

# LA SÉDIMENTATION CYCLIQUE MARNE-CALCAIRE DANS LE TOARCIE DU BASSIN LUSITANIEN (PORTUGAL CENTRAL)

LUIS V. DUARTE

DUARTE L.V. 1994. La sédimentation cyclique marne-calcaire dans le Toarcien du Bassin Lusitanien (Portugal central). [Marl-limestone cyclic sedimentation from the Toarcian of Lusitanian Basin (Central Portugal)]. *GEO-BIOS*, M.S. 17 : 663-669.

## RÉSUMÉ

Dans le secteur nord du Bassin lusitanien, les sédiments toarciens montrent une alternance marne-calcaire monotone et une organisation en séquences de diverses échelles, dont les calcaires occupent le sommet. La cyclicité de ces unités marne-calcaire est l'objet de discussions, compte-tenu de l'absence d'une échelle de temps fiable et du problème de la signification génétique des couples élémentaires marne-calcaire (séquences élémentaires). Cette étude est basée sur quelques traitements mathématiques communément utilisés dans l'analyse de séquences temporelles : l'autocorrélation et l'analyse spectrale des pourcentages de calcaire déterminés selon des intervalles régulièrement espacés ; l'analyse spectrale de l'épaisseur et du pourcentage de calcaire par couple marne-calcaire. Les résultats de l'autocorrélation confirment, mathématiquement, la cyclicité de la sédimentation, ainsi bien que l'analyse séquentielle préalablement effectuée. L'analyse spectrale montre quelques périodicités dont les fréquences pourraient correspondre à celles des cycles orbitaux de Milankovitch.

**MOTS CLÉS :** TOARCIE, BASSIN LUSITANIEN, ANALYSE SÉQUENTIELLE, CYCLES MARNE-CALCAIRE, ANALYSE SPECTRALE, AUTOCORRÉLATION.

## ABSTRACT

In the northern sector of the Lusitanian Basin, the toarcian sediments show a monotonous marl-limestone alternation with a sequential organization that, in different scales, ends by limestone's lithofacies. The cyclicity of this marl-limestone units is discussed regarding limitations due to the absence of a faithful time scale, and the problem of the genetic signification of elementary marl-limestone couplets (elementary sequences). Different mathematical methods usually employed in time series analysis were used in this study : autocorrelation and spectral analysis of the limestone percentage by intervals regularly placed : spectral analysis of thickness and limestone percentage by marl-limestone couplet. The results of the autocorrelation analysis mathematically confirm the cyclicity of the sedimentation as well as the sequential analysis previously done. The spectral analysis shows some periodicities whose frequencies may correspond to the Milankovitch orbital cycles.

**KEY WORDS :** TOARCIAN, LUSITANIAN BASIN, SEQUENTIAL ANALYSIS, MARL-LIMESTONE CYCLES, SPECTRAL ANALYSIS, AUTOCORRELATION.

## INTRODUCTION

Lors d'une première analyse des sédiments carbonatés du Toarcien dans la région de Rabaçal (secteur nord du Bassin lusitanien), il a été montré (Duarte 1990) que la rythmicité d'une succession alternante marne-calcaire constitue une donnée géologique importante. Compte-tenu des caractères sédimentologiques de ces unités, ce fait a dès lors suscité un intérêt accru, dans la perspective de quantifier le phénomène cyclique, apparemment défini sur le terrain, par une structure assymétrique marne-calcaire. Sans écarter

l'hypothèse de l'action de la diagenèse dans la ségrégation du carbonate (celle-ci étant responsable de l'aspect noduleux de quelques lithofaciès), toutes les données sédimentologiques semblent indiquer que la cyclicité a une origine primaire.

## LITHOSTRATIGRAPHIE ET SÉDIMENTOLOGIE

La série lithologique étudiée se situe dans le sous-domaine septentrional du Bassin lusitanien; elle correspond à la mégaséquence E de Soares

