biscutum Podorhabdaceae	Hétérogène Plages amorphes (10-20 µm) Framboise de Pyrite	
SEN 63	Calcaire en miches	83	Micrite à microspar	0	Fantômes de Rads probables, de Forams, de Lamelib.									
SEN 63bis										5	I coeur schizo	Fragments non déterminés	Nombreux feuillets plats (4-5 µm) Cristaux (1 µm)	
SEN 61	Ep. ~ 20cm	91	Micrite à microspar	+	Fantômes Rads. 2-3 Ostracod prob.									
SEN 60bis		67								38	Fragments avec COI (parfois en volume)	7 taxons souvent fragmentés: Discorh. criolus Biscutum sp. Solcasites Crepidolithus ? Parhabdolith. Calyculus sp. Latharingius sp.	Cristaux détritiques (1 µm)	
SEN 60		66	Micrite 5-8 µm	♦♦♦	Rien	11	Hétérogène	Schizo COI + SS	I champ avec C. diagen (stade 2)					
SEN 59	Banc massif Ep. ~ 60cm	73	Micrite à microspar	♦♦♦	Echinodermes Qz									
SEN 59bis	Ep. ~ 2-3 cm									6		Fragments dont Discorhabdus sp.	Cristaux détritiques ~ 1 µm. Feuillets plats (4-5 µm)	

Tab. 4 - Observations sur la formation des Marnes de Monte Serrone. Coupe de Sentino-Ouest (Valdorbis). *Bancs calcaires*: teneurs en CaCO₃ fluctuantes (72 à 91 %) sans tendance évolutive; texture la plus usuelle "micrite à microsparite"; en lames minces, schizosphères plus abondantes à la base; au MEB, restes de schizosphères en C.O.I. et S.S.; coccolithes très rares; coccolithes plus diversifiés en haut de la coupe. *Interbancs marneux*: rares fragments de schizosphères; coccolithes: 3 à 7 taxons.

Discussion.

A) Comparaison avec les données de la littérature sur les coccolithophoridées de ces mêmes coupes.

Des trois coupes que nous avons étudiées, deux, celles de Valdorbja et de Monte Serrone ont fait l'objet d'études de nannofossiles détaillées et publiées. Nous en comparerons donc les résultats avec les nôtres, en prenant pour référence de la littérature l'article de Reale et al. (1992) qui nous a paru présenter la synthèse et la mise à jour de travaux antérieurs dus à ces mêmes auteurs (Monechi & Reale, 1987; Reale, 1989; Baldanza, 1989).

1) Abondance et diversité de la nannoflore.

Coupe de Valdorbja.

Au Pliensbachien dans les 34 échantillons étudiés (Reale et al., 1992) (Tab. 1) ont noté la rareté des nannofossiles ainsi quantifiée: rare (R = <0,1 spécimen par champ d'observation) à faible (F = 1 à 0,1 spécimen par champ).

Du point de vue de la diversité, outre les schizosphères sur lesquelles nous reviendrons ci-dessous, le nombre de taxons de coccolithes dans un échantillon varie généralement de 1 à 3; 3 échantillons ont livré 4 taxons différents, deux autres respectivement 6 et 10 taxons; 1 niveau s'est révélé stérile. Mais tous les taxons reconnus ne sont représentés que par un très petit nombre de spécimens: F = 1 spécimen dans 10 à 30 champs; ou, le plus souvent R = 1 spécimen dans plus de 30 champs.

Au Toarcien, la nannoflore est un peu plus abondante et sa diversité varie de 2 à 15 taxons par échantillon, en général représentés par un petit nombre de spécimens (F ou R) à l'exception des taxons suivants: *Crepidolithus crassus*, *Mitrolithus jansae*, *Lotharingius hauffii* et *L. barozii*. Ces espèces sont quantifiées communes (c'est-à-dire C = 1 spécimen dans 1 à 10 champs).

Les résultats que nous avons obtenus sur nos propres échantillons de cette même coupe confirment cette faible abondance et cette faible diversité.

Les schizosphères sont signalées par les auteurs italiens dans tous les échantillons sauf deux en abondance variable (F ou R mais aussi C et même A, c'est-à-dire plus d'un spécimen par champ). Nos observations ne confirment pas ces résultats. Peut-être que l'inventaire des auteurs italiens a pris en compte - en tant que spécimen - le moindre fragment de schizosphère, reconnaissable en microscopie optique par sa structure caractéristique. Il est habituel en effet que *S. punctulata* se présente plus souvent sous forme de fragments que de valves entières (Bown, 1986, p. 436).

Coupe de Monte Serrone.

Pour l'intervalle Toarcien que nous avons nous-même étudié (environ 40 m de coupe depuis la base de la coupe), l'abondance de la nannoflore est qualifiée généralement de faible à rare, sauf à 4 niveaux sur les 18 que comporte le tableau cité où elle est commune (C = 10 à 1 spécimen de nannofossiles dans un champ) (Reale et al., 1992; Tab. 3).

Le nombre de taxons de coccolithes par échantillon est le plus souvent compris entre 2 et 7, 6 niveaux (sur 18) ayant livré plus de 10 taxons (maximum 12 taxons dans 2 échantillons) mais, dans cette coupe encore, les taxons reconnus ne sont représentés que par un petit nombre d'exemplaires (R à F pour la plupart).

Nos observations au MEB sont validées par les analyses antérieures détaillées en microscopie optique des équipes italiennes. En effet, si ces dernières sont moins précises parfois du fait de la petite taille et de l'état de conservation varié des spécimens, elles se rapportent à une quantité de sédiment plus grande que celle qui est étudiée au MEB, tant en surface d'échantillon brut que par lavage et centrifugation. Malgré cela, la nannoflore décrite par les auteurs italiens n'est, de façon significative, ni plus variée, ni plus abondante que celle que nous rapportons.

2) Evénements biostratigraphiques fondés sur les nannofossiles calcaires.

Deux des trois coupes que nous avons échantillonnées ont fait antérieurement l'objet d'études détaillées de nannofossiles à des fins biostratigraphiques (cf., en particulier Reale et al., 1992). Nous avons donc positionné sur ces coupes (Fig. 2) certains événements biostratigraphiques retenus par l'équipe italienne et par nos observations. Les différences ne portent que sur deux taxons. Nous avons observé *Discorhabdus ignotus* plus bas, aussi bien dans la coupe de Sentino-Valdorbia que dans la coupe-type des Marnes de Monte Serrone. Sans doute cette différence provient-elle de divergences d'interprétation taxinomique dont la discussion sort du cadre du présent travail. Rappelons seulement qu'il s'agit d'un coccolithe de petite taille (3-5 μm), d'identification délicate en microscopie optique et montrant au MEB des variations morphologiques (Pl. 2, fig. 2, 4; Pl. 3, fig. 3, 4 à 5; Pl. 4, fig. 3 et 5) qui peuvent expliquer des attributions spécifiques variables suivant les auteurs.

L'autre différence concerne le niveau d'apparition des *Calyculus* ssp. Nous n'avons retenu cette espèce que lorsqu'elle se présentait de profil (par ex. Pl. 4, fig. 4), la vue distale étant moins distinctive, surtout en microscopie optique.

