



**HAL**  
open science

**La microfaune dans les alternances marne -calcaire pélagiques du Crétacé inférieur vocontien ( Sud-Est de la France ) \* Mise en évidence d'oscillations climatiques**

Claudette Darmedru

► **To cite this version:**

Claudette Darmedru. La microfaune dans les alternances marne -calcaire pélagiques du Crétacé inférieur vocontien ( Sud-Est de la France ) \* Mise en évidence d'oscillations climatiques. Stratigraphie. Université Claude Bernard - Lyon I, 1982. Français. NNT: . tel-00805602

**HAL Id: tel-00805602**

**<https://theses.hal.science/tel-00805602>**

Submitted on 28 Mar 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

T H E S E

présentée

devant UNIVERSITE Claude BERNARD - LYON I -  
pour obtenir

le DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE  
PALEONTOLOGIE  
GEOLOGIE DES ENSEMBLES SEDIMENTAIRES

Par

Claudette DARMEDRU

LA MICROFAUNE DANS LES ALTERNANCES MARNE - CALCAIRE  
PELAGIQUES DU CRETACE INFERIEUR VOCONTIEN  
(SUD - EST DE LA FRANCE)

MISE EN EVIDENCE D'OSCILLATIONS CLIMATIQUES

Soutenu le 3 Décembre 1982 devant la commission d'examen :

MM. P. COTILLON	Président
S. JARDINE	
M. MOULLADE	Examineurs
M. RIO	
J. SIGAL	

T H E S E  
présentée  
devant UNIVERSITE Claude BERNARD - LYON I -  
pour obtenir

le DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE  
PALEONTOLOGIE  
GEOLOGIE DES ENSEMBLES SEDIMENTAIRES

Par

Claudette DARMEDRU

LA MICROFAUNE DANS LES ALTERNANCES MARNE - CALCAIRE  
PELAGIQUES DU CRETACE INFERIEUR VOCONTIEN  
(SUD - EST DE LA FRANCE)

MISE EN EVIDENCE D'OSCILLATIONS CLIMATIQUES

Soutenue le 3 Décembre 1982 devant la commission d'examen :

MM. P. COTILLON	Président
S. JARDINE	
M. MOULLADE	Examineurs
M. RIO	
J. SIGAL	

RESUME

L'étude globale des variations de la microfaune dans les alternances marne-calcaire est effectuée dans un faisceau de bancs du Valanginien supérieur qui a été reconnu sur l'ensemble du bassin vocontien ; elle est complétée par des observations dans les marnes bleues gargasiennes à "pseudo-alternances" .

Il existe une relation entre la composition de la microfaune et la lithologie du sédiment .

Dans les marnes, la microfaune est peu abondante et peu diversifiée ; les individus sont de petite taille . On y trouve principalement des foraminifères à test agglutinant fin et quelques foraminifères à test hyalin ; les radiolaires sont rares .

Dans les marnes calcaires ou les calcaires argileux délités, la microfaune est abondante et très diversifiée ; les individus sont de grande taille . Les organismes planctoniques sont prépondérants : foraminifères dans l'Aptien, radiolaires dans le Valanginien .

Dans les calcaires, la microfaune est très abondante mais peu diversifiée . Les radiolaires en constituent l'essentiel . Les individus sont de petite taille .

Les variations qualitatives et quantitatives de la microfaune permettent d'opposer la partie Ouest et la partie Est du bassin vocontien . Bien marquée pendant les "périodes marnes", cette opposition tend à s'atténuer pendant les "périodes calcaires" . Cela peut résulter d'un changement dans l'hydrodynamisme du bassin .

C'est dans la partie Ouest du bassin, là où les apports terrigènes étaient les plus abondants, que s'observe la plus forte concentration de radiolaires dans les sédiments . Les apports argileux devaient être accompagnés de matières nutritives . A partir de là, et compte-tenu de la répartition verticale des radiolaires dans le couple banc-interbanc, on peut supposer que le flux de matériaux d'origine continentale était beaucoup plus intense durant les "périodes calcaires" que pendant les "périodes marnes" . Ceci implique un taux de sédimentation beaucoup plus important au niveau des bancs calcaires qu'au niveau des interbancs marneux . L'étude de la matière organique permet d'arriver à la même conclusion .

Les variations cycliques de la composition de la microfaune en liaison avec les variations de l'hydrodynamisme du milieu et celles du flux des apports terrigènes peuvent être expliquées par des oscillations climatiques : le dépôt des calcaires s'effectuant pendant des périodes plus froides et (ou) plus humides que celui des marnes .

---

DARMEDRU C. (1982) : La microfaune dans les alternances marne-calcaire pélagiques du Crétacé inférieur vocontien (Sud-Est de la France) . Mise en évidence d'oscillations climatiques . Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Claude Bernard - Lyon I, n°1243, 154 p., 111 fig., 3 pl.

---

MOTS-CLES : S-E de la France, Bassin vocontien, Crétacé inférieur, alternances marne-calcaire, foraminifères, radiolaires, matière organique, analyse factorielle

AVANT - PROPOS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un contrat établi entre la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique et le Centre de Paléontologie stratigraphique et Paléoécologie, Laboratoire associé au C.N.R.S. n°11, Département des Sciences de la Terre, de l'Université Claude Bernard - Lyon I.

Je remercie en tout premier lieu Monsieur le Professeur P. COTILLON de m'avoir accueillie au sein de son équipe, confiée ce sujet et bien voulu présider ce jury.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur S. JARDINE de la S.N.E.A. (P) grâce à qui une étude de la matière organique a pu être entreprise au Laboratoire de Palynologie de Boussens.

Je remercie également Monsieur M. MOULLADE du Centre de Micropaléontologie "Jean Cuvillier", de l'Université de Nice, pour ses indications et suggestions concernant les associations microfauniques.

Mes remerciements vont également à Monsieur J. SIGAL pour l'intérêt qu'il a manifesté pour mon travail.

Enfin, je ne saurais oublier Monsieur M. RIO pour la connaissance de l'analyse des données (elles forment l'essentiel de ce travail) qu'il m'apporta ainsi que pour son aide toujours efficace.

Je dois également beaucoup à Mesdemoiselles G. LATREILLE, A.M. BODERGAT, à Messieurs G. DUPONT, S. FERRY, E. JAUTEE, A. SCHAAF qui chacun dans leur spécialité m'ont apporté renseignements et conseils.

Je remercie également les personnes des services techniques du Département des Sciences de la Terre, du Centre de Microscopie Electronique de Lyon et du Laboratoire de Palynologie de la S.N.E.A. (P) à Boussens qui participèrent à ce travail.

J'aurai une pensée pour mes camarades Jean-Louis, Yves et tous les autres pour leurs critiques, leurs aides mais aussi leur bonne humeur qui m'ont permis de garder le sourire tout au long de ce travail.

En témoignage de mon affection, je dédie ce travail à ma famille qui m'a toujours encouragée au cours de ces études.

## INTRODUCTION

Ce travail a été réalisé dans le cadre du thème de recherche concernant les alternances marne - calcaire pélagiques du Crétacé . Le bassin vocontien, caractérisé par une sédimentation pélagique à séries alternantes tantôt marneuses, tantôt calcaires se prête particulièrement bien à cette étude .

Le but de ce travail consiste, en s'appuyant sur la composition des associations microfauniques, à caractériser chaque type lithologique rencontré au Crétacé inférieur dans ce bassin et à proposer de nouvelles hypothèses quant à leur genèse .

En effet, à la suite de la compilation bibliographique au sujet des variations du taux de carbonate dans les sédiments pélagiques, il est apparu que les hypothèses proposées jusqu'à présent ne semblent pas pouvoir s'appliquer aux alternances crétacées pélagiques du domaine vocontien ( chapitre I) .

Comme support de ce travail, ont été étudiées 21 coupes réparties dans l'ensemble du bassin vocontien, levées dans de "vraies" alternances marne-calcaire valanginiennes . En complément, une coupe dans les "pseudo-alternances" gargasiennes a également été décrite ( chapitre II) .

L'étude de la microfaune de ces 22 coupes (environ 200 échantillons) a été réalisée à l'aide de comptages . L'exploitation de ces résultats a été effectuée grâce à une méthode d'analyse statistique (analyse factorielle des correspondances) (chapitre III) .

Les résultats obtenus ont été regroupés selon l'évolution verticale des associations microfauniques (chapitre IV - I) . Ces dernières sont ensuite comparées avec l'évolution du taux de carbonate des sédiments (chapitre IV - II) . Enfin, l'importance de la situation paléogéographique des coupes est envisagée (chapitre IV - III) .



## I - ETAT DES CONNAISSANCES

Les alternances marne-calcaire ont été interprétées de différentes façons .

### A - Dépôts gravitaires :

1 - A. LOMBARD (1956,1972) considère le couple marne-calcaire comme étant la séquence élémentaire dans les dépôts argilo-carbonatés .

La phase active de la sédimentation correspondrait à la mise en place par gravité des bancs calcaires, la phase passive coïnciderait avec la sédimentation autochtone terrigène des interbancs marneux .

La différence dans la composition de la faune observée dans les calcaires et dans les marnes (DAVAUD & LOMBARD,1975) est attribuée à une variation de la profondeur de formation de ces biofaciès . Toutefois, la présence de débris typiques de plate-forme (nubéculaires,algues, bryozoaires) incite à émettre un doute quant au caractère pélagique de ces alternances marne-calcaire (Cf p. 19) .

2 - B. BEAUDOIN (1974,1977) après J. REMANE (1960) montre que les brèches tithoniques et berriasiennes présentes dans le bassin vocontien sont d'anciennes coulées boueuses . Il met en évidence de véritables turbidites venant des plates-formes environnantes . Les séquences turbiditiques sont constituées à leur base de calcarénites qui évoluent vers des dépôts de plus en plus fins et marneux . Ces dernières s'intercalent dans les sédiments autochtones formés de calcaires et de marnes . La transition entre les formations allochtones déposées par courants turbides et les formations autochtones ne sont pas toujours très nettes . Ceci lui permet d'assimiler les alternances marne-calcaire à des séquences turbiditiques .

D. LE DOEUF (1977) démontre que dans la séquence marne-calcaire, ces deux termes sont liés de la même façon que les termes calcarénite-marne dans la séquence turbiditique . Par conséquent, il y aurait continuité entre les mécanismes de mise en place des calcaires et des calcarénites .

### B - Variations des conditions de milieu :

M. GIGNOUX (1950) émet l'hypothèse que les alternances marne-calcaire en domaine océanique résultent des variations du "climat sous marin" : conjugaison des variations des paramètres du milieu marin et du climat atmosphérique .

#### 1 - Variations périodiques de la profondeur du milieu .

Elles pourraient être liées à des causes tectoniques (CAROZZI,1950 ; DREYFUS, 1954) ou à des variations eustatiques reliées à des changements climatiques (DREYFUS,1954 ; HALLAM, 1964) .

#### 2 - Variations des apports terrigènes .

Elles peuvent provoquer la dilution du matériel carbonaté (DREYFUS,1954 ; HALLAM, 1964) .

J.P. MANGIN (1963) met en évidence l'importance des variations saisonnières du climat intertropical dans la sédimentation littorale . La saison humide, où l'érosion est active, se caractérise par des apports solides

importants . Ils sont très faibles pendant la saison sèche . Si ce mécanisme est très important dans la sédimentation littorale, il a aussi sans doute un impact assez grand dans le domaine pélagique en fournissant une quantité variable d'éléments terrigènes au bassin .

Les apports terrigènes peuvent avoir une influence sur le développement qualitatif et quantitatif de la nannofaune et par conséquent sur la production de CaCO<sub>3</sub> . Ils correspondent à des apports de matière organique qui augmentent la productivité primaire des eaux (THIEDE et al., 1974 ; THUNNELL, 1976) .

D. NOEL (1968) a observé un contraste dans la composition du nannoplancton et de la microflore des calcaires et des marnes du Barrémien vocontien (coupe d'Angles) : les calcaires sont caractérisés par les Nannoconus, les marnes par les coccolithophoridés . La prépondérance des dinoflagellés dans les calcaires et celle des grains de pollen dans les marnes lui permet d'interpréter cette alternance dans la composition de la nannofaune comme une différence de turbidité des eaux, les Nannoconus se développant dans les eaux claires, les coccolithophoridés acceptant des eaux plus riches en éléments terrigènes . Cependant, pour BETZER et al. (1977), les arrivées saisonnières de matériel terrigène dans la Mer des Caraïbes provoquent une augmentation de la production des diatomées mais une diminution de celle des coccolithophoridés .

### 3 - Variations de température .

Elles peuvent avoir des conséquences directes sur la production des carbonates (BRUCKNER, 1953) . Dans le domaine océanique, A. LISITZIN, (1971) met en évidence quatre zones climatiques par l'analyse des carbonates de calcium en suspension dans les eaux . Ce sont :

- la zone équatoriale
- la zone tropicale aride
- la zone tempérée
- la zone froide .

La concentration des carbonates en suspension est équivalente dans les zones équatoriale et tempérée . Elle est dix fois moindre dans la zone tropicale et 100 fois moindre dans la zone froide .

La zonation de la production des carbonates due à la latitude se retrouve sur le fond (LISITZIN, 1971 ; HONJO, 1976) . La température peut aussi influencer sur la dissolution des carbonates par l'intermédiaire de courants froids (EDMOND, 1974) . L'isotherme 1,9° C des masses d'eau de fond est souligné dans les aires océaniques, par l'absence de dépôt carbonaté (GARDNER, 1975) .

L'oscillation de la C.C.D. sous le contrôle de variations climatiques serait à l'origine de certaines alternances océaniques tertiaires au N-W de l'Afrique (DEAN et al., 1978) . En effet, la composition de la phase argileuse reste stable . La variation en CaCO<sub>3</sub> entre bancs et interbancs proviendrait uniquement de la dissolution de nannofossiles . Ceci expliquerait la dominance de Discoaster dans les marnes (ils sont plus résistants à la dissolution que les coccolithes) et celle des coccolithes dans les calcaires .

## II - LES ALTERNANCES MARNE - CALCAIRE CRETACEES DANS LE DOMAINE VOCONTIEN .

### A - Rejet de l'hypothèse de la sédimentation gravitaire .

On observe un passage continu des marnes aux calcaires et des calcaires

aux marnes . Cependant, la grande abondance des bioturbations observées sur le terrain pourrait masquer les arrêts de sédimentation, caractéristiques des dépôts gravitaires .

La continuité d'un faisceau de dix bancs calcaires dans le Valanginien, sur l'ensemble du bassin vocontien permet d'écarter l'hypothèse de la sédimentation gravitaire de ces alternances marne-calcaire (COTILLON et al., 1979 ; 1980 ; 1981) .

### B - Les variations de la profondeur des fonds océaniques

Qu'elles soient d'origines tectoniques ou eustatiques, elles ne semblent pas avoir un impact direct considérable sur la sédimentation pélagique, ces mouvements étant relativement limités par rapport à la hauteur de la tranche d'eau considérée . S FERRY (1976), à l'aide d'arguments géométriques, estime que la profondeur de la fosse vocontienne était comprise entre 700 et 1500 m . Ceci permet d'écarter l'hypothèse du rôle de la C.C.D. dans la génération des alternances qu'on y observe .

### C - Hypothèse retenue :

La continuité du faisceau de bancs valanginiens, les premières mesures isotopiques sur roche totale ( $\delta^{13}C/\delta^{18}O$  permet de séparer nettement calcaires et marnes (cf fig. 10 p. 742, COTILLON et al., 1980)), la composition minéralogique des argiles (association à illite, kaolinite dans les marnes, à smectites dans les calcaires (FERRY, 1979 ; COTILLON et al., 1980)), l'opposition dans la composition de la nannofaune (Nannoconus dans les bancs calcaires et coccolithes dans les interbancs marneux (NOEL, 1968), les premiers résultats concernant les variations microfauniques dans le cycle marne-calcaire (DARMEDRU, 1982 ; DARMEDRU et al., 1982) permettent de considérer les alternances marne-calcaire comme le résultat essentiel d'une décantation de carbonates biogéniques et d'argiles (COTILLON et al., 1979 ; 1980 ; FERRY & SCHAAP, 1981), contrôlée principalement par des facteurs climatiques .

### D - Etude de la microfaune .

Dans le cadre de l'hypothèse retenue, l'étude de la microfaune est évidemment indispensable . Elle va permettre de mieux comprendre les fluctuations des paramètres du milieu . En effet, les variations des populations planctoniques reflètent celles que subit la zone photique . La composition du benthos dépend à la fois des modifications du sédiment (liées à la production planctonique et aux apports terrigènes) et de celles des eaux de fond (température, oxygénation) .

La répartition des éléments planctoniques et benthiques dans un même niveau (banc ou interbanc) sur toute l'étendue du bassin vocontien mettra en évidence le rôle éventuel de facteurs locaux (courants, apports depuis les plates-formes bordières, échange avec la mer alpine) . Elle permettra aussi de contrôler la réalité des relations entre la composition de la microfaune et le sédiment obtenue à partir de la coupe de référence : Coupe du Toulourenc .

Enfin, l'étude des liens entre la composition qualitative et quantitative de la microfaune et la nature du sédiment peut avoir des conséquences pratiques sur des études stratigraphiques ou paléocéologiques .

Une étude de matière organique (palynofaciès) a été entreprise pour compléter ces données avec l'aide du Laboratoire de palynologie de Boussens S.N.E.A. (P).

DEUXIEME CHAPITRE :

CADRE DE L'ETUDE

---





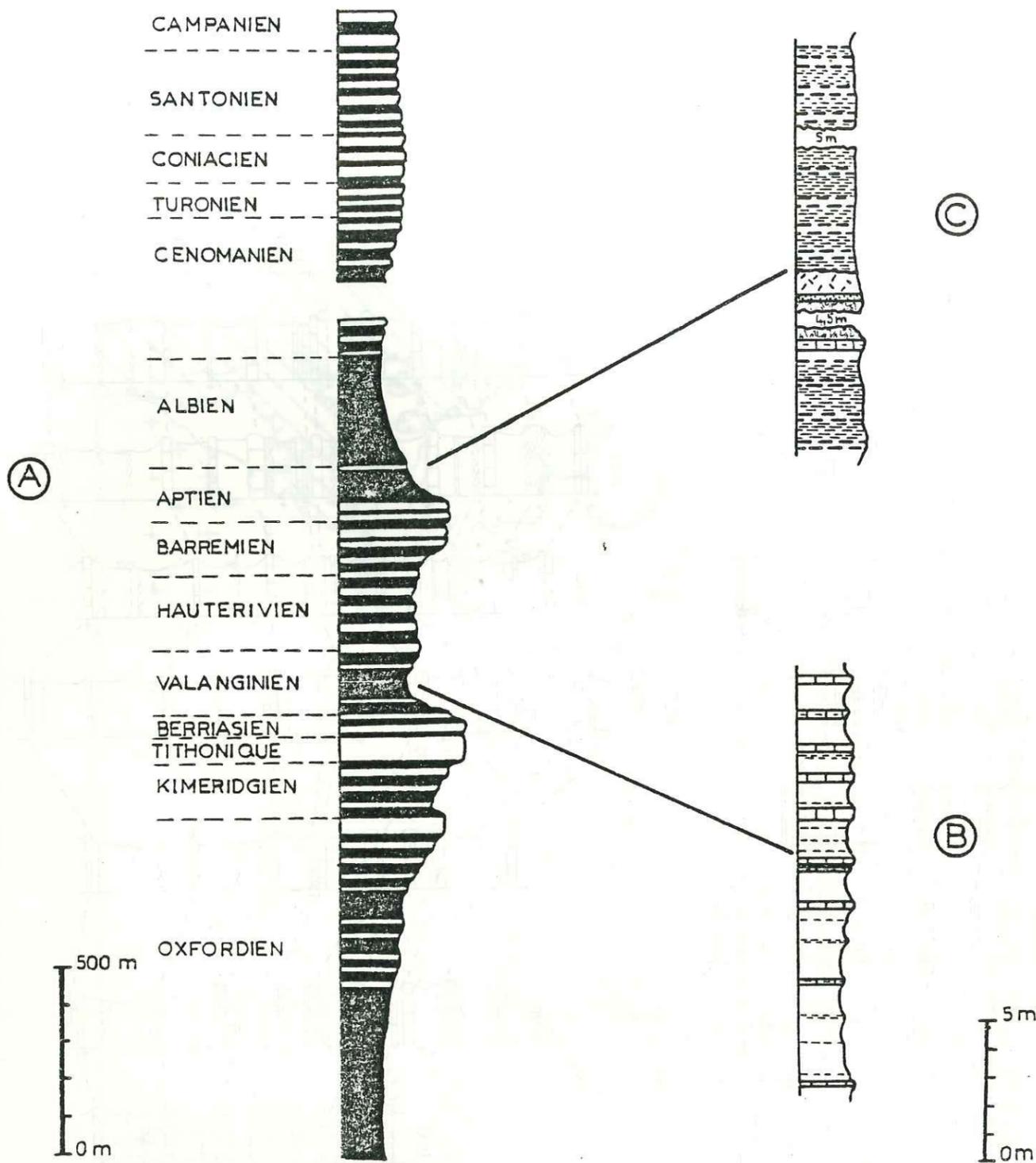


Figure 3 : Série synthétique Mésozoïque vocontienne post-Dogger (A) (■ marnes, □ calcaires) et position stratigraphique des coupes étudiées : (B) : coupe du faisceau du Toulourenc (□ calcaires, ▨ calcaires argileux délités, ▩ calcaires argileux, ▭ marnes) (C) : coupe de Villebois les Pins (□ marnes gris clair feuilletée, ▨ marnes grises pailletées, ▩ calcaire argileux, ▭ coulées greisseuses, ▮ formations superficielles) . (d'après COTILLON et al., 1980)

I - INTRODUCTION

Dans les chaînes subalpines méridionales, l'ensemble Diois, Baronnies, Arc de Digne et de Castellane est caractérisé par une sédimentation pélagique durant le Mésozoïque ; ce domaine est entouré par une zone à faciès moins profond de type hémipélagique (COTILLON, 1971 ; BAUDRIMONT & DUBOIS, 1977 ; COTILLON et al., 1980) (fig. 1) qui s'étend sur le Vercord au Nord, la bordure ardéchoise à l'Ouest et la bordure provençale au Sud . La zone pélagique s'ouvrant à l'Est vers la mer alpine, est appelé domaine vocontien .

L'opposition entre faciès pélagique et faciès hémipélagique repose sur celle de l'origine de leur phase carbonatée (COTILLON et al., 1980) . Dans les dépôts pélagiques, elle est essentiellement constituée par des carbonates biogéniques autochtones produits par le nanno- et le microplancton (moins de 15 % de silts bioclastiques dispersés dans la micrite (FERRY, 1976)). Au contraire dans les faciès hémipélagiques la phase carbonatée est constituée non seulement par la décantation de matériel autochtone mais aussi par des apports bioclastiques venant des plates-formes environnantes . Le microfaciès oscille entre des "silstones" bioclastiques gris et des micrites relativement chargées en silts bioclastiques (FERRY, 1976) .

L'alternance marne-calcaire est présente dans le domaine vocontien à toutes les échelles . Ainsi la série mésozoïque post-Dogger se caractérise par une succession d'épisodes à dominante marneuse (Oxfordien, Valanginien, Aptien, Albien) et d'épisodes à dominante calcaire (Tithonique, Barrémien, Bédoulien, Turonien, Sénonien) (fig. 3) . Dans la succession lithologique à l'échelle de la coupe, on observe des faisceaux de bancs assez bien individualisés, en particulier dans le Valanginien ou l'Hauterivien .

II - LE FAISCEAU VALANGINIEN : LE FAISCEAU DU TOULOURENC .

Un faisceau de dix bancs situés dans la zone à Verrucosum du Valanginien supérieur, a été repéré sur toute l'étendue du bassin vocontien (COTILLON et al., 1979) . Il a été étudié à partir de 21 coupes (fig. 2) dont celle du Toulourenc, située au Nord du Mont Ventoux . Cette dernière a été choisie comme référence (fig. 4) .

Dans cette coupe, le faisceau se compose de 10 bancs calcaires principaux ( $\text{CaCO}_3 > 75\%$ ), 10 bancs de calcaires argileux délités ( $55\% < \text{CaCO}_3 > 75\%$ ) et de 17 interbancs marneux ( $\text{CaCO}_3 < 55\%$ ) .

A - Caractères généraux .

I - Variations d'épaisseurs

Des bordures au centre du bassin, on observe une réduction d'épaisseur du faisceau : c'est le cas de Bézaudun (BZD) à Monclus (MCL), de La Valbonnette (VLB) à la Penne (LPN) (fig. 2) . La carte des isopaques du faisceau valanginien permet de mieux préciser les variations du taux de sédimentation dans le bassin (fig. 5) .

Des apports bioclastiques, formant des bancs ou de simples lits millimétriques qui se délitent en petites plaquettes rouges, sont abondants dans la région Ouest du bassin . Ils sont en partie responsables de la dilatation de la série . Leur importance diminue lorsque l'on se dirige vers le centre du bassin . L'ampleur de ces dépôts matérialisés par des calcarénites a été précisée dans le travail de A.K. TANGRI (1980) .

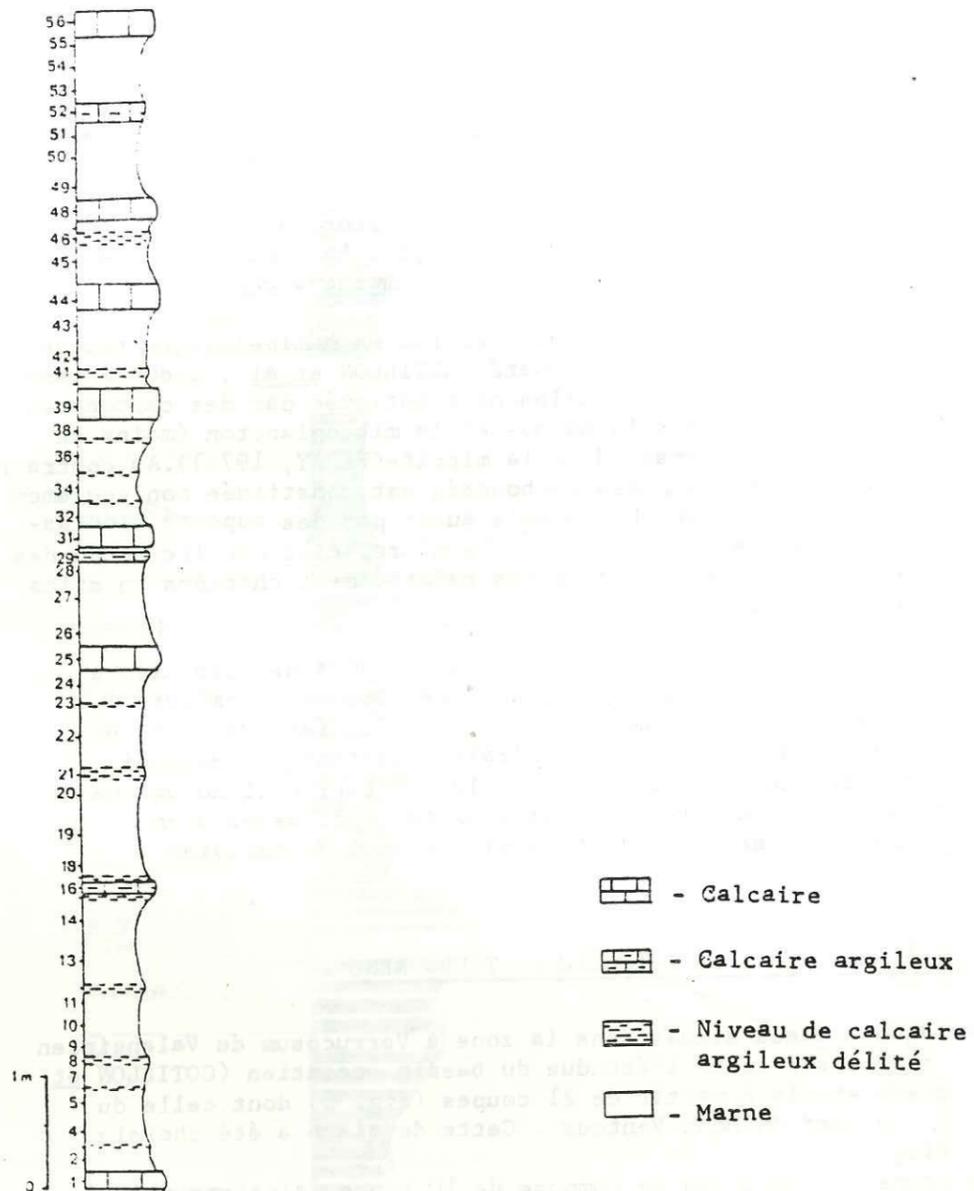


Figure 4 : La coupe du Toulourenc . Valanginien supérieur .

2 - Variations de faciès .

Les niveaux présentant des taux de carbonate moyen (65-70 % CaCO<sub>3</sub>) prennent des aspects différents sur le terrain selon les points considérés .

Certains bancs de calcaire argileux délité peuvent disparaître, en particulier entre les niveaux n°1 et n°16 ; d'autres comme le niveau n°3, constant sur tout le bassin, apparaissent comme des bancs de calcaire argileux en plusieurs points (PRD, LX, VRG, VLB) . Les bancs n°16 et n°52 de calcaires argileux dans la coupe de référence (TLR) ont l'aspect de calcaire argileux délité dans de nombreuses coupes .

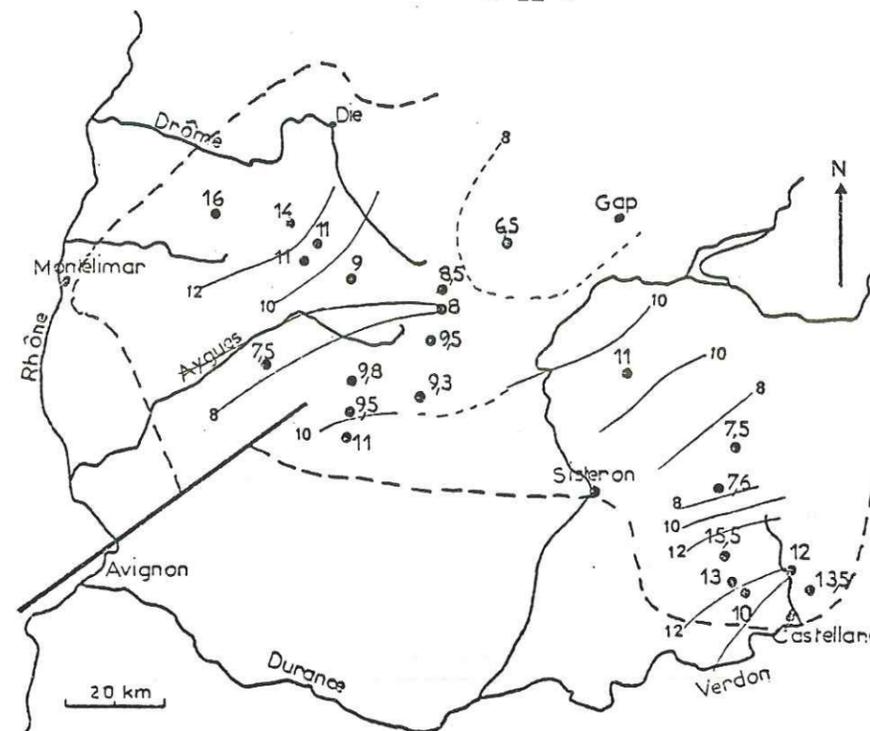


Figure 5 : Carte des isopaques du faisceau valanginien .

B - La coupe du Toulourenc . (fig. 4)

Elle est située au Sud-Ouest du bassin vocontien ( x = 846,10 ; y = 219,60 Séderon 1/50 000) .

Cette coupe a servi de référence pour l'étude des teneurs en CaCO<sub>3</sub>, de la composition des argiles, des variations d'épaisseur des bancs par rapport aux interbancs, de la composition isotopique du carbone et de l'oxygène de la roche totale et des teneurs en éléments traces (JOUCHOUX, thèse en cours) . Il convenait donc dans un premier temps d'en étudier la microfaune en détail . C'est ce qui explique l'échantillonnage serré dont elle a fait l'objet (cf chapitre III) .

Cette coupe permet de quantifier les variations de la microfaune en un point donné du bassin vocontien, pendant une période de temps relativement courte (250 000 ans) en évitant les problèmes liés à l'évolution de la faune .

C - Les autres coupes du Valanginien .

Il est possible, dans la mesure où l'on disposait de corrélations certaines bancs à bancs entre différentes coupes, d'en étudier les variations de la microfaune sur l'ensemble du bassin .

Lors des analyses effectuées par la suite, aucun faciès n'a été privilégié . C'est pourquoi trois niveaux de chaque faciès ont été systématiquement choisis à partir de la coupe de référence .

Les interbanes marneux n°27, 42,50 sont des niveaux homogènes et épais.

Les niveaux de calcaire argileux délités n°3 et 21 sont constants dans l'ensemble du bassin. Deux autres niveaux (n°23 et 35) contiennent une microfaune particulière dans la coupe de référence, il m'a donc semblé intéressant de les suivre dans le bassin.

Les bancs calcaires se présentent sous plusieurs aspects :

- bancs de calcaire argileux (72-80 %  $\text{CaCO}_3$ ) : n°29
- bancs calcaires de faible épaisseur (80 %  $\text{CaCO}_3$ ) : n°1
- bancs calcaires épais à forte teneur en  $\text{CaCO}_3$  : n°39

Les échantillons ont parfois posé quelques problèmes lors de la récupération de la microfaune. Leur étude ne sera donc pas systématique dans toutes les coupes. Les niveaux étudiés sont repérés par le signe + sur la figure 2.

### III - LES MARNES BLEUES GARGASIENNES A "PSEUDO-ALTERNANCES" .

L'alternance dans la sédimentation semble toujours être présente dans les marnes bleues gargaso-albiennes malgré la coupure lithologique observée entre l'épisode carbonaté barrémo-bédoulien et cet épisode marneux, et en dépit de leur apparence homogène. Si l'on exclut les niveaux clansayésiens ainsi que ceux de l'Albien basal et les intercallations gréseuses resédimentées, on constate que l'altération fait apparaître une succession rubannée de niveaux plus ou moins clairs, plus ou moins friables.

La coupe de Villebois les Pins (VLBP), située dans la partie centrale du bassin vocontien (fig. 1), présente des alternances de niveaux marneux plus ou moins finement délités ; un seul banc calcaire est nettement individualisé (fig. 3C). Son étude détaillée nous montre que la variation de la teneur en carbonate des sédiments n'est pas calquée sur le rubanement observé sur le terrain (DARMEDRU et al., 1982). 21 prélèvements ont été effectués dans des niveaux non perturbés par des phénomènes de resédimentation (slump, coulées de sable). Les variations de la microfaune seront comparées à celles qui sont observées dans le Valanginien.

TROISIEME CHAPITRE :

METHODES D'ETUDE

---

## I - PREPARATION DES ECHANTILLONS .

### A - Prélèvements .

Dans les bancs calcaires, seule la partie centrale a été prélevée . Les niveaux de calcaire argileux délité, généralement minces, ont été complètement échantillonnés . Dans les interbancs marneux homogènes, les prélèvements ont été effectués dans la partie centrale sur 0,10 m environ . Dans le cas de la coupe de référence (TLR) , les interbancs d'épaisseur importante sont découpés en tranche de 0,20 m puis on a procédé à l'échantillonnage dans le centre de ces intervalles .