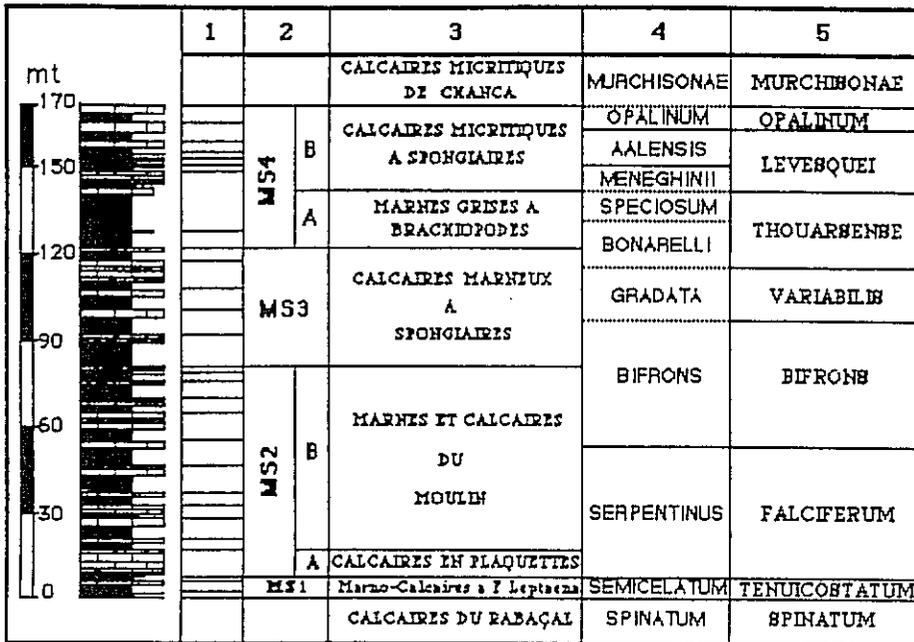


Figure 1 - Organisation séquentielle synthétique des sédiments marno-calcaires du Toarcien-Aalénien inférieur dans la région de Rabaçal (secteur nord du Bassin lusitanien ; in Duarte 1990). 1, limites des macroséquences ; 2, mésoséquences ; 3, Unités lithostratigraphiques ; 4, Cadre biostratigraphique (Elmi *et al.* 1989) ; 5, Cadre biostratigraphique standard pour le domaine téthysien (in Kent & Gradstein 1985). *Synthetic sequential organization of the marl-limestone sediments from the Toarcian-Lower Aalenian of Rabaçal (Northern sector of the Lusitanian Basin ; in Duarte 1990). 1, Macrosequences boundaries ; 2, Mesosequences ; 3, Lithostratigraphic units ; 4, Biostratigraphic zonation (Elmi *et al.* 1989) ; 5, Ammonites standard zonation (in Kent & Gradstein 1985).*

*et al.* (1988) d'âge Toarcien-Aalénien inférieur. L'étude sédimentologique, effectuée dans la région de Rabaçal, au sud de Coimbra (Duarte 1990), montre la présence de quatre séquences (mésoséquences) totalisant environ 170 mètres d'épaisseur (Fig. 1). Ces unités correspondent à une partie des formations "Marnes et Calcaires Marneux de Pedrulha" (région de Coimbra ; Soares *et al.* 1985) et "Marnes et Calcaires Marneux de Cantanhede" (région de Cantanhede ; Barbosa *et al.* 1988).

A l'exception des *Calcaires en Plaquettes* (MS2A), présents dans les dépôts toarciens (Fig. 1), toutes les autres unités mésoséquentielles sont constituées par des séquences élémentaires (ou de premier ordre) du type marne-calcaire ; celles-ci se différencient par des caractères texturaux, tel que le degré de bioturbation et de lamination, et se groupent en macroséquences (ou séquences de deuxième ordre) asymétriques dont l'organisation est similaire à celle des séquences élémentaires (Fig. 1). Cet agencement, ainsi que d'autres arguments sédimentologiques, suggèrent que cette série s'est déposée sur une rampe carbonatée distale à faible pente (in Duarte 1990).

## LES TRAITEMENTS MATHÉMATIQUES

Certaines techniques mathématiques se révèlent d'une grande efficacité dans la reconnaissance et la quantification des cycles sédimentaires. Tandis que l'autocorrélation satisfait le premier objectif, l'analyse spectrale est couramment utilisée pour

le deuxième ; tous les deux consistent en l'analyse de données ordonnées sur une succession temporelle périodique (Davis 1973, 1986 ; Schwarzacher 1975).