B) La réalité du contraste nannofloristique entre bancs calcaires et couches marneuses.

Une première question doit être envisagée. Comment s'expliquer que le contraste entre la composition nannofloristique des bancs calcaires et des couches marneuses, mis en évidence par les observations ci-dessus, n'ait pas été clairement perçu par les études de nos nombreux prédécesseurs ? Nous pensons que cela tient à la disjonction des méthodes d'investigation des différents spécialistes qui ont mené à bien ces études. Les pétrographes travaillant sur les calcaires en lames minces ont identifié des schizosphères, du moins lorsque l'altération diagénétique n'était pas trop poussée. Ils n'ont pu prendre conscience de l'absence ou de l'extrême rareté des coccolithes, de très petite taille dans ces temps liasiques. Enfin, ces pétrographes ne s'intéressant pas primordialement aux marnes n'ont pu prendre conscience de l'abondance des coccolithes et de la rareté relative des schizosphères dans ces dernières. La situation est symétriquement inverse pour les nannopaléontologistes qui, recherchant des nanno-

flores observables dans de bonnes conditions, exploitent dans la grande majorité des cas les interbancs marneux susceptibles d'être lavés. L'intérêt porté par eux aux couches calcaires est considérablement moindre et il n'est pas étonnant que le contraste ne leur soit pas apparu avec toute son importance. D'ailleurs, la présence de quelques fragments de schizosphères dans les marnes pouvait donner l'impression que l'on retrouvait là l'image fidèle de ce qui existait dans les calcaires.

Un problème plus ardu s'est posé à nous. Comme nous l'avons exposé ci-dessus (méthodes d'étude), les méthodes d'observation ont été différentes pour les bancs calcaires, examinés sur fractures de roches, et pour les couches marneuses où les inventaires ont été faits sur des résidus de centrifugation. Une telle différence peut toujours introduire un biais, par exemple avec le risque que l'une des deux méthodes entraîne une sélection faussant le pourcentage des deux grands composants nannofloristiques. Pour pallier ce danger, les examens de fractures fraîches de marnes ont été faits en grand nombre. Les photos ne sont pas spectaculaires car les nannofossiles restent empâtés, et les centrifugations sont à ce sujet considérablement plus démonstratives. Mais ces photos, comparables aux photos de calcaires, confirment ce qui avait été établi par les centrifugations, tant du point de vue de l'abondance et de la diversité des coccolithes que de la rareté des schizosphères.

C) Dans quelle mesure l'alternance est-elle un phénomène originel ou secondaire ?

a) Pour rendre compte de l'alternance marnes-calcaires, l'un des phénomènes les plus fréquemment invoqués dans la littérature est la resédimentation. Ici, ce mécanisme doit être examiné de façon préliminaire car les resédimentations et slumps massifs (cf. Cresta, Monechi et al., 1989, p. 122, fig 60) sont particulièrement fréquents. Ils s'expliquent d'ailleurs par la configuration et la structure de ces petits bassins résultant de blocs faillés où une inclinaison parfois forte sépare des zones hautes plus ou moins permanentes de zones plus profondes et plus subsidentes.

Le contraste des nannoflores calcaires, responsable au moins d'une bonne partie de la fraction calcaire, respectivement des bancs calcaires et des couches marneuses, nous semble éliminer les phénomènes de resédimentation à l'origine de cette alternance. Il ne paraît pas plausible en effet que de tels phénomènes, à partir de zones hautes ou de plates-formes marginales, aient pu trier aussi parfaitement les schizosphères et leurs débris d'une part et les coccolithes d'autre part. Seules des proliférations biologiques successives et différentes dans les mers liasiques semblent pouvoir en rendre compte.

b) Une autre interprétation particulièrement courante proposée pour les alternances marnes-calcaires consiste à supposer un apport régulier, stable, de carbonates, auquel s'ajouterait un apport fluctuant d'argiles détritiques. Le flux carbonaté serait une sorte de bruit de fond homogène et ces carbonates seraient rythmiquement dilués par ces flux argileux. Einsele (1982, fig. 4C) a particulièrement défendu cette interprétation pour des alternances marnes-calcaires de l'Oxfordien du sud-ouest de l'Allemagne. Sans mettre en cause le moins du monde l'interprétation de ces séries que

nous n'avons pas étudiées, nous devons dire qu'une interprétation de ce genre n'est pas applicable aux séries liasiques des Marches-Ombrie ici examinées.

En effet, si nous considérons qu'il y a eu effectivement des arrivées fluctuantes des phyllites argileuses détritiques dans le bassin, par contre, nous ne pensons pas qu'il y ait eu simple dilution d'apports carbonatés qui auraient été réguliers et homogènes. En fonction de la présence ou de l'absence de ces phyllites argileuses dans le milieu marin, il s'avère que les proliférations nannoplanctoniques ont été radicalement différentes et même contrastées. Il est même probable - mais nous ne pouvons pas le prouver - que des populations aussi différentes ont correspondu à des flux carbonatés et, par conséquent, à des taux de sédimentation très disparates.

c) Depuis que les explorations du domaine océanologique profond ont mis en évidence l'importance des dissolutions de calcaire qui prennent place sous la CCD, il est particulièrement courant de voir interpréter des contrastes de compositions nannofloristiques par des dissolutions différentielles. Une telle interprétation est particulièrement plausible quand on prend en considération deux provinces différentes ou deux secteurs différents d'un bassin. Ici, deux arguments nous semblent être incompatibles avec une telle interprétation. D'une part, la rythmicité des bancs calcaires et des couches marneuses ne s'accommode pas de différences bathymétriques sensibles pour chacune de ces lithologies; pas plus que de différences de profondeur de la CCD d'une couche à la suivante et indéfiniment répétées. D'autre part, les très nombreux clichés au MEB n'ont pas révélé d'altérations importantes, soit de coccolithes ou de schizosphères, soit de fragments des uns ou des autres, témoignant d'un tel phénomène qui se serait déroulé dans la tranche d'eau de fond.

d) Au cours de ces dernières décennies, l'interprétation la plus en faveur proposée pour les alternances calcaires-marnes est diagénétique: les interbancs marneux seraient des résidus de dissolution et les bancs des couches enrichies en calcaire au cours de la diagenèse. Bathurst (1975) a été l'un des promoteurs de cette interprétation, sur des cas que nous ne remettrons pas en cause d'ailleurs. De tels phénomènes de dissolution interstitielle, intrasédimentaire - et non plus dans la tranche d'eau - ont souvent été invoqués pour expliquer telle ou telle particularité nannofloristique. C'est ainsi que Bown (1986), remarquant déjà l'abondance de *S. punctulata*, en particulier dans l'Hettangien et le Sinémurien, suggère que cette espèce aurait été conservée aux dépens de coccolithes préexistants. Au coeur de notre sujet, Reale (1989), commentant la Formation Corniola de Valdorbja, note que la lithologie n'est pas favorable à une bonne conservation des nannofossiles.