### B - Choix de la méthode d'étude .

L'étude comparative de la microfaune et des restes d'autres organismes dans les bancs calcaires et des interbancs marneux demande une technique de préparation équivalente quelle que soit la lithologie de l'échantillon considéré . Deux techniques sont couramment employées :

#### 1 - La confection de lames minces .

Elle demande une préparation spéciale pour les échantillons marneux . L'étude de la microfaune s'effectue alors à partir de sections . De grandes imprécisions dans la détermination ainsi qu'une perte importante d'informations concernant l'ornementation des éléments de la microfaune sont à déplorer . De plus , le volume de l'échantillon étudié ne peut jamais être très important , les surfaces des lames minces étant limitées à quelques  $\text{cm}^2$

#### 2 - Le lavage des sédiments .

Par cette méthode, l'extraction de la microfaune est totale donc son étude est plus complète : détermination spécifique, observation des variations de l'ornementation ou des traces de dissolution ou d'usure . De plus, elle facilite les comptages ou l'estimation de l'abondance des microfossiles . Si elle est simple dans les argiles et les marnes, elle nécessite la mise en oeuvre d'une technique particulière dans les calcaires .

### C - Préparation des échantillons .

L'étude de la microfaune est faite à partir de 100 g de roche séchée à 40 °C pendant 12 heures . Pour éviter de casser, user, polir ou corroder les restes organiques, la préparation des échantillons est adaptée à chaque type lithologique .

#### 1- Les marnes .

Les échantillons secs sont mis dans l'eau pendant 24 heures ce qui permet un premier délitage . Si celui-ci est difficile, j'ajoute une solution d'hyposulfite de Na qui facilite la désagrégation de l'échantillon en défloculant les argiles . Puis je verse dans le mélange une quantité d'eau oxygénée (127 vol.) équivalente à celle de l'eau en vérifiant que le pH de la solution ne soit pas trop acide (AVERBURG, 1962) . La durée de cette attaque ne doit pas dépasser deux heures . Le mélange obtenu est lavé sur un tamis de 63  $\mu\text{m}$  en évitant de trop écraser le sédiment . Ce résidu, une fois séché, est traité de la même façon que celui des calcaires .

2 - Les calcaires .

Après quelques essais, l'expérience m'a montrée que pour les échantillons contenant plus de 70 % de CaCO<sub>3</sub> , il est préférable d'abandonner les lavages classiques qui s'avèrent inefficaces . La roche, grossièrement concassée au marteau est plongée dans une solution saturée de sulfate de sodium hydraté (sel de Glauber) . A cette concentration, le sulfate n'est soluble que vers 40 °C . Il cristallise à température ordinaire .

Les échantillons imprégnés de la solution de sulfate de sodium, sont placés dans des piluliers hermétiques . Ces derniers sont plongés dans un bain dont la température oscille régulièrement et automatiquement entre + 40 °C et - 4 °C . L'appareil utilisé est appelé cryothermostat .

Il va se produire dans la solution, et par conséquent dans les pores de la roche, de nombreux cycles de cristallisation - dissolution qui vont provoquer son délitage . La durée de l'opération dépend du taux de carbonate des sédiments et de leur porosité .

a - Le nettoyage de la microfaune issue d'échantillons marneux à l'aide du cryothermostat ne dure que 7 jours .

b - La désintégration des calcaires est plus longue . Des lavages successifs à intervalles réguliers (10 jours environ) accélèrent la désagrégation par l'élimination de la fraction fine et en améliorant les infiltrations de la solution de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . De plus, ils permettent de vérifier l'état de la microfaune . Le dernier lavage s'effectue sur 4 tamis couramment utilisés : 500 µm, 200 µm, 100 µm, 63 µm .

Cette méthode, mise au point par P. COTILLON, s'applique actuellement à des échantillons contenant jusqu'à 98 % de CaCO<sub>3</sub> lorsqu'ils sont suffisamment poreux .

3 - Importance des pertes de résidus de lavages .

J'ai effectué tous les lavages intermédiaires en utilisant le tamis de 63 µm pour minimiser les pertes de résidus, en particulier au niveau des tamis de 200 µm et 100 µm . Lorsque les sédiments sont riches en carbonate, le nombre de lavage est important (4 à 8) donc la quantité de résidu perdue augmente . Cependant, la grande quantité de résidu récupérée et la dispersion des éléments de la microfaune parmi les éléments micritiques minimisent ces pertes . Celles-ci ne sont donc pas plus importantes dans ce cas que pour le lavage des marnes .

II - ETUDE DES RESTES MICROFAUNIQUES

A - Littérature utilisée .

La détermination des foraminifères est appuyée principalement sur le traité de R.C. MOORE (1964) ainsi que sur les travaux de H. BARTENSTEIN & E. BRAND (1951), M. MOULLADE (1966), J. MAGNIEZ-JANIN (1975) ; celle des radiolaires sur les articles de E.A. PESSAGNO (1977) et A. SCHAFF (1981) .

B - Éléments microfauniques retenus :

Tous les éléments d'origine biologique contenus dans les résidus de lavages sont identifiés et dénombrés .

1 - Restes de métazoaires .

Il s'agit d'ammonites pyriteuses, d'aptychus, de bélemnites, de ryncholithes, de lamellibranches, d'échinodermes (radioles et plaques d'échinides) ainsi que des traces d'excrétion : des coprolithes .

2 - Foraminifères .

Ils sont déterminés principalement au niveau du genre . Ces derniers sont regroupés par famille mais surtout par type de test, par soucis de comparaison avec les associations fauniques actuelles .

Dans la liste qui suit, les genres marqués du signe \* ont été rencontrés au Valanginien, les genres marqués du signe + ont été identifiés à l'Aptien .

a - Foraminifères benthiques .

+++ Foraminifères à test agglutinant (Pl. I) .

++ Foraminifères agglutinant de grosses particules (grains de quartz, radiolaires, spicules, : matériel essentiellement siliceux) .

+ Lituolidae

- Ammobaculites \*+, CUSHMAN, 1910

- Haplophragmiun \*+, REUSS, 1860

Ces deux genres ont été associés lors des comptages .

+ Astrorhizidae

- Hyperammina \*+, BRADY, 1878

++ Foraminifères agglutinant du matériel fin .

. de nature siliceuse .

+ Ammodiscidae

- Ammodiscus \*+, REUSS, 1862

+ Hormosinidae

- Reophax \*+, MONTFORT, 1808

+ Textulariidae

- Textularia \*+ ; de FRANCE in de BLAINVILLE, 1824

+ Trochamminidae

- Trochammina \*+, PARKER & JONES, 1859

- Tritaxis \*+, SCHUBERT, 1921

+ Ataxophragmiidae

- Gaudryina \*, d'ORBIGNY in de la SAGRA, 1839

- Gaudryinella \*, PLUMMER, 1931

- Spiroplectinata + CUSHMAN, 1927

- Verneuilinoides \* LOEBLICH & TAPPAN, 1949

. de nature calcaire .

+ Ataxophragmiidae

- Dorothia \*<sup>+</sup>, PLUMMER, 1931

+++ Foraminifères à test hyalin

++ Test calcitique finement perforé .

+ Nodosariidae

- Lenticulina \*<sup>+</sup> LAMARCK, 1804
- Marginulina \*<sup>+</sup> d'ORBIGNY, 1826
- Dentalina \*<sup>+</sup> d'ORBIGNY, 1826
- Vaginulina \* d'ORBIGNY, 1826
- Nodosaria \*<sup>+</sup> LAMARCK, 1812
- Saracenaria <sup>+</sup> de FRANCE, in de BLAIVILLE, 1824
- Pseudonodosaria \*<sup>+</sup> BOOMGAART, 1949
- Fronicularia \* de FRANCE in d'ORBIGNY, 1826
- Lingulina \*<sup>+</sup> d'ORBIGNY, 1826

+ Polymorphinidae

- Globulina <sup>+</sup> d'ORBIGNY in de la SAGRA, 1839
- Pyrulina \*<sup>+</sup> d'ORBIGNY in de la SAGRA, 1839
- Ramulina \*<sup>+</sup> JONES in WRIGHT, 1875

+ Glandulinidae

- Tristix \*<sup>+</sup> MACFADYEN, 1941

+ Discorbacae

- Valvulineria <sup>+</sup> CUSHMAN, 1926

+ Spirillinidae

- Spirillina \*<sup>+</sup> EHRENBERG, 1843
- \*Spirillina minima SCHACKO, 1892
- \*Spirillina néocomina MOULLADE, 1961
- Miliospirella \*<sup>+</sup> GRIGELIS in BY KOVA et al., 1958
- Patellina \*<sup>+</sup> WILLIAMSON, 1858

+ Caucasinidae

- Cassidella <sup>+</sup> HOFKER, 1951

++ Test calcitique à grosses ponctuations .

+ Anomalinidae

- Gavelinella <sup>+</sup> BROTZEN, 1942

++ Test aragonitique .

+ Ceratobuliminidae

- Epistomina \* TERQUEM, 1883

b - Foraminifères planctoniques

+ Heterohelicidae

- Gubkinella <sup>+</sup> SULEYMANOV, 1955

+ Caucasellidae

- Caucasella \* LONGORIA, 1974

+ Planomaliniidae

- Globigerinoides <sup>+</sup> CUSHMAN & TEN DAM, 1948

+ Schackoinidae

- Schackoina <sup>+</sup> THALMANN, 1932

+ Rotaliporidae

- Hedbergella <sup>+</sup> BRONNIMANN & BROWN, 1958
- Clavihedbergella <sup>+</sup> BANNER & BLOW, 1959

Deux genres sont apparus intéressants à étudier avec plus de détail dans les coupes du Valanginien .

Le genre Dorothia avec quatre espèces rencontrés :

- + Dorothia zedlerae, MOULLADE, 1966
- + Dorothia hauteriviana MOULLADE, 1961
- + Dorothia kummi ZEDLER, 1961
- + Dorothia sp .

Le genre Lenticulina (Pl. I) est subdivisé en morphotypes déterminés par l'ornementation de leur test : la présence de pustules, de côtes, de cal, de carène ou de sutures . Certaines formes ont une ornementation relativement stable ; dans ce cas, le nom de l'espèce est retenu . D'autres présentent des variations telles qu'il m'a semblé préférable d'en rester à une détermination plus générale, non spécifique dans la mesure où j'ai privilégié l'ornementation dans cette étude . Les lenticulines rencontrées ont donc été regroupées en :

- + Lenticulina eichenbergi BARTENSTEIN & BRAND, 1951
- + Lenticulina ouachensis SIGAL, 1952
- + Lenticulina busnardoii MOULLADE, 1966
- + Lenticulina sans cal, ni côte avec suture
- + Lenticulina à cal, à côtes et carène (subalata)
- + Lenticulina à cal, à côtes, sans carène
- + Lenticulina à cal, sans côte et à carène
- + Lenticulina à cal, sans côte, ni carène (münsteri)

3 - Les radiolaires . (Pl. II)

Ils sont tous représentés par des moules internes calcitiques ou pyriteux . Ils sont comptés à partir de morphotypes . Certains correspondent à des genres .

a-- Radiolaires ronds .

- à surface réticulée
- à surface pustuleuse
- à surface présentant de grandes réticulations : Stylosphera

b - Radiolaires coniques .

- "Xitus" à striations
- "Xitus" à ponctuations
- "Obercapsa" réticulé
- "Obercapsa" pustuleux
- "Obercapsa" de petite taille
- Syringocapsa
- Archaeodictyomitra
- Pseudodictyomitra
- Radiolaires indéterminés

c - Radiolaires étoilés .

- à quatre branches
- à trois branches

B - Méthodes d'estimation .

Les résidus de lavage issus de 100 g de sédiments de taille comprise entre 100 et 63 µm peuvent atteindre un volume considérable dans les sédiments calcaires ; de plus, il est souvent difficile d'identifier avec certitude les restes microfauniques . Il m'est donc apparu préférable de n'étudier que la fraction de résidu de taille supérieure à 100 µm . Par conséquent, le nombre des différents éléments de la microfaune de taille supérieure à 100 µm, contenu dans des échantillons de 100 g de sédiment sec a été estimé .

Les modalités d'estimation dépendent de la quantité de résidu obtenue dans chaque tamis, ainsi que de l'abondance de la microfaune .

Ces estimations ont pour base des comptages effectués séparément à partir de trois refus de tamis de maille : 500 µm, 200 µm, 100 µm . J'ai évité de mélanger ces trois fractions granulométriques pour ne pas privilégier instinctivement les plus gros éléments au détriment des plus petits au moment des comptages. De plus, ce fractionnement, bien qu'artificiel, me permet d'apprécier les variations de taille des individus pour différentes catégories bien représentées dans les fractions 500-200 µm et 200-100 µm .

Ayant utilisé un poids constant de sédiment, l'estimation du nombre d'individus par catégorie, permet d'apprécier à la fois les variations de la concentration totale de la microfaune et les relations entre les différents constituants .

1 - Fraction de taille supérieure à 500 µm .

De volume réduit, en général, tous les éléments sont comptés .

2 - Fraction de taille comprise entre 500 et 200 µm .

L'ensemble du résidu est étalé sur une plaquette de 45 cm<sup>2</sup> . Lorsque la microfaune est peu abondante, l'ensemble du résidu est étudié .

Si certaines catégories deviennent très abondantes (épistomines, radiolaires ronds ou foraminifères planctoniques), elles peuvent masquer la répartition des autres groupes en nombre plus réduit mais tout aussi intéressants . Dans ce cas, deux comptages successifs pour un résidu vont être effectués :

- un premier comptage concernant les catégories les plus abondantes est effectué sur une partie du résidu (1/3 à 2/3 en général) . Il permettra d'estimer le nombre d'individus appartenant à ces catégories, contenu dans le résidu total de cette fraction .
- un second comptage portant sur le nombre d'individus des catégories de faibles effectifs est réalisé sur la totalité de cette fraction de résidu .

Dans le cas d'une très grande abondance de résidus (couvrant plus de deux plaquettes de 45 cm<sup>2</sup>, j'applique les procédés de comptage utilisés dans la fraction 200-100 µm .

3 - Fraction de taille comprise entre 200 et 100 µm .

Les éléments de la microfaune sont toujours très nombreux . L'estimation de leur abondance est faite à partir d'un certain nombre de cases de 1 cm<sup>2</sup> choisies sur la plaquette . Le choix de ces dernières a été effectué par tirage strictement aléatoire . La répartition de ces cases dépend de l'abondance de chaque catégorie et de la quantité de résidu (fig. 6) . Celui-ci peut varier de 0,12 g (TLR n°27) à 18,5 g (CHN n°1) .

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45

-  Cases utilisées lors d'estimation à partir de 9 cases
-  Cases utilisées lors d'estimation à partir de 5 cases
-  Cases utilisées lors d'estimation à partir de 3 cases

Figure 6 : Schéma de la plaquette utilisée lors des comptages .

a - Faible quantité de résidu .

Dans le cas d'une faible abondance des éléments de la microfaune, j'ai estimé les catégories les plus abondantes à partir de 5 cases (2, 7, 22, 38, 44), les catégories les moins abondantes à partir de 9 cases (2, 7, 13, 16, 27, 29, 32, 34, 44) .

Dans le cas d'une plus forte abondance des éléments de la microfaune nombre de cases étudiées est de 5 pour les catégories les moins abondantes et de 3 (2, 22, 44) pour celles des plus forts effectifs .

b - Forte quantité de résidu .

Dans ce cas, seule une partie du résidu prélevée à partir de l'ensemble de ce dernier, va subir le mode de comptage appliqué dans le cas précédent. Cette fraction étudiée est pesée précisément et rapportée au poids total de cette fraction .

Il faut noter que ces estimations sont établis à partir du dénombrement moyen de 1 000 à 1 500 individus .

4 - Fiabilité des résultats .

Il m'a semblé indispensable de vérifier la fiabilité de ces estimations .

a - Sur le même échantillon : TLR n°48 .

La concentration des différents radiolaires coniques a été estimée par trois comptages successifs sur l'ensemble du résidu, en considérant une case, trois cases, et cinq cases sur les quarante-cinq que comporte une plaquette . Ces catégories sont très dispersées parmi les radiolaires ronds qui représentent dans cet échantillon 90 % de la microfaune globale et 99,7 % des radiolaires totaux .(tabl. I)

		1/45	3/45	5/45	Ecart. observé dans la coupe TLR
"Xitus" striés	a	81	54	33	0 à 1060
	b	5	3,2	2	0 à 57 %
"Xitus" ponctué	a	-	189	182	0 à 395
	b	0	11	10	0 à 20 %
"Xitus" Totaux	a	81	243	215	0 à 1340
	b	5	15	12	0 à 70 %
"Obercapsa" pustuleux	a	324	324	496	0 à 600
	b	21	20	31	0 à 35 %
"Obercapsa" réticulé	a	648	810	711	0 à 1260
	b	42	50	43	0 à 44 %
Petits "Obercapsa"	a	324	162	49	0 à 430
	b	21	10	9	0 à 14 %
"Obercapsa" totaux	a	1296	1296	1356	0 à 1845
	b	84	80	84	0 à 60%
Archaeodictyo mitra	a	162	81	66	0 à 835
	b	10,5	5	4	0 à 80%
Radiolaires coniques	a	1539	1620	1637	0 à 3135
	b				

Tableau I : Estimation dans un même échantillon des radiolaires coniques à partir de trois comptages différents .

a : nombre/100 g de sédiment .  
b : pourcentage des différentes catégories de radiolaires coniques rapportées à la somme des radiolaires coniques .

On remarquera que :

- le nombre global estimé de radiolaires coniques contenus dans 100 g de sédiments reste équivalent, de même pour la somme des radiolaires de type "Obercapsa" .

- les variations sont plus grandes pour les catégories de plus faibles effectifs .

Toutefois, les variations relatives, comme les variations en nombre restent faibles par rapport aux écarts observés dans la coupe TLR pour les différents niveaux étudiés .

b - Pour un même niveau : CTV n°3

J'ai effectué 2 échantillonnages successifs et 2 comptages indépendants : CTV 03 et CTV 04 (tabl. II) .

		Fohy	AgFi	Aggr	Agto	Fora	RaRo	RaCO	Rato	Ostr
CTV 3	a	2000	1007	207	1216	3216	75254	3734	85515	94
	b	2	1,1	0,2	1,4	3,6	85	4,2	96	-
CTV 4	a	2426	772	1120	892	3318	34654	1818	38975	90
	b	5,7	1,8	0,3	2,1	7,8	82	4,2	92	-
dans le bassin	a	100 à 5000	500 à 3000	10 à 4000	100 à 6500	500 à 8000	50 à 150000	0 à 150000	0 à 4000	0 à 450
	b	1,5 à 18	1 à 66	0,1 à 12	1 à 78	2 à 97	3 à 93	0 à 4,9	3 à 97	-

Tableau II : Estimation de la composition de la microfaune dans un même niveau à partir de deux échantillons et de deux comptages indépendants .

a : nombre/ 100 g de sédiment

b : pourcentage des différentes catégories de la microfaune .

Abréviations : voir annexe II .

La différence dans l'estimation du nombre de foraminifères est faible; elle est plus importante au niveau du nombre de radiolaires . Ces écarts restent faibles comparés aux variations rencontrées au cours de l'estimation de la microfaune de l'ensemble des coupes étudiées dans le bassin . Néanmoins, il m'est apparu important de comparer les deux estimations des différentes catégories des éléments de la microfaune de ce niveau dans diverses analyses des données effectuées à partir de l'ensemble des échantillons étudiés dans le bassin (fig. 7) .

Dans les analyses de la microfaune totale, des foraminifères ou des radiolaires, les deux échantillons ne se superposent pas mais restent très proches à l'intérieur du nuage de points . Ce résultat montre que les comptages sont fiables mais qu'il ne faudra pas rechercher une finesse excessive dans l'interprétation des analyses statistiques multidimensionnelles .

III - TRAITEMENT DES DONNEES .

Je dispose d'un certain nombre d'échantillons : 56 pour la coupe de référence du faisceau valangien, 154 pour les autres coupes du bassin et 21 pour la coupe de l'Aptien supérieur de Villebois-les-Pins et pour chaque

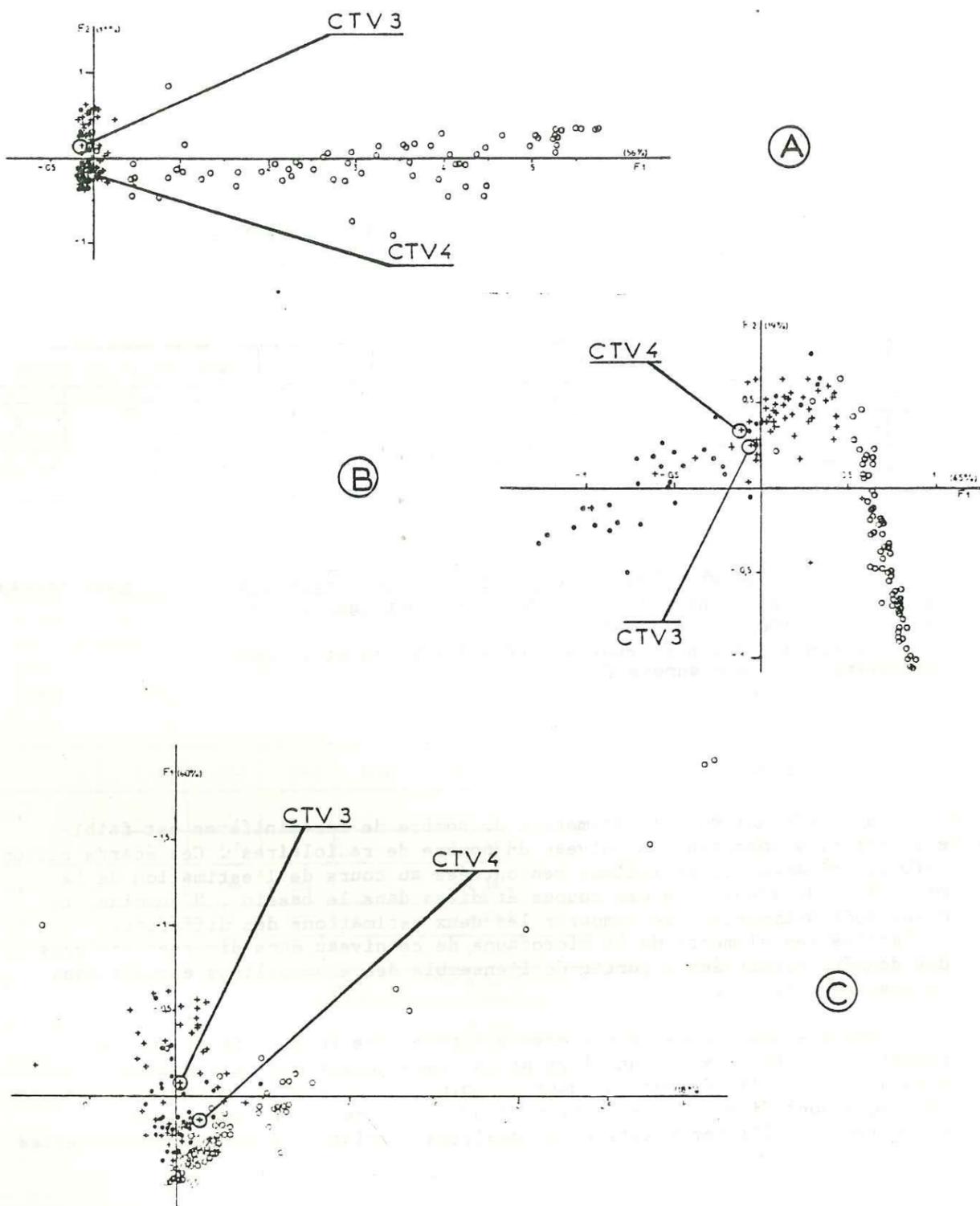


Figure 7 : Comparaison de deux échantillons issus d'un même niveau dans une même coupe. Position de ces échantillons dans le plan des deux premiers facteurs après analyse des correspondances pour :  
 A : l'ensemble de la microfaune  
 B : l'ensemble des foraminifères  
 C : l'ensemble des radiolaires .

échantillon d'une cinquantaine de dénombrement .

Même si pendant les comptages un certain nombre d'idées de relations apparaissent (abondance des radiolaires, des épistomines dans les calcaires, grande abondance relative de trochammines et de lenticulines dans les marnes ), il n'est pas possible de toutes les entrevoir et encore moins de les quantifier .

L'utilisation de méthodes statistiques est donc indispensable ; compte-tenu du grand nombre de données accumulées, seules des méthodes multidimensionnelles permettront de dégager l'essentiel de l'information .

Les analyses multivariées auront pour base l'ensemble des catégories élémentaires (genres ou morphogroupes) de la microfaune . Il me semble important de connaître les interactions de toutes les catégories, quelle que soit leur abondance, même si leurs variations n'interviennent que très discrètement dans la structure de l'ensemble des échantillons considérés .

A- L'analyse factorielle des correspondances (BENZECRI, 1979) .

C'est la méthode la mieux adaptée au traitement des tableaux de dénombrement .

Elle cherche à décrire dans un espace euclidien multidimensionnel la forme d'un nuage de points en déterminant ses principaux axes d'allongement . A chacun de ces axes, appelés facteurs, est associée une certaine quantité de l'inertie totale du nuage ( l'inertie correspond à la variance par rapport au barycentre, qui est la moyenne pondérée des éléments du nuage) . Ces facteurs sont orthogonaux . Leur signification est complexe (BENZECRI, 1979 ; FENELON, 1981) ; elle dépend en particulier de la quantité de l'inertie représentée par ces axes mais aussi des éléments (variables ou échantillons) qui leur sont associés . Ils peuvent être l'expression d'un ou de plusieurs paramètres agissant sur le système ce qui peut gêner leur interprétation .

La méthode utilisée permet une projection simultanée des variables et des échantillons dans l'espace des facteurs . Ceci permet de mettre en évidence les relations entre certaines variables et certains échantillons .

Dans la suite du texte, un certain nombre de paramètres propres à l'analyse des correspondances est employé . Pour leur définition, on se reportera à LEBART & FENELON, (1973), LEBART et al. (1977, 1979) ; BENZECRI et al. (1980), FENELON (1981) .

Pour ce travail, j'ai utilisé le programme ANAFAC-CORR de la programmation de l'ADDAD, implantée au Centre Interrégional de Calcul Electronique (CIRCE) à Orsay .

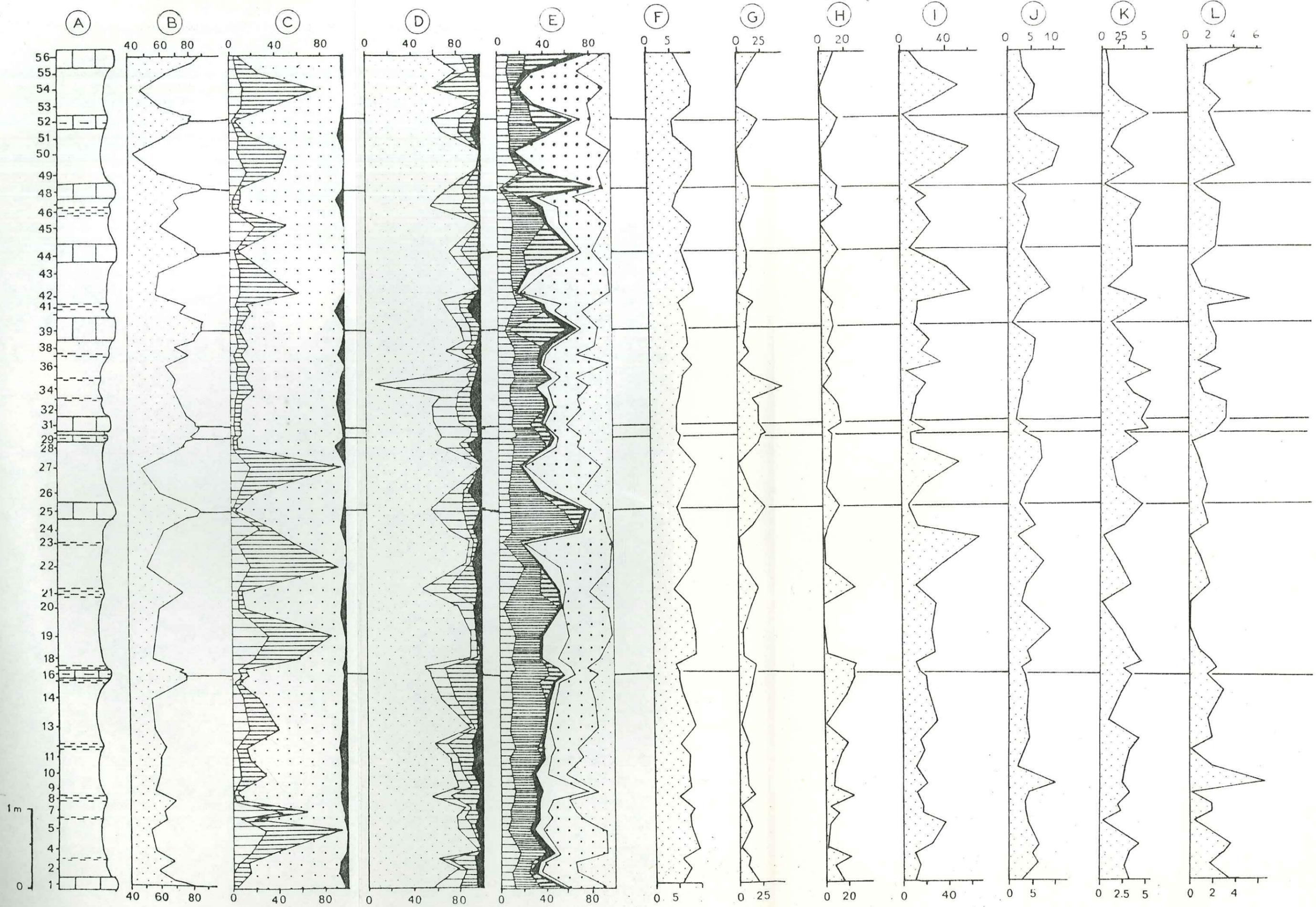
Cette analyse factorielle permet de sélectionner et de vérifier les relations entre les variables, les échantillons et les facteurs représentatifs du milieu tel que le pourcentage en CaCO<sub>3</sub> des sédiments, grâce à des analyses bivariées . Les corrélations observées entre les différents éléments sont souvent assez faibles . Elles correspondent plus à des tendances qu'à des lois bien définies .

Ces relations, de caractères parfois ambigus, démontrent la complexité du monde vivant (et fossile) ; elles s'opposent aux corrélations souvent précises obtenues dans le monde minéral .

QUATRIEME CHAPITRE

VARIATIONS DE LA MICROFAUNE

---



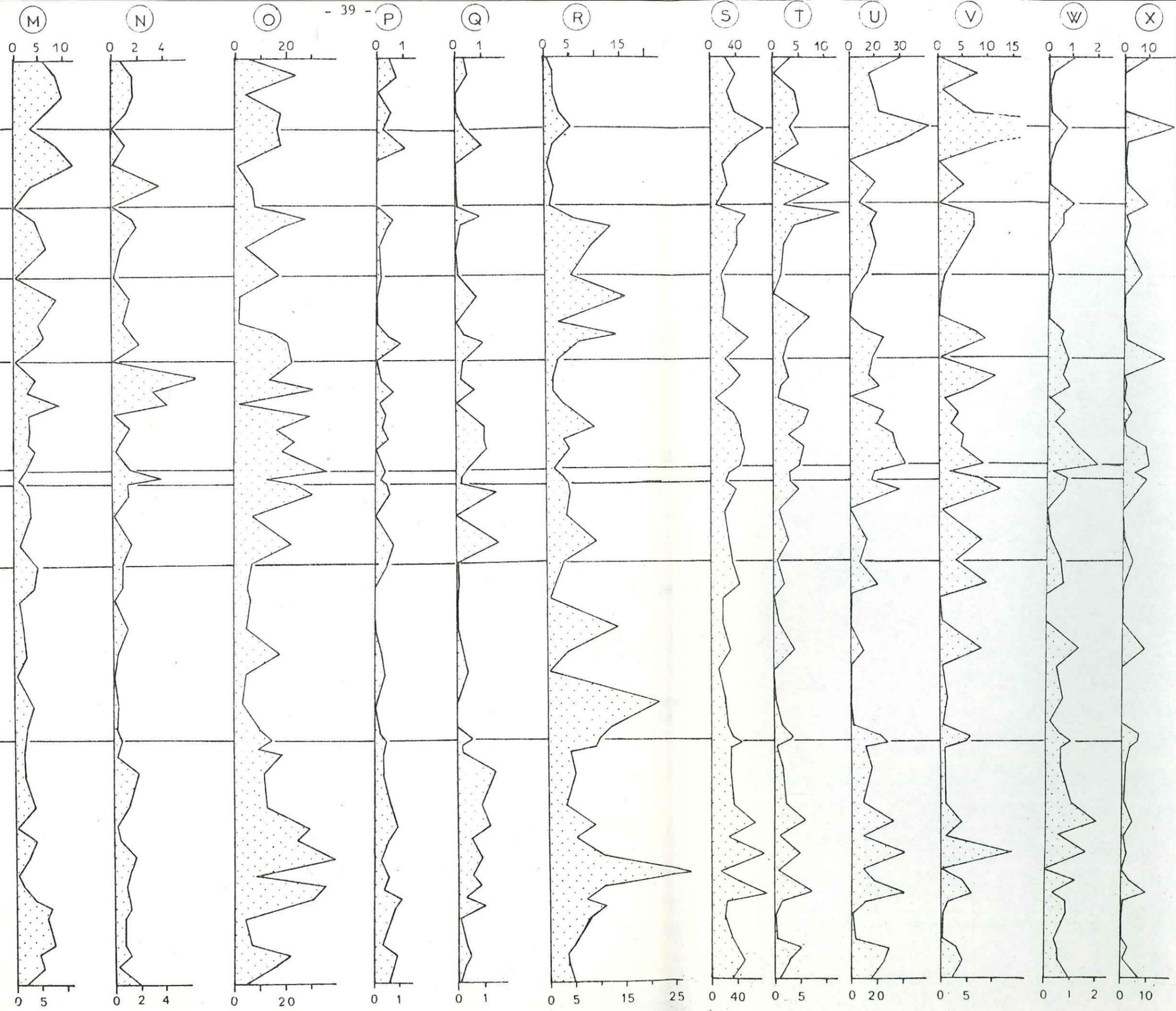


Figure 8 : Les variations verticales de la microfaune . Coupe du Toulourenc. Valanginien . Comparaison avec les variations de la lithologie (A), et du taux de carbonate des sédiments (B) :

- C : Microfaune totale +
- D : Radiolaires +
- E : Foraminifères +
- F : % Radiolaires ronds réticulés
- G : % Radiolaires ronds pustuleux
- H : % Stylosphaera
- I : % Trochammina
- J : % Lenticulina
- K : % Dentalina
- L : % Pseudonodosaria
- M : % Ammodiscus
- O : % Ramulina
- O : % Ammobaculites
- P : % Archaeodictyomitra
- Q : % Syringocapsa
- R : % Dorothia
- S : % Lenticulina 500-200 μm  
Lenticulina totales
- T : % Spirillina 500 -200 μm  
Spirillina totales
- U : % Dorothia 500-200 μm  
Dorothia totales
- V : % Trochammina 500-200 μm  
Trochammina totales
- W : % Rad. ret. 500-200 μm  
Rad. ret. totales
- X : % Rad. pust. 500-200 μm  
Rad. pust. totaux

Rad. : Radiolaires  
ret. : reticulés  
pust. : pustuleux  
+ : La signification des figurés représentant les différentes catégories des grands groupes est donnée figure 9 .