Dans l'étude ici développée, nous analyserons la fluctuation de l'épaisseur des lithotypes calcaires, en faisant abstraction des unités MS1 et MS2A, puisque, outre la petite dimension de chacune de ces mésoséquences, les *Calcaires en Plaquettes* (MS2A) ont une organisation cyclique différente de celle des autres unités séquentielles. Les données utilisées proviennent des coupes de Maria Pares (in Duarte 1990, p. 54, Fig. 20) et de Legacao 2 (in Duarte 1990, p. 47, Fig. 16).

## L'AUTOCORRÉLATION

La méthode, qui a été décrite in Davis (1973), consiste à prendre en compte le pourcentage de calcaire déterminé à intervalles égaux le long de la coupe toarcienne. Des formules d'ajustement ont été appliquées sur les données originales de façon à éliminer les petites variations aléatoires, (formule de Sheppard et formule des trois termes, in Davis 1973).

## LA TRANSFORMÉE DE FOURIER

Ce traitement est appliqué à la série toarcienne, en vue d'obtenir la décomposition de la courbe de fluctuation du pourcentage de calcaire, en un ensemble d'ondes (harmoniques) de différentes longueurs et amplitudes (rythmes). Les outils mathématiques utilisés sont décrits in Davis (1973,

1986) ; la variable est mesurée avec un pas de 0,5 mètre.

L'alloccyclicité prévue pour les dépôts étudiés, peut être testée en considérant que chaque séquence élémentaire marne-calcaire représente un intervalle de temps constant. Avec comme unité de base la séquence élémentaire, outre la quantification des deux types de variables possibles (épaisseur et pourcentage de calcaire), nous avons utilisé la transformation "épaisseur\*pourcentage de calcaire" ( $E*\%C$ ), puisqu'elle représente le mieux la variabilité des produits de la sédimentation (apports d'argile et production de carbonate).

## LES CYCLES : RÉSULTATS ET DISCUSSION

### LES AUTOCORRÉLOGRAMMES

L'autocorrélogramme obtenu pour les 158 mètres d'alternances marne-calcaire (Fig. 2) montre la structure cyclique initialement prévue ; en effet, les pics de plus grand coefficient négatif coïncident avec les limites mésoséquentielles (où s'observent les plus forts pourcentages en calcaire). A cette courbe cyclique est superposée une autre courbe de tendance globale, obtenue avec un espacement régulier augmenté jusqu'à quatre mètres (Fig. 2).

La tendance de chaque unité mésoséquentielle peut également être figurée par cette procédure (Fig. 2). Nous avons augmenté le nombre d'obser-

vations, de façon à diminuer la variance d'autocorrélation, en réduisant en proportion inverse l'espacement des analyses (0,5/0,5 m). Les unités *MS2B* et *MS3* montrent des variations cycliques du contenu en calcaire qui sont, d'une certaine façon, associées aux macroséquences, mais, avec des périodes différentes. L'unité *MS4* montre un accroissement de la teneur en calcaire, d'ailleurs bien visible sur le terrain, suivi d'un amortissement rythmique en liaison avec des séquences élémentaires présentes au sommet de cette unité.

### ANALYSES SPECTRALES

Le problème majeur de la stratigraphie est d'établir une échelle de temps fiable et solide pour les séries lithologiques. L'absence d'une résolution stratigraphique suffisamment grande introduit des erreurs notamment lorsque, à partir des échelles biostratigraphiques, on admet que la durée d'une zone correspond à un 1Ma (Harland *et al.* 1982 ; Gabilly *et al.* 1985). Tout d'abord, les données disponibles suscitent quelques doutes, en ce qui concerne les limites exactes des zones. Deuxièmement, l'inclusion de ces limites dans les unités mésoséquentielles, nous oblige à faire une interpolation linéaire du temps (des zones), en fonction des mésoséquences. Assumant, donc, toute erreur éventuelle, en adoptant les 6Ma attribuées au Toarcien, à partir des échelles de temps de Harland *et al.* (1982) et de Kent & Gradstein (1985), la durée de chaque mésoséquence a été estimée à partir de l'échelle biostratigraphique de Elmi *et al.* (1989), celle-ci étant rapportée au tableau biostratigraphique stand-