Deux arguments au moins semblent en outre appuyer cette hypothèse. D'une part, on a dit que si les ammonites et les gastropodes étaient moins répandus à l'extérieur des bancs calcaires que dans les bancs calcaires, c'était parce que les coquilles en aragonite avaient été préférentiellement dissoutes dans les interbancs marneux. Il n'est pas exclu que de tels phénomènes aient eu leur réplique à l'échelle des nannofossiles calcaires. L'autre argument se trouve dans l'importance des cristallisations diagénétiques qui ont été signalées et décrites à l'intérieur des bancs de calcaires à schizo-

sphères, soit par des auteurs tels que Kälin & Bernoulli (1984) soit par nous-mêmes (Noël & Busson, 1990). Nous avons démontré qu'une partie importante de la masse des calcaires à schizosphères correspond à au moins deux générations de cristallisations diagénétiques que nous avons nommées cristaux organo-induits et cristaux de superstructure. Il serait donc soutenable que l'abondant matériel calcitique ainsi observé provienne, en partie au moins, de la dissolution de coccolithes. Dès lors, le contraste originel entre les populations de nannoplancton de ces vases calcaires et celles des couches marneuses aurait été moins fort qu'on ne l'observe actuellement.

Sans exclure totalement la possibilité de dissolution de coccolithes dans les calcaires, nous n'avons pas retenu cette possibilité comme étant susceptible de rendre compte du contraste observé et cela pour trois raisons.

Comme nous l'avons exposé antérieurement (Noël & Busson, 1990), les valves de schizosphères elles-mêmes actuellement disparues entre ces cristallisations diagénétiques ont dû fournir une bonne partie du matériel calcitique. En outre, les fragments de schizosphères ont toute chance d'avoir été les premiers attaqués et dissous et n'ont donc pas manqué de fournir un apport calcitique considérable.

L'observation dans les clichés au MEB de calcaires de quelques coccolithes au sein de cette masse calcitique développée sur les valves de schizosphères originelles n'incite pas à penser que ce sont les coccolithes qui ont été préférentiellement dissous pour rendre compte de l'apport en calcaire.

A supposer même que la dissolution des coccolithes dans les calcaires ait été plus importante que nous le pensons, il reste un élément indubitable du contraste: c'est la rareté des valves ou fragments de schizosphères dans les passées marneuses, en comparaison de leur abondance dans les bancs calcaires. Cette rareté relative est indiscutable et nous la pensons originelle: en effet, les quelques valves ou fragments observés dans les marnes s'avèrent moins diagénétisés qu'ils ne le sont dans les calcaires, l'évolution n'ayant pas dépassé le plus souvent le stade des cristaux organo-induits. Bref, il y a bien eu un contraste originel et profond entre la nature des formes de nannoplancton qui ont contribué à la fraction carbonatée des calcaires et à celle des marnes.

D) Alternances marnes-calcaires et contraste du nannoplancton calcaire.

Nous ne partageons pas l'opinion des auteurs (Bralower et al., 1989) qui font débiter le rôle constructeur lithogénétique du nannoplancton calcaire au Jurassique supérieur. A l'instar de Bown (1987), nous pensons que ce rôle a débuté dès la base du Lias (Noël & Busson, 1990; Busson & Noël, 1991; Noël et al., 1991). Or, il est remarquable que les deux groupes constructeurs fondamentaux du Lias, schizosphères et coccolithophoridées, se soient trouvés inféodés à des conditions environnementales différentes dans les coupes de Marches-Ombrie que nous avons étudiées. Dans cette province très carbonatée, depuis le Trias jusqu'au Cénozoïque, un rôle pilote essentiel a été joué par les arrivées d'argiles dans ces bassins, argiles d'importance secondaire dans le Lias inférieur et moyen et devenues majoritaires dans le Lias supérieur. Lors des phases marines, où l'argile était rare ou absente, les schizosphères étaient largement dominan-

tes et les coccolithes apparemment rares. Au contraire, à chacune des arrivées pulsatoires d'argiles, cette mer liasique voyait le développement de populations de coccolithophoridées diversifiées ou au moins relativement diversifiées. A ces époques, les schizosphères n'étaient pas absentes, mais largement minoritaires, numériquement et volumétriquement.

Notons une autre singularité d'importance fondamentale, également liée à ces conditions environnementales. Les coccolithophoridées, en effet, qui se développaient dans les phases de mer avec argiles, étaient non seulement diversifiées - à une époque donnée - mais encore évolutives. C'est évidemment pour cette raison que les apparitions et les disparitions notées sur les espèces successives de coccolithes peuvent avoir une valeur stratigraphique. Au contraire, il semble bien que, dans toutes les phases de mers "propres" (c'est-à-dire dépourvues ou à peu près dépourvues d'argiles), la population de schizosphères soit restée d'une stabilité remarquable: pendant les quelques 25 millions d'années de la période considérée, un seul taxon, *Schizosphaerella punctulata*, semble en effet avoir été présent et avoir assumé, par ses seuls blooms, un rôle constructeur considérable (Busson & Noël, 1991).

Au delà de ces observations, il est malheureusement difficile d'avancer des interprétations réellement étayées. Des auteurs comme Bown (1986) ou Crux (1987), se fondant sur la localisation particulière de certaines couches à schizosphères, ont présenté ces organismes pélagiques comme d'habitats très peu profonds, associés aux mers pelliculaires ayant inondé les plates-formes triasiques. Mais on a également noté, aussi bien en Marches-Ombrie que de façon plus générale (Busson & Noël, 1991), que les schizosphères étaient largement présentes au Lias dans les aires structurales et bathymétriques les plus diverses des bassins.

Un autre moyen d'approche consiste à comparer l'alternance marnes-calcaires étudiée ici avec d'autres types de sédimentation rythmique mettant en jeu du nannoplancton ou du microplancton. C'est ainsi que les bancs calcaires des alternances marnes-calcaires du Jurassique moyen-supérieur, sont fréquemment constitués de populations très peu diversifiées de coccolithes nains (Noël et al., 1991; Busson et al., 1993), même dans les milieux lagunaires (Busson et al., 1992; Noël et al., 1993 a et b). A priori, les passées marneuses où le nannoplancton se prête à une utilisation stratigraphique comportent des populations à la fois plus diversifiées et évolutives. Dans les alternances marnes-calcaires du Crétacé inférieur, de nombreux auteurs, par exemple Noël (1968) Darmedru et al. (1982) ont noté le contraste entre des couches marneuses à coccolithes et des couches calcaires surtout caractérisées par des *Nannoconus*, relativement moins diversifiés. Enfin, dans de nombreuses laminites, une alternance du même type lithologique, malgré des rythmes considérablement plus fins, se caractérise souvent également par des couches calcaires claires, oligo ou monospécifiques, s'opposant à des couches sombres beaucoup plus pluri-spécifiques (Busson & Noël, 1972; Noël et al., 1993 a et b). La relation entre ces phénomènes apparaît probable. Malheureusement, elle ne nous semble pas suffisante pour jeter plus de lumière sur leur interprétation.