100 g de sédiment calcaire ou marneux ne correspondent ni à un volume initial constant de sédiment, ni peut-être à une même durée de dépôt .

En effet, la compaction s'exerce plus intensément sur les boues argileuses que sur les boues calcaires (RIEKE & CHILINGARIAN, 1974); ainsi les coquilles (HALLAM, 1964) ou les structures de bioturbation (travaux en cours) sont plus fortement écrasées dans les premières que dans les secondes . D'après les premières mesures dans la coupe du Toulourenc, la compaction serait deux à trois fois plus forte dans les marnes que dans les calcaires (JAUTEE, com. orale)

Le taux de sédimentation varie à peu près d'un facteur dix entre calcaires et marnes (COTILLON, com. orale) .

Ces imprécisions du taux de compaction et du taux de sédimentation me conduisent dans un premier temps à n'envisager que les variations du pourcentage des différents éléments de la microfaune .

Dans un deuxième temps, les variations de leur concentration dans 100 g de sédiment, pourront servir à mieux définir les relations entre le rôle des arrivées terrigènes, le taux de production des organismes et le taux de sédimentation pour des niveaux équivalents dans le bassin .

## I - VARIATIONS VERTICALES DE LA MICROFAUNE DANS LA COUPE DU TOULOURENC (Valanginien) .

### A - Etude des populations globales

#### 1 - Variations calquées sur celles de la lithologie

La composition de l'ensemble de la microfaune montre des variations rythmiques calquées sur celles de la lithologie (fig. 8A, 8B, 8C) . On retrouve cette périodicité avec les radiolaires (fig. 8D) .

Les marnes sont caractérisées par un fort pourcentage de foraminifères, en particulier de foraminifères à test agglutinant et de faibles proportions de radiolaires (fig. 9A) .

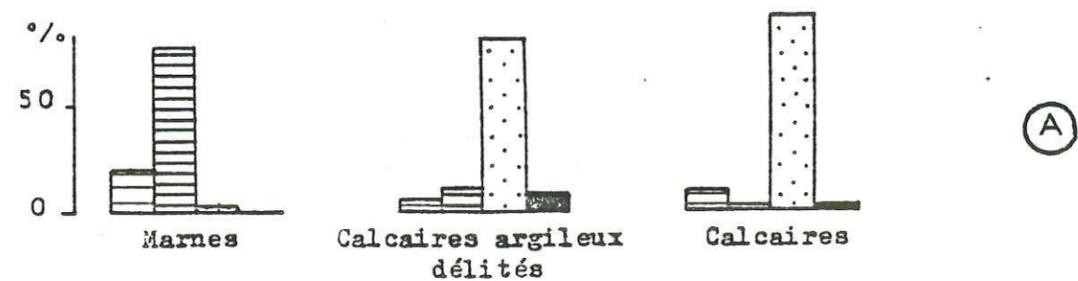
Les calcaires sont caractérisés par une faible proportion de foraminifères, une forte abondance relative de radiolaires . Les radiolaires ronds réticulés sont toujours majoritaires mais l'importance relative des radiolaires ronds pustuleux et des Stylospheara s'accroît (fig. 9A) .

#### 2 - Variations d'un ordre supérieur .

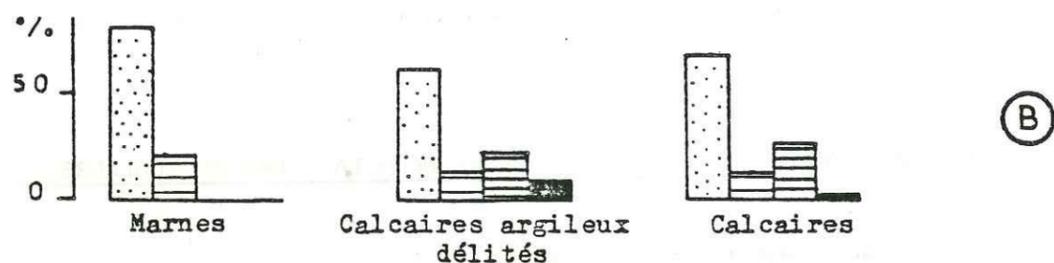
La population des foraminifères benthiques varie de façon apparemment moins régulière (fig. 8E) . Les foraminifères à test agglutinant fin ont une abondance maximale au niveau des marnes, les épistomines au niveau des calcaires . Les variations relatives des Nodosariidae, Spirillinidae, foraminifères à test agglutinant grossier ne sont pas calquées sur celles de la lithologie .

### B - Variations relatives de divers genres ou morphogroupes .

Si l'on met en regard de la lithologie les proportions des différents genres de foraminifères (calculées par rapport au nombre total de foraminifères) et



Foraminifères à test hyalin.  
 Foraminifères à test agglutinant.  
 Radiolaires ronds.  
 Radiolaires coniques.



Radiolaires ronds réticulés.  
 Radiolaires ronds pustuleux.  
 Stylosphaera.  
 Radiolaires coniques.



Nodosariidae  
 Spirillinidae  
 Autres foraminifères à test calcitique.  
 Epistomina  
 Dorothis  
 Foraminifères à test agglutinant fin siliceux.  
 Foraminifères à test agglutinant grossier.

Figure 9 : La microfaune dans les marnes, les calcaires argileux délités, et les calcaires. Coupe du Toulourenc. Valanginien.

Histogramme de fréquence relative pour :

- A : la microfaune totale
- B : les radiolaires
- C : les foraminifères.

des différents morphogroupes de radiolaires (calculées par rapport au nombre total de radiolaires) on constate que :

1 - Les radiolaires ronds pustuleux, les *Stylosphaera*, les *Epistomina* présentent une abondance relative maximale au niveau des bancs calcaires ou de calcaires délités, les *Trochammina* et les *Lenticulina* au niveau des interbancs marneux (fig. 8I,8J,9).

2 - Les *Dentalina*, *Pseudonodosaria*, *Ammodiscus*, *Ramulina* montrent des variations relatives calquées sur celles de la lithologie mais semblent aussi exprimer des oscillations de plus grandes amplitudes (fig. 8K,8L, 8M,8N). Ces dernières sont surtout soulignées par les variations des proportions d'*Ammobaculites*, *Dorothis*, *Archaeodictyomitra*, *Syringocapsa* (fig. 8O,8P,8Q,8R). On observe, par exemple, que les proportions moyennes d'*Ammobaculites* sont maximales de l'échantillon n°1 à 18, de l'échantillon n°25 à 45 ; elles sont minimales de l'échantillon n°18 à 25. L'abondance relative des *Ammobaculites*, foraminifères à test agglutinant grossier siliceux, présentent des variations antagonistes à celles des *Dorothis*, foraminifères à test agglutinant fin calcaire.

C - Variations de la taille des différents organismes.

La répartition des tailles d'une catégorie a été estimée grâce au pourcentage du nombre d'individus de taille supérieure à 200 µm rapporté aux nombre total de ces individus.

les courbes relatives à la taille des différentes catégories de foraminifères benthiques (*Lenticulina*, *Spirillina*, *Dorothis*, *Trochammina*) sont semblables et coïncident avec les mégacycles observés auparavant (fig. 8S,8T, 8U, 8V). Celles des radiolaires ronds réticulés et pustuleux reflètent beaucoup mieux les variations lithologiques (fig. 8W, 8X). La courbe concernant la taille des radiolaires ronds pustuleux montre pourtant des affinités avec celles des foraminifères benthiques.

D - Conclusions.

1 - Les variations relatives de la microfaune montrent deux types de rythmicité :

- l'une calquée sur l'alternance lithologique, bien marquée pour la microfaune globale, surtout pour les radiolaires mais aussi pour quelques foraminifères benthiques tels que les *Epistomina*, *Lenticulina*, *Trochammina*. La microfaune contenue dans les niveaux de calcaires argileux délités a un comportement équivalent à celle contenue dans les bancs.

- l'autre, indépendante de l'alternance lithologique montre une mégarythmicité, moins régulière et déterminant des périodes plus longues que la première. Elle est mise en évidence par la répartition des foraminifères benthiques et des radiolaires coniques.

2 - Les travaux en domaine océanique ont montré que la sédimentation était caractérisée par des cycles de durée variable, observables à toutes les échelles.

Cette cyclicité est exprimée en relation avec le taux de carbonate des sédiments. La mise en évidence, dans une carotte crétacée de l'Atlantique

	Van HINTE (1975)	GEOLOGICAL SOCIETE OF LONDON 1964	KENNEDY ET ODIN (1982)
METHODOLOGIE	PALEOMAGNETISME.	DECOUPEGE DU CRETACE EN ETAGE	DATATION ABSOLUE : K/Ar à partir de GLAUCONIE.
Durée du Valanginien épaisseur moyenne (124m)	5 Millions d'années	6 Millions d'années	7 Millions d'années
Intervalle de temps correspondant au dépôt du faisceau épaisseur moyenne (12m)	250.000 ans	300.000 ans	350.000 ans
Intervalle de temps correspondant au dépôt d'un cycle élémentaire d'épaisseur moyenne (0,80m)	16.000 ans	20.000 ans	22.000 ans
Intervalle de temps correspondant au dépôt d'un mégacycle d'épaisseur moyenne (3,5m)	73.000 ans	86.000 ans	101.000 ans

Tableau III : Les durées de dépôt du faisceau valanginien . Comparaison entre les différentes valeurs obtenues selon les durées accordées au Valanginien par les auteurs .

(Leg 77, Site 535 ) (P. COTILLON, comm. orale) de la présence de cyclicité à la fois à l'échelle du banc, du lit, et de la lamine fait penser à un emboîtement de cycles d'échelles variables.

Les variations cycliques du taux de carbonate des sédiments sont observées également dans les dépôts océaniques quaternaires. Des cycles de 230 à 1000 ans , de 1000 à 3600 ans et de 21000 ans ont été mis en évidence par N. MORNEX (1974). En étudiant les variations du taux d'accumulation de carbonate et celles de la composition isotopique de l'oxygène des sédiments, N. PISIAS (1976), par analyse spectrale , aboutit à une périodicité de 100000 ans. D'autres auteurs, tels que M. BRISKIN et J. HARELL (1980), R. KERR (1981), T. MOORE et al. (1982) , montrent que le pourcentage de carbonate dans les sédiments dessinent des cycles de 400000, 100000, 40000 et 21000 ans . D'après D. MICHEL (1982), les calcaires noduleux et les lydiennes du Dévon-Dinantien dans la Montagne Noire montrent dans leurs dépôts des périodicités de 21000, 41000 et 60000 à 100000 ans.

Les périodes les plus souvent rencontrées sont de 21000, 41000 et 100000 ans.

3 - Dans les dépôts quaternaires, les variations des paléotempératures estimées à l'aide de la dissolution des foraminifères planctoniques et des teneurs en  $\delta^{18}O$  permettent de considérer ces périodicités comme l'expression de variations climatiques (ERICSON & WOLLIN, 1956 ; EMILIANI & SHACKLETON, 1974 ; MORNEX ,1974 ; RUDDIMAN , 1977 ).

Ces dernières pourraient dépendre des variations des paramètres orbitaux de la terre qui règlent la quantité et la distribution des radiations solaires ( PISAS, 1976; IMBRIE J. , Jr, 1980). Les variations de ces paramètres sont de trois ordres ( MILANCKOVITCH , 1942) :

- 22000 ans : précession des équinoxes ;
- 41000 ans : obliquité de l'axe de l'orbite terrestre ;
- 92000 ans : excentricité de l'orbite terrestre.

A. BERGER (1978) met en évidence un cycle de plus longue durée : 400000 ans , lié à l'ensemble des variations des paramètres orbitaux.

Selon l'échelle de temps considérée ( tabl. III), la durée moyenne d'un cycle élémentaire ou d'un mégacycle observé dans les faisceau valanginien, présente d'assez grandes variations. Toutefois, il semble que l'échelle de KENNEDY et ODIN (1982) soit celle qui permette meilleur rapprochement avec les cycles de 21000 ans et de 100000 ans ; ces derniers sont les plus couramment rencontrés dans les séries océaniques quaternaires.

4 - Les relations entre les variations climatiques quaternaires et la cyclicité des dépôts océaniques sont relativement bien établies.

Dans l'Atlantique :

De la mer du Groenland à la mer de Norvège (KELLOG, 1976), de l'Atlantique Nord-Est (RUDDIMAN & Mc INTYRE, 1976) à l'Atlantique Ouest équatorial (BE et al., 1976) et jusqu'au bassin de Colombie (PRELL & HAYS, 1976 ), on peut corréler les épisodes les plus calcaires.

Pendant les périodes glaciaires, les dépôts sont pauvres en carbonates (GARDNER, 1975 ; DAMUTH, 1977 ; PUJOL, 1980) alors qu'ils sont riches en carbonate pendant les périodes interglaciaires.

Les périodes glaciaires sont caractérisées par:

- un abaissement du niveau de la mer, du à l'immobilisation d'eau sous forme de glace (BE et al., 1976), entraînant une augmentation des apports terrigènes dans les bassins océaniques;

- une baisse de production des coccolithophoridés dans les hautes latitudes (Mc INTYRE & KIPP et al., 1976), celle-ci semblant moins importante dans les régions subtropicales à équatoriales;

- une fragmentation des tests de foraminifères planctoniques, une absence de ptéropodes, un rapport entre les éléments benthiques et les éléments planctoniques élevé. Ces faits sont interprétés comme un indice de dissolution important dans l'Atlantique Ouest équatorial (BE et al., 1976).

Pendant les périodes interglaciaires, durant lesquelles les eaux de surface se réchauffent, la production de carbonate augmente. (WISEMAN, 1956; KELLOG 1976).

Dans le Pacifique, contrairement à ce qui se passe dans l'Atlantique, les sédiments les plus riches en carbonate se sont déposés pendant les périodes glaciaires (THOMPSON & SAITO, 1974; LUZ & SHACKLETON, 1975; SHACKLETON & OPDYKE, 1976; THOMPSON, 1976): ce phénomène pourrait être du à une augmentation de la productivité des eaux de surface (ARRHENIUS, 1952) liée à une intensification des remontées d'eaux profondes. En effet, pendant les périodes froides, la circulation atmosphérique est accrue, favorisant les courants océaniques (MOORE et al., 1980) et en particulier, les courants d "up-welling". Dans le Pacifique, ces derniers ont une action très importante du fait de l'enrichissement des eaux profondes en sels dissous (particulièrement en silice) (BERGER, 1970).

Ces apports en silice seraient beaucoup plus importants dans le Pacifique que dans l'Atlantique où les eaux de fond sont plus jeunes et plus corrosives.

Pendant les périodes interglaciaires, d'importantes traces de dissolution des carbonates sont observées. B. LUZ et N. SHACKLETON (1975) expliquent cette dissolution comme un phénomène de compensation par rapport à la forte productivité dans l'Océan Atlantique durant ces périodes. Cependant, il semble peu probable qu'il puisse s'effectuer un transfert de carbonate d'un océan à l'autre. W. BERGER (1973) suggère que le changement de productivité des eaux de surface dans l'Océan Pacifique n'a qu'un effet mineur sur la sédimentation carbonatée. Les variations du taux de carbonate dans les sédiments seraient plutôt dues à l'agressivité des eaux de fond. Une grande productivité ne favoriserait donc pas forcément une bonne conservation des tests et une concentration du carbonate. En effet, ce phénomène conduisant à une extraction importante de carbonate peut entraîner une sous-saturation des eaux en carbonate et par conséquent une dissolution des tests (VOLAT et al., 1980).

De plus, la grande abondance de matière organique dans les sédiments entraîne une augmentation de la concentration du gaz carbonique dans les eaux profondes et une corrosion plus importante des tests carbonatés sédimentés (BERGER, 1970; THIEDE, 1973; THUNNELL, 1976). Aussi W. BERGER (1977) suggère-t-il que les basses productivités peuvent favoriser la conservation des tests.

Dans la Mer d'Arabie, mer de basse latitude, les sédiments déposés pendant les périodes glaciaires sont caractérisés par une augmentation de leur teneur en carbonate. Ces dépôts coïncident avec l'intensification des courants d "up-welling" durant ces périodes (CLIMAP PROJECT MEMBERS, 1976).

Il y a donc opposition entre l'évolution des teneurs en carbonate dans les sédiments atlantiques, pacifiques ou de la Mer Rouge pendant les périodes glaciaires et interglaciaires. Toutefois, les variations lithologiques observées semblent synchrones et tendent à montrer que la cause de ces cycles est unique et globale (VOLAT et al., 1980).

Si les alternances "marne-calcaire" quaternaires ont pour origine des variations climatiques, elles résultent de processus de sédimentation propres à chaque système océanique considéré: dans l'Atlantique et la Mer Rouge, la conservation du carbonate semble être importante alors que la dissolution joue un grand rôle dans l'alternance lithologique des dépôts pacifiques (EREZ, 1979).

Au Crétacé, le domaine vocontien appartient à la Téthys, océan circum-terrestre, sans communication directe et permanente avec les masses d'eau de hautes latitudes (fig. 10). Ainsi, l'hydrodynamisme de ce bassin n'est pas directement comparable aux modèles actuels.

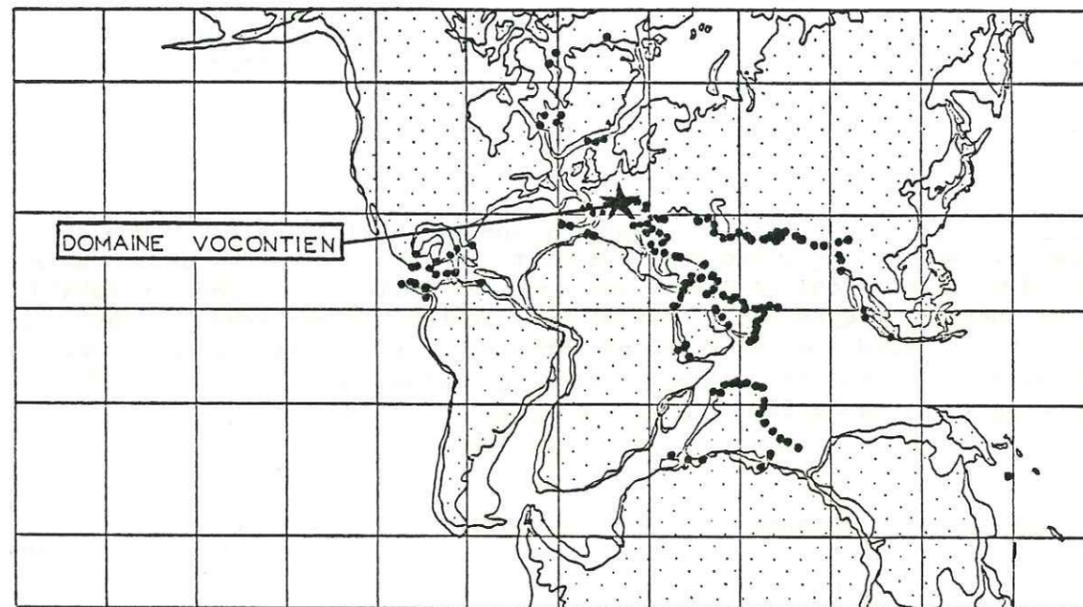


Figure 10 : Situation du domaine vocontien par rapport aux masses océaniques mondiales à l'Hauterivien (d'après SMITH & BRIDEN, 1977).

• : zones d'accrétion tectoniques.

Pour mieux comprendre le fonctionnement de cette aire océanique, l'analyse des variations de la composition de la microfaune benthique et planctonique en fonction du taux de carbonate des sédiments s'avère nécessaire pour mieux définir les conditions de sédimentation des alternances marne-calcaire.

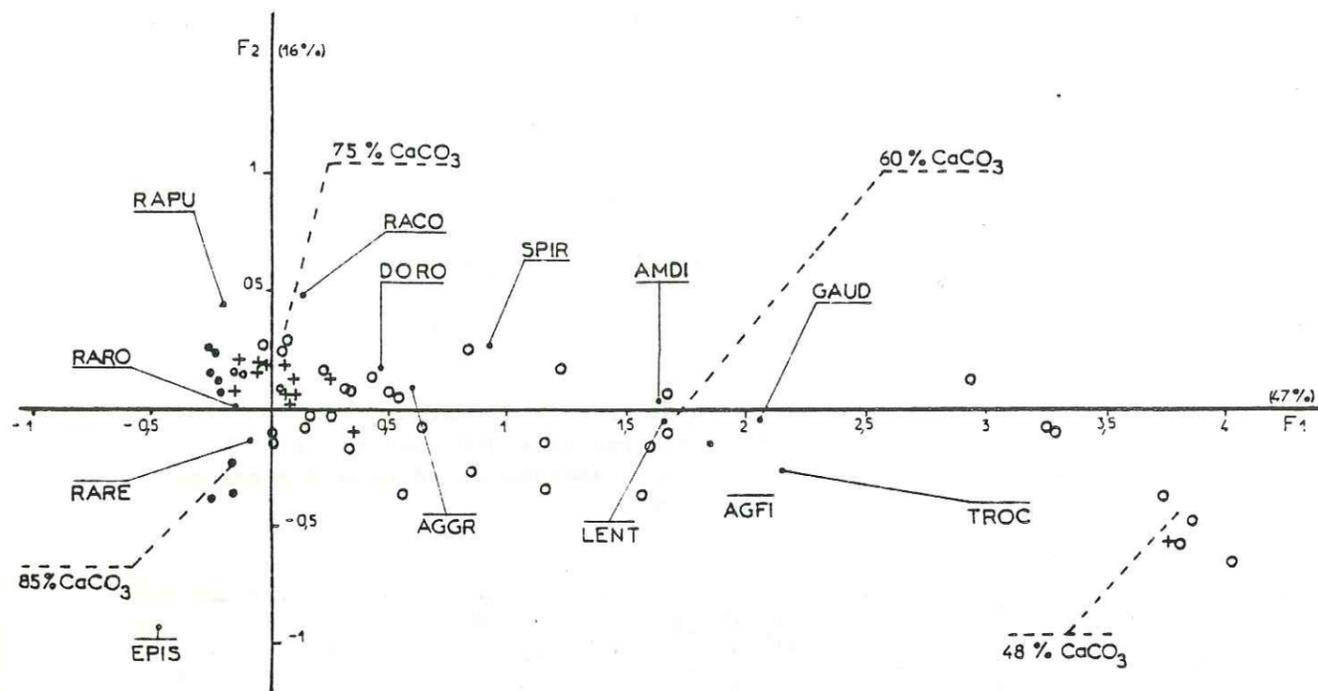


Figure 11 : Correspondance entre la microfaune et la lithologie . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les pourcentages de  $\text{CaCO}_3$  indiqués ont été rajoutés pour mieux illustrer le reclassement des échantillons . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs ; (• : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes) .  
Abréviations : cf annexe II .

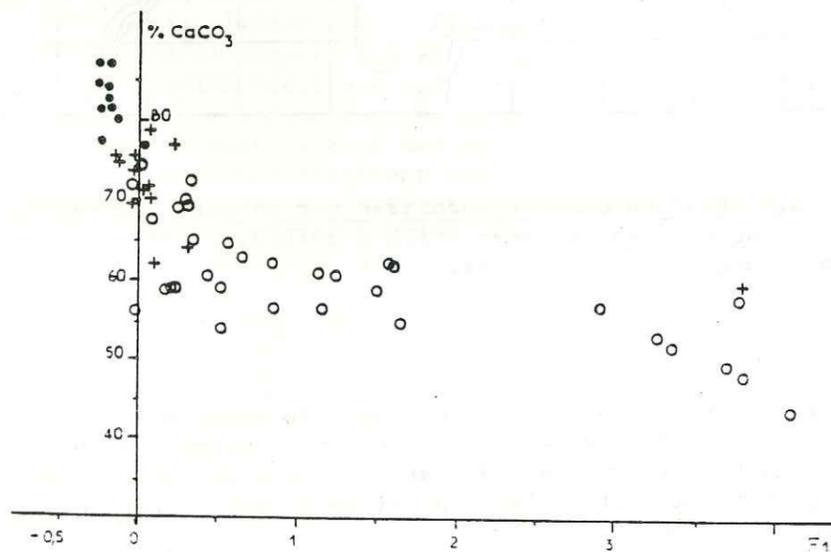


Figure 12 : Relation entre le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  des échantillons et leur abscisse sur le premier facteur . Analyse factorielle des correspondances : microfaune . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
(• : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes) .

II - VARIATIONS DE LA MICROFAUNE EN FONCTION DU TAUX DE CARBONATE DES SEDIMENTS.

Les données concernant les débris de lamellibranches, échinides, coprolithes seront dans un premier temps écartés de cette étude ; elles seront traitées comme des données concernant soit le plancton (lamellibranches planctoniques), soit le benthos (échinides), soit la matière organique (coprolithes).

A - L'ensemble de la microfaune.

Dans cette partie, l'étude des éléments de la microfaune rencontrés comprend celle des radiolaires, des foraminifères et des ostracodes.

1 - Coupe du Toulourenc.

Les résultats des comptages ont été soumis à une analyse factorielle des correspondances (A.F.C.). Le tableau comporte 56 échantillons et 32 variables principales (21 genres de foraminifères et 11 morphogroupes de radiolaires). 14 groupes rassemblant plusieurs catégories élémentaires (Nodosariidae, foraminifères à test agglutinant, etc.) sont utilisés comme variables supplémentaires. Le plan factoriel F1F2 représente 63% de l'inertie du système (fig. 11).

a - Les variables.

Les foraminifères, exception faite des Epistomina, contribuent très fortement au premier axe factoriel F1 (90% de contribution relative (CTR)). Sur l'axe F2, les radiolaires (CTR : 71%) s'opposent aux Epistomina (CTR : 23%).

Dans le détail :

- l'ensemble des foraminifères à test agglutinant fin n'occupe pas la même position dans le plan F1F2 que celui des foraminifères à test agglutinant grossier ;
- l'ensemble des radiolaires coniques se distingue de celui des radiolaires ronds .

b - Les échantillons.

On observe sur F1 une opposition entre les échantillons marneux et les échantillons calcaires. Sur F2, les échantillons les plus riches en carbonates ( $\text{CaCO}_3 > 84\%$ ) se distinguent des échantillons un peu plus pauvres ( $75\% < \text{CaCO}_3 < 84\%$ ).

La composition de la microfaune contenue dans les marnes s'oppose à celle présente dans les calcaires :

- les marnes sont caractérisées par l'ensemble des foraminifères à test agglutinant fin ( en particulier par les Trochammina (fig. 14), Ammodiscus ) et par les Lenticulina ;
- dans les calcaires , dominent les radiolaires et les Epistomina (fig. 13).

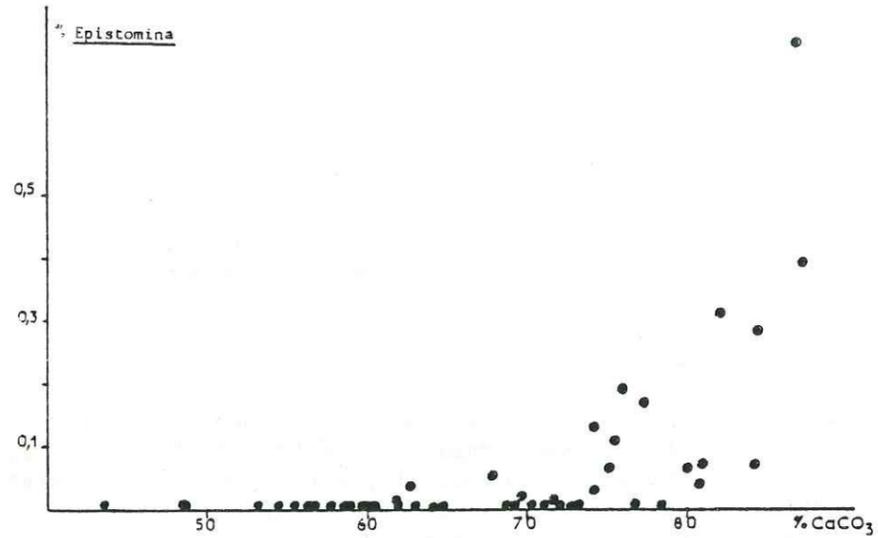


Figure 13 : Les Epistomina et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Le pourcentage d'Epistomina est calculé par rapport à l'ensemble des éléments microfauniques .

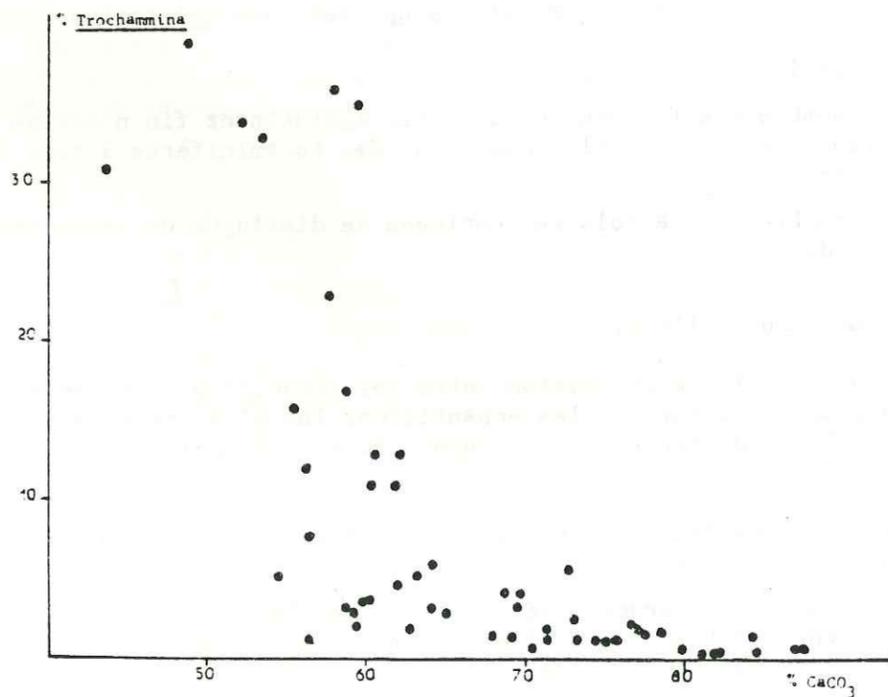


Figure 14 : Les Trochammina et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien.  
Le pourcentage de Trochammina est calculé par rapport à l'ensemble des éléments microfauniques.

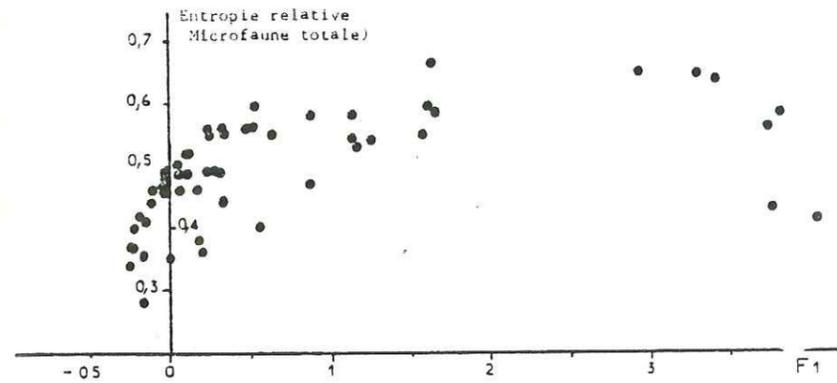


Figure 15 : Diversité de la microfaune (entropie relative) et abscisse factorielle sur F<sub>1</sub> des échantillons . Analyse factorielle des correspondances : microfaune . Coupe du Toulourenc . Valanginien .

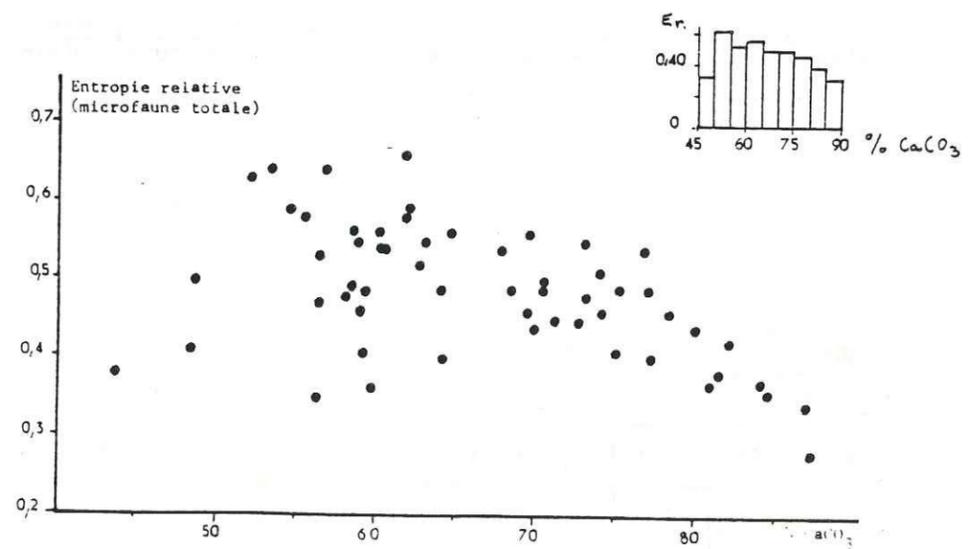


Figure 16 : Diversité de la microfaune (entropie relative : Er) et teneur en carbonate des sédiments .  
Histogramme : on a calculé la moyenne de l'entropie relative des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en CaCO<sub>3</sub> . L'intervalle de classe est de 5 % .

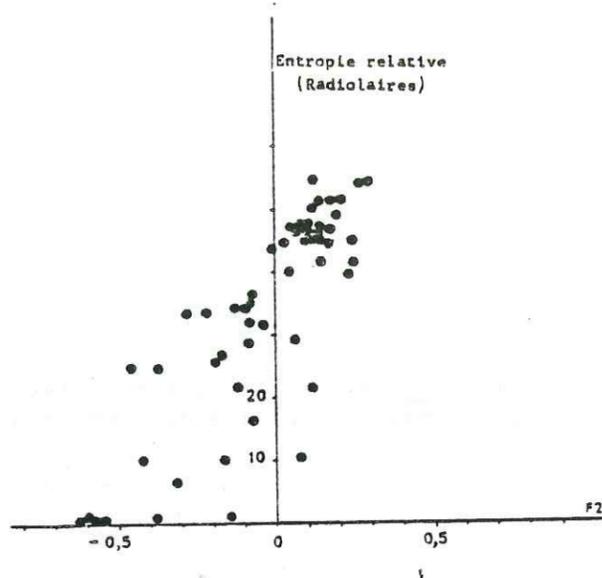


Figure 17 : Diversité des radiolaires et abscisse factorielle sur F<sub>2</sub> des échantillons . Analyse factorielle des correspondances : microfaune . Coupe du Toulourenc .

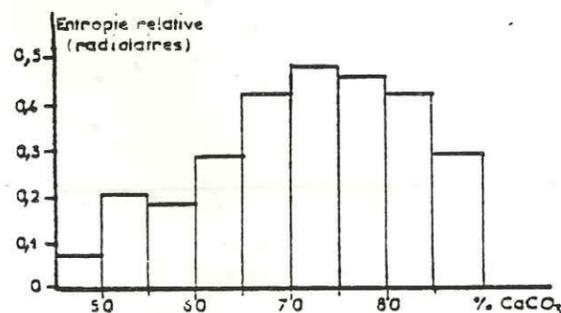


Figure 18 : Diversité des radiolaires (entropie relative) et teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
L'histogramme résulte du calcul de la moyenne de l'entropie relative des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en CaCO<sub>3</sub> . L'intervalle de classe est de 5 % .