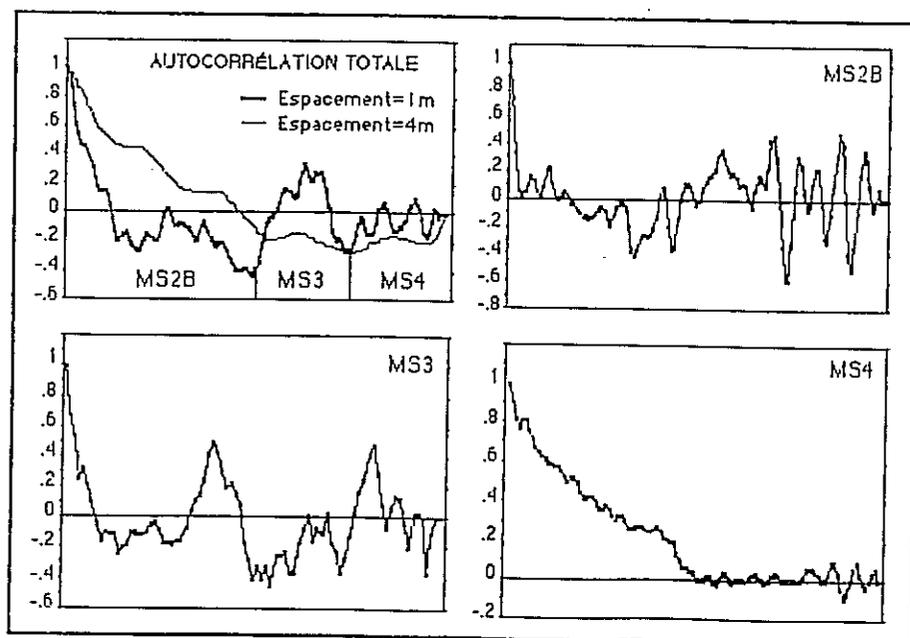


Figure 2 - Autocorrélogrammes obtenus à partir des pourcentages en calcaire déterminés à intervalles réguliers (1 et 4 m pour la coupe totale et 0,5 m pour les unités *MS2B*, *MS3* et *MS4*). Autocorrelation functions obtained from the carbonate percentage taken in regular intervals (1 and 4 m for the total section and 0,5 m for *MS2B*, *MS3* and *MS4B* units).

MESOSÉQUENCES	ÉPAISSEUR (m)	N° SÉQ. ÉLÉMENTAIRES	TEMPS ESTIMÉ (MA)	TAR (mm/Ka)	IMS (Ka)
MS2B	64	65	1,25-1,50	46,6	21
MS3	43	60	1,50-1,75	26,5	27
MS4B	29	68	1,00-1,50	23,2	

Figure 3 Données quantitatives relatives aux mésoséquences. TAR, taux d'accumulation réel ; IMS, intervalle moyen de temps estimé pour chaque séquence élémentaire. *Quantitative data of mesosequences. TAR, real accumulation rate ; IMS, Estimated mean time interval for each elementary sequence.*

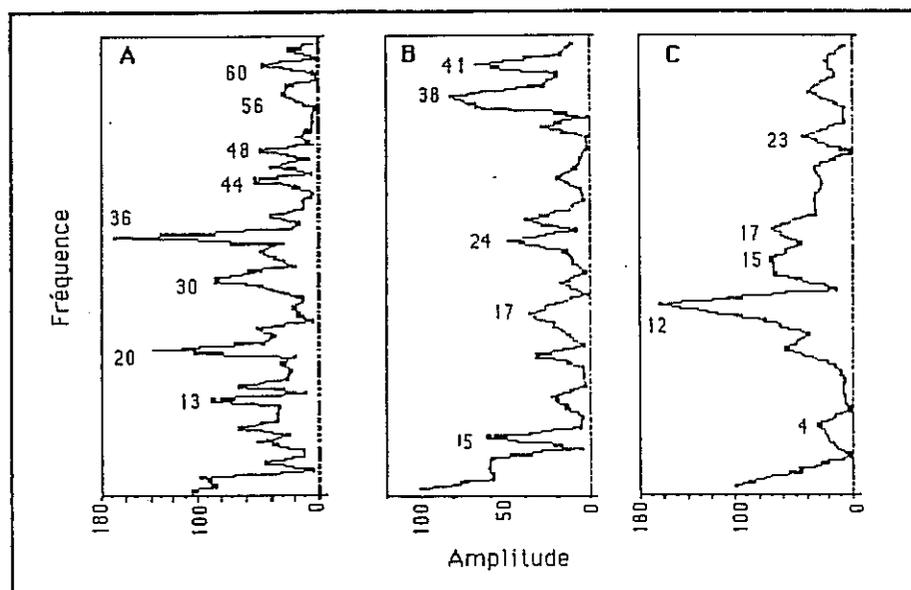


Figure 4 - Diagrammes spectraux obtenus à partir des pourcentage en calcaire mesurés à intervalles réguliers de 50 cm. A, MS2B ; B, MS3 ; C, MS4B. *Spectral diagrams obtained from carbonate percentage taken in regular intervals of 50 cm. A, MS2B ; B, MS3 ; C, MS4B.*