Une interprétation climatique a souvent été proposée pour rendre compte des alternances calcaires-marnes, du moins quand ces alternances s'avèrent très régulièrement répétitives; ce qui n'est pas tellement le cas des alternances de Marches-Ombrie. Il est en effet difficile d'imaginer que d'autres processus, par exemple tectoniques, puissent avoir joué ainsi de façon rythmiquement et régulièrement répétée. Mais reconnaissons que la seule invocation d'une origine climatique ne fait guère avancer notre connaissance du phénomène. Comment ont joué ces modifications rythmiques du climat ? Sont-elles à l'origine d'un alluvionnement continental accru, responsable d'arrivées argileuses dans le bassin marin ? Ont-elles engendré rythmiquement les baisses de salinité des eaux du bassin ou simplement des eaux de surface ? Ont-elles été à l'origine d'un contraste répété dans les apports en nutriments ? Ont-elles été enfin en relation ou en coïncidence avec des variations du niveau des océans - certains auteurs allant jusqu'à invoquer un glacio-eustatisme au Mésozoïque - qui nous ferait glisser ainsi des interprétations climatiques aux mécanismes eustatiques dans toute leur richesse et toute leur complexité. Pour l'instant, nous restons dans une ignorance complète de ces mécanismes et, dans ces conditions, il nous paraît surprenant que tant d'auteurs considèrent le problème comme réglé quand ils ont démontré - par exemple grâce à la mise en évidence, plus ou moins assurée, d'une coïncidence temporelle avec les cycles de Milankovitch - la trace de pulsations climatiques dans ces alternances.

E) Les mécanismes de la diagenèse.

Dans la formation très calcaire de la Corniola, nous avons vu que les schizosphères ont été l'objet d'une diagenèse très poussée: disparition complète de la structure grillagée originelle, développement exubérant de cristaux organo-induits et de superstructures, cristallisations internes, etc. Au contraire, les quelques restes de schizosphères présents dans les marnes de la formation des Marnes de Monte Serrone apparaissent peu diagenétisés, arrêtés au maximum au stade des cristaux organo-induits. Les quelques bancs calcaires intercalés dans cette formation sont encore riches en schizosphères. Mais ces bancs, en général moins riches en calcaire que ceux de la Corniola et insérés dans un contexte général argileux, présentent des schizosphères moins profondément diagenétisées que dans la Formation Corniola. Il y a donc une relation indiscutable entre la pauvreté en argile dans la vase originelle et l'ampleur des cristallisations et cimentations diagénétiques.

Bréhéret (sous presse) a étudié des calcaires aptiens de la fosse vocontienne par la convergence de méthodes d'observation en microscopie optique, en microscopie électronique et d'analyses isotopiques. Il démontre que la cimentation calcitique précoce affectant - et enrichissant - certains bancs carbonatés est en relation avec l'évolution de la matière organique originelle. La dégradation microbienne de cette matière organique a libéré des ions HCO_3 qui ont, d'une part, accru l'alcalinité des solutions interstitielles et, d'autre part, ont été utilisables pour la synthèse de carbonates. Une telle lithification calcitique augmente le contraste originel entre les bancs calcaires et les inter-bancs marneux. Il nous paraît probable qu'un mécanisme de ce type doive être invo-

qué ici. Les vases calcaires, avec peu ou pas d'argile, ont dû être propices à cette dégradation précoce de la matière organique. Celle-ci a favorisé ces cristallisations diagénétiques très importantes et a encore enrichi en calcite les vases surtout faites de valves de schizosphères et de leurs débris. Notons à ce sujet que ces valves à structure grillagée devaient avoir une porosité originelle considérable (60 à 70% d'après Kälin & Bernoulli, 1984) et que leur accumulation devait présenter une sorte de texture "micro-skeletal", propice à une grande inhibition en eau et à des circulations faciles. En revanche, on sait que les vases argileuses sont plus propices à la fixation et à la conservation de la matière organique. Celle-ci se dégradant moins ou moins vite n'a pas autant favorisé les agradations calcitiques et a laissé les schizosphères présentes dans un état de diagenèse moins poussé. En somme, les couches argileuses représenteraient une sorte de jalon vers les black shales, caractérisés souvent par une excellente conservation de la matière organique. On sait que dans les black shales le nannoplancton se trouve en effet dans un état de conservation souvent admirable; c'est-à-dire qu'il a pratiquement échappé à toute action diagénétique.

A l'évidence, le mécanisme auquel nous venons de faire allusion n'est pas forcément le seul auquel on pourrait faire appel. En particulier, si les taux de sédimentation ont été contrastés d'une part dans le Lias inférieur et moyen, et, d'autre part, dans le Lias supérieur, les phénomènes diagénétiques ont pu s'en trouver plus ou moins favorisés. Malheureusement bien des facteurs empêchent d'évaluer ces taux de sédimentation respectifs avec une précision suffisante. Citons le calage stratigraphique insuffisant, l'existence de lacunes d'observation, l'importance difficile à apprécier des resédimentations en grandes masses dans l'épaisseur totale, etc.

Conclusions générales.

L'étude des alternances calcaires-marnes est un moyen d'approche privilégié pour mieux comprendre les mécanismes de la sédimentation, en particulier pélagique. A cet égard, le Lias nous a paru être une période intéressante. En effet, d'une part, ce système a fait l'objet de moins d'études que d'autres périodes telle que le Crétacé inférieur. D'autre part, ce système liasique est caractérisé par l'apparition et le foisonnement d'organismes nannoplanctoniques qui seront désormais les principaux contributeurs lithogénétiques précipitant le calcaire et fixant le CO₂. Le choix des bassins de Marches-Ombrie se justifie par la qualité des affleurements, l'existence d'une série assez complète et de lithologies très fraîches, ayant échappé à tout métamorphisme.

Les résultats de très nombreuses observations au MEB établissent que la fraction calcaire est en grande partie constituée des restes du nannoplancton et des cristallisations diagénétiques que ces restes ont induites. Mais ce nannoplancton apparaît fortement contrasté entre les bancs calcaires, où il est essentiellement constitué de schizosphères, et les couches marneuses, où sont surtout présents les coccolithes.

De tels contrastes de population plaident pour une différenciation originelle de vases calcaires et de vases plus marneuses. On ne peut retenir une hypothèse secondaire, diagénétique, mettant en jeu pour l'essentiel un enrichissement en calcaire des pre-

nières et un appauvrissement en calcaire des secondes par des mécanismes post-sédimentaires. Par ailleurs, ces différences de population ne semblent pouvoir être imputables ni à des phénomènes de resédimentation, ni à des dissolutions différentielles soit dans la tranche d'eau, soit dans le milieu interstitiel. Ce sont là les points que nous avons cherché à illustrer et à discuter de façon particulière. On aboutit alors à la conclusion d'une succession de phases environnementales marines contrastées: les unes avec argile dans lesquelles se développaient surtout les coccolithes; les autres avec peu ou pas d'argile dans lesquelles foisonnaient les schizosphères. Le milieu avec argile apparaît "le plus normal" puisque caractérisé par des populations de nannoplancton relativement diversifiées et évolutives. Au contraire, les bancs calcaires, correspondant aux mers plus "propres", remarquables par leurs populations nannoplanctoniques en grande partie monospécifiques, s'avèrent de caractérisation environnementale plus délicate. Hormis le phénomène fondamental, à savoir l'arrivée pulsatoire d'argiles dans les bassins, il faut reconnaître que nous ignorons les mécanismes qui ont présidé à ces modifications drastiques d'une partie du biota marin qui est essentiel, puisque à la base des chaînes alimentaires.