Les échantillons sont reclassés en fonction de leur teneur en carbonate: il existe une relation entre l'abscisse factorielle des échantillons sur F<sub>1</sub> et la teneur en CaCO<sub>3</sub> ( fig. 12). Cette corrélation est d'autant plus remarquable que cette valeur n'a pas été introduite dans les calculs.

De même, il apparaît une relation entre l'entropie relative calculée à partir de l'ensemble de la microfaune de chaque échantillon et leur abscisse factorielle sur F<sub>1</sub> ( fig. 15).

L'entropie relative d'une population s'exprime par la formule :

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \log x_i}{\log \frac{1}{N}} \quad (\text{PELTO, 1954})$$

x<sub>i</sub> : pourcentage de chaque genre ou morphogroupe

N : nombre de groupes

Cette formule peut être considérée comme un indice de diversité (PARSON & TAKAHASHI, 1973). Cet indice a une valeur minimale lorsqu'une ou un petit nombre de catégories dominent les autres ; il a une valeur maximale lorsque l'ensemble des groupes s'exprime dans les mêmes proportions.

La diversité de la microfaune est donc en liaison avec le taux de carbonate des sédiments ( fig. 16). Celle-ci est faible pour les sédiments les plus argileux ( dominance de foraminifères à test agglutinant fin siliceux ) ou les plus calcaires ( dominance des *Epistomina* et des radiolaires ); elle est maximale dans les sédiments de teneur moyenne en carbonate où toutes les catégories de la microfaune se trouvent représentées .

L'abscisse factorielle des échantillons sur F<sub>2</sub> est corrélée à la diversité des radiolaires qu'ils contiennent ( fig. 17). Les échantillons les plus marneux et les plus calcaires sont caractérisés par une faible diversité de l'ensemble des radiolaires ( dominance des radiolaires ronds ); celle des échantillons de teneur moyenne en carbonate ( 60% < CaCO<sub>3</sub> < 75%) est beaucoup plus grande ( influence plus forte des radiolaires coniques ) (fig. 18).

#### c - Vérification de la stabilité du reclassement des échantillons.

Dans cette analyse factorielle, seules quelques variables jouent un rôle important dans la détermination des premiers axes factoriels. L'inertie relative des *Trochammina* est de 24% et celle des différentes catégories de radiolaires ronds atteint 25%. L'ensemble des radiolaires ronds (réticulés, pustuleux et *Stylospheara*) a un poids important. Tout ceci souligne le rôle prépondérant des constituants à forte variance.

Les variables ont été regroupées selon leur variabilité en :

- éléments à très forte variabilité : *Epistomina*, radiolaires ronds réticulés, radiolaires ronds pustuleux, *Stylospheara*, radiolaires ronds totaux, radiolaires totaux dont les effectifs varient de 55 à 100000 ;

- éléments à forte variabilité : foraminifères à test agglutinant grossier, "*Xitus*" striés, "*Xitus*" totaux, radiolaires coniques, "*Obercapsa*" pustuleux, "*Obercapsa*" réticulé, "*Obercapsa*" de petite taille, "*Obercapsa*" totaux dont les effectifs varient de 1 à 35000;

- éléments à variabilité moyenne : ostracodes, *Ammodiscus*, *Tristix*, *Dorothia*, *Syringocapsa*, *Archeodictyomitra*, "*Xitus*" dont les effectifs varient de 1 à 1000;

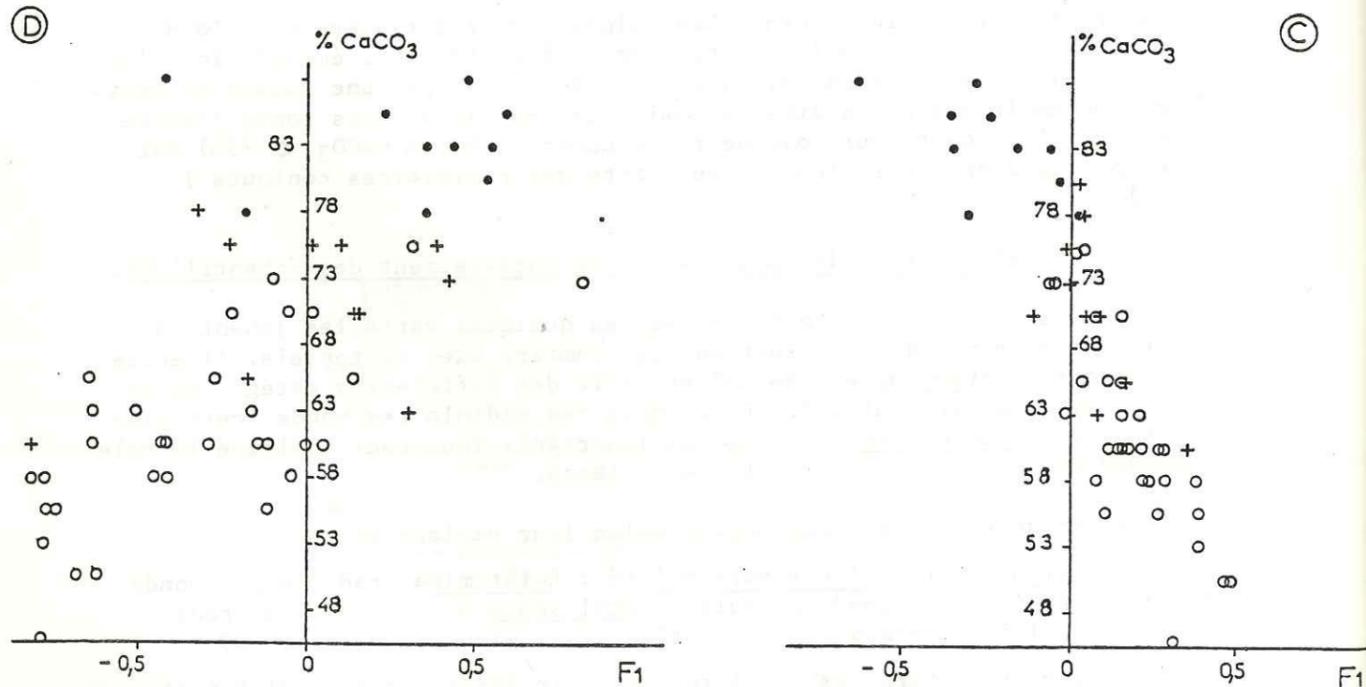
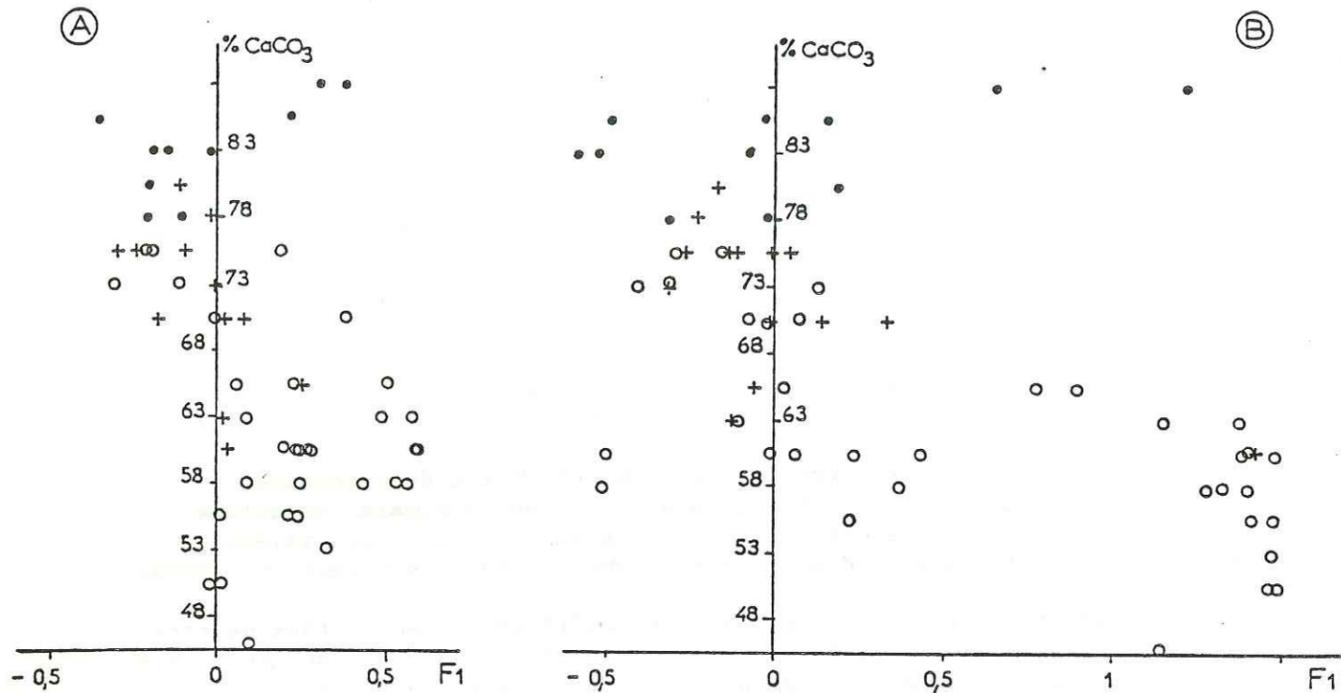


Figure 19 : Incidence de la variabilité des éléments microfauniques sur le reclassement des échantillons en fonction de leur teneur en carbonate, lors d'analyses factorielles des correspondances concernant :

- A : des éléments à très forte variance
- B : des éléments à forte variance
- C : des éléments à variance moyenne
- D : des éléments à faible variance .

• calcaire, + calcaire argileux délité, O marne .

- éléments à faible variabilité : Lenticulina, Dentalina, Marginulina, Pseudonodosaria, Vaginulina, Fronidularia, Lingulina, Nodosariidae, Pyrulina, Ramulina, Polymorphinidae, Spirillina, Miospirella, Spirillinidae, Tristix, foraminifères à test agglutinant fin, foraminifères à test hyalin, Trochammina, Gaudriynella, Verneuillinoïdes, Ammobaculites, Hyperammina, foraminifères à test agglutinant, foraminifères, radiolaires pyriteux et radiolaires indéterminés dont les effectifs varient de 1 à 500.

On évite, de cette manière, que le rôle des constituants à faible variabilité soit masqué par celui des constituants variant plus largement.

Une analyse factorielle concernant les 56 échantillons a été effectuée pour chaque groupe de variables; elle montre que les échantillons sont toujours reclassés sur F1 en fonction de leur taux de carbonate; ils le sont d'autant mieux que la variabilité des groupes est faible (fig. 19). Il faut noter que les signes de la corrélation est sans signification puisque celui de l'abscisse factorielle est arbitraire.

2 - Bassin vocontien.

Une dizaine de niveaux spécialement choisis (voir p. 22) ont été étudiés sur l'ensemble du bassin (21 coupes). Il est évident que seuls les échantillons de la coupe de référence (TLR) correspondant à ces niveaux seront intégrés aux restes des dénombrements.

Une analyse factorielle des correspondances a été effectuée sur 143 échantillons et les 32 variables utilisées dans la première analyse concernant la coupe de référence. La distribution des variables dans le plan factoriel F1F2 (66% de l'inertie totale) est équivalente à celle qui est observée précédemment (coupe du Toulourenc, 56 échantillons) (fig. 11 et 20); de même, on observe une relation entre l'abscisse factorielle des échantillons sur F1 et leur taux de carbonate (fig. 12 et 21).

L'opposition entre la composition microfaunique des marnes riches en éléments benthiques et celle des calcaires riches en éléments planctoniques mise en évidence à partir de la coupe de référence (TLR), est donc vérifiée pour l'ensemble des points d'affleurement du faisceau valanginien.

3 - Coupe de Villebois-les-Pins (Gargasien).

Une analyse factorielle des correspondances est réalisée à partir de l'ensemble des éléments de la microfaune (57 variables) contenus dans 21 échantillons. Le plan factoriel F1F2 (69% de l'inertie du système) nous montre selon F1 l'opposition entre les radiolaires et les foraminifères et selon F2 celle des foraminifères planctoniques et des foraminifères benthiques (fig. 22).

Les échantillons se reclassent selon leur abscisse factorielle sur F1 en fonction de leur taux de carbonate de la même façon que les échantillons valanginiens (fig. 23).

Cependant, dans le cas de l'Aptien, le plancton est composé de foraminifères planctoniques et de radiolaires, deux groupes dont les proportions ne varient pas de la même façon; les foraminifères planctoniques présentent une abondance relative maximale pour des teneurs en carbonate voisine de 55% alors que celle des radiolaires augmente régulièrement avec la teneur en calcaire: ce groupe est dominant à partir de 70% de CaCO3 (fig. 25).

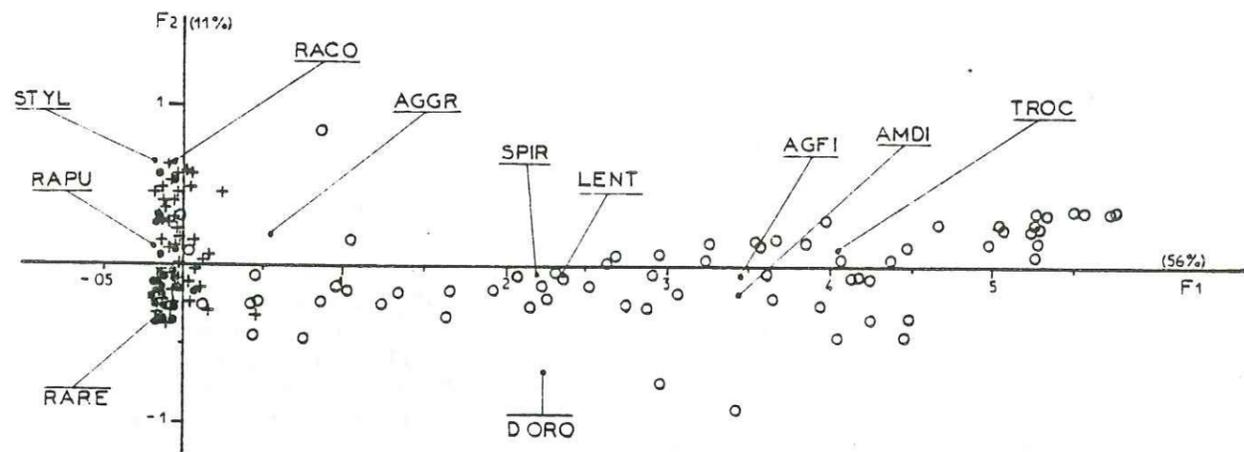


Figure 20 : Correspondance entre la microfaune et la lithologie . Bassin vocontien , Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
 ● : calcaires , + : calcaires argileux délités , ○ : marnes .  
 Abréviations : cf annexe II .

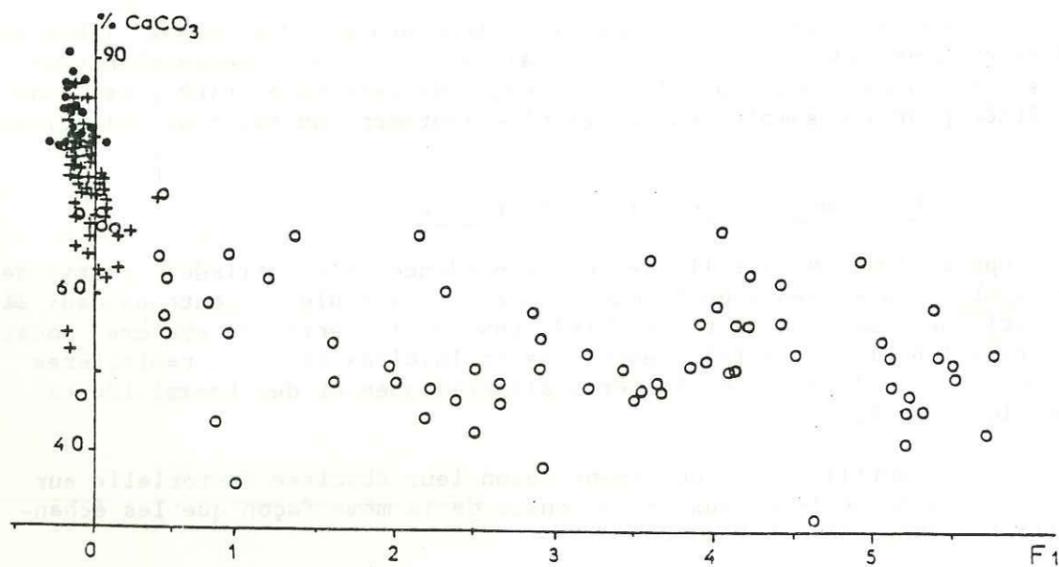


Figure 21 : Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des échantillons et leur abscisse factorielle sur F<sub>1</sub> . Analyse factorielle des correspondances : microfaune . Bassin vocontien , Valanginien .  
 ● : calcaires , + : calcaires argileux délités , ○ : marnes .

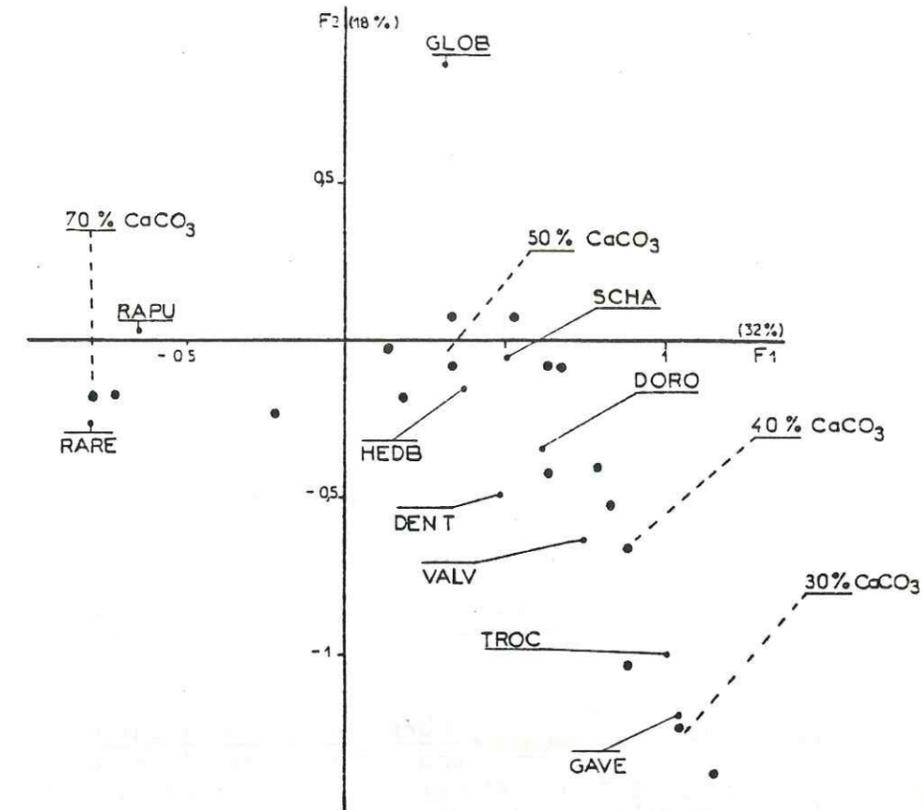


Figure 22 : Correspondance entre la microfaune et la lithologie . Coupe de Villebois les Pins . Gargasien . Projection simultanée des échantillons et des variables essentielles . Les pourcentages de CaCO<sub>3</sub> indiqués ont été rajoutés pour mieux illustrer le reclassement des échantillons . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
 Abréviations : cf annexe II .

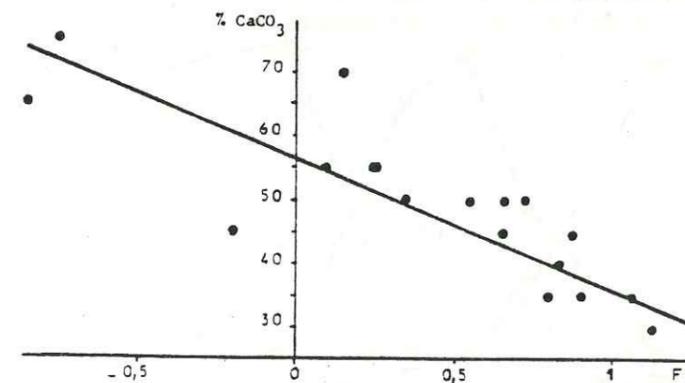


Figure 23 : Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des échantillons et leur abscisse factorielle sur F<sub>1</sub> . Analyse factorielle des correspondances : microfaune . Coupe de Villebois les Pins . Gargasien .

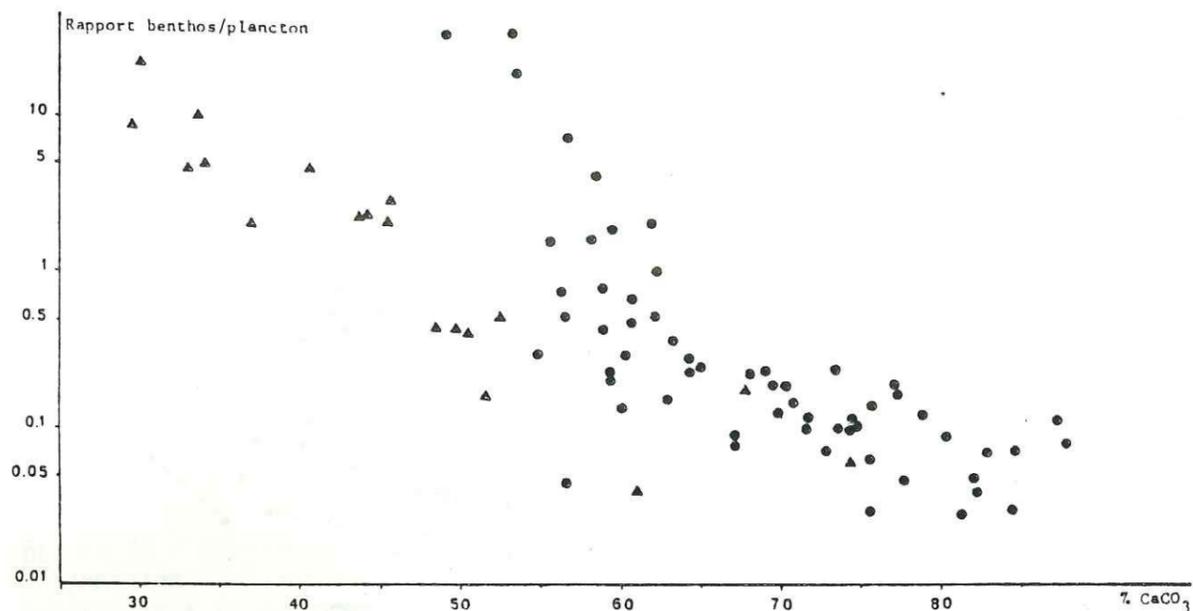


Figure 24 : Le rapport  $\frac{\text{Nombre d'éléments benthiques}}{\text{Nombre d'éléments planctoniques}}$  et le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  des sédiments valanginiens (●) (Coupe du Toulourenc) et aptiens (▲) (Coupe de Villebois les Pins) .

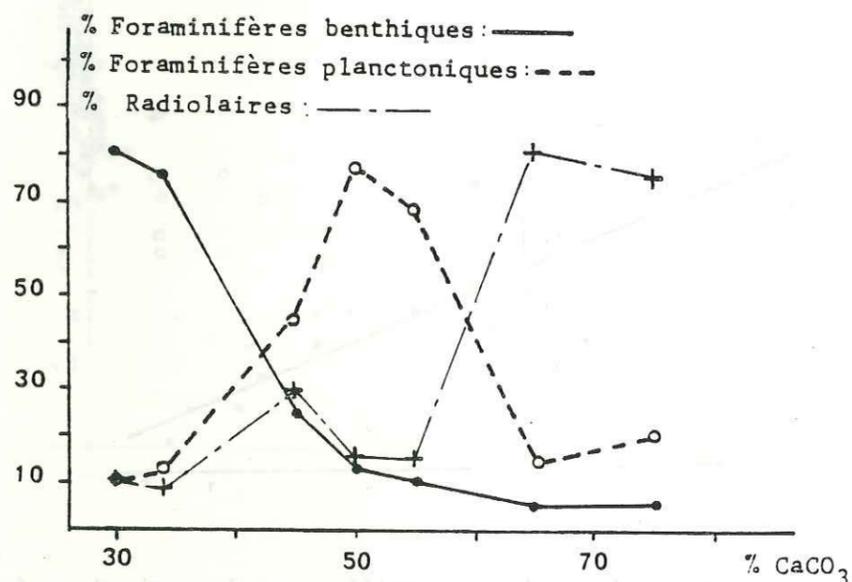


Figure 25 : Les foraminifères benthiques, les foraminifères planctoniques, les radiolaires et la teneur en carbonate des sédiments aptiens . Coupe de Villebois les Pins . Les courbes tracées expriment le pourcentage moyen de chaque catégorie microfaunique des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en  $\text{CaCO}_3$  . L'intervalle de classe est de 5 % .

#### 4 - Conclusions .

Que ce soit dans le Valanginien ou dans l'Aptien, la composition qualitative et quantitative de la microfaune contenue dans les sédiments est en relation avec leur taux de carbonate.

Les marnes sont caractérisées par une grande abondance relative de foraminifères benthiques, les calcaires par un pourcentage élevé d'éléments planctoniques, particulièrement de radiolaires. Le rapport entre le nombre d'éléments benthiques et celui d'éléments planctoniques exprime clairement cette relation ( fig. 24).

Toutefois, J. MURRAY (1976) a montré que ce rapport varie dans les sédiments lorsque l'on passe de la plate-forme à un milieu plus profond . Cette objection est sans valeur dans notre cas puisque la relation entre la composition de la microfaune et la lithologie est établie sur l'ensemble du bassin vocontien. Les variations de ce rapport ne peuvent donc pas être dans ce cas interprétées comme celles de la situation des coupes étudiées par rapport aux plates-formes environnantes, ni celles de variations bathymétriques généralisées (BANDY, 1961). Ceci demanderait des oscillations bathymétriques de grande ampleur à chaque cycle banc-interbanc. Dans le contexte du bassin vocontien, il paraît difficile d'envisager de tels processus.

L'intervention de phénomènes de dissolution liés à des variations de température (BE et al., 1976 ; DEAN et al., 1978) ne peut pas non plus être retenue puisqu'aucune trace de corrosion n'est visible sur la microfaune.

Dans le cas du Valanginien, l'opposition entre le benthos et le plancton se résume en fait à une opposition entre les foraminifères benthiques et les radiolaires.

Elle pourrait être interprétée comme une différence diagénétique liée à la dissolution préférentielle des radiolaires. Organismes à test siliceux, ils sont pour la plupart complètement épigénisés et remplis par de la calcite. S. CALVERT (1968) souligne le rôle des argiles, pièges potentiels de la silice biogène lors des transformations diagénétiques . Or les pourcentages, d'une part entre le nombre de radiolaires ronds pustuleux par rapport au nombre d'éléments microfauniques total ( fig. 26 ) et d'autre part, entre le nombre de radiolaires ronds réticulés par rapport au nombre d'éléments microfauniques total ( fig. 27 ) ne varient pas de la même façon en fonction du taux de carbonate des sédiments . Les différences dans les variations de ces deux groupes de radiolaires de morphologie voisine nous montre qu'elles ne sont pas liées à des modifications diagénétiques mais reflètent des différences originelles dans le sédiment.

Comme dans les dépôts quaternaires de l'Océan Antarctique (LOZANO & HAYS, 1976 ) ou dans les zones tropicales du Pacifique Est (JOHNSON, 1974), les proportions de radiolaires rencontrés ont bien une valeur paléocéologique.

Cette augmentation de la proportion des éléments planctoniques dans les faciès calcaires pourrait traduire celle de la production primaire et celle du nannoplancton, fournisseur privilégié sinon exclusif de carbonate . En effet, l'abondance de radiolaires et de foraminifères planctoniques parmi les boîtes carbonatées est considérée comme un indice de fertilité des zones océaniques (LECLAIRE, 1974) alors que la prédominance de coccolithophoridés caractéristiques des marnes crétacées , est l'indice de productivité assez faible (OLAUSSEON, 1961). Toutefois l'évolution différente du nombre de radiolaires et de celui des foraminifères planctoniques montre que cette relation n'est pas certaine . On verra au chapitre IV, II-C, que d'autres arguments conduisent à la même conclusion.

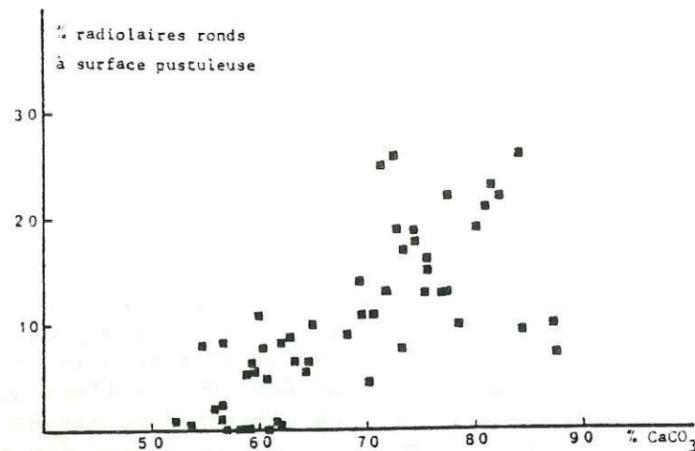


Figure 26 : Le pourcentage des radiolaires ronds pustuleux, calculé à partir de l'ensemble des éléments microfauniques, et la teneur en carbonate des sédiments. Coupe du Toulourenc. Valanginien.

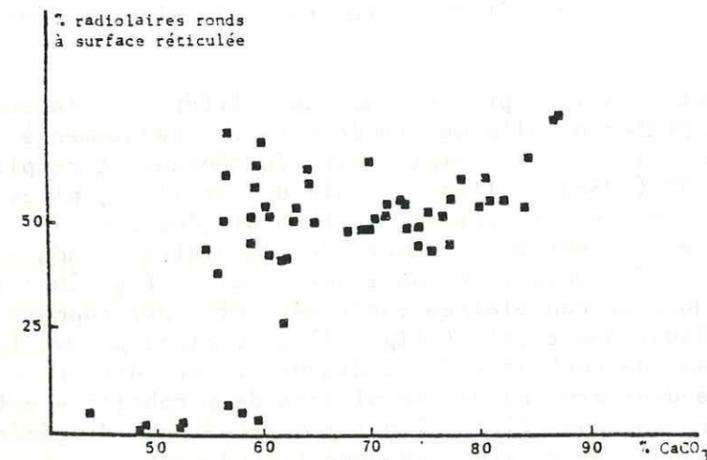


Figure 27 : Le pourcentage des radiolaires ronds réticulés, calculé à partir de l'ensemble des éléments microfauniques, et la teneur en carbonate des sédiments. Coupe du Toulourenc. Valanginien.

A l'Aptien, la dominance des radiolaires parmi les éléments planctoniques dans les sédiments les plus calcaires rappelle les observations de L. DIESTER-HASS (1976, 1977) le long des côtes africaines (Site 369, leg 41) dans les régions où existent des courants d'"up-welling". La concentration de radiolaires est considérée par l'auteur comme caractéristique de ces zones. Elle résulterait d'une meilleure conservation de l'opale que celle des carbonates des foraminifères planctoniques.

Cependant, la dualité radiolaires-foraminifères planctoniques ne peut être expliquée par la dissolution des carbonates dans la mesure où le pourcentage de radiolaires augmente avec le taux de carbonate.

Les radiolaires semblent donc mieux adaptés que les foraminifères planctoniques aux conditions de milieu correspondant au dépôt des sédiments les plus riches en carbonate.

B - Le benthos.

1 - Coupe du Toulourenc.

a - Ensemble des foraminifères benthiques.

L'analyse factorielle des correspondances a été effectuée à partir de 26 genres de foraminifères (variables principales) et des 56 échantillons; les groupements de genres par familles et types de test sont considérés comme des variables supplémentaires (8). Le plan factoriel FlF2 exprime 72% de l'inertie du système (fig. 28). Les points échantillons et les points variables semblent dessiner une parabole, ils reflètent un effet Guttman: les abscisses factorielles sur Fl et F2 sont donc liées. Sur Fl (60% de l'inertie du système), les Epistomina s'individualisent du reste des éléments benthiques. Elles se situent du même côté que les bancs calcaires qui s'opposent aux interbancs marneux. F2 (12% de l'inertie du système) exprime l'opposition d'une part entre les Lenticulina et les Dentalina, et d'autre part entre les foraminifères à test agglutinant fin (Trochammina) et les foraminifères à test agglutinant grossier (Ammobaculites).

Dans le plan FlF2, les échantillons sont reclassés en fonction de leur teneur en calcaire. Parallèlement à l'arrangement des échantillons, celui des variables nous montre aussi une liaison avec le pourcentage de carbonate: la composition des associations de foraminifères benthiques dépend de ce paramètre.

Des analyses bivariées entre le pourcentage de ces groupes de foraminifères et le taux de carbonate nous montrent bien l'opposition entre les Lenticulina, les foraminifères à test agglutinant fin siliceux (fig. 34) abondant dans les marnes et les Dentalina (fig. 37), les foraminifères à test agglutinant grossier plus fréquents dans les calcaires.

Le groupe des Epistomina joue un rôle très important dans cette analyse, avec une contribution relative de 82% sur l'axe Fl. Ces foraminifères ne sont présents que dans les échantillons de teneur en carbonate supérieur à 67% (fig. 43). Leur présence pourrait être liée à une cause diagénétique. En effet, leur test en aragonite a disparu et seul le remplissage calcitique de ces formes est conservé. Cependant, quelque soit le faciès, les autres foraminifères à test calcaire ont toujours à leur disposition suffisamment de carbonate pour recristalliser et acquérir un remplissage calcitique. En raison de l'importance des Epistomina (poids très élevé) au cours de l'analyse factorielle, il est indispensable de vérifier la stabilité du résultat précédent en éliminant cette variable à forte contribution relative sur le premier axe.