ard, pour le domaine téthysien (*in* Kent & Gradsstein 1985). Ce rapport (Fig. 1) permet d'estimer les intervalles (Fig. 3) de 1,25-1,50 Ma pour MS2B (une grande partie des zones à *Falciferum* et *Bifrons*), 1,50-1,75 Ma pour MS3 (zone à *Variabilis* et une partie des zones à *Bifrons* et à *Thouarsense*) et 1,0-1,5 Ma pour MS4B (une partie des zones à *Levesquei* et à *Opalinum*). La différence d'amplitude de ces intervalles résulte, obligatoirement, de la fiabilité de l'échelle biostratigraphique.

Le manque de phases d'érosion et d'arrêt de sédimentation, à l'intérieur des mésoséquences, écarte ces facteurs.

#### Constance du taux de sédimentation (et/ou de la subsidence)

Les analyses spectrales établies pour les trois mésoséquences (Fig. 4), mettent en évidence des harmoniques, portées sur la Figure 5, par ordre décroissant de leur variance. Les pics les plus marqués correspondent, en centimètres, respectivement aux longueurs d'onde 177, 320 et 492

pour l'unité MS2B, 113, 105 et 860 pour l'unité MS3, et 242, 193 et 171 pour l'unité MS4B.

Quand nous quantifions temporellement les cycles (Fig. 5), c'est-à-dire, que l'on attribue une durée aux épaisseurs, les périodogrammes des unités MS2B et MS3 montrent que leurs principaux cycles ont des périodicités qui rentrent dans la bande des fréquences de Milankovitch (ainsi les pics 36 avec 35-42Ka, et 38 avec 40-46Ka évoquent la fréquence des cycles de l'obliquité). Dans le spectre de l'unité MS4B, le cycle le plus marqué (harmonique 12) correspond à une fréquence plus basse. Sa périodicité, située dans l'intervalle 83-125Ka, suggère celle de l'excentricité de l'orbite terrestre.

Des trois périodogrammes de la figure 4, seul le premier semble montrer, clairement, un échelonnement de fréquences : les plus basses vers les harmoniques [13-20], les moyennes entre [30-36], et les plus hautes vers l'intervalle [44-60]. Ces trois gammes de fréquences pourraient correspondre à celles des cycles orbitaux de Milankovitch (respectivement, excentricité, obliquité et préces-

UNITÉS	CYCLES							
	36	20	13	30	44	48	60	56
MS2B	177	320	492	213	145	133	106	114
	35-42	63-75	96-115	42-50	28-34	26-31	21-25	22-27
	38	41	5	24	17	-	-	-
MS3	113	105	860	179	253	-	-	-
	40-46	37-43	300-350	63-73	88-103	-	-	-
	12	15	17	23	4	-	-	-
MS4B	242	193	171	126	725	-	-	-
	83-125	67-100	59-88	43-65	250-375	-	-	-

Figure 5 - Échelonnement décroissant des harmoniques par mésoséquence, établi à partir des périodogrammes de la figure 4. Pour chaque unité, ont été figurés de haut en bas : le numéro de l'harmonique, la période (en cm), et l'intervalle de temps (Ma). *Sequence of harmonics by decreasing order based on the periodogram shown by Fig. 4. For each unit harmonic number, periodicity (in cm), and time interval (Ma), are figured from top to bottom.*

sion). Or, il faut noter que sur le terrain la cyclité est la plus nette dans l'unité MS2B qui par ailleurs est la mieux contrainte par la biostratigraphie. Les deux autres unités, où existent des structures primaires qui masquent leur cyclité, et où une stratigraphie rigoureuse est impossible, présentent des périodicités plus variées. En effet, la bioturbation des sédiments et la remobilisation diagenétique probable du carbonate, peuvent influencer sur la configuration des pics et fausser l'interprétation des périodogrammes.