Par contre, un mécanisme hypothétique a pu être proposé pour rendre compte des cristallisations et cimentations diagénétiques développées de façon beaucoup plus intense dans les vases calcaires que dans les vases plus marneuses. A l'évidence, l'étude devrait être complétée par un inventaire aussi complet et aussi minutieux que possible du contenu faunistique et floristique de ces alternances, en particulier du benthos. Mais de telles études sont rendues difficiles et incertaines, à la fois par des conditions de préservation différentes dans les calcaires et dans les marnes ainsi que par des possibilités de prélèvements et par des méthodes d'études (par exemple lames minces *versus* lavage) également différentes. C'est pourtant la convergence des données qui permettra de mieux comprendre les modifications répétitives qui ont affecté le milieu de sédimentation, au point d'aboutir à des couches successives aussi profondément différentes.

Remerciements.

Cette étude a été financée par des crédits du CNRS (URA 12 et SDI 189), du Muséum National d'Histoire Naturelle (BQR 91 n° 7, 92 n° 15 et 93 n° 12) et de Naturalia et Biologia.

Les matériaux étudiés proviennent d'une mission de terrain qui a été grandement facilitée par l'aide de Fabrizio Cecca, du Service Géologique d'Italie, de Guido Parisi et Angela Baldanza, de l'Université de Pérouse. Leur présence lors de la reconnaissance des coupes, en particulier de Sentino-Valdorbia et de Monte Serrone, nous a aidés à situer nos échantillons sur les logs des équipes italiennes.

L'instrument d'investigation fondamental a été le MEB du laboratoire de Géologie du Muséum, P. Clément et M. Tamby en assurant la maintenance. Les lames minces ont été réalisées par M. Lemoine, à l'Institut de Paléontologie du Muséum (URA 12). Les calcimétries ont été faites par A.M. Brunet. N. Day a participé aux recherches documentaires et à la mise au point de la bibliographie. M. Destarac a assuré tous les travaux photographiques liés aux observations au MEB et à la réalisation des planches. E. Cambreleng a réalisé les figures et tableaux. S. Guillon et M. Pallas ont assuré la dactylographie et la saisie du texte en ordinateur. A toutes les étapes de ce travail, A. Roure -vacataire- nous a été d'une aide efficace.

J. Sorant et M.C. Laurent ont effectué de très nombreuses lectures pour l'un de nous atteint de cécité. A tous nous disons merci.

Nous tenons également à remercier K. Von Salis-Perch Nielsen et E. Erba qui ont été les rapporteurs de cette note. Leurs remarques et leurs commentaires nous ont été très utiles pour la mise en forme définitive du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- Alméras Y., Elmi S., Mouterde R., Ruget C. & Rocha R. (1988) - Evolution paléogéographique du Toarcien et influence sur les peuplements. *2nd Intern. Symp. Jurassic Stratigraphy*, pp. 687-698, Lisboa.
- Baldanza A. (1989) - La sezione tipo delle marne di Monte Serrone - Analisi stratigrafica delle associazioni ad ammoniti, nannofossili calcarei e foraminiferi. In Cresta S., Monechi S. & Parisi G. (Eds.) - Stratigrafia del Mesozoico e Cenozoico nell' Area Umbro-Marchigiana. Itinerari geologici sull' Appennino Umbro-Marchigiano (Italia). *Mem. Carta Geol. Ital.*, v. 39, pp. 165-172, Roma.
- Baldanza A., Cresta S. & Pallini G. (1988) - Palaeoenvironmental Analysis from Lias to Malm (Corniola to Maiolica Formations) in the Umbria - Marche Basin, Central Italy (Preliminary Report). *2nd Intern. Symp. Jurassic Stratigraphy*, pp. 717-728, Lisboa.
- Bathurst R.G.C. (1975) - Carbonate Sediments and their Diagenesis. *Dev. in Sediment.*, v. 12, 658 pp., Elsevier, Amsterdam.
- Baumgartner P. O. (1984) - A Middle Jurassic Early Cretaceous low-latitude radiolarian zonation based on Unitary Associations and age of Tethyan radiolarites. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 77, n. 3, pp. 729-837, Basel.
- Baumgartner P. O. (1987) - Age and genesis of Jurassic radiolarites. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 80, n. 3, pp. 831-879, Basel.
- Beaudoin B. & Pinault M. (1992) - Taux de compaction témoins des transferts de carbonate dans les sédiments jurassiques du sondage de Sancerre-Couy. *Bull. Soc. Géol. France*, v. 163, n. 4, pp. 477-482, Paris.
- Bernoulli D. (1967) - Probleme der Sedimentation im Jura Westgriechenlands und des zentralen Apennin. *Naturf. Gesell. Basel Verb.*, v. 78, pp. 35-54, Basel.
- Bernoulli D. & Renz O. (1970) - Jurassic Carbonate Facies and New Ammonite Faunas from Western Greece. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 63, n. 2, pp. 573-607, Basel.
- Bown P. (1986) - The biostratigraphy, evolution and distribution of early mesozoic calcareous nannofossils. Unpublished Ph. D. University College London, 476 pp., London.
- Bown P. (1987) - Taxonomy, biostratigraphy and evolution of late Triassic-early Jurassic calcareous nannofossils. *Spec. Pap. Paleont.*, v. 38, 118 pp., Oxford.
- Bown P. R., Burnett J.A. & Gallagher L. T. (1992) - Calcareous nannoplankton evolution. *Mem. Sc. Geol.*, v. 38, pp. 1-17, Padova.
- Bralower T. J., Monechi S. & Thierstein H. R. (1989) - Calcareous nannofossil zonation of the Jurassic-Cretaceous boundary interval and correlation with the Geomagnetic polarity time scale. *Marine Micropaleont.*, v. 14, pp. 153-235, Amsterdam.
- Bréhéret J.-G. (sous presse) - L'empreinte de la diagenèse précoce sur les p riodites à dominante calcaire dans les marnes bleues de l'Aptien-Albien du domaine vocontien (bassin du Sud-Est de la France). *Soc. Géol. France*, Paris.
- Busson G. & Noël D. (1972) - Sur la constitution et la génèse de divers sédiments finement feuilletés ("laminites"),   alternances de calcaire et de matière organique ou argileuse. *C.R. Acad. Sc. Paris, D*, v. 274, pp. 3172-3175, Paris.
- Busson G. & Noël D. (1991) - Les calcaires fins pélagiques des temps liasiques sont primordialement faits d'une seule espèce du nannophytoplancton calcaire: la schizosphère *S. punctulata*. *C.R. Acad. Sc. Paris*, s. 2, v. 313, pp. 795-800, Paris.