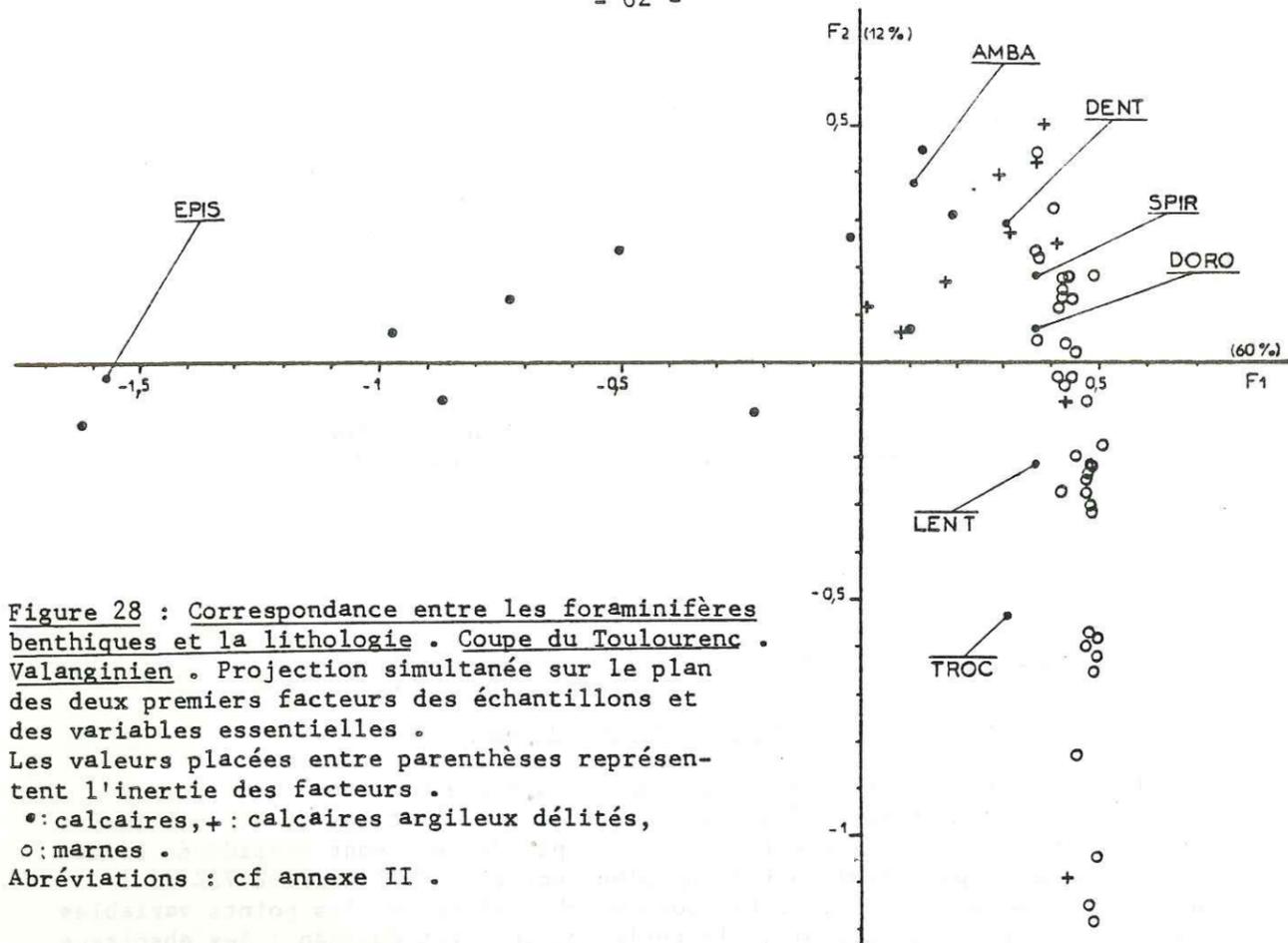


Figure 28 : Correspondance entre les foraminifères benthiques et la lithologie . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .  
 Abréviations : cf annexe II .

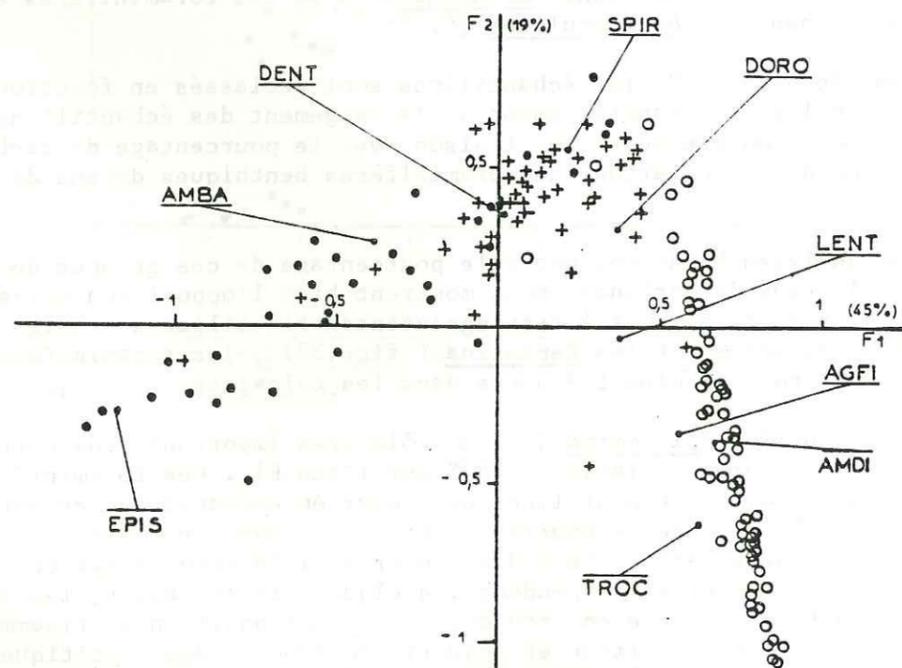


Figure 29 : Correspondance entre les foraminifères benthiques et la lithologie . Bassin vocontien . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .  
 Abréviations : cf annexe II .

b - Foraminifères benthiques exceptées les Epistomina .

Les données concernant les Epistomina étant écartées, une analyse factorielle des correspondances est effectuée à partir des 56 échantillons utilisés précédemment et des 25 genres de foraminifères restants . Le plan factoriel FlF2 ne représente plus que 48,5% de l'inertie du système ( fig. 30 ). On observe selon Fl l'opposition des Trochammina ( CTR = 45% ) et des Ammobaculites ( CTR = 36% ) et selon F2 , ces deux variables ( CTR = 42% ) s'opposent aux Spirillina ( CTR = 51% ) .

Dans le plan FlF2 , il existe un reclassement des échantillons en fonction de leur teneur en carbonate . On retrouve sur Fl la disposition des variables observée précédemment sur F2 ( cf fig. 28 ) : les relations entre la composition des foraminifères et le taux de carbonate restent stables . De plus, il existe une bonne corrélation (  $r = 0,77$  ) entre l'abscisse factorielle des échantillons sur Fl et le logarithme de leur indice pyrite (  $I_p$  ) ( fig. 31 ) . L'indice pyrite des sédiments est calculé à partir du rapport :

$$\frac{\text{nombre de radiolaires pyriteux estimés dans la fraction } 200-100 \mu\text{m}}{\text{nombre total de radiolaires estimés dans la fraction } 200-100 \mu\text{m}}$$

Le choix des radiolaires comme indice de concentration de la pyrite dans les sédiments m'a paru le plus approprié : en utilisant les radiolaires contenus dans les résidus de tailles comprises entre 200-100  $\mu\text{m}$  , la masse de pyrite contenue dans chaque radiolaire est à peu près équivalente pour chaque individu, ce qui ne serait pas le cas si j'avais utilisé d'autres débris pyriteux comme les terriers de formes et de masses toujours inégales. Je m'affranchis du taux de production des radiolaires en rapportant le nombre de radiolaires pyriteux au nombre total de radiolaires estimés dans la fraction 200-100  $\mu\text{m}$  . De plus, dans cette fraction de résidu , leur nombre est toujours assez élevé, donc l'estimation de cet indice peut être considéré comme fiable.

La pyritisation de ces radiolaires devant se produire très rapidement ( LOVE & MURRAY, 1963 ; BERNER , 1964 ; LOVE , 1967 ) , l'indice pyrite peut donc être considéré comme un indicateur des conditions de diagénèse dans la tranche superficielle du sédiment.

Si la composition des associations de foraminifères benthiques est en liaison avec le taux de carbonate des sédiments, elle est aussi fonction de leur concentration en pyrite . Or celle-ci dépend du taux de sédimentation des argiles et de la matière organique. Cette dernière est sous le contrôle de l'oxygénation du milieu . Par conséquent, la composition des associations de foraminifères benthiques reflète dans une certaine mesure l'oxygénation du milieu.

2 - Bassin vocontien .

L'analyse des variations du benthos dans le bassin portera sur les échantillons utilisés pour l'analyse de la microfaune totale .

Une analyse factorielle des correspondances à été effectuée à partir de 143 échantillons et 26 variables principales ( l'ensemble des genres considérés antérieurement ) . Le plan factoriel FlF2 ( 63,5% de l'inertie du système ) montre un reclassement des variables et des échantillons équivalent aux analyses précédentes ( fig. 29 ) .

La comparaison de ces 3 analyses factorielles des correspondances effectuées à partir des foraminifères benthiques nous montre que les relations établies à partir de la coupe de référence sont vérifiées dans tout le bassin

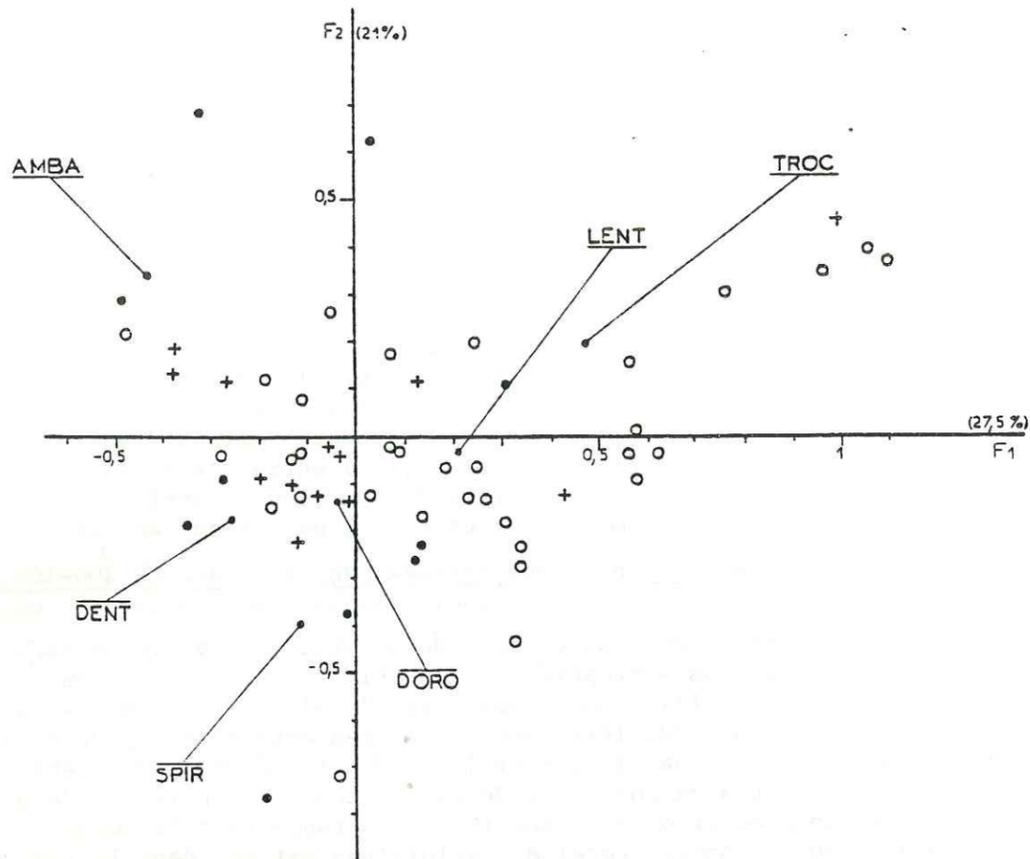


Figure 30 : Correspondance entre les foraminifères benthiques moins les Epistomina et la lithologie . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .  
 Abréviations : cf annexe II .

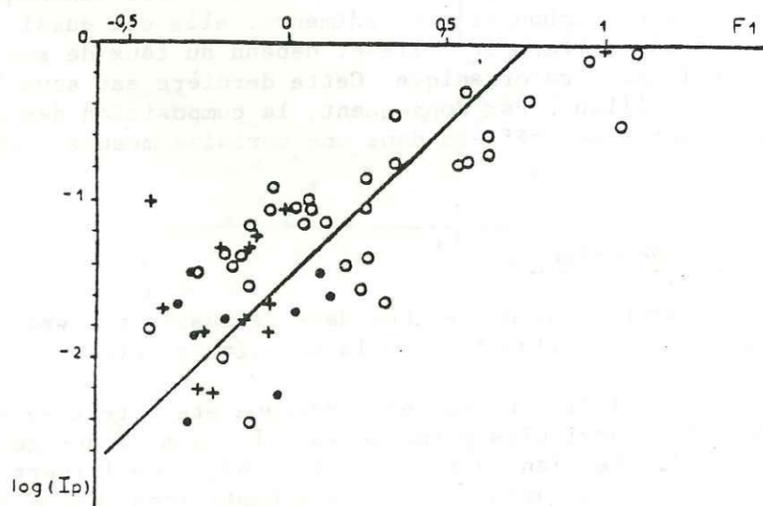


Figure 31 : Le logarithme de l'indice pyrite des échantillons et leur abscisse factorielle sur  $F_1$  . Analyse factorielle des correspondances : foraminifères benthiques moins les Epistomina . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .

vocontien . Les variations au niveau du genre, de la composition des foraminifères benthiques dépendent donc avant tout de la teneur en carbonate des sédiments mais aussi de leur concentration en pyrite. La position paléogéographique des coupes dans le bassin n'est pas déterminante dans la composition globale du benthos .

Les calcaires sont caractérisés par les Epistomina, les Dentalina et les Spirillina .

Les marnes s'individualisent par l'abondance relative des foraminifères à test agglutinant fin et des Lenticulina .

On notera que le comportement des Dorothia ne coïncide pas avec celui des foraminifères à test agglutinant fin siliceux.

### 3 - Coupe de Villebois-les-Pins .

L'analyse factorielle des correspondances effectuée à partir de 21 échantillons et de 34 variables principales ( fig. 32 ) . Selon  $F_1$  (32% de l'inertie du système ) , les Gavelinella s'opposent aux Valvulineria . Selon  $F_2$  (18% de l'inertie de système ) , les Dentalina, Cassidella, Ammodiscus, Reophax et Ammodaculites s'opposent aux Valvulineria, Trochammina et Textularia .

Mais il n'existe pas de relation entre l'abscisse factorielle des échantillons sur  $F_1$  et le taux de carbonate des sédiments ( fig. 33 ) . Cependant, la description des correspondances et des analyses bivariées montrent que : les Gavelinella, Trochammina, Textularia sont plutôt liés aux échantillons les plus argileux , les Valvulineria aux échantillons de teneur en carbonate moyen et les Dentalina, Cassidella aux échantillons les plus calcaires.

### 4 - Comparaison entre la composition de la microfaune benthique du Valanginien et celle de l'Aptien .

#### a - Généralités .

Dans les sédiments aptiens, on observe l'apparition de nouveaux groupes: Gavelinella, Cassidella, Valvulineria . Cette modification est d'ordre évolutif. La disparition des Epistomina, Fronicularia et la diminution de l'importance des Lenticulina, Dorothia, Spirillina peuvent être expliquées comme des changements de milieu. En effet, les échantillons aptiens sont beaucoup plus argileux que ceux du Valanginien .

Certains groupes présentent les mêmes tendances : c'est le cas des Trochammina et de l'ensemble des foraminifères à test agglutinant fin siliceux ( fig. 34 et 35 ) ; il en est de même pour les Dentalina ( fig. 37 et 38 ) .

#### b - Relations entre les différents types de test de foraminifères et la nature des sédiments.

Les analyses précédentes mettent en évidence des relations entre le type de test des foraminifères et la nature des sédiments :

- les niveaux les plus argileux sont caractérisés par la prédominance des foraminifères à test agglutinant ;
- les niveaux les plus calcaires contiennent principalement des foraminifères à test calcaire ;
- les foraminifères à test agglutinant fin siliceux dominent dans les marnes ( fig. 34 et 35 ) .

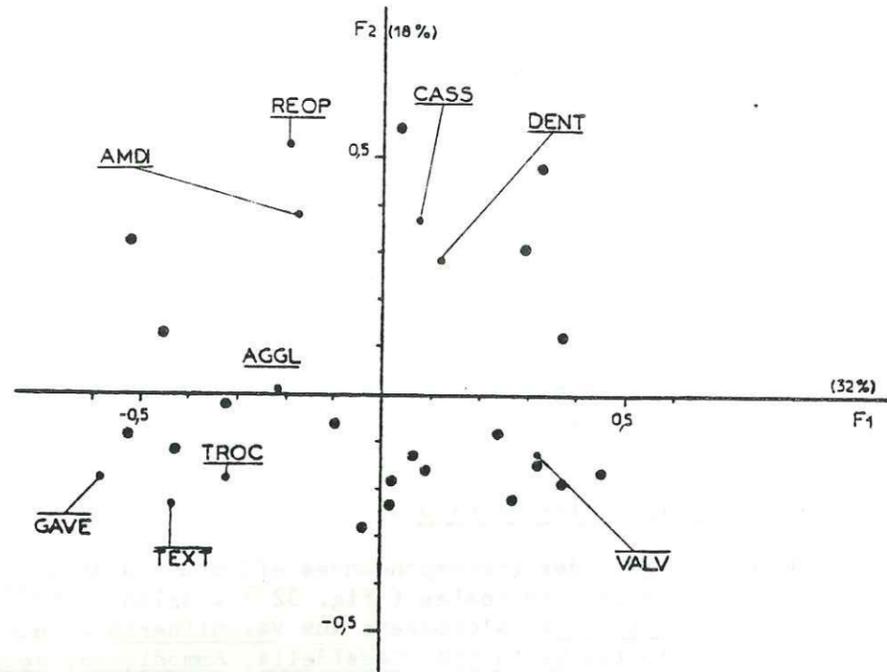


Figure 32 : Correspondance entre les foraminifères benthiques et la lithologie .  
Coupe de Villebois les Pins . Gargasien . Projection simultanée sur le plan  
des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles .  
Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
Abréviations : cf annexe II .

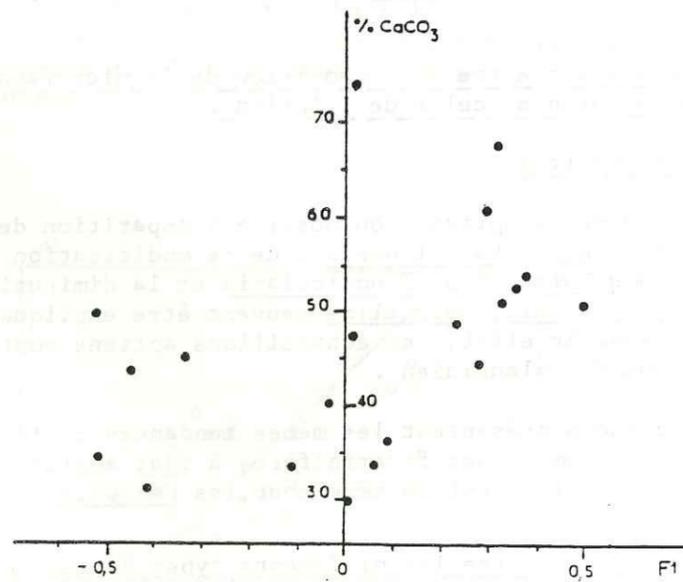


Figure 33 : Le pourcentage de  $CaCO_3$  des sédiments et leur abscisse sur  $F_1$  .  
Analyse factorielle des correspondances : foraminifères benthiques . Coupe de  
Villebois les Pins . Aptien .

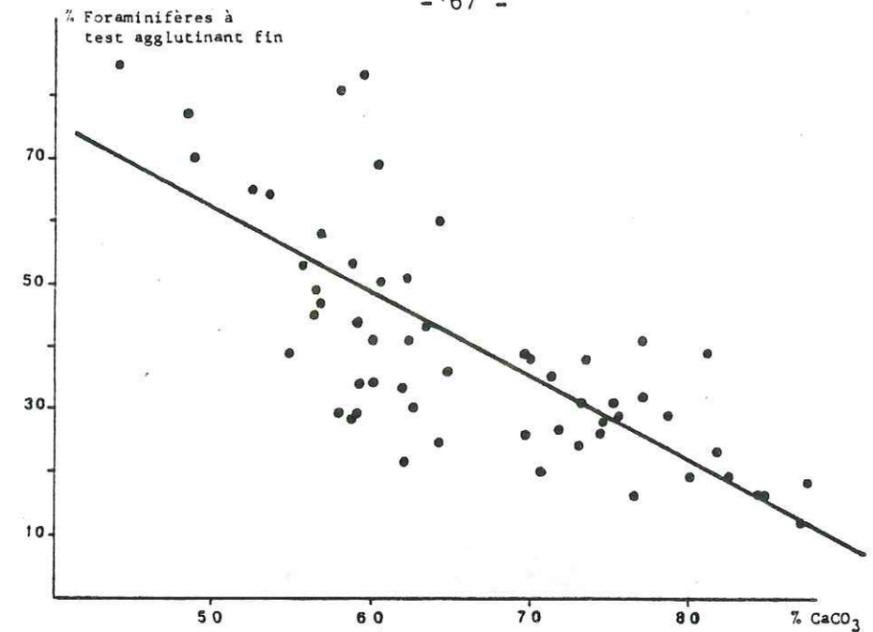


Figure 34 : Les foraminifères à test agglutinant fin et la teneur en carbonate  
des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères benthiques .

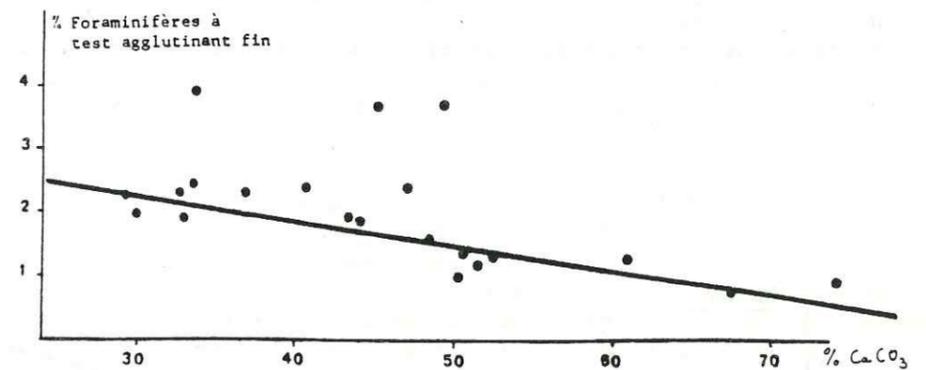


Figure 35 : Les foraminifères à test agglutinant fin et la teneur en carbonate  
des sédiments . Coupe de Villebois les Pins . Aptien .  
Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères benthiques .

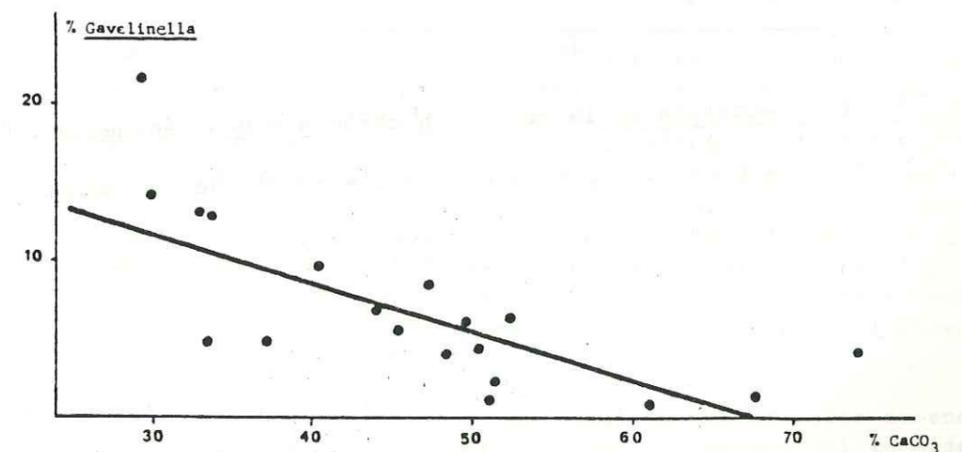


Figure 36 : Les Gavelinella et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe de  
Villebois les Pins . Aptien .  
Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères benthiques .

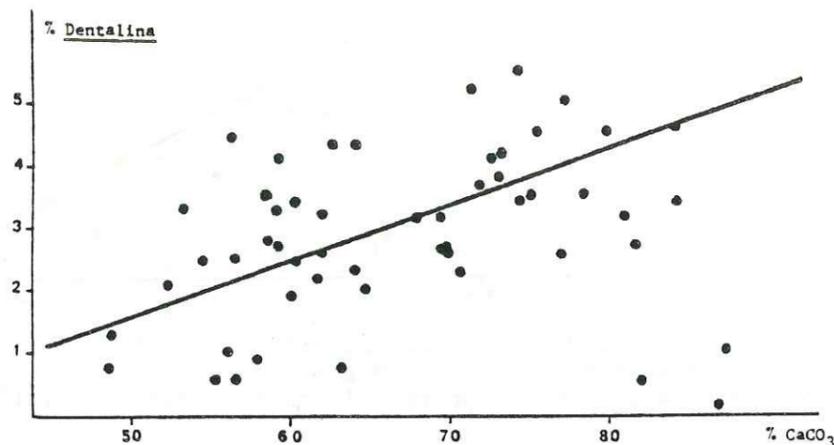


Figure 37 : Les Dentalina et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères benthiques .

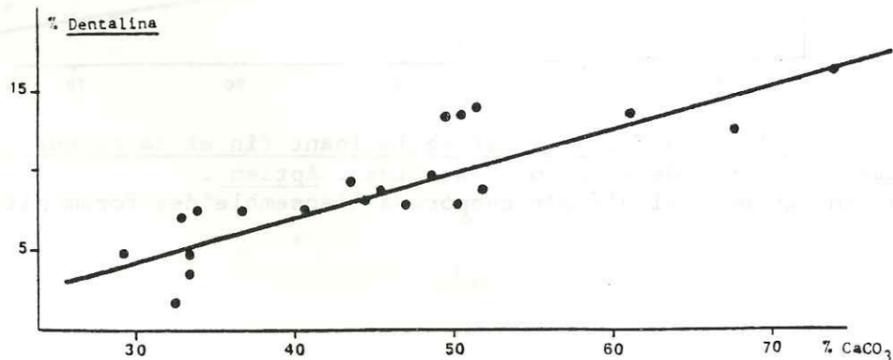


Figure 38 : Les Dentalina et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe de Villebois les Pins . Aptien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères benthiques .

Comme W. SLITER (1977) l'a observé dans les sédiments albiens du Sud-Ouest de l'Océan Atlantique ( Site 330, Leg 36), on remarquera qu'à l'Aptien les foraminifères à test agglutinant fin siliceux s'associent aux Gavelinella (fig. 32 et 36), foraminifères à test hyalin présentant de grosses ponctuations. Ces dernières s'opposent aux micropores des foraminifères à test hyalin perforé (LE CALVEZ, 1947). La fonction de ces ponctuations n'est pas très bien définie : des membranes organiques les cloisonnent et empêchent la libre sortie du protoplasme (ARNOLD, 1954). Elles peuvent aussi avoir un rôle d'excrétion ou de régulation de la pression osmotique dans la cellule (SLITER, 1974) ou peut-être assurer la continuité organique à l'extérieur du test (ANGELL, 1967). Les foraminifères à test agglutinant fin siliceux présentent une structure interne chitineuse.

Le comportement analogue des foraminifères à test hyalin ponctué et des foraminifères à test agglutinant fin siliceux dans des faciès à faible teneur en carbonate et forte concentration en pyrite m'a amenée à comparer les deux types de test : leurs structures pourraient correspondre à un isolement de l'endoplasme par rapport à l'ectoplasme, ceci en liaison avec des conditions de milieu particulières. Cette capacité à l'isolement de l'endoplasme serait le résultat d'une adaptation de certains foraminifères benthiques aux milieux à oxygénation réduite ( $I_p > 0,8$ ) et expliquerait la prédominance des foraminifères à test agglutinant dans ces milieux (SCHEIBNEROVA, 1974; MOORKENS, 1975; BOCK, 1979).

Cette adaptation peut expliquer la répartition bathymétrique de ces foraminifères, en particulier des foraminifères agglutinants toujours décrits comme caractéristiques des milieux profonds, jamais très bien oxygénés (SLITER & BAKER, 1972; SLITER, 1972; BARTENSTEIN, 1974; GUERIN & MOULLADE (1979); DUPONT, 1981; GUERIN, 1981).

Dans les niveaux contenant peu de pyrite ( $I_p < 0,01$ ), ces formes coexistent avec l'ensemble des foraminifères à test hyalin perforé qui dominent alors la population de foraminifères. L'isolement de l'endoplasme provoquerait un ralentissement des échanges entre le milieu externe et le milieu interne de la cellule; ceci est un handicap pour leur développement et leur multiplication par rapport aux foraminifères à test hyalin perforé, où les échanges entre milieu externe et milieu intracellulaire semblent plus directs.

Les foraminifères à test agglutinant grossier incorporent dans leur test divers matériaux dont des quartz détritiques de taille importante, des radiolaires ou des spicules. Ces formes ont un comportement particulier qui apparaît si l'on étudie conjointement les données recueillies dans le Valanginien et le Gargasien (fig. 39). Lorsque le pourcentage de carbonate des sédiments passe de 30% à 50%, le nombre et la proportion des foraminifères agglutinant grossier diminuent (fig. 40). Ceci peut correspondre à une diminution de la quantité de quartz détritique disponible dans le sédiment. Lorsque la teneur des sédiments en carbonate passe de 55% à 70% le phénomène s'inverse. Ces foraminifères agglutinent alors des radiolaires, qui deviennent de plus en plus abondants dans ces sédiments. En effet il existe une relation entre le nombre de radiolaires rencontrés dans le sédiment et la fréquence relative des foraminifères agglutinants grossiers parmi les foraminifères agglutinants (fig. 41). A partir de 70% de carbonate dans les sédiments, leur nombre et leur fréquence relative diminuent, comme l'ensemble des foraminifères à test agglutinant.

Le développement des foraminifères à test agglutinant grossier dépend donc directement de la quantité de matériel siliceux de grosse taille mise à leur disposition.

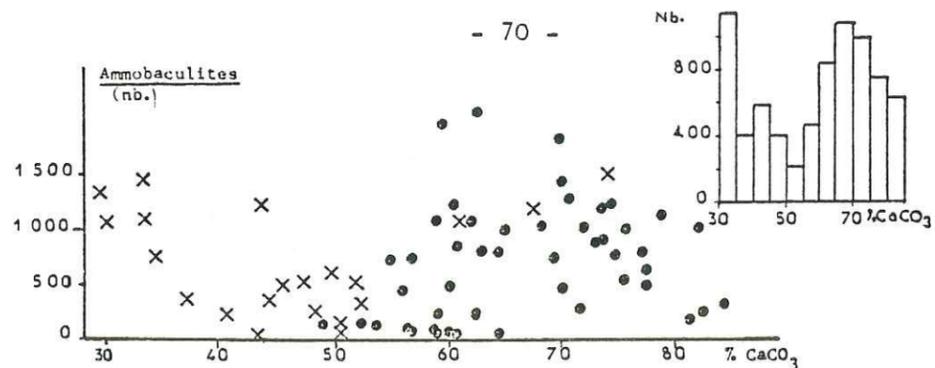


Figure 39 : L'abondance des Ammobaculites et la teneur en carbonate des sédiments valanginiens (Coupe du Toulourenc : ●) et aptiens (Coupe de Villebois les Pins : X) Histogramme : on a calculé la moyenne de l'abondance des Ammobaculites dans les échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en carbonate. L'intervalle de classe est de 5 %.

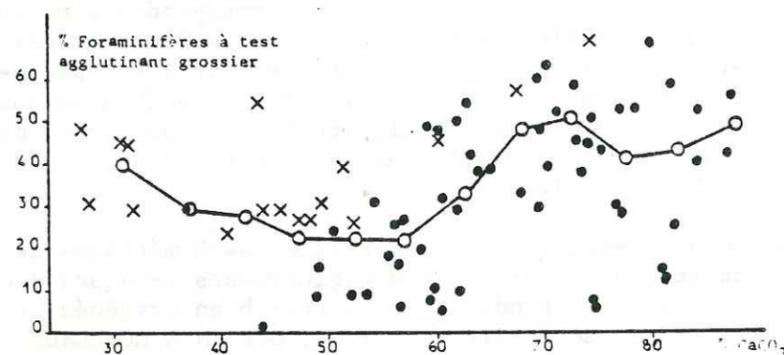


Figure 40 : Les foraminifères à test agglutinant grossier et la teneur en carbonate des sédiments valanginiens (Coupe du Toulourenc : ●) et aptiens (Coupe de Villebois les Pins : X). Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères à test agglutinant. —○— : Valeur moyenne du pourcentage des foraminifères à test agglutinant grossier dans les échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en carbonate. L'intervalle de classe est de 5 %.

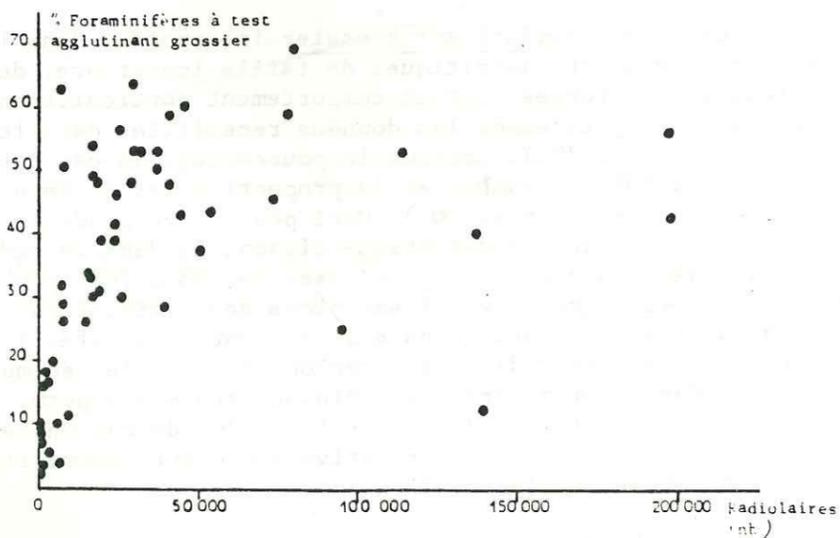


Figure 41 : Les foraminifères à test agglutinant grossier et le nombre de radiolaires estimés dans les sédiments valanginiens. Coupe du Toulourenc. Le pourcentage de foraminifères à test agglutinant grossier est calculé par rapport à l'ensemble des foraminifères à test agglutinant.

Les Dorothia, ont un comportement beaucoup plus proche des foraminifères à test hyalin perforé que de celui des foraminifères à test agglutinant fin siliceux (voir fig. 28, plan factoriel FL2 de l'analyse factorielle des correspondances concernant les foraminifères benthiques). La fréquence des foraminifères à test hyalin perforé augmentant avec le pourcentage de carbonate, il paraît logique que les Dorothia, foraminifères à test agglutinant fin calcaire soient plus favorisées dans les milieux plus riches en carbonate que les foraminifères à test fin siliceux.

Au cours du Paléocène, les Dorothia acquièrent des pores équivalents à ceux observés chez les foraminifères à test hyalin perforé (BANNER et al., 1981); cette évolution au niveau générique pourrait correspondre à une adaptation à des conditions de milieu favorable aux foraminifères à test perforé.

Les foraminifères à test agglutinant sont donc très sensibles à la nature du sédiment dans lequel ils vivent.

Ces observations rejoignent celles de A. ARNAUD-VANNEAUD (1981) effectuées dans des milieux moins profonds : lorsqu'un milieu évolue d'un pôle détritique vers un pôle carbonaté, les foraminifères agglutinant des particules siliceuses font place aux foraminifères agglutinant des particules calcaires.

A partir de 65 % de  $\text{CaCO}_3$ , les foraminifères à test calcaire sont présents en majorité parmi les foraminifères benthiques.

Les Epistomina, foraminifères à test aragonitique, absentes dans les échantillons aptiens, n'apparaissent que dans les sédiments valanginiens contenant plus de 67 % de  $\text{CaCO}_3$ . Elles ont un développement de type exponentiel et dominant dans les calcaires (fig. 43).