#### Variation du Taux de sédimentation (et/ou de la subsidence).

Si l'on suppose une origine allocyclique pour la rythmicité du Toarcien, chaque binôme marne/calcaire (séquence ou cycle élémentaire) représente une unité constante de temps, à laquelle correspond un taux d'accumulation réel (TAR) variable.

Les deux variables susceptibles d'être quantifiées, pour chaque séquence élémentaire (épaisseur totale et pourcentage en calcaire) peuvent dépendre d'un mécanisme cyclique conjugué. En prenant en compte le produit des deux variables ( $E^*\%C$ ), nous obtenons des spectres qui peuvent intensifier les périodicités de chacune des variables. C'est ce qui se passe, par exemple, avec l'unité MS2B (Fig. 6C), où il y a une intensification de l'harmonique 29 du périodogramme du pourcentage en calcaire (Fig. 6B). De cette transformation résulte une période qui varie entre 43 et

52Ka, c'est à dire qui est proche de celle du cycle de l'obliquité de Millankovitch. Avec toujours la même hypothèse de binômes marne/calcaire de durée égale, le rapport entre l'intervalle moyen de temps considéré (1,375 Ma) et le nombre de séquences élémentaires (65) est égal à 21000 années, ce qui correspond au cycle orbital de la précession. Remarquons, en outre, que cette valeur correspond au temps moyen estimé pour le dépôt du binôme marne-calcaire du Crétacé moyen d'Ombrie (De Boer & Wonders 1984) et du Crétacé inférieur de la série stratotypique d'Angles, Sud-Est de la France (Rio *et al.* 1989).

Les diagrammes spectraux de l'unité MS3 (Figs. 6D-F) montrent une dispersion des harmoniques dont l'explication est difficile. Cependant, quand nous comparons les deux périodogrammes de chacune des variables (Figs. 6D,E), nous constatons qu'il y a une nette superposition des harmoniques malgré leur degré différent de variance. Ce fait semble prouver qu'un seul mécanisme de nature cyclique a contrôlé l'ensemble marno-calcaire de l'unité MS3. C'est pourquoi le périodogramme de la transformation ( $E^*\%C$ ) ne montre pas d'harmoniques statistiquement remarquables (Fig. 6F).

Pour l'unité MS4B, la fiabilité de l'échelle biostratigraphique ne permet pas de faire une distinction claire des périodes des principales harmoniques, ce qui limite les conclusions. En tout cas, et, compte-tenu des spectres des figures 6G-I, nous remarquons le pic 25 (50Ka, obliquité?), et aussi l'absence d'harmoniques de basse fréquence, statistiquement significatives. Le spectre de la Figure 6H présente une plus grande décomposition des harmoniques, tandis que les pics 13 (96Ka) et 33 (38Ka) coïncident avec l'intervalle de valeurs admises, aujourd'hui, pour les cycles d'excentricité et d'obliquité. Si nous comparons ces trois spectres, la différence de comportement entre les deux variables devient tout à fait évidente, tandis que la transformation ( $E^*\%C$ ) est plutôt dépendante de la première variable.

En analysant en détail, dans chaque unité, l'évolution des épaisseurs des deux lithologies, nous remarquons que les marnes ont un caractère oscillant plus marqué. Par contre, les bancs calcaires montrent une plus faible dispersion. Ce fait laisse présumer que les apports en argile seraient une des causes responsables du comportement périodique de la série.

Les spectres obtenus à partir de l'épaisseur de chaque lithologie par séquence élémentaire, montre une tendance, non claire, de basses fréquences pour les marnes et de courtes périodes pour