- Busson G., Noël D., Contini D., Mangin A.M., Cornée A. & Hantzpergue P. (1993) - Omniprésence de coccolithes dans les calcaires lagunaires du Jurassique moyen et supérieur de France. *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine*, v. 17, n. 1, pp. 291-301, Pau.
- Busson G., Noël D. & Cornée A. (1992) - Les coccolithes en "boutons de manchette" et la genèse des calcaires lithographiques du Jurassique supérieur. *Rev. Paléobiol.*, v. 11, n. 1, pp. 255-271, Genève.
- Cecca F., Cresta S., Pallini G. & Santantonio M. (1987) - Le Lotharingien-Carixien de Gorgo a Cerbara (M. Nerone, Apennin des Marches): un exemple de passage d'un milieu de plate-forme carbonatée à un milieu pélagique. C.I.E.L., Actes II Coll. Int. Lias. *Cab. Inst. Catho. Lyon*, v. 1, pp. 57-66, Lyon.
- Cecca F., Cresta S., Pallini G. & Santantonio M. (1990) - Il Giurassico di Monte Nerone (Appennino Marchigiano, Italia centrale): biostratigrafia, litostratigrafia ed evoluzione paleogeografica. In Pallini G., Cecca F., Cresta S. & Santantonio M. (Eds.) - Atti II° Convegno Internazionale "Fossili, Evoluzione, Ambiente", Pergola 1987, pp. 63-139.
- Cecca F., Dommergues J. L., Mouterde R. & Pallini G. (1987) - Ammonites mésogéennes du Lotharingien de Gorgo a Cerbara (M. Nerone, Apennin des Marches). C.I.E.L., Actes II Coll. Int. Lias. *Cab. Inst. Catho. Lyon*, v. 1, pp. 67-82, Lyon.
- Centamore E., Chiocchini M., Deiana G., Micarelli A. & Pieruccini V. (1969) - Considerazioni preliminari su alcune serie mesozoiche dell' Appennino umbro-marchigiano. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, v. 8, n. 3, pp. 237-263, Roma.
- Centamore E., Chiocchini M., Deiana G., Micarelli A. & Pieruccini V. (1971) - Contributo alla conoscenza del Giurassico dell' Appennino umbro-marchigiano. *Studi Geol. Camerti*, v. 1, pp. 1-89, Camerino.
- Channell J.E.T. & Grandesso P. (1987) - A revised correlation of Mesozoic polarity chrons and Calpionellid zones. *Earth Planet. Sc. Letters*, v. 85, pp. 222-240, Amsterdam.
- Colacicchi R., Passeri L. & Piali G. (1970) - Nuovi dati sul Giurese Umbro-Marchigiano ed ipotesi per un suo inquadramento regionale. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, v. 9, pp. 839-874, Roma.
- Cresta S. (1989) - Stratigrafia del Triassico-Giurassico. In Cresta S., Monechi S. & Parisi G. (Eds.) - Stratigrafia del Mesozoico e Cenozoico nell' Area Umbro-Marchigiana. Itinerari geologici sull' Appennino Umbro-Marchigiano (Italia). *Mem. Carta Geol. Ital.*, v. 39, pp. 14-22, Roma.
- Cresta S., Cecca F., Santantonio M., Pallini G., Brönnimann P., Baldanza A., Colacicchi R., Monaco P., Nocchi M., Parisi G. & Venturi F. (1988) - Stratigraphic correlations in the Jurassic of the Umbria-Marche Apennines (Central Italy). *2nd Intern. Symp. Jurassic Stratigraphy*, pp. 729-744, Lisboa.
- Cresta S., Monechi S. & Parisi G. (1989) - Stratigrafia del Mesozoico e Cenozoico nell' Area Umbro-Marchigiana. Itinerari geologici sull' Appennino Umbro-Marchigiano (Italia). *Mem. Carta Geol. Ital.*, v. 39, 182 pp., Roma.
- Cresta S., Pallini G. & Venturi F. (1989) - Jurassic ammonite assemblages in the Valdorbiana section. In Cresta S., Monechi S. & Parisi G. (Eds.) - *Mem. Carta Geol. Ital.*, v. 39, pp. 89-94, Roma.
- Crux J. A. (1987) - Early Jurassic calcareous nannofossil biostratigraphic events. *Newsl. Stratigr.*, v. 17, pp. 79-100, Stuttgart, Berlin.
- Darmedru C., Cotillon P. & Rio M. (1982) - Rythmes climatiques et biologiques en milieu marin pélagique. Leurs relations dans les dépôts crétacés alternants du bassin vocontien (Sud-Est de la France). *Bull. Soc. Géol. France*, s. 7, v. 24, n. 3, pp. 627-640, Paris.

- Dommergues J. L., Ferretti A., Geczy B. & Mousterde R. (1983) - Eléments de corrélation entre faune d'Ammonites mésogéennes (Hongrie, Italie) et subboréales (France, Portugal) au Carixien et au Domérien inférieur. Précision sur la limite Carixien-Domérien en Mésogée. *Géobios*, v. 16, n. 4, pp. 471-499, Lyon.
- Donovan D. T. (1958) - The Ammonites zones of the Toarcian (Ammonitico Rosso facies) of Southern Switzerland and Italy. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 51, n.1, pp. 33-60, Basel.
- Einsele G. (1982) - Limestone-marl cycles (Periodites): diagnosis, significance, cause. A review. In Einsele G. & Seilacher A. (Eds.) - Cyclic and event stratification, pp. 8-53, Springer Verlag, Berlin.
- Elmi S. (1981) - Sédimentation rythmique et organisation séquentielle dans les Ammonitico Rosso et les faciès associés du Jurassique de la Méditerranée Occidentale. Interprétation des grumeaux et des nodules. In Farinacci A. & Elmi S. (Eds.) - *Rosso Ammonitico Symp. Proceed.*, pp. 251-289, Roma.
- Erba E. (1986) - I nannofossili Calcarei nell' Aptiano-Albiano (Cretacico inferiore); biostratigrafia, paleoceanografia e diagenesi degli Scisti a Fucoidi del pozzo Piobbico (Marche). Unpublished Thesis Univ. Milano, 314 pp., Milano.
- Erba E. (1987) - Mid-Cretaceous Cyclic pelagic facies from the Umbrian-Marchean Basin: What do calcareous nannofossils suggest? *INA Newsl.*, v. 9, pp. 52-53, Utrecht.
- Erba E. (1992) - Middle Cretaceous calcareous nannofossils from the Western Pacific (ODP Leg 129): Evidence for paleoequatorial crossings. In Larson R. L., Lancelot Y. et al. (Eds.) - *Init. Repts D.S.D.P.*, v. 129, Washington D. C. (U. S. Govt Printing Office), pp. 189-201, Washington.
- Erba E., Castradori D., Guasti G. & Ripepe M. (1992) - Calcareous nannofossils and Milankovitch cycles; the example of the Albian Gault Clay Formation (southern England). *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, v. 93, pp. 47-69, Amsterdam.
- Erba E., Cobianchi M. & Pirini Radrizzani C. (1989) - Jurassic nannobiostratigraphy: a synthesis of the Lombardy Basin (Southern calcareous Alps). *INA Newsl.*, v. 11, p. 56, London.
- Farinacci A., Mariotti N., Nicosia U., Pallini G. & Schiavinotto F. (1981) - Jurassic Sediments in the Umbro-marchean Apennines: an alternative model. In Farinacci A. & Elmi S. (Eds.) - *Rosso Ammonitico Symp. Proceed.*, pp. 335-398, Roma.
- Ferretti A. (1970) - Il limite Domeriano-Toarciano nei gruppi montuosi del Nerone e del Catria (Appennino marchigiano). *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, v. 76, n. 3, pp. 445-462, Milano.
- Ferretti A. (1972) - Ricerche biostratigrafiche sul Domeriano del gruppo montuoso del Nerone (Appennino marchigiano). *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, v. 78, n. 1, pp. 93-130, Milano.
- Ferretti A. (1975) - Ricerche biostratigrafiche sul Sinemuriano-Pliensbachiano nella gola del F. Bosso (Appennino marchigiano). *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, v. 81, n. 2, pp. 161-194, Milano.
- Jenkyns H. C. (1985) - The Early Toarcian and Cenomanian-Turonian anoxic events in Europe: comparison and contrasts. *Geol. Rundschau*, v. 74, n. 3, pp. 505-518, Stuttgart.
- Jenkyns H. C. (1988) - The Early Toarcian (Jurassic) anoxic event: Stratigraphic, sedimentary and geochemical evidence. *Amer. Journ. Sc.*, v. 288, pp. 101-151, New Haven.
- Jenkyns H. C. & Clayton C. I. (1986) - Black shales and Carbon Isotopes in pelagic Sediments from the Tethyan Lower Jurassic. *Sedimentology*, v. 33, pp. 87-106, Oxford, London, Edinburgh.
- Kälin O. (1980) - *Schizosphaerella punctulata* Deflandre et Dangeard: Wall ultrastructure and preservation in deeper water carbonate sediments of the Tethyan Jurassic. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 73, n. 3, pp. 983-1008, Basel.