La formation d'aragonite peut être interprétée classiquement comme liée à une augmentation de température (LOWENSTAM, 1954; BLACKMAN, 1959) mais les variations thermiques pouvant être enregistrées sur le fond ne sont sans doute pas suffisantes pour expliquer cette variation dans la production d'aragonite.

Y. LE CALVEZ (1958) montre que les Epistomina sont sensibles au substrat : elles sont abondantes sur les substrats fins vaseux, absentes sur les fonds coquilliers plus ou moins graveleux.

Dans l'Albien de l'Aube, F. MAGNIEZ-JANNIN (1975) note une prolifération locale et momentanée des Epistomina toujours liée à une légère consolidation du sédiment, exprimant une précipitation de carbonate de calcium. L'apparition des Epistomina est toujours reliée à un enrichissement du milieu en carbonate de même qu'en strontium (JOUCHOUX, 1982). Parallèlement, on observe un enrichissement des sédiments en débris d'échinodermes (fig. 42). Cette augmentation de la teneur en strontium dans les sédiments ne peut avoir pour origine les Epistomina mais elle a pu favoriser le développement de ces organismes.

Cette augmentation de la teneur en calcaire dans les sédiments coïncide-t-elle avec un épaissement des tests calcaires ou avec un accroissement de l'ornementation ?

#### Cas des Spirillina

Deux espèces coexistent dans les échantillons valanginiens :

Spirillina minima à test mince ;

Spirillina neocomiana à test plus épais et comportant un cal.

Le pourcentage de Spirillina neocomiana rapporté à l'ensemble des Spirillina a tendance à croître avec le taux de carbonate des sédiments (fig. 45).

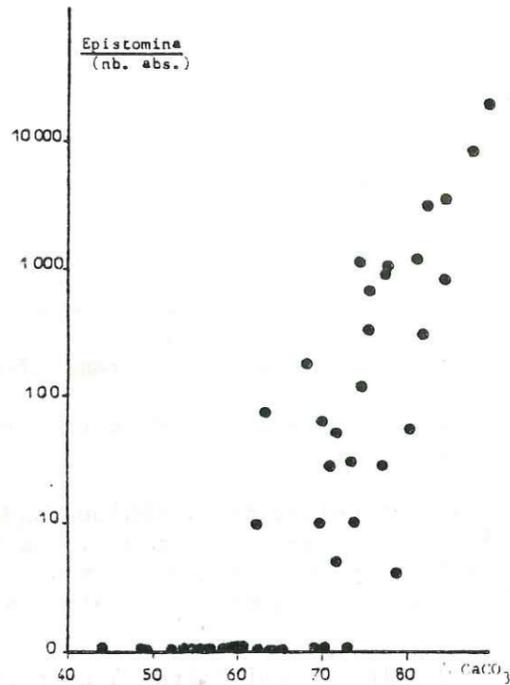


Figure 42 : L'abondance d'*Epistomina* et la teneur en carbonate des sédiments .  
Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Elle est estimée à partir de 100 g de sédiment .

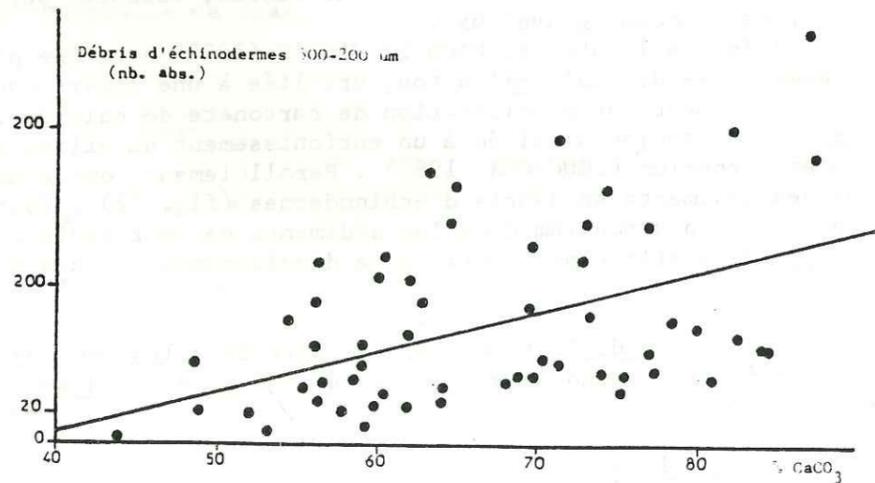


Figure 43 : L'abondance de débris d'échinodermes de taille comprise entre 500 et 200  $\mu\text{m}$  et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Elle est estimée à partir de 100 g de sédiment .

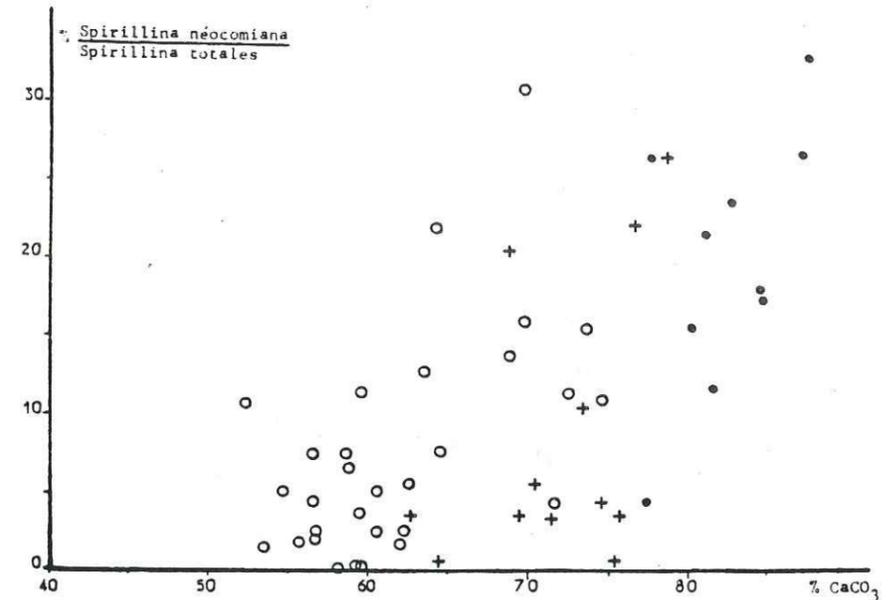


Figure 44 : Les *Spirillina neocomiana* et la teneur en carbonate des sédiments .  
Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des *Spirillina* .  
●calcaire, + calcaire argileux délité, ○ marne .

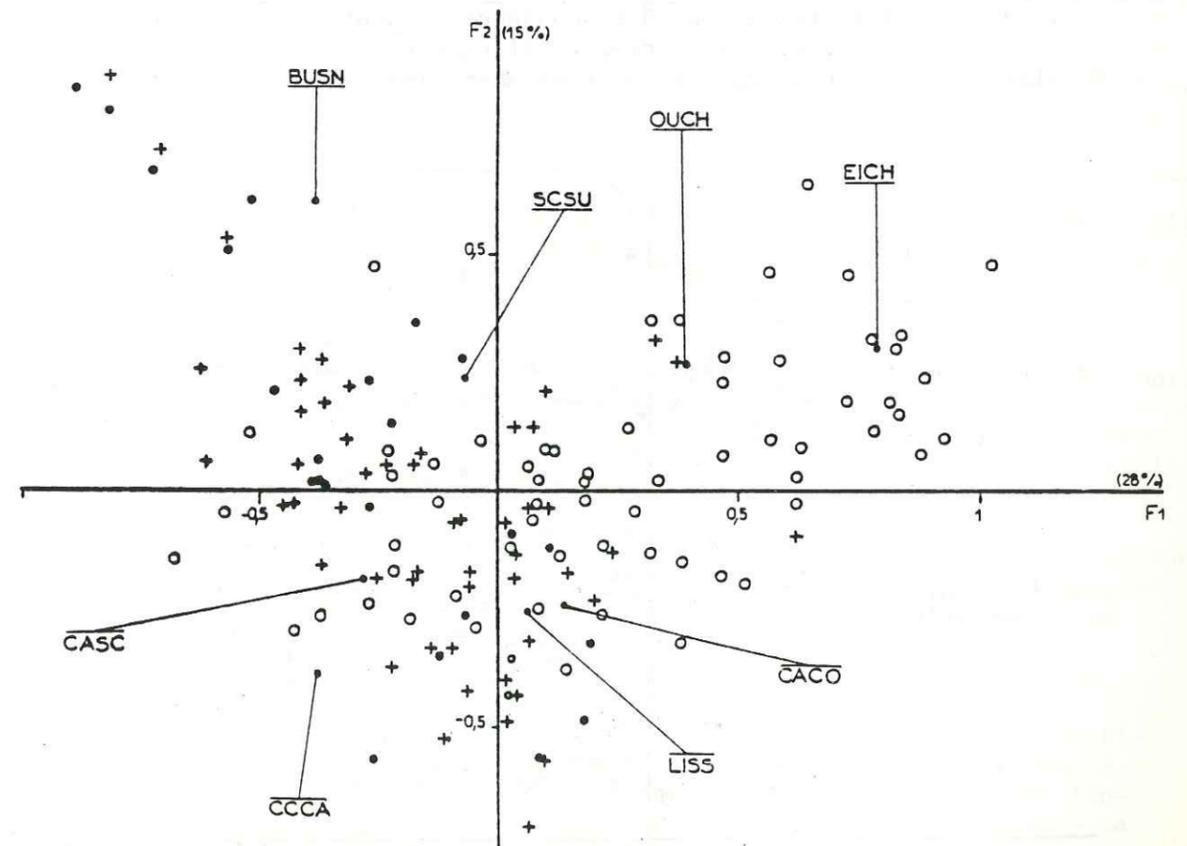


Figure 45 : Correspondance entre les *Lenticulina* de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  et la lithologie . Bassin vocontien . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables .  
Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
●: calcaires, + calcaires argileux délités, ○: marnes .  
Abréviations cf annexe II .

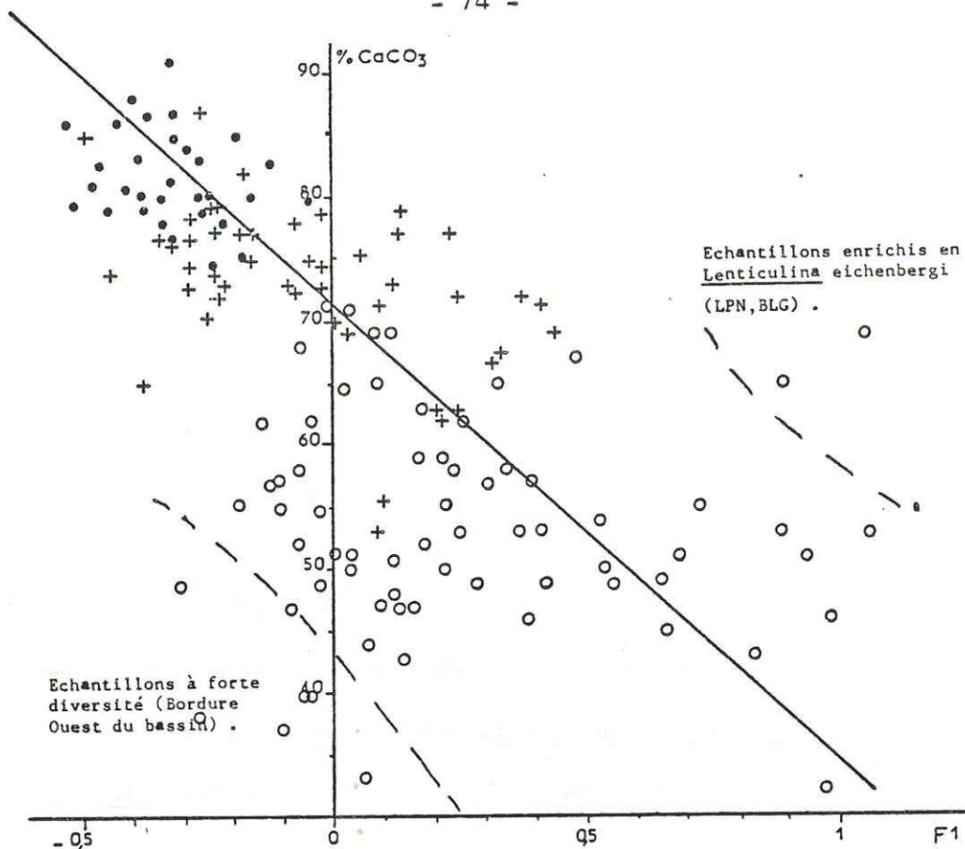


Figure 46 : Le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  des échantillons et leur abscisse factorielle sur  $F_1$ . Analyse factorielle des correspondances : *Lenticulina* de taille supérieure à  $100 \mu\text{m}$ . Bassin vocontien. Valanginien.  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes.

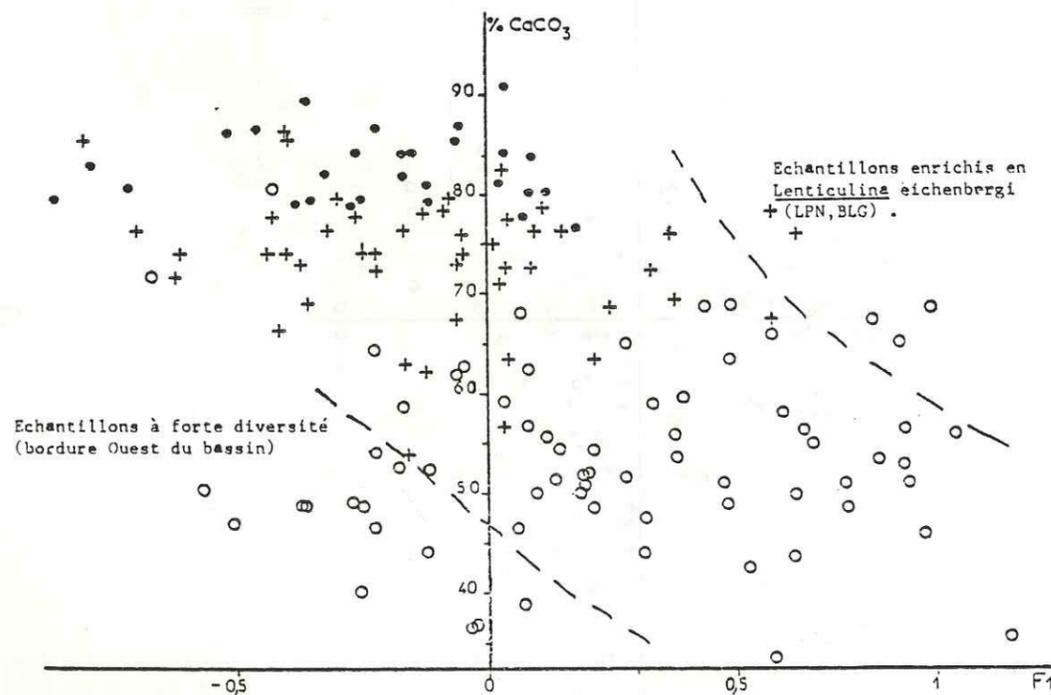


Figure 47 : Le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  des échantillons et leur abscisse factorielle sur  $F_1$ . Analyse factorielle des correspondances : *Lenticulina* de taille supérieure à  $200 \mu\text{m}$ . Bassin vocontien. Valanginien.  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes.

Cas des Lenticulina

Dans le faisceau valanginien, ce groupe présente des variations morphologiques importantes, en particulier au niveau de son ornementation (8 morphogroupes ont été distingués, voir chapitre III) et de son enroulement.

La proportion de lenticulines déroulées reste toujours assez faible, ces variations ne sont pas significatives.

Dans la fraction 200-100  $\mu\text{m}$  des résidus, la plupart des lenticulines rencontrées sont de formes lisses : s'agit-il de formes juvéniles dont l'ornementation ne serait pas encore différenciée ou de formes adultes lisses ou de petite taille ? Il est difficile de trancher : en effet, des formes lisses, de grandes tailles coexistent toujours avec des formes ornées dans la fraction de résidu 500-200  $\mu\text{m}$  ; de plus, il arrive qu'il y ait des formes ornées parmi les lenticulines de taille comprise entre 200 et 100  $\mu\text{m}$ . Cependant, leur ornementation n'est jamais prononcée. Pour connaître l'importance des lenticulines de taille comprise entre 200 et 100  $\mu\text{m}$  dans l'ensemble des lenticulines étudiées (taille  $> 100 \mu\text{m}$ ) il m'a paru judicieux d'effectuer la comparaison des populations de lenticulines de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  et celle de taille supérieure à 100  $\mu\text{m}$  par l'intermédiaire de deux analyses factorielles des correspondances. Elles sont réalisées à partir de 143 échantillons et de 8 variables principales (8 morphogroupes) :

	F1	F2	F3
Lenticulines de taille $> 200 \mu\text{m}$	28 %	27 %	14 %
Lenticulines de taille $> 100 \mu\text{m}$	26 %	18 %	16 %

Tableau IV : Inertie des trois premiers facteurs issus de l'analyse factorielle des correspondances des lenticulines de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  et celle des lenticulines de taille supérieure à 100  $\mu\text{m}$ .

Ce tableau nous montre que l'association des lenticulines de taille comprise entre 200 et 100  $\mu\text{m}$  à l'ensemble des lenticulines de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  ne modifie pas la structure du système si ce n'est qu'elle diminue légèrement sa variabilité. La disposition des éléments dans les premiers plans factoriels de chaque analyse n'est pas très différente.

Les corrélations entre les abscisses factorielles selon  $F_1$  des échantillons et leur teneur en  $\text{CaCO}_3$  pour les deux analyses nous montrent une tendance (les coefficients de corrélation ne sont pas significatifs) au reclassement des échantillons en fonction de leur taux en carbonate avec une variabilité faible pour les calcaires, un peu plus grande pour les calcaires argileux délités et une plus grande variabilité pour les marnes (fig. 46 et 47). Dans les deux cas, deux séries de points correspondant à deux régions particulières, peuvent se regrouper ; il s'agit de marnes prélevées à proximité de la bordure ardéchoise présentant une grande diversité au niveau des lenticulines, et des marnes et calcaires argileux de la région de Blégiez - La Penne, enrichies en *Lenticulina eichenbergi*.

Par conséquent, la composition des lenticulines peut-être mise en relation avec le taux de carbonate des sédiments mais aussi avec la position des affleurements dans le bassin.

Selon l'axe factoriel Fl, il s'opère un classement des morphogroupes pouvant être mis en relation avec le taux de carbonate des sédiments .

Lenticulines de taille > 100 µm :

L. busnardoï, L. lisse, L à cal et à côtes, L. à cal, à côtes et à carène, L. ouachensis, L. à carène, sans côte et à cal, L. sans cal, à suture, L. eichenbergi

Lenticulines de taille > 200 µm (fig. 45) :

L. busnardoï, . à cal, à côtes et à carène, L. à cal, à carène sans côte, L. sans cal avec suture, L. lisse, L. à cal et à côtes, L. ouachensis, L. eichenbergi

Dans le détail, la succession des morphogroupes n'est pas la même, cependant les groupes les plus importants se reclassent de la même façon : L. busnardoï, L. lisses, L. ouachensis, L. eichenbergi .

La comparaison entre les résultats de l'analyse factorielle des correspondances utilisant les lenticulines de taille supérieure à 100 µm et celle utilisant les lenticulines de taille supérieure à 200 µm montre que ces deux ensembles sont proches . Par conséquent, pour clarifier les relations entre la composition de ces dernières et la teneur en carbonate des sédiments, seules les lenticulines de taille supérieure à 200 µm seront considérées dans les analyses bivariées qui suivent .

Parallèlement à l'antagonisme marne-calcaire, l'opposition entre les Lenticulina eichenbergi et Lenticulina ouachensis d'une part, les Lenticulina busnardoï et les lenticulines lisses d'autre part , donc entre les lenticulines ornées et les autres , traduit l'importance de L. eichenbergi (fig. 48B) et des lenticulines ornées ( fig.48A) dans les marnes, celle des L. busnardoï (fig. 48C) et des lenticulines lisses (fig. 48D) dans les calcaires. La diversité de ce groupe (fig. 49) résume ces tendances. Elle reste en moyenne à peu près constante dans les marnes et les calcaires argileux délités mais elle chute dans les sédiments contenant plus de 75 % CaCO<sub>3</sub> où les lenticulines sans ornementation très prononcée dominent .

Si la concentration en calcaire dans le milieu favorise parfois le développement des foraminifères à test calcaire , il n'en est pas de même pour l'apparition d'une ornementation telle que pustules, côtes, carènes.

La prépondérance des formes ornées dans le bassin (cf chapitre suivant) me permet de suggérer l'importance des apports terrigènes sur l'ornementation des lenticulines et de faire un parallèle entre l'acquisition de pustules chez les lenticulines et chez certains ostracodes (cf A.M. BODERGAT, travaux en cours) .

c - Taille et diversité des foraminifères benthiques .

Les tailles des différentes catégories de foraminifères benthiques (Lenticulina, Spirillina, Trochammina, Dorothia) varient de façon semblable le long d'une même coupe. Leur taille est maximale lorsque le taux de carbonate des sédiments est compris entre 60 et 70 % (fig. 51 et 52) . Nous avons vu (p. 52) que pour ces valeurs en carbonate, la diversité de l'ensemble des foraminifères benthiques est maximale . Cependant, quatre échantillons marneux très riche en pyrite présentent une diversité assez faible malgré leur teneur en carbonate proche de 60 % (fig. 50) . Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de S. GUERIN (1981) . Dans les échantillons les plus calcaires (82 % de CaCO<sub>3</sub>), la diversité des foraminifères benthiques chute brutalement, les Epistomina dominent alors le benthos . La diversité

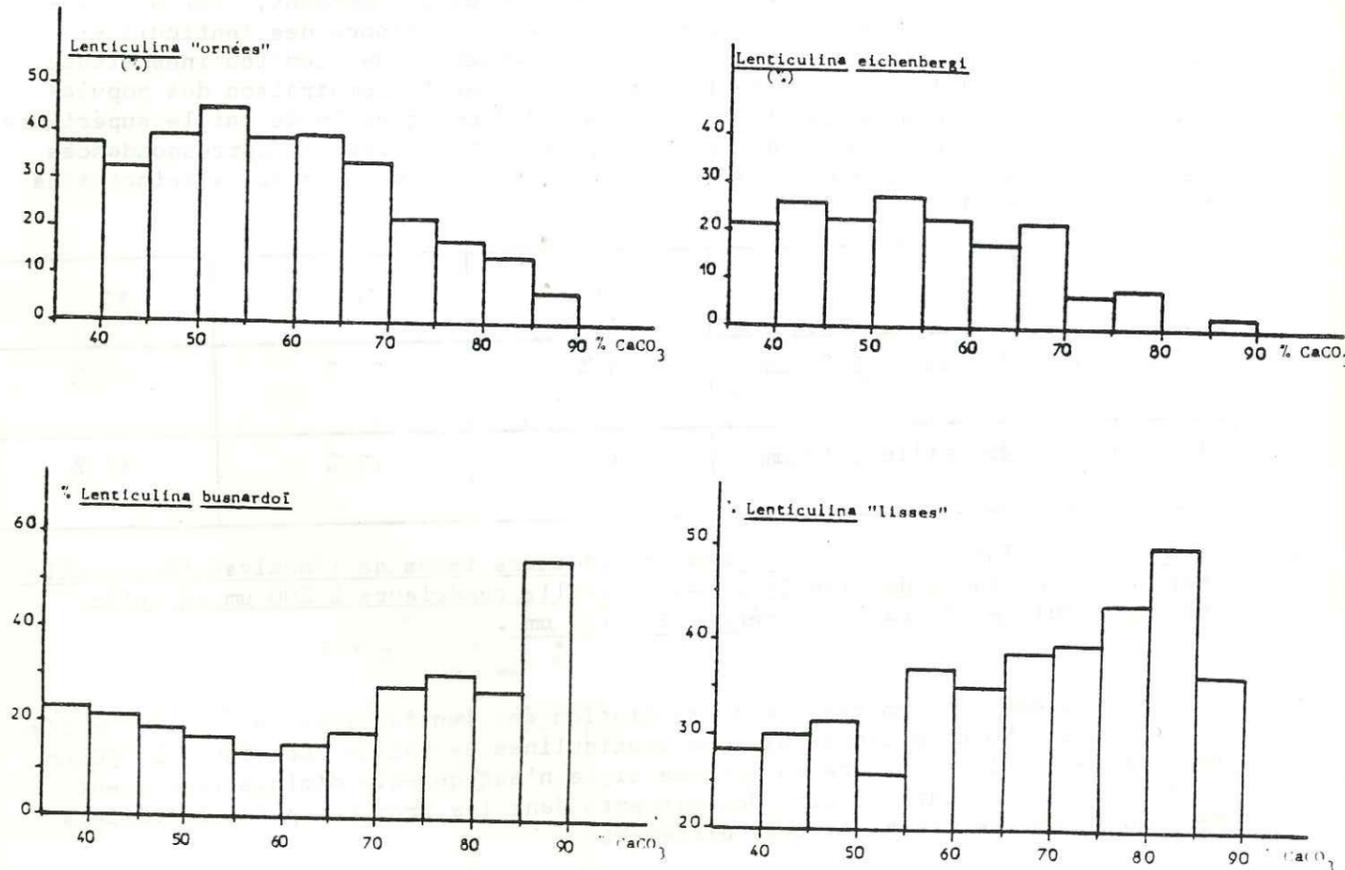


Figure 48 : Les lenticulines ornées (A), les Lenticulina eichenbergi (B), les Lenticulina busnardoï (C), les lenticulines lisses (D) et le taux de carbonate des sédiments . Bassin vocontien . Valanginien .

Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des lenticulines de taille supérieure à 200 µm . On a calculé pour chaque catégorie de lenticulines, la moyenne de leur pourcentage dans les échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en carbonate . L'intervalle de classe est de 5 % .

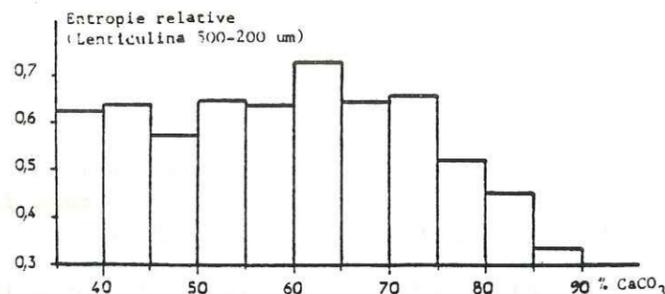


Figure 49 : Diversité des lenticulines de taille supérieure à 200 μm et le taux de carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . L'histogramme résulte du calcul de la moyenne de l'entropie relative des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en carbonate . L'intervalle de classe est de 5 % .

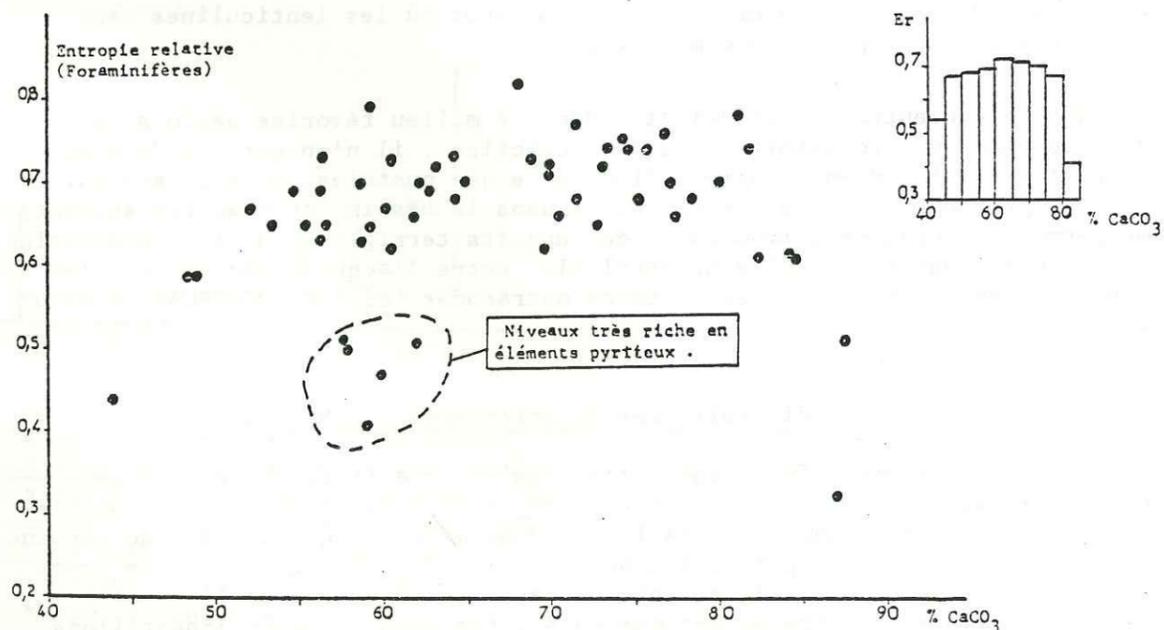


Figure 50 : Diversité des foraminifères et teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . L'histogramme résulte du calcul de la moyenne de l'entropie relative des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en  $\text{CaCO}_3$  . L'intervalle de classe est de 5 % .

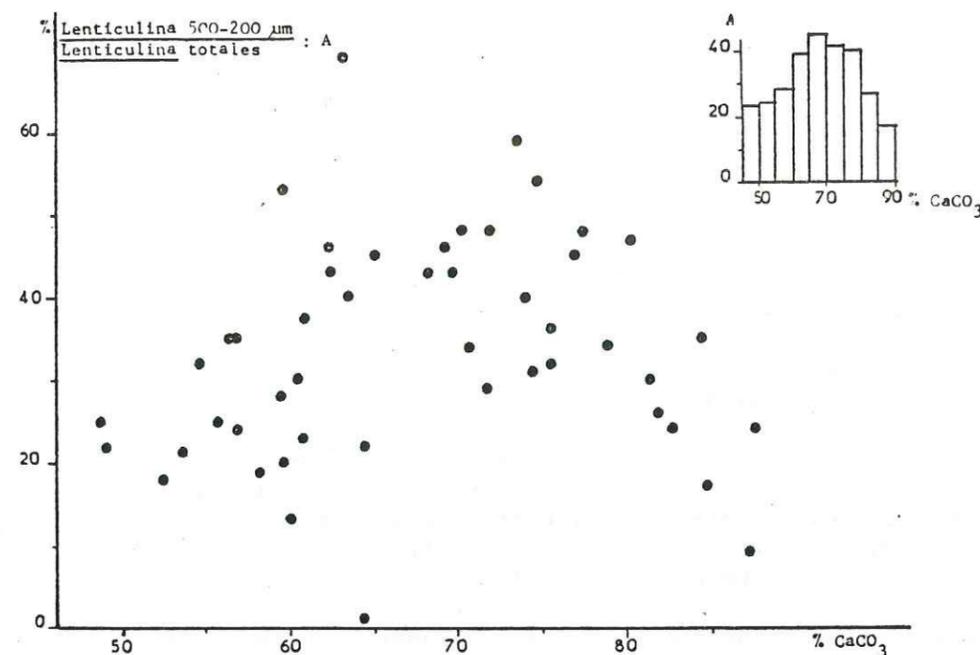


Figure 51 : La taille des lenticulines et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Cette taille est estimée à partir du pourcentage du nombre de lenticulines de taille supérieure à 200 μm par rapport à la totalité des lenticulines . L'histogramme résulte du calcul de la moyenne de la taille des lenticulines des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en carbonate . L'intervalle de classe est de 5 % .

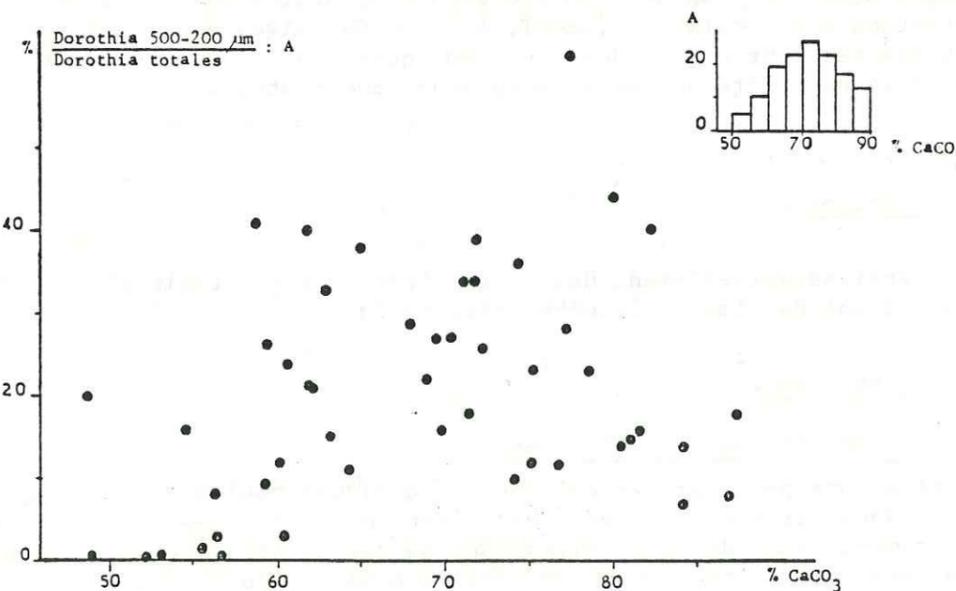


Figure 52: La taille des Dorothis et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Cette taille est estimée à partir du pourcentage du nombre de Dorothis de taille supérieure à 200 μm par rapport à la totalité des Dorothis . L'histogramme résulte du calcul de la moyenne de la taille de ces organismes des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en  $\text{CaCO}_3$  . L'intervalle de classe est de 5 % .

de ce groupe dépend donc de la nature du sédiment (calcaire ou marneux) mais aussi sans doute des conditions d'oxydo-réduction du fond .

En comparant les courbes concernant les tailles et la diversité des organismes , on constate qu'à une faible diversité correspond de petite taille et à une diversité importante , de grande taille des individus .

5 - Conclusions.

Dans les sédiments marneux les plus argileux, souvent riches en pyrite , la petite taille des individus coïncide avec une faible concentration des organismes et une spécialisation des foraminifères (Trochammina, Gavelinella) ; tous ces faits évoquent un milieu plutôt défavorable à la vie de la microfaune benthique (MEULENKAMP et al., 1979) ; seuls les groupes les moins exigeants peuvent se développer .

Dans les sédiments calcaires les plus riches en carbonate, la petite taille des organismes va de pair avec une grande concentration d'individus, une prolifération des foraminifères à test calcaire et encore une spécialisation de la faune ; ceci peut traduire une multiplication rapide de certains foraminifères benthiques (PHLEGER , 1964) .

Dans les sédiments dont la teneur en carbonate est intermédiaire, la taille et la diversité des individus est maximale, l'ensemble des différentes catégories de foraminifères est bien représenté, la concentration des organismes est moyenne . La grande diversité de la microfaune benthique peut traduire une augmentation de température (BE & HAMELIN, 1967) ou une bonne oxygénation du fond (INGLE et al., 1980) . Pour G. Van der ZWAAN (1980), les variations de température ne sont pas suffisantes pour affecter le benthos mais elles peuvent avoir des conséquences sur les mouvements des masses d'eau entraînant des modifications de l'oxygénation du milieu et de la teneur en éléments nutritifs des eaux .

Il semble donc que l'on soit en présence d'un milieu où les conditions de vie du benthos sont optimales (HECHT, 1976) . Ces niveaux semblent particulièrement adaptés pour des études microfauniques dans la mesure où la concentration et la diversité des organismes sont importantes .