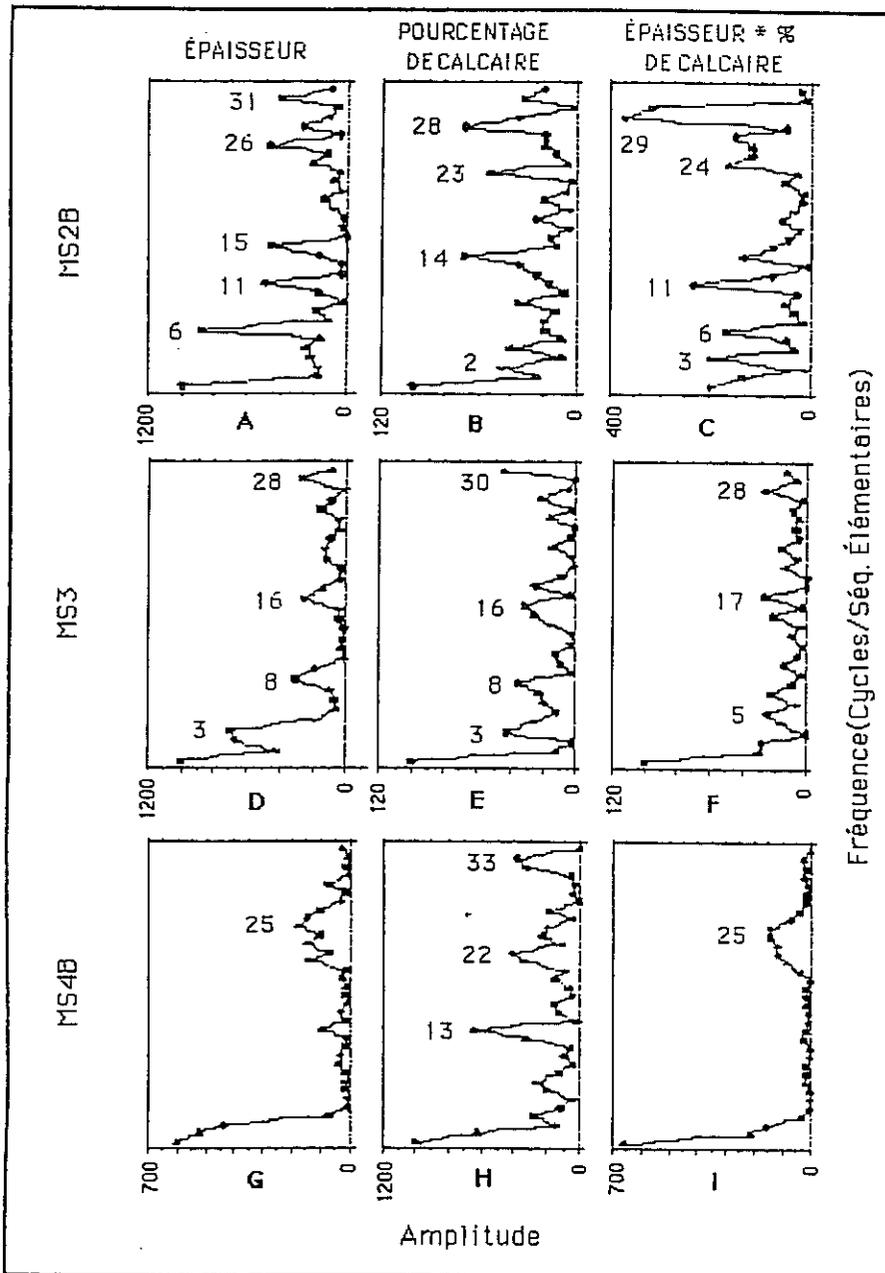


Figure 6 - Diagrammes spectraux des unités MS2B, MS3 et MS4B obtenus par séquence élémentaire. Les variables mesurées dans chaque mésoséquence correspondent à l'épaisseur (colonne de gauche), au pourcentage de calcaire (colonne du milieu) et à la transformation épaisseur \* pourcentage de calcaire (colonne de droite). Spectral diagrams of the MS2B, MS3 and MS4B units by marl-limestone couplet (elementary sequence). The variables in each mesosequence are : thickness (left column), limestone percentage (middle column) and thickness \* limestone percentage (right column).

les calcaires. Cette faible différenciation est due à l'organisation rythmique de chaque mésoséquence.

## CONCLUSION

En admettant que le taux de la sédimentation carbonatée soit le reflet de conditions de dépôt spécifiques, la rythmicité peut être de nature allocyclique. En supposant une subsidence continue et régulière, les variations des faciès marneux et calcaires doivent dépendre, essentiellement, de

facteurs externes au bassin (surtout, de ceux qui règlent la composition et le volume des sédiments). La limite nette entre calcaire et marne dans chaque séquence élémentaire, ainsi que la vaste continuité latérale des rythmes (*in* Duarte 1990), peuvent relever d'oscillations eustatiques de faible amplitude, dépendantes probablement, à leur tour, de variations climatiques (par exemple: les variations de la distribution de l'énergie solaire en fonction des cycles de Milankovitch).