- Kälin O. & Bernoulli D. (1984) - *Schizosphaerella* Deflandre and Dangeard in Jurassic deep water carbonate Sediments, Mazagan continental margin (hole 547 B) and Mesozoic Tethys. *Init. Repts D.S.D.P.*, v. 79, Washington D. C. (U.S. Govt Printing Office), pp. 411-435, Washington.
- Kälin O. & Trümpy D. M. (1977) - Sedimentation und Paläotektonik in den westlichen Südalpen: Zur triasisch-jurassischen Geschichte des Monte Nudo-Beckens. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 70, n. 2, pp. 295-350, Basel.
- Kälin O. & Ureta M. S. (1988) - El Lias superior y el Dogger inferior en Gorgo a Cerbara (Appennino central): aspectos biostratigraficos y sedimentologicos. *Estudios Geol.*, v. 43, n. 5-6, pp. 489-511, Madrid.
- Monechi S. & Reale V. (1987) - Early-middle Jurassic calcareous nannofossils at the Valdorbica section (Central Apennines, Italy). *INA Newsl.*, v. 9, n. 2, p. 59, London.
- Noël D. (1968) - Nature et genèse des alternances de marnes et de calcaires du Barrémien supérieur d'Angles (Fosse vocontienne, Basses Alpes). *C. R. Acad. Sc. Paris, D*, v. 266, pp. 1223-1225, Paris.
- Noël D. & Busson G. (1990) - L'importance des schizosphères, stomiosphères, *Conusphaera* et *Nannoconus* dans la genèse des calcaires fins pélagiques du Jurassique et du Crétacé inférieur. *Sc. Géol., Bull.*, v. 43, n. 1, pp. 63-93, Strasbourg.
- Noël D., Busson G. & Cornée A. (1991) - Les calcaires fins pélagiques du Jurassique moyen sont essentiellement construits d'une nannoflore calcaire oligospécifique (coccolithes en "bouillons de manchette"). *C. R. Acad. Sc. Paris, s. 2*, v. 313, pp. 1455-1462, Paris.
- Noël D. Busson G. & Cornée A. (1993 a) - Importance et signification des coccolithophoridées dans des dépôts lagunaires de l'Oligocène inférieur (Stampien-Rupélien) de France. *Rev. Micropaléont.*, v. 36, n. 1, pp. 29-43, Paris.
- Noël D., Busson G., Cornée A. & Mangin A. M. (1993 b) - Les coccolithophoridées fossiles ne peuvent plus être considérées comme caractéristiques du seul environnement pélagique. *Bull. Soc. Géol. France*, v. 164, n. 3, pp. 493-502, Paris.
- Pallini G. (1986) - Atti del I convegno "Fossili, Evoluzione, Ambiente". La Stamperia Belli, pp. 1-135, Pesaro.
- Pialli G. (1969) - Un episodio marnoso del Lias superiore nel bacino umbro-marchigiano: le Marne di M. Serrone. *Boll. Soc. Nat. Napoli*, v. 78, pp. 1-23, Napoli.
- Premoli Silva I., Erba E. & Tornaghi M. E. (1989) - Paleoenvironmental signals and changes in surface fertility in Mid Cretaceous Corg-rich pelagic facies of the Fucoïd Marls (Central Italy). *Géobios*, v. 11, pp. 225-236, Lyon.
- Prins B. (1969) - Evolution and stratigraphy of coccolithinids from the Lower and Middle Lias. In Brönnimann P. & Renz H.H. (Eds.) - *Proceed. Ist Intern. Conf. Plankt. Microf.*, v. 2, pp. 547-558, Leiden.
- Reale V. (1988) - Biostratigrafia a nannofossili calcarei, biogeografia e paleogeografia. Unpubl. Thesis Univ. di Firenze, 98 pp., Firenze.
- Reale V. (1989) - Nannofossili calcarei e Foraminiferi nella sezione giurassica di Valdorbica. In Cresta S., Monechi S. & Parisi G. (Eds.) - *Stratigrafia del Mesozoico e Cenozoico nell'Area Umbro-Marchigiana. Itinerari geologici sull'Appennino Umbro-Marchigiano (Italia)*. *Mem. Carta Geol. Ital.*, v. 39, pp. 80-88, Roma.
- Reale V., Baldanza A. & Cresta S. (1989) - From Scheggia to Sassoferrato. In Cresta S., Monechi S. & Parisi G. (Eds.) - *Mem. Carta Geol. Ital.*, v. 39, pp. 74-79, Roma.
- Reale V., Baldanza A., Monechi S. & Mattioli E. (1992) - Calcareous nannofossil biostratigraphic events from the early-middle Jurassic sequences of the Umbria-Marche area (Central Italy). *Mem. Sc. Geol.*, v. 43, pp. 41-75, Padova.