C - Le plancton .

Je traiterai essentiellement des radiolaires et des foraminifères planctoniques mais aussi des lamellibranches planctoniques .

1 - Valanginien .

a - Foraminifères planctoniques .

Ils sont encore peu représentés . Seuls, quelques moules internes pyriteux de Caucasella apparaissent dans des échantillons marneux . Ces formes ne sont jamais très nombreuses ; de plus, elles sont de petite taille et se trouvent concentrées dans la fraction 100-63 µm, fraction de résidu non étudiée .

b - Radiolaires .

\* - Coupe du Toulourenc .

Une première analyse factorielle des correspondances est réalisée à partir

de 56 échantillons et de 16 variables comprenant tous les morphogroupes de radiolaires auxquels j'ai ajouté les données concernant les radiolaires pyriteux . Ces derniers constituent à eux seuls le premier facteur en résumant 38 % de l'inertie du système . L'abscisse factorielle des échantillons sur F1 permet leur reclassement en fonction de leur taux de carbonate (fig. 53) . On vérifie ainsi qu'il existe bien une relation entre le taux de carbonate des sédiments et la pyritisation des radiolaires .

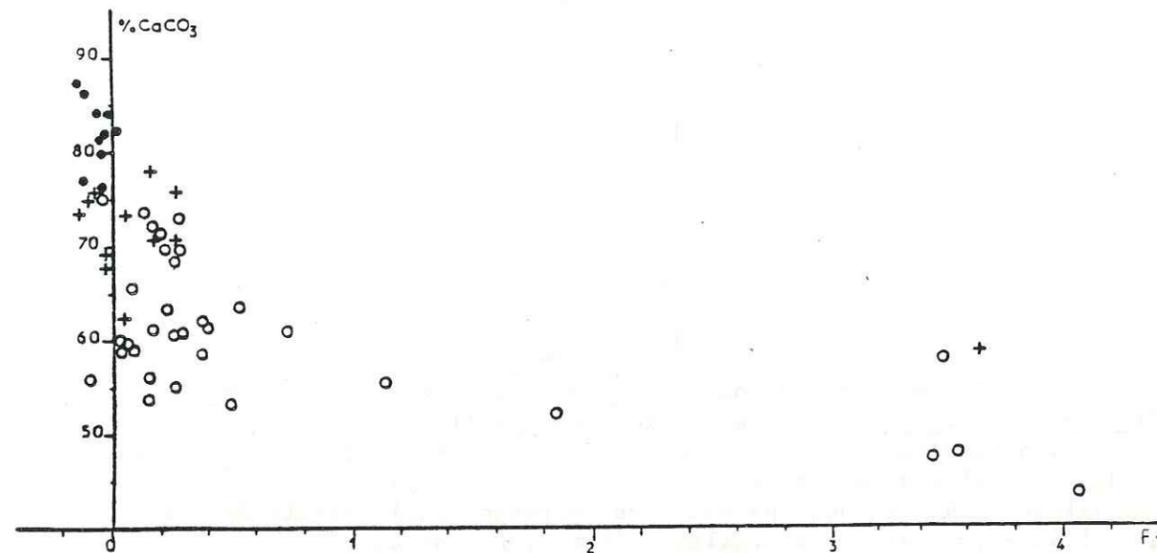


Figure 53 : Relation entre le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des échantillons et leur abscisse factorielle sur F<sub>1</sub>. Analyse factorielle des correspondances : radiolaires y compris les radiolaires pyriteux . Coupe du Toulourenc . Valanginien . ● : calcaires, + : calcaires argileux délités, ○ : marnes .

Une deuxième analyse factorielle des correspondances est effectuée après avoir éliminé la variable "radiolaires pyriteux" et deux échantillons déformant trop le nuage de points (n°27, n°50) . Le premier plan factoriel F1F2 (71 % de l'inertie du système) (fig.54) montre que :

- les échantillons sont moyennement reclassés en fonction de leur taux de carbonate, il semble cependant exister une relation entre leur abscisse factorielle sur F1 et leur taux de carbonate (fig. 57), de même qu'avec leur diversité (fig. 56) ;
- sur F1, les radiolaires ronds réticulés s'opposent aux radiolaires ronds pustuleux et sur F2, les Stylospheara aux radiolaires coniques . La variable supplémentaire "radiolaires ronds" est située à proximité du centre de gravité du nuage de points ; elle confirme sa grande importance face aux radiolaires coniques, qui eux ont un comportement homogène .

L' étude bivariée entre les proportions de chaque groupe de radiolaires et le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> permet de mieux cerner leur comportement . En effet, si quel que soit le type de radiolaires, leur nombre croît toujours avec le taux de carbonate des sédiments, tous les groupes ne sont pas également représentés .

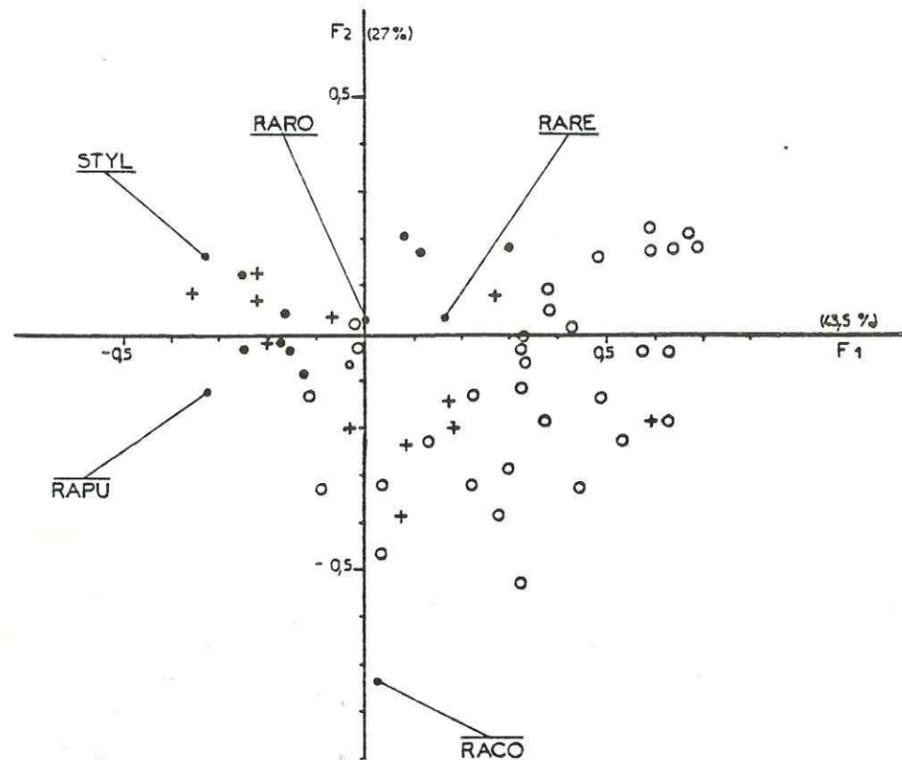


Figure 54 : Correspondance entre les radiolaires et la lithologie . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Les radiolaires pyriteux sont exclus des calculs . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .  
 Abréviations : cf annexe II .

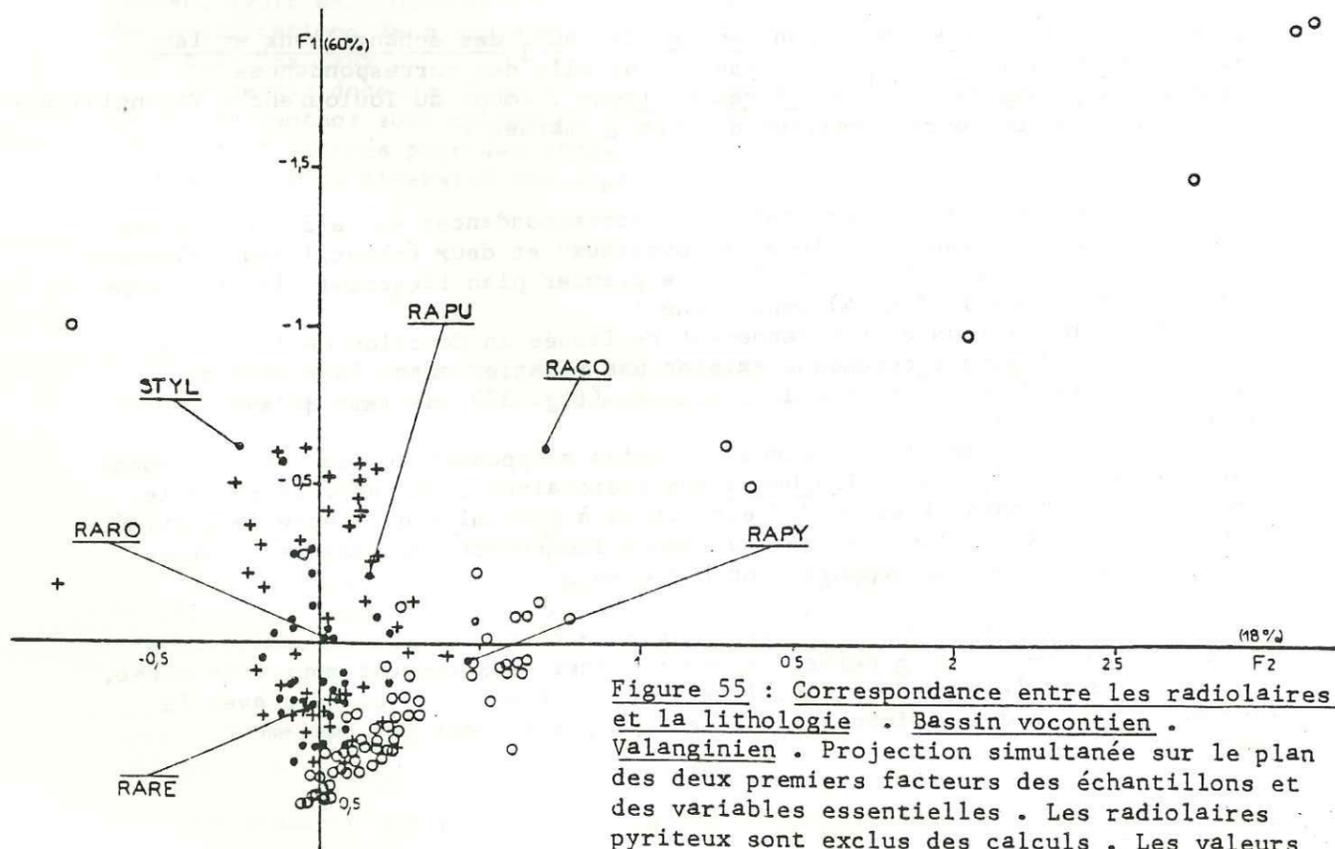


Figure 55 : Correspondance entre les radiolaires et la lithologie . Bassin vocontien . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les radiolaires pyriteux sont exclus des calculs . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs . Abréviations : cf annexe II .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .

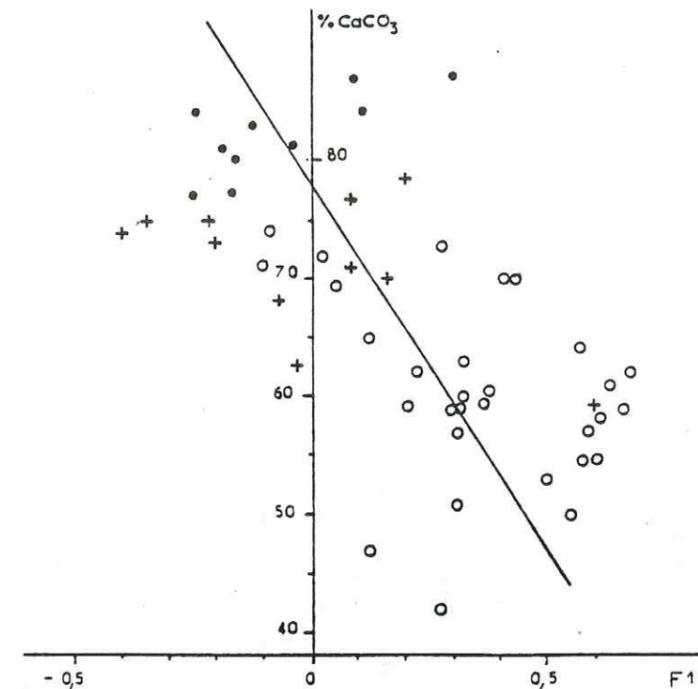


Figure 56 : Taux de carbonate et abscisse factorielle sur F<sub>1</sub> des échantillons . Analyse factorielle des correspondances : ensemble des radiolaires non pyriteux . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .

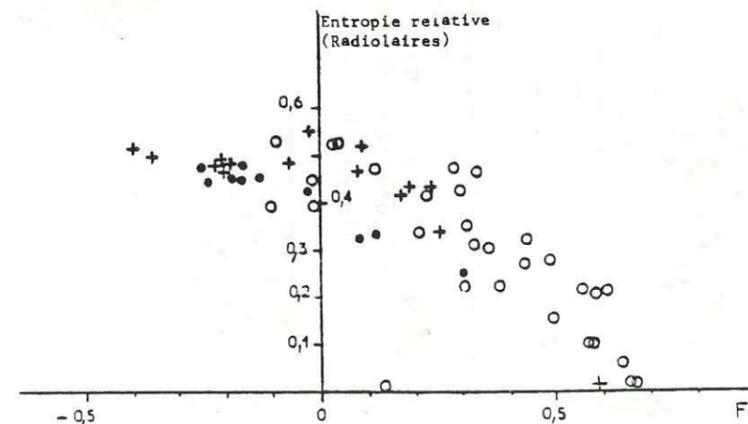


Figure 57 : Diversité des radiolaires et abscisse factorielle sur F<sub>1</sub> des échantillons . Analyse factorielle des correspondances : ensemble des radiolaires non pyriteux . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 • : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .

Les radiolaires ronds réticulés dominent dans les marnes et dans les calcaires à très forte teneur en carbonate ( $\text{CaCO}_3 > 85\%$ ) (fig.58).

Les proportions de radiolaires ronds pustuleux tendent à augmenter régulièrement avec la teneur en calcaire des sédiments (fig.59) ; il en est de même pour leur taille (fig. 62) , ce n'est pas le cas des radiolaires ronds réticulés (fig. 63) .

Les radiolaires coniques voient leur importance augmenter des marnes aux calcaires argileux délités ( $70 < \% \text{ de } \text{CaCO}_3 < 75$ ), puis diminuer dans les calcaires (fig. 61) .

Les *Stylospheara* semblent présenter une relation du même type avec une modification correspondant à l'épisode médian dans le faisceau (entre le niveau n°31 et39) : il est constitué par un ensemble de petits bancs calcaires argileux délités et d'interbancs marneux de faible épaisseur . Dans ces niveaux, le nombre ainsi que les proportions de *Stylospheara* s'affaiblissent (fig.60) . Au même moment, on observe une multiplication de lamellibranches planctoniques (fig. 64) .

L'étude du niveau n°35 dans le bassin montre que ces phénomènes sont généraux . Une description des correspondances a été effectuée pour les deux ensembles : "radiolaires" et "débris de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$ " . Le signe des contributions relatives des échantillons à la position des variables par rapport au centre de gravité du nuage permet de déterminer l'importance relative d'une variable dans un échantillon (JAMBU, 1978, p. 67) .

Pour chaque coupe étudiée, le tableau V permet de comparer le signe de la contribution de chaque échantillon à la position des *Stylospheara* ou des lamellibranches planctoniques par rapport au centre de gravité du nuage de points . Cette comparaison est faite pour le niveau n°35 et pour la moyenne des autres niveaux de calcaires argileux délités .

TLR	B/D	PRD	PLV	CLC	LCH	CTV	SGT	MCL	CHN	PI	SAB	MNR	CSJ	RNR	BGL	LPN	VLB	ALG	VRG	LX		
+	-	0	+	0 <sup>+</sup>	+	0	+	+	+	+	+	+	+	0 <sup>-</sup>	-	0	-			0 <sup>-</sup>	-	Calcaires délités
0						-	-	+	0	0	-	-	-	-	-	-	-			-	-	35
-	0 <sup>-</sup>	0	-	0	0 <sup>-</sup>	0	-	-	-	+	-	-	0	-	-	-	0			-	-	Calcaires délités
+						+	+	+	0	+	0	+	+	+		+	+			+	+	35

Tableau V : Importance des *Stylospheara* et celle des lamellibranches planctoniques dans les niveaux n°35 et l'ensemble des niveaux de calcaires argileux délités étudiés : Signe des contributions relatives des échantillons à la position des variables par rapport au centre de gravité du nuage concernant :

- I : les *Stylospheara* parmi les radiolaires ;
- II : les lamellibranches planctoniques parmi les débris .

Abréviations : voir annexe I

Ce tableau nous montre bien que l'importance des *Stylospheara* diminue dans le niveau n°35 par rapport à l'ensemble des autres niveaux de calcaires argileux délités étudiés alors que celle des débris de lamellibranches planctoniques est accrue . Il semble donc qu'il y ait une certaine concurrence entre ces deux types d'organismes . Il est difficile de concevoir cette concurrence

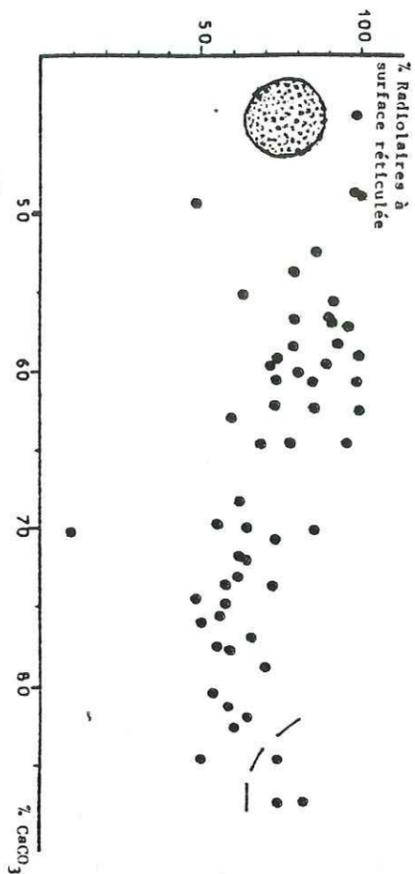


Figure 58 : Les radiolaires ronds réticulés et le taux de carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des radiolaires . Les niveaux entourés de pointillés sont les plus calcaires .

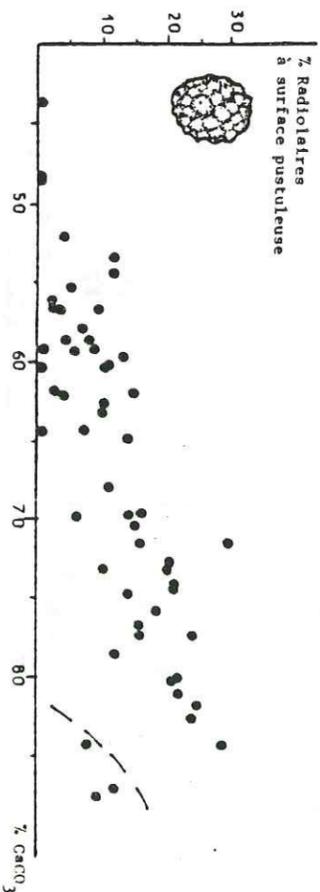


Figure 59 : Les radiolaires ronds pustuleux et le taux de carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des radiolaires . Les niveaux entourés de pointillés sont les plus calcaires .

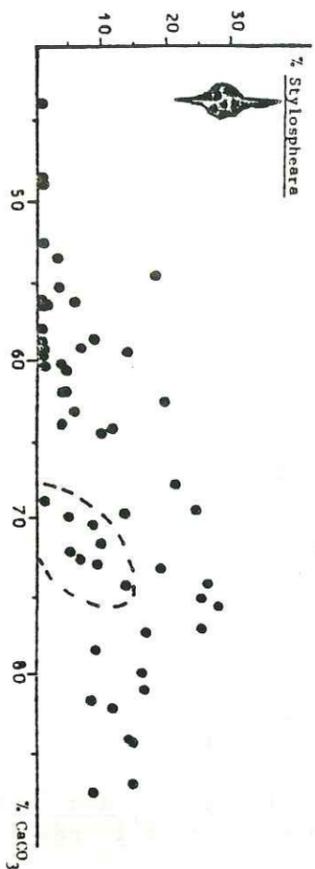


Figure 60 : Les *Stylospheara* et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des radiolaires . Les niveaux entourés de pointillés appartiennent à l'intervalle médian : niveaux 31-37 .

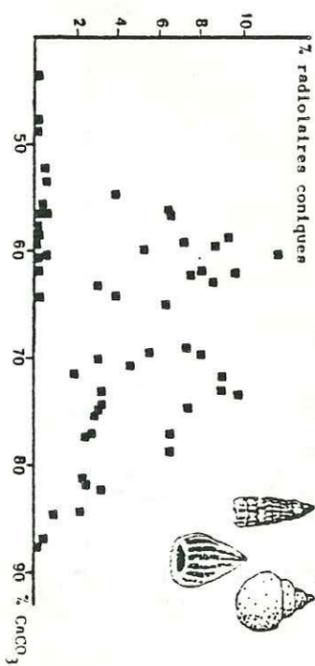


Figure 61 : Les radiolaires coniques et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des radiolaires .

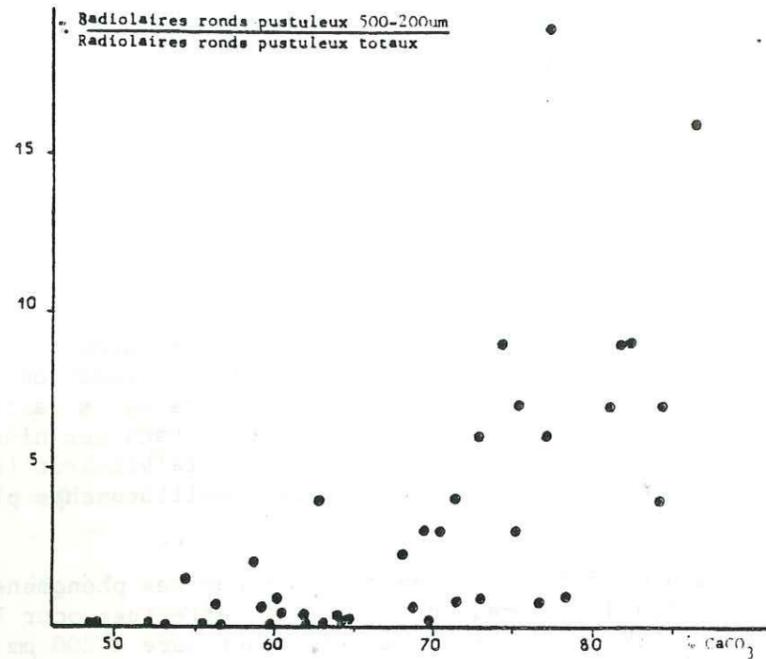


Figure 62 : Taille des radiolaires ronds pustuleux et la teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage de radiolaires ronds pustuleux de taille supérieure à 200 µm rapporté à l'ensemble des radiolaires ronds pustuleux .

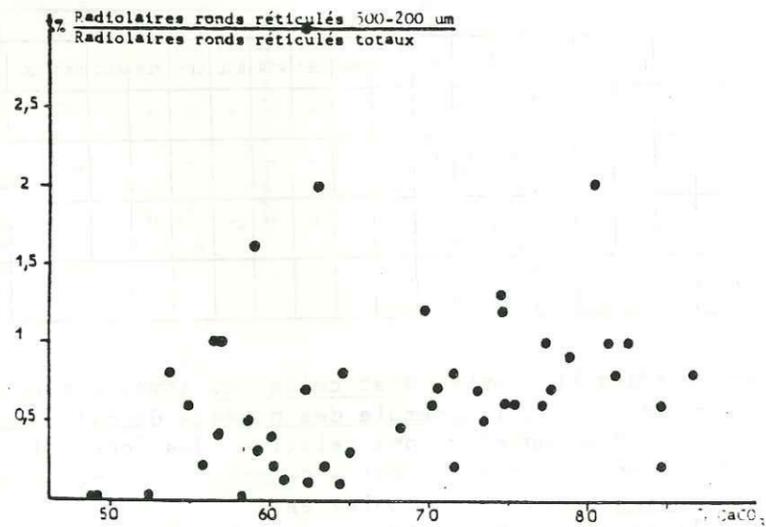


Figure 63 : Taille des radiolaires ronds réticulés et teneur en carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage de radiolaires ronds réticulés de taille supérieure à 200 µm rapporté à l'ensemble des radiolaires ronds réticulés .

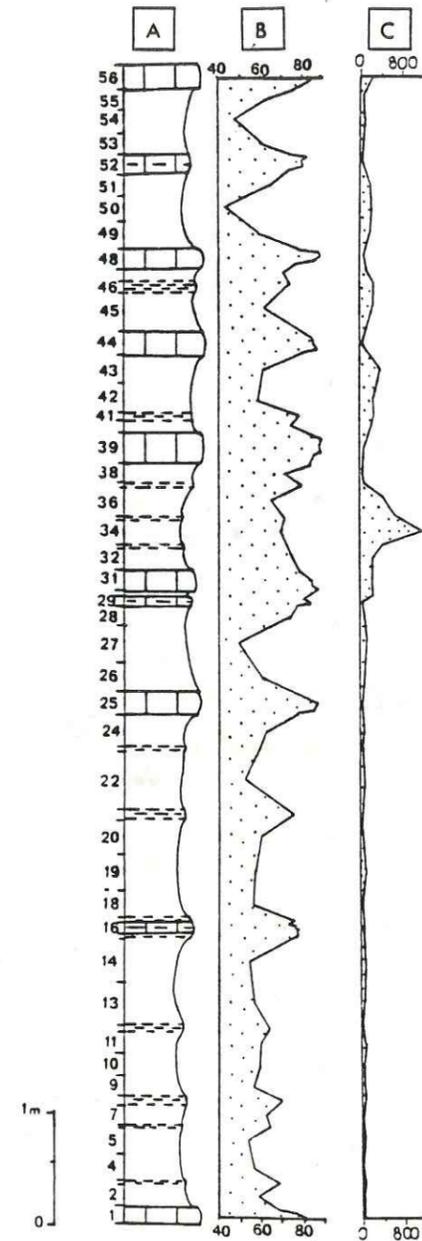


Figure 64 : Comparaison entre la colonne lithologique (A), les variations de taux de carbonate (B) et le nombre de débris de lamellibranches planctoniques de taille comprise entre 500 et 200 µm (C) .

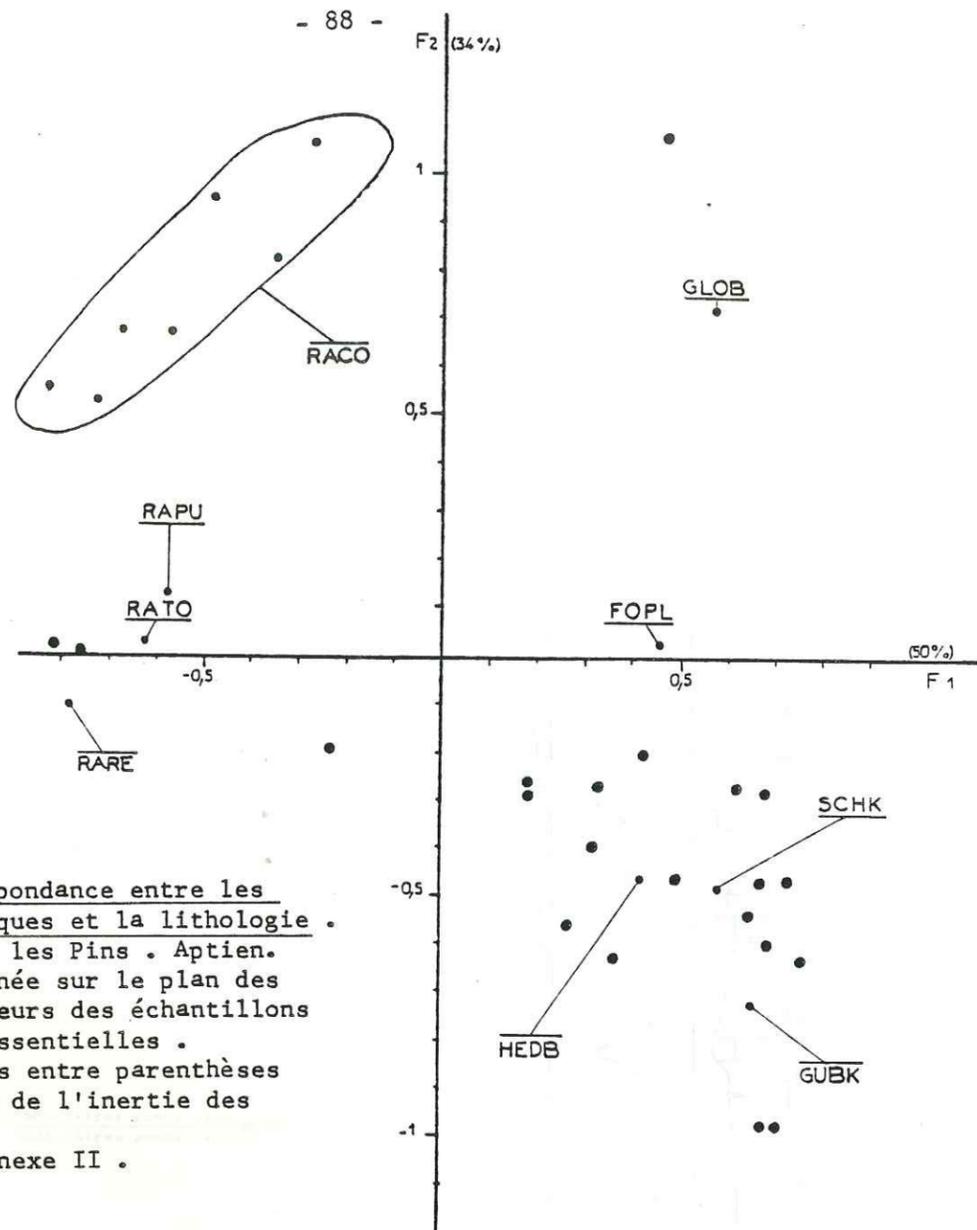


Figure 65 : Correspondance entre les éléments planctoniques et la lithologie . Coupe de Villebois les Pins . Aptien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent celle de l'inertie des facteurs . Abréviations cf annexe II .

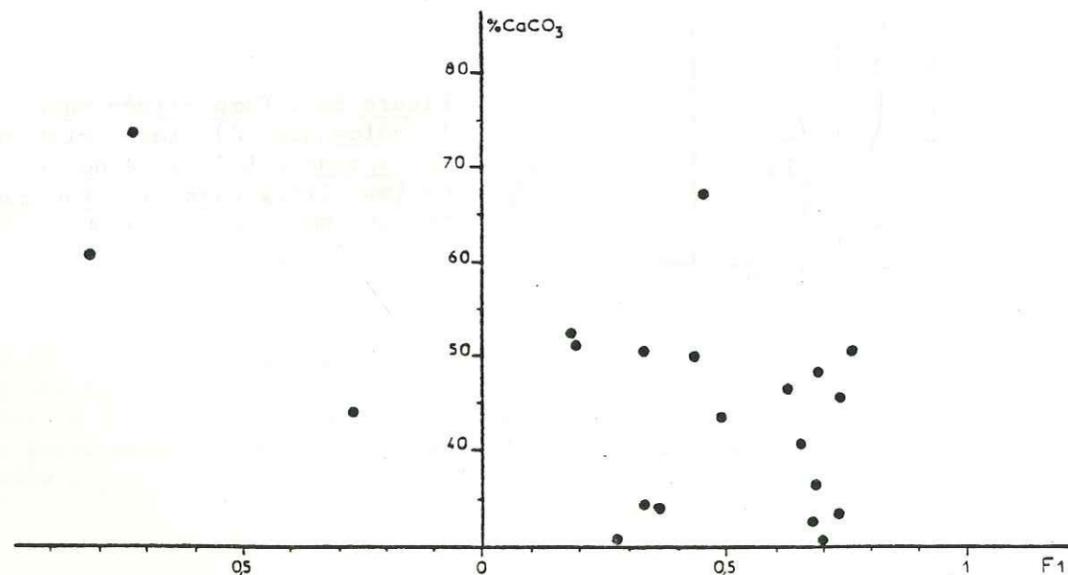


Figure 66 : Pourcentage en carbonate et abscisse factorielle des échantillons sur  $F_1$  . Analyse factorielle des correspondances : éléments planctoniques Coupe de Villebois les Pins . Aptien .

en terme de diminution globale des apports nutritifs car l'épisode médian correspond dans la série à un mégacycle dans la répartition verticale de la microfaune où les individus benthiques et planctoniques sont bien développés et présentent d'assez grande taille (c'est le cas en particulier des radiolaires ronds réticulés et pustuleux (fig. 8) . Les autres organismes ne semblent pas affectés . Je pense qu'il pourrait s'agir d'une concurrence au sein d'une même niche écologique : ces deux groupes occuperaient la même tranche d'eau .

\* - Bassin vocontien .

L'analyse de l'ensemble des données recueillies dans le bassin sont traitées par une analyse factorielle des correspondances (154 échantillons et 15 variables) (fig.55) . La disposition des variables dans le plan factoriel FlF2 (78 % de l'inertie du système) est équivalente à celle obtenue à partir de la coupe de référence ; les relations entre les variables restent donc les mêmes dans le bassin .

Cependant, il n'existe plus de reclassement des échantillons en fonction de leur taux de carbonate .

S'il est possible de comparer la composition du benthos et le pourcentage de  $CaCO_3$  des échantillons de la coupe de référence et de ceux de l'ensemble du bassin, ce n'est pas possible avec les éléments planctoniques . En effet, le taux de carbonate observé résulte d'une sédimentation sur le fond marin ; il est lié à la production, à la dissolution des carbonates et à la dilution par les apports terrigènes . L'absence de trace de corrosion sur les tests de foraminifères et sur les débris de lamellibranches planctoniques permet d'éliminer ce phénomène . Le même pourcentage de  $CaCO_3$  ne correspond pas forcément au même taux de production (voir chapitre suivant) .

2 - Aptien .

Les foraminifères planctoniques ont une importance beaucoup plus grande qu'au Valanginien .

Une analyse factorielle des correspondances est effectuée à partir de 18 échantillons et de 15 variables principales (4 genres de foraminifères planctoniques et 11 morphogroupes de radiolaires) (fig. 65) . Dans le plan factoriel FlF2 (84 % de l'inertie du système) on observe selon  $F_1$  l'opposition des foraminifères planctoniques et des radiolaires, et selon  $F_2$  celle d'une part des *Hedbergella* et des *Schackoia* et d'autre part des *Globigerinoides* et des radiolaires coniques .

Compte-tenu du faible nombre d'échantillons et des teneurs en carbonate des sédiments considérés (surtout entre 30 et 55 % de  $CaCO_3$ ), il est difficile d'établir une relation entre l'abscisse factorielle sur  $F_1$  des échantillons et leur teneur en calcaire (fig. 66) .

Cependant les échantillons les plus argileux se caractérisent par les foraminifères planctoniques et les plus calcaires par des radiolaires . Le nombre de radiolaires et celui des foraminifères planctoniques croît de façon exponentielle en fonction du taux de carbonate des sédiments (fig. 67) . Les radiolaires dominent l'ensemble du plancton dans les deux échantillons les plus calcaires (fig. 25) .