L'analyse spectrale des cycles de la série marne/calcaire alternante étudiée montre que son con-

trôle par les variations des paramètres orbitaux est plausible comme pour les cycles du Pléistocène (Hays *et al.* 1976). Toutefois, la coïncidence entre les périodicités simulées, dans ces unités, et celles des paramètres orbitaux, n'empêche pas certaines réserves découlant du manque de fiabilité de l'échelle biostratigraphique, ce qui conditionne naturellement tous les calculs, et de la connaissance insuffisante de la paléoclimatologie ainsi que de son implication dans l'enregistrement sédimentaire.

**Remerciements** - Je tiens à remercier Messieurs les Professeurs : Ferreira Soares, Pierre Cotillon, René Cubaynes et Manuel Godinho pour la lecture et la révision critique du manuscrit. Mes remerciements vont aussi à Monsieur le Professeur Rogério Rocha qui m'a cédé des éléments biostratigraphiques et au Dr. Elsa Duarte qui a traduit le manuscrit.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARBOSA B., SOARES A.F., ROCHA R.B., MANUPPELLA G. & HENRIQUES M. H. 1988 - Notícia explicativa da folha 19-A (Cantanhede), da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000. Serv. Geol. Portugal : 46p.
- DAVIS J. C. 1973 - Statistics and data analysis in Geology. John Wiley & Sons : 550 p.
- DAVIS J. C. 1986 - Statistics and data analysis in Geology. John Wiley & Sons : 646 p.
- DE BOER P.L. & WONDERS A. A. 1984 - Astronomically induced rhythmic bedding in Cretaceous pelagic sediments near Moria (Italy). In BERGER, IMBRIE, HAYS, KUKLA & SALTZMAN (eds.) : Milankovitch and Climate, Reidel Pub. Co. Amsterdam, 1 : 177-190.
- DUARTE L.V. 1990 Estudo sedimentológico das unidades calco-margosas Toarcianas na região Rabaçal-Conceixa. Centro de Geociências Univ. Coimbra (INIC) : 168 p. (inédit).
- ELMI S., GOY A., MOUTERDE R., RIVAS P. & ROCHA R. 1989 - Correlaciones bioestratigráficas en el Toarciense de la Península Ibérica. *Cuadernos de Geología Iberica*, 13 : 265-277.
- GABILLY J., CARIOU E. & HANTZPERGUE P. 1985 Les grandes discontinuités stratigraphiques au Jurassique : témoins d'événements eustatiques, biologiques et sédimentaires. *Bull. Soc. géol. France*, 8, 1, (3) : 391-401.
- HARLAND W., COX A., LLENELLYN P., PICKTON P., SMITH A. & WALTERS R. 1982 - A geologic time scale. Cambridge University Press, Cambridge : 131 p.
- HAYS J., IMBRIE J. & SHACKLETON N. 1976 - Variations in the Earth's orbit pacemaker of the ice ages. *Science*, 194, 4270 : 1121-1132.
- KENT D. & GRADSTEIN F. 1985 - Cretaceous and Jurassic geochronology. *Geol. Soc. Americ. Bull.*, 96 : 1419-1427.
- RIO M., FERRY S. & COTILLON P. 1989 - Périodicités dans les séries pélagiques alternantes et variations de l'orbite terrestre. Exemple du Crétacé inférieur dans le Sud-Est de la France. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 2, 309 : 73-79.
- SCHWARZACHER W. 1975 - Sedimentation models and quantitative stratigraphy. *Develop. in Sedimentology*, 19 : 382 p.
- SOARES A. F., MARQUES J. F. & ROCHA R. B. 1985 - Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra. *Memórias e Notícias*, Pub. Mus Lab. Min. Geol Univ. Coimbra, 100 : 41-71.
- SOARES A. F., ROCHA R. B., ELMI S., HENRIQUES M.H., MOUTERDE R., ALMÉRAS Y., RUGET Ch., MARQUES J., DUARTE L.V., CARAPITO M. C. & KULLBERG J. 1988 - Essai d'interprétation dynamique de la paléogéographie du bassin lusitanien (secteur nord) depuis le Trias jusqu'au Dogger. 3<sup>e</sup> Col. Estr. Paleog. Jurássico España, Logroño.

L. V. DUARTE

Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra  
Centro de Geociências da Universidade de Coimbra (INIC)  
3049 Coimbra Codex, Portugal