- Ricken W. (1986) - Diagenetic bedding. A model for marl-limestone alternations. *Lect. Notes in Earth Sciences*, v. 6, 210 pp., Springer Verlag, Berlin.
- Roth P. H. (1987) - Mesozoic calcareous nannofossil evolution: relation to paleoceanographic events. *Paleoceanogr.*, v. 2, n. 6, pp. 601-611, Washington.
- Venturi F. (1978) - Ammoniti della Corniola del Monte Catria (Appennino marchigiano). Un orizzonte fossilifero attribuibile all' intervallo Lotharingiano sup.-Carixiano inf. *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, v. 17, n. 1, pp. 98-117, Modena.
- Venturi F. (1981) - *Hammatoceratinae* Buckman 1887, nel Toarciano medio "Rosso Ammonitico" umbro-marchigiano. Proposta di istituire *Praeryciter* sottogenere nuovo di *Erycites* Gemellaro 1886. *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, v. 20, n. 1, pp. 81-92, Modena.

Received July 16, 1993; accepted October 28, 1993

PLANCHE 1

- Fig 1, 2 - Couplet calcaires/marnes vu au MEB. Coupe du Bosso - Corniola - Sinémurien (Ech. Bos 81-81 bis).
- 1) Calcaire: restes de schizosphères se présentant en amas de cristaux organo-induits, dans un ciment à tendance sparitique; «—» = 10 μ m. 2) Marne, après lavage et centrifugation. Parmi des particules détritiques mal classées, au centre un *Mitrolithus jansae* (Wiegand) Bown & Young 1986; «—» = 5 μ m.
- Fig 3, 4 - Couplet calcaires/marnes vu au MEB. Coupe du Bosso - Corniola - Domérien (Ech. Bos 90-90 bis).
- 3) Marne, après lavage et centrifugation: 4 coccolithes distinguables:
A) vu de profil, vraisemblablement un *Discorhabdus* (forme circulaire, à deux disques étroitement accolés); B) *Tubirhabdus patulus* Prins ex Rood et al., 1973; C) coccolithes d'attribution incertaine. On observe que ce champ comporte au moins 3 taxons différents de coccolithes; «—» = 5 μ m.
4) Surface du calcaire avec des restes de schizosphères sous forme d'amas de cristaux organo-induits; «—» = 10 μ m.
- Fig 5 - Lame mince dans un calcaire. Coupe du Bosso - Corniola - Carixien (Ech. Bos 84). Schizosphères (flèches) en section, avec des cristaux de superstructure; «—» = 50 μ m.
- Fig 6 - Calcaire vu au MEB. Coupe du Bosso - Corniola - Domérien (Ech. Bos 91). Restes de schizosphères sous forme d'amas de cristaux organo-induits; «—» = 10 μ m.

PLANCHE 2

- Fig 1 - Surface d'un calcaire vu au MEB. Coupe du Bosso - Corniola - Domérien (Ech. Bos 92). On distingue un morceau de valve de schizosphère avec sa couronne de cristaux de superstructure (partie gauche du cliché) et de nombreux cristaux organo-induits sur le reste du cliché; «—» = 10 μ m.
- Fig 2 - Marne lavée et centrifugée. Coupe de Monte Serrone - Sommet de la Corniola - Toarcien (Ech. Ser 27 bis). Au centre du cliché, un *Discorhabdus*; «—» = 5 μ m.
- Fig 3,4,5- Couplet calcaires/marnes. Coupe de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 28 et 28 bis).
- 3) Surface du calcaire vu au MEB. On note l'abondance des schizosphères, jointives, avec les deux générations de cristaux diagénétiques (cristaux organo-induits et cristaux de superstructure); «—» = 10 μ m.

4) Dans la marne accouplée, un *Discorhabdus* aff. *ignotus* montrant le nourrissage de certains des éléments constitutifs; «—» 1 μm .

5) Le même calcaire étudié en lame mince. Au centre un peu à gauche, une schizosphère avec ses deux valves en connection, soulignées par la couronne de cristaux de superstructure; «—» = 100 μm .

Fig 6 - Marne lavée et centrifugée. Coupe de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 30 bis). Deux fragments de schizosphères dont les valves sont au stade diagenétique des cristaux organo-induits. On note le revêtement interne d'une de ces portions de valves. La structure amorphe de ce revêtement évoque une couche de matière organique; «—» = 5 μm .

PLANCHE 3

Fig 1, 2 - Couplet calcaires/marnes. Coupe-type de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 30 et Ser 30 bis).

1) Marne lavée et centrifugée. Plusieurs exemplaires de *Carinolithus superbus* (Deflandre 1954) Prins 1974 qui constituent l'élément dominant de la nannoflore de ces niveaux. En haut, à droite *Discorhabdus* sp.; au centre un coccolithe non déterminé avec une embase plate, faite de cristaux en disposition radiaire et une hampe, de même largeur que l'embase et faite de minuscules cristaux isométriques. On note aussi quelques fragments de schizosphères; «—» = 10 μm .

2) Calcaire vu au MEB, pétri de schizosphères; «—» = 10 μm .

Fig 3, 4 - Marne lavée et centrifugée. Coupe-type de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 32 bis).

3 A) *Discorhabdus ignotus* (Gorka 1954) Perch Nielsen 1968; B) *Biscutum* sp.

4) Dans le même champ s'observent plusieurs *Discorhabdus ignotus* dont on peut noter les différences de taille. Comparer les tailles de la face distale (A), proximales (B), vue de profil (C); «—» = 10 μm .

Fig 5 - Marne lavée et centrifugée. Coupe-type de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 33 bis). Dans un même champ: A) *Lotharingius* sp.; B) *Biscutum dubium*; C) *Discorhabdus* sp.; D) fragment de *Calyculus* sp.; ce qui montre la relative diversité de ces marnes; «—» = 10 μm .

PLANCHE 4

Fig 1, 2 - Observations au MEB sur le calcaire accouplé à la marne illustrée Pl. 3, fig 5. Coupe-type de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 33); «—» = 10 μm .

1) Schizosphère faiblement diagenétisée dont on distingue encore la gouttière d'emboîtement (flèche) autour du bord de la valve. On devine par endroit la structure grillagée de la valve.

2) Tapissage de cristaux organo-induits de schizosphères et fragments de valves peu diagenétisés.

Fig 3, 5 - Marne lavée et centrifugée. Coupe-type de Monte Serrone - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 34 bis); «—» = 10 μm .

Ces deux clichés montrent l'abondance de la nannoflore et son bon état de conservation. On reconnaît en particulier: A) *Discorhabdus ignotus*; B) *Biscutum* sp.; C) *Crepidolithus* sp.; D) fragments de schizosphères, peu diagenétisés.

Fig 4 - Marne lavée et centrifugée. Coupe Sentino - Valdorbia - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 60 bis). *Calyculus* sp. en section transversale; fragments de schizosphères peu diagenétisés; «—» = 10 μm .

Fig. 6 - Calcaire. Coupe Sentino - Valdorbia - Formation des Marnes de Monte Serrone - Toarcien (Ech. Ser 70). Schizosphères peu diagenétisées; sur l'exemplaire en haut à gauche, on observe des vestiges de la structure originelle des valves. Une diagenèse peu poussée des schizosphères caractérise les bancs calcaires intercalés dans la série à dominante marneuse de la formation des Marnes de Monte Serrone; «—» = 10 μm .