Les *Schackoia* voient d'abord leurs proportions au sein du plancton augmenter avec le taux de carbonate des sédiments ; elles diminuent ensuite fortement dans les niveaux les plus calcaires (fig. 68) .

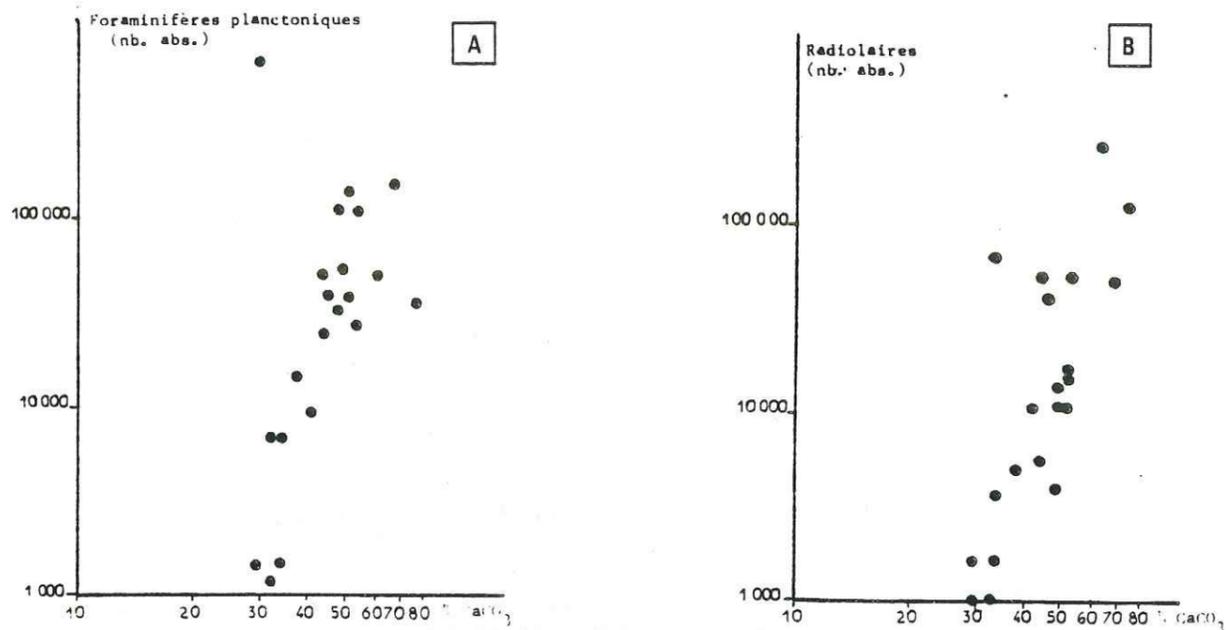


Figure 67 : Abondance des foraminifères planctoniques (A), celle des radiolaires (B) et la teneur en carbonate des sédiments. Coupe de Villebois les Pins. Aptien. Elle est estimée dans 100 g de sédiments.

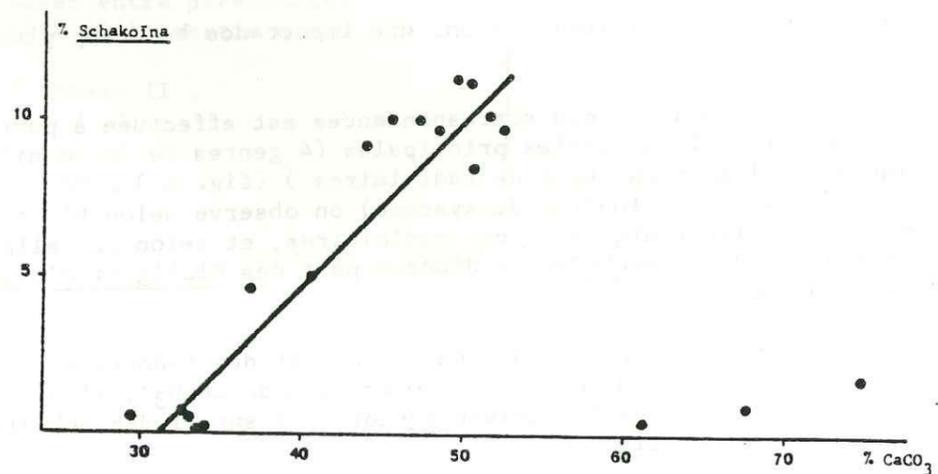


Figure 68 : Les Schackoïna et la teneur en carbonate des sédiments. Coupe de Villebois les Pins. Aptien. Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des éléments planctoniques.

Les relations entre les proportions des autres foraminifères planctoniques sont assez complexes et le petit nombre d'échantillons ne permet guère de conclure.

3 - Que signifie l'opposition radiolaires - foraminifères planctoniques ?

Est-ce un effet de dissolution, de diagenèse ou une opposition réelle dans la production planctonique ?

a - Dissolution.

Les lois de dissolution des tests carbonatés et des tests siliceux sont différents. (fig. 69).

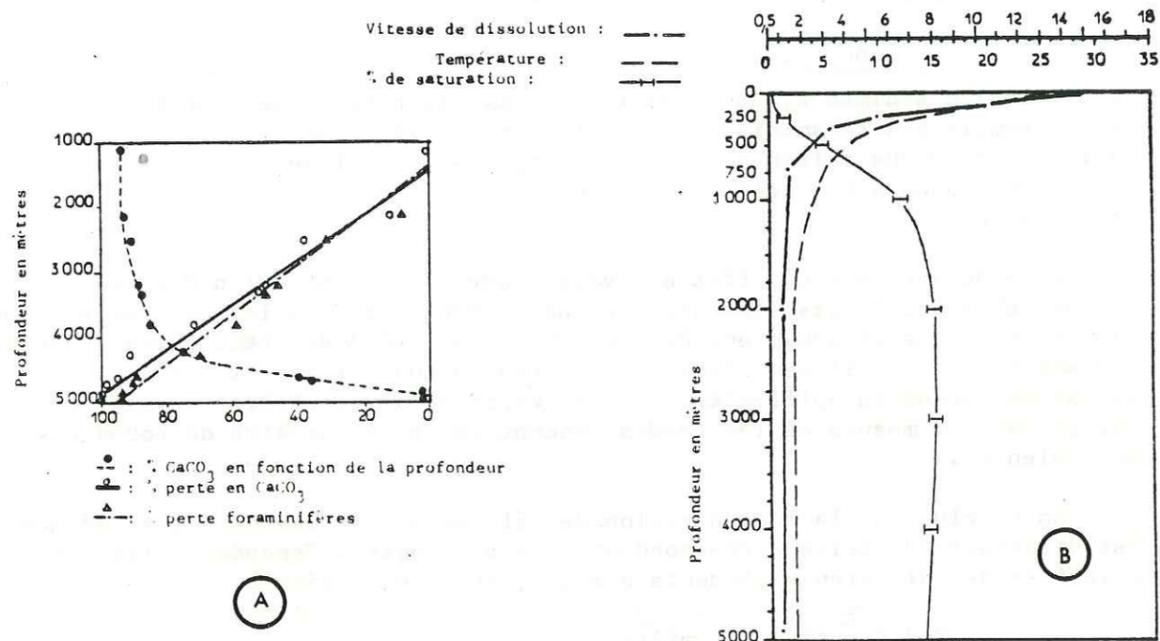


Figure 69 : Lois de dissolution des tests carbonatés (A) (d'après CLOCCHIATTI, 1976) et de la silice biogénique (B) (d'après HURD, 1972).

Les lamellibranches planctoniques valanginiens, les foraminifères planctoniques aptiens ne montrent aucune trace de dissolution. La profondeur maximale supposée du bassin vocontien est de 1500 m (FERRY, 1976). Ceci permet de considérer comme minime la dissolution des carbonates planctoniques.

Concernant les restes siliceux, leur dissolution est très importante dans la première centaine de mètres de la tranche d'eau océanique (HURD, 1975 ; NELSON & GOERING, 1977 ; TAKAHASHI & HONJO, 1981). Selon R.G. HEATH (1974), 4 % des restes siliceux sont enfouis et 2 % fossilisés.

Au quaternaire, dans l'Atlantique Nord, la composition spécifique des populations de radiolaires est influencée par la dissolution de la silice ; ce sont les formes les plus robustes qui résistent le mieux (GOLL & BJORKLUND, 1971). Au Crétacé inférieur, seules ces dernières (rondes ou coniques) sont présentes dans les sédiments ce qui nous laisse supposer que les radiolaires à squelette fin étaient trop fragiles pour être fossilisés ou qu'ils n'étaient pas encore apparus. On doit noter que cette absence est générale, quel que

soit le faciès étudié . Les comparaisons effectuées me semblent valables dans la mesure où elles ne portent que sur des morphotypes dont la résistance à la dissolution doit être équivalente . De plus, dans les régions tropicales, en particulier dans la partie Est du Pacifique (JONHSON, 1974) et dans l'Atlantique Ouest (TAKAHASHI & HONJO, 1981), les thanathocénoses reflètent assez bien les populations vivantes de radiolaires .

Dans les sédiments crétacés, pour l'ensemble des radiolaires, les proportions de leurs différentes catégories reflèteraient donc bien les variations des associations vivantes . Que ce soit au Valanginien ou à l'Aptien , les sédiments se sont déposés sous une tranche d'eau supérieure à 500 m . Les conditions de dissolution des éléments siliceux sont donc restées à peu près constantes. Les rapports entre les éléments à test carbonaté et les éléments à test siliceux observés dans le sédiment sont par conséquent représentatifs à un facteur près de ces mêmes rapports dans la biocénose . Autrement dit, les modifications observées dans les assemblages sont l'enregistrement des variations de la microfaune vivant dans la tranche d'eau .

b - Diagénèse .

Dans les sédiments, quels qu'ils soient, la plupart des radiolaires, comme l'ensemble des foraminifères , sont recristallisés en calcite ; il me semble qu'il n'y a aucune raison pour que le remplissage soit sélectif, dans la mesure où il correspond à une précipitation de calcite diagénétique dans les pores de la roche .

Elle aurait donc un effet équivalent sur la concentration des radiolaires et sur celle des autres éléments carbonatés contenus dans les sédiments . Toutefois, si comme le suggèrent R.G. HEATH (1974), 50 % des radiolaires enfouis seulement sont fossilisés, dans les transformations diagénétiques précoces, il est peu probable qu'il s'exerce une sélection particulière dans la fossilisation dans la mesure où les formes rencontrées semblent être de robustesse équivalente .

En conclusion, la concentration des éléments observée dans les sédiments est différente de celle correspondant à la biocénose . Cependant, les variations relatives des différents éléments semblent être respectées .

c - Modifications du milieu .

L'explosion des radiolaires parmi les éléments planctoniques dans les sédiments les plus calcaires rappelle ce qu'avaient observé M.R. GOLL & K.R. BJØRKLUND (1974) dans la partie tropicale de l'Atlantique . Dans les boues calcaires, la concentration des radiolaires est de 255000 spécimen/g de sédiment, soit 100 fois plus que dans les sédiments crétacés les plus riches . Cette concentration décroît rapidement dans les zones subtropicales et tempérées .

Au Valanginien, la grande multiplication des radiolaires est accompagnée de l'accroissement de la taille des radiolaires ronds pustuleux. Ceci peut traduire l'établissement de conditions de milieu optimales pour ces formes, en particulier une grande fertilité des eaux (LABRACHERIE, 1980) . La faible diversité des radiolaires (fig. 18) accompagnée de leur grande abondance dans les calcaires peut traduire un "bloum" planctonique (PARSON & TAKAHASHI, 1973) .

4 - Conclusions .

Les marnes sont caractérisées par une faible concentration de radiolaires et de foraminifères planctoniques, une faible densité des radiolaires et une

petite taille des éléments planctoniques .

Les calcaires sont caractérisés par une forte concentration en éléments planctoniques avec surtout des radiolaires ayant une faible diversité et une taille qui peut être importante pour les formes rondes pustuleuses .

Les calcaires argileux délités ou les marnes calcaires se caractérisent par une concentration relativement importante des éléments planctoniques dont la diversité est maximale .

Au Valanginien, les radiolaires dominent le plancton, toutes les catégories sont représentées ; à l'Aptien, les proportions de foraminifères planctoniques sont très fortes mais les différentes catégories de radiolaires sont bien exprimées .

Pour essayer de faire un bilan plus complet des variations de la microfaune par rapport aux variations du taux de carbonate des sédiments, une étude de la matière organique a été ébauchée . Par l'intermédiaire de dosage du carbone organique contenu dans les sédiments et d'analyse de palynofaciès, on peut espérer estimer l'impact des apports d'origine continentale dans ces alternances marne- calcaire .

D - La matière organique .

Elle a été étudiée à partir de 55 échantillons prélevés dans la coupe de référence (TLR) .

Les préparations palynologiques ont été réalisées dans les laboratoires de palynologie de la SNEA (P) à Boussens . Leur étude a été entreprise sous la direction de P. DE RENEVILLE .

1 - Méthodes employées .

a- Mesure de la concentration de la matière organique .

- Le carbone organique total (C.O.T.) .

Cette mesure est effectuée en routine à partir de 0,1 g de sédiment, elle est exprimée en pourcentage .

- L'indice de récupération organique (I.R.O.) .

$I.R.O. = \frac{V \times 1,40}{P} \times 100$  où V est le volume de la matière organique récupérée, 1,40 la densité de celle-ci et P le poids de la roche traitée . Cette méthode a été mise au point par P. DE RENEVILLE . Elle permet de contrôler la mesure du C.O.T.

b - Etude du palynofaciès .

A. COMBAZ (1964) le définit comme l'aspect général de la lame de résidu palynologique, tous les constituants étant préservés . Il se compose de (CORREIRA & PENIGUEL, 1975 ; RAYNAUD & ROBERT, 1976) :

\* Composants organiques structurés

\*\*Dérivant de plantes, d'origine continentale et allochtone

\*\*\* Non détritiques mais transportés : ce sont les spores et les grains de pollens .

\*\*\* Détritiques : il se compose d'une part de restes de plantes lignifiées, de tissus de soutien et de vaisseaux lignifiés, comprenant des éléments ligneux plus ou moins translucides selon le degré de catagenèse et des éléments ligneux opaques résultant d'une " combustion" naturelle, et d'autre part d'autres restes de plantes tels que des épidermes et des cuticules .

\*\*\* Détritiques oxydés, partiellement remaniés : particules opaques à contour anguleux : les charbons .

\*\* D'origine végétale, aquatique plus ou moins autochtones : il s'agit du phytoplancton organique composé de kystes de dinoflagellés, d'acritarches, d'algues unicellulaires ou coloniales .

\*\* D'origine animale, aquatique, généralement marine, autochtone: scolécodontes, sicules de graptolites, microforaminifères .

\* Composants organiques non structurés ou sans structure identifiable :

\*\* Matière organique amorphe : il y a homogénéisation par transformation biochimique (filtre bactérien, catagenèse) dans des conditions de milieu qui ne paraissent avoir une importance considérable quelque soit la nature originelle de la matière organique : origine sapropélique(algaire) ou humique : elle traduit un milieu calme, sans détritisme, plutôt euxinique que oxygéné . Elle est le plus souvent d'origine algaire ; on en connaît liée aux squelettes de coccolithophoridés (NOEL, 1978) et aux boues à diatomées (ROBERT et al., 1981) . Cependant, par croisement de techniques d'analyse : palynofaciès et lumière réfléchie, fluorescence et analyse chimique , on est conduit à penser qu'une partie des particules amorphes est d'origine humique . Elle se présente sous forme de flocons plus ou moins grumeleux mais peut aussi être finement divisée .

\*\* Autres composants : résines, cires, bitumes

Partant de cette classification, j'ai été amenée à créer des classes de constituants adaptées au matériel du bassin vocontien dans le but d'analyses statistiques . J'ai distingué :

- la matière organique amorphe (MOAM) que l'on peut considérer comme essentiellement autochtone et représentant des résidus algaire (DE RENEVILLE & RAYNAUD, 1981) . En effet, les apports terrigènes semblent peu importants ;

- les restes d'éléments végétaux (ELVE) , ce sont des fragments de tiges, d'épidermes ou de cuticules ;

- les éléments "ligneux noirs" (ELNO) ;

- les charbons (CHAR) ;

- les microfossiles(ELFI) , composés de spores, grains de pollen, dinoflagellés et moules internes chitineux de foraminifères .

Ce palynofaciès est estimé visuellement en pourcentage ; il permet de se faire une idée des différents constituants de la matière organique .

Les éléments figurés ont fait l'objet de comptages . J'ai distingué les dissaccates des autres pollens et spores, les chorates du reste des dinoflagellés .

Les éléments terrestres sont constitués par la somme des restes d'éléments végétaux, des éléments "ligneux noirs", des charbons et des pollens et spores .

Les éléments autochtones représentent l'ensemble de la matière organique amorphe et des dinoflagellés .

2 - Résultats .

a - Concentration de la matière organique dans les sédiments .

Il existe une relation inverse entre le pourcentage de carbone organique total et le taux de carbonate des sédiments (fig. 70) . La concentration de matière organique est donc plus importante dans les marnes que dans les calcaires . S'agit-il d'un problème de consommation ou de conservation de la matière organique ?

\* - Consommation .

La diminution de la concentration de la matière organique dans les sédiments peut être due à une augmentation du nombre des herbivores ou celui des détritivores . L'étude des coprolithes permet d'aborder ce problème . Ce sont des tubes calcaires, à manchon phosphaté brun foncé, composés principalement de coccolithes . Ils sont interprétés comme des traces d'excrétion d'organismes consommateurs de plancton .

Dans le Valanginien, leur nombre décroît lorsque le taux de carbonate des sédiments augmente mais on observe le contraire dans l'Aptien (fig. 71) . Toutefois, les sédiments aptiens sont en général moins carbonatés que les sédiments valanginiens .

Dans les sédiments aptiens, l'accroissement du nombre de coprolithes avec celui du pourcentage de carbonate dans les sédiments peut être interprété comme une augmentation de l'activité des organismes consommateurs de plancton, en liaison avec une amélioration des conditions de vie à la fois des consommateurs et des éléments planctoniques notamment sur le plan nutritif .

Dans les sédiments valanginiens, la diminution du nombre de coprolithes pourrait traduire une activité plus faible de ces organismes . Cette baisse peut aussi être interprétée comme une dilution : l'activité de ces derniers restant constante et le taux de sédimentation s'amplifiant .

Cependant, conjointement à l'augmentation du taux de carbonate des sédiments, la couche phosphatée qui revêt les coprolithes change de couleur . Elle passe du brun foncé au brun clair, puis du jaune beige au beige clair . Cette modification peut expliquer la diminution du nombre de coprolithes comptés dans les sédiments . Du fait de leur changement d'aspect, ils sont de plus en plus difficiles à identifier parmi les autres restes micritiques ; de plus, les modifications du manchon phosphaté ne favorisent pas leur récupération ; ils sont moins isolés de la gangue micritique qui les entoure et les différents traitements que subissent les échantillons les plus calcaires pourraient les fragmenter .

L'évolution du nombre des coprolithes dans les sédiments est donc difficile à interpréter dans les niveaux les plus calcaires et ne permet pas de se faire une idée très juste de la concentration des consommateurs de matière organique .

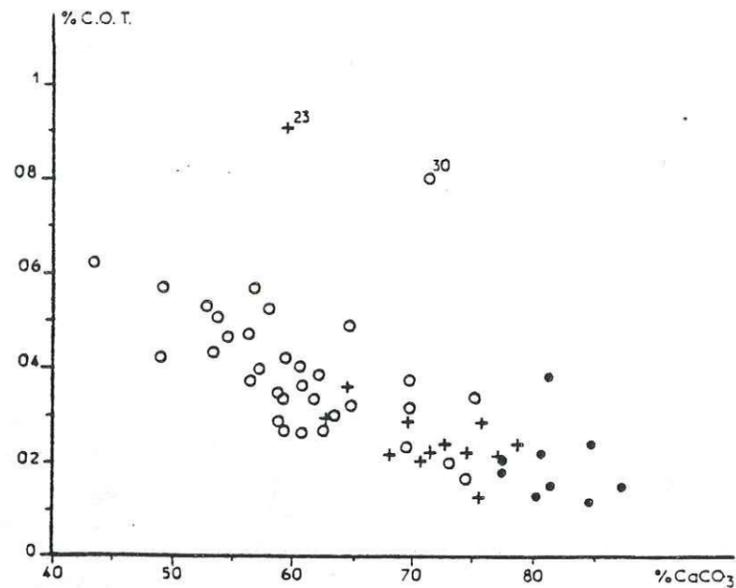


Figure 70 : Teneur en carbone organique total (C.O.T.) et taux de carbonate des sédiments . Coupe du Toulourenc . Valanginien .

• calcaire, + calcaire argileux délité, ○ marne .

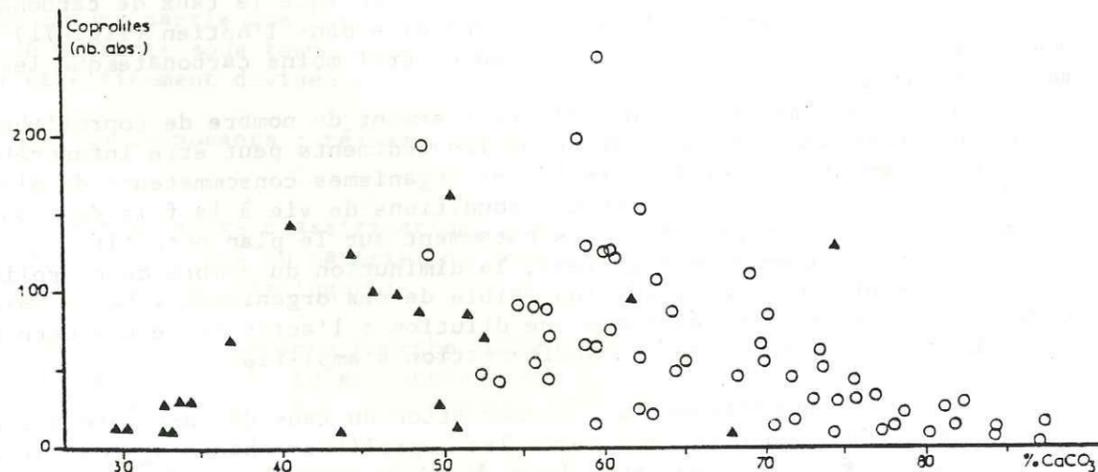


Figure 71 : Abondance des coprolithes et taux de carbonate des sédiments valanginiens (○) et aptiens (▲) . Coupe du Toulourenc . Coupe de Villebois les Pins .

Elle est estimée à partir de 100 g de sédiments.

L'étude concernant la bioturbation (COTILLON, com. orale) , montre une augmentation de la fréquence de ces dernières avec celle du taux de carbonate des sédiments . Ceci peut aussi expliquer la diminution du taux de carbone organique total dans les sédiments les plus calcaires , l'action de bioturbation peut favoriser l'oxydation de la matière organique .

\* - Conservation .

Elle dépend du taux de sédimentation et des conditions d'oxydo-réduction du milieu .

- Taux de sédimentation .

Un faible taux de sédimentation peut entraîner une concentration de matériel organique malgré une faible production primaire, en particulier une accumulation de matériel terrestre fin, plus résistant à l'altération que la matière organique amorphe . Il n'existe pas de relation entre la proportion d'éléments terrestres rapportés au palynofaciès et le pourcentage de carbonate des sédiments (fig. 72) . De plus, ces éléments ne sont jamais très abondants (rarement supérieurs à 30 %) .

Si le taux de sédimentation intervient, son influence reste modeste sur la quantité de carbone organique total observée dans ces échantillons .

- Conditions d'oxydo-réduction .

Elles ne sont pas les mêmes dans les calcaires que dans les marnes . Les sédiments marneux sont riches en pyrite ; il ne serait donc pas étonnant que la conservation de la matière organique soit meilleure dans les marnes que dans les calcaires . De plus, celle-ci n'est pas nécessairement homogène (DEROO *et al.*, 1978 ; PELET, 1981 ; De GRACIANSKY *et al.*, 1982) . Dans les sédiments coexistent des éléments très évolués (charbons, éléments "ligneux noirs"), des éléments dont la résistance est moindre (éléments végétaux, éléments figurés) et de la matière qui paraît très fragile (matière organique amorphe) .

Les variations de la matière organique amorphe ne sont guère sensibles (fig. 72) aux variations de la teneur en carbonate des sédiments . On pourrait conclure à l'homogénéité de la pluie planctonique . Cependant, l'abondance de matière organique amorphe relativement plus grande dans les marnes que dans les calcaires peut suggérer une meilleure conservation de celle-ci dans les faciès marneux, faciès plus euxiniques . En effet, la production de matière organique amorphe est liée à la production primaire . Cette dernière est difficilement appréciable ; cependant, la très grande abondance de radiolaires dans les calcaires et la forte concentration de carbonate conduit à penser que la production primaire est plus forte pendant ces dépôts .

Les variations de la matière organique amorphe reflèteraient donc plus les changements des conditions de conservation que ceux de production .

b - Palynofaciès et lithologie .

L'analyse globale est effectuée à partir d'une analyse factorielle des correspondances . L'ensemble des variables est très hétérogène et représente des pourcentages ; deux variables présentent des valeurs importantes (MOAM, DINO) . Par conséquent, il a été procédé à un codage ordinal des données . Les différentes valeurs de chaque variable ont été réparties dans des classes d'effectifs équivalents, chaque classe étant numérotée de 1 à 4 ou 5 .

Les résultats de cette analyse factorielle ont été vérifiés à l'aide d'analyses en composantes principales qui ont fourni des résultats équivalents .

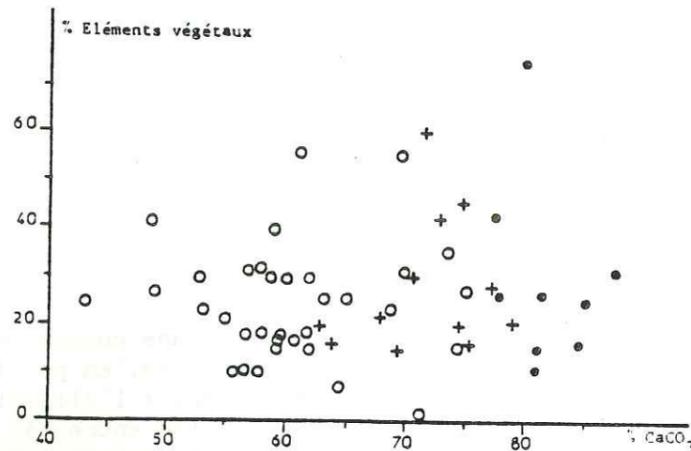


Figure 72 : Les éléments végétaux et le taux de carbonate des sédiments .  
Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Leur pourcentage est estimé à partir du palynofaciès .  
• calcaires, + calcaires argileux délités, o marnes .

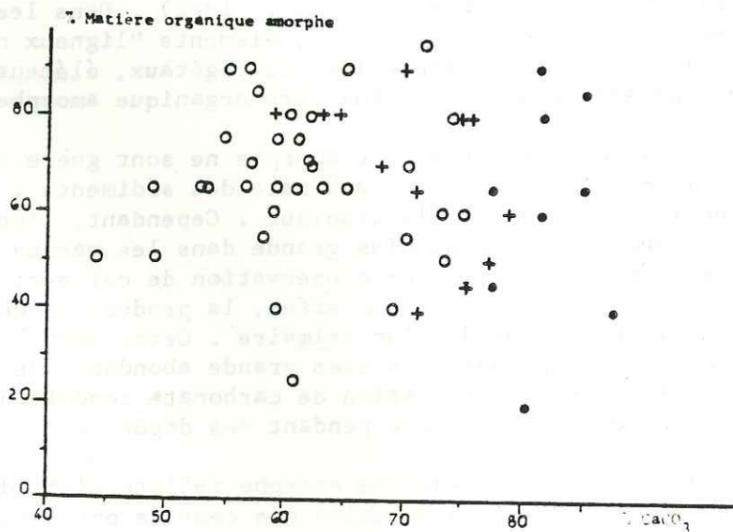


Figure 73 : La matière organique amorphe et le taux de carbonate des sédiments .  
Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
Son pourcentage est estimé à partir du palynofaciès .  
• calcaires, + calcaires argileux délités, o marnes .

L'analyse est réalisée à partir de 8 variables principales et 55 échantillons . Le premier plan factoriel F1F2 résume 54,6 % de l'inertie du système (fig. 74) . Sur F1, on observe une opposition entre les charbons et la matière organique amorphe, donc entre celle du matériel terrestre et du matériel autochtone . Sur F2, les pollens dissaccates s'associent aux autres grains de pollens et aux spores pour s'opposer aux chorates . On remarquera que le reste des dinoflagellés n'est pas associé aux chorates ; d'autres analyses montrent qu'ils ne sont pas liés .

De faibles apports terrestres, soulignés par une faible quantité de spores et grains de pollen, coïncident avec une abondance de chorates mais pas forcément avec celle de dinoflagellés . Ces derniers seraient donc sensibles aux apports d'origine continentale et par conséquent , aux apports nutritifs .

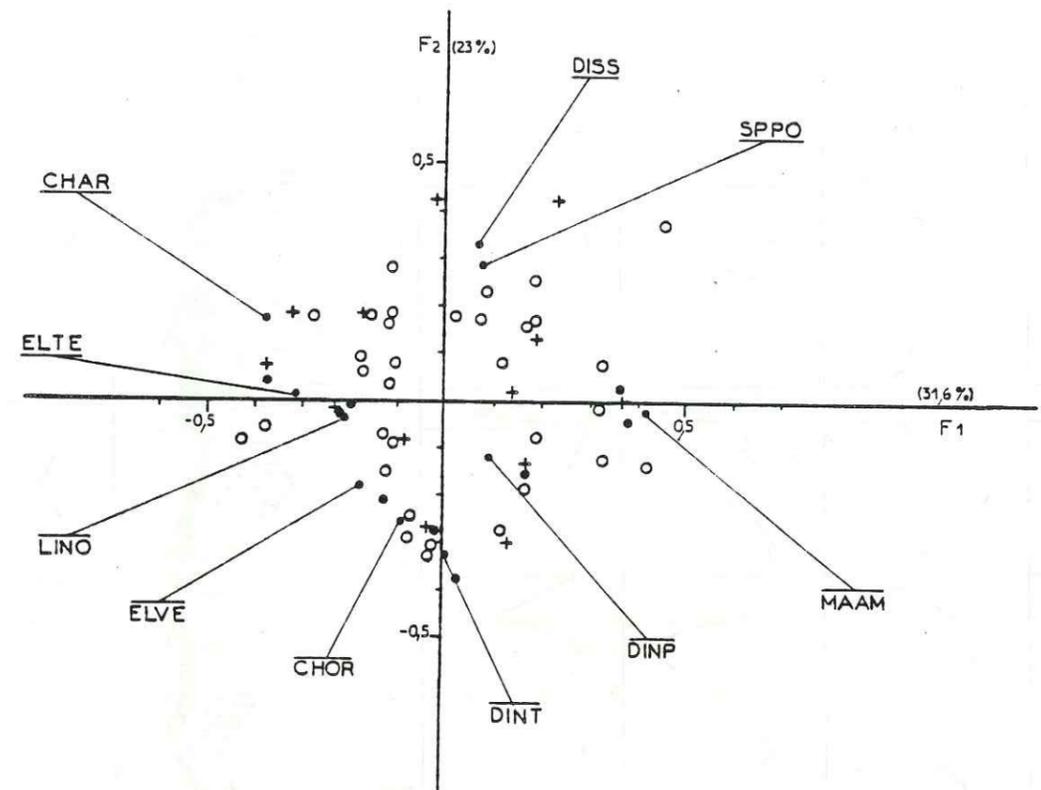
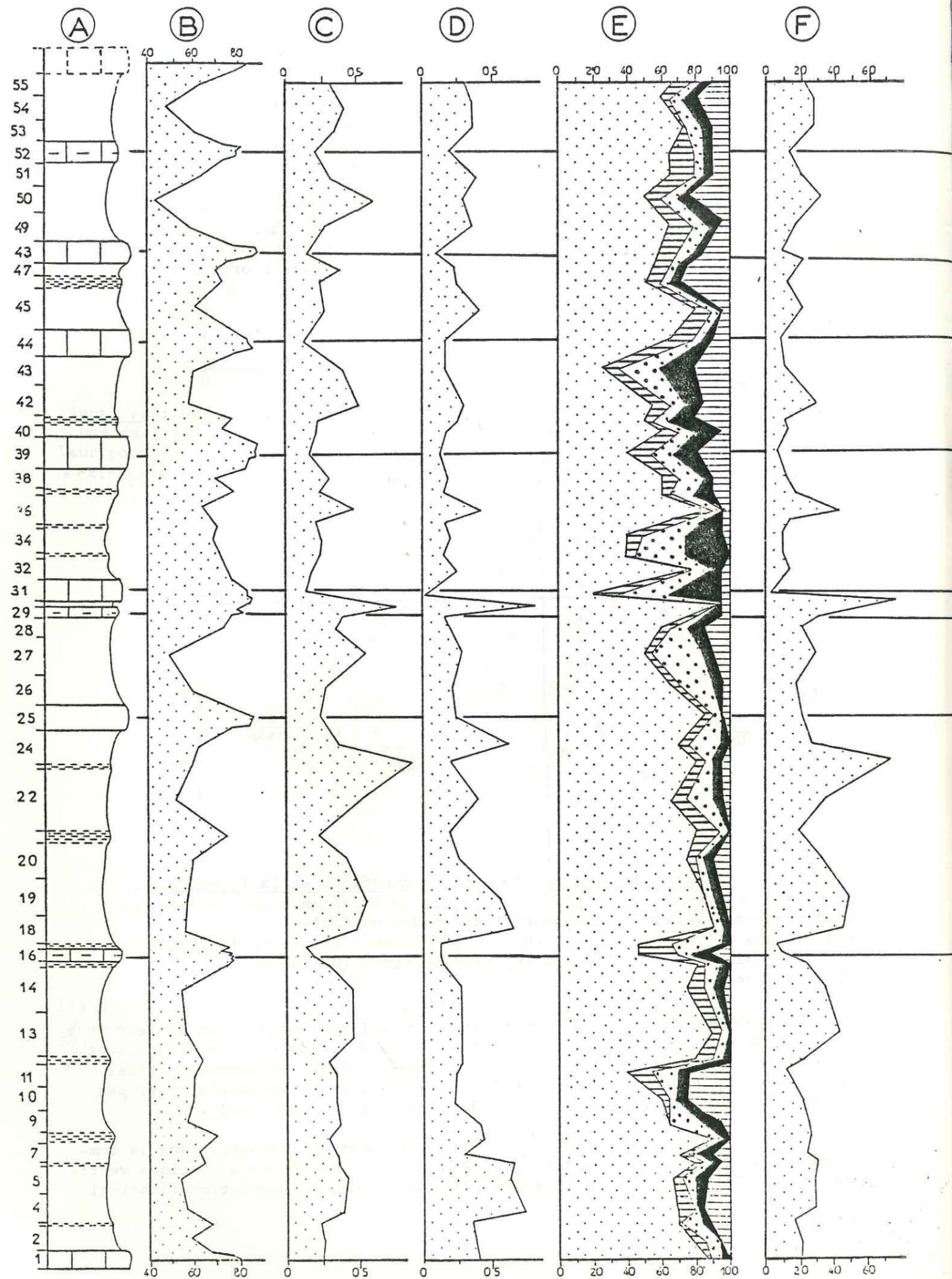


Figure 74 : Correspondance entre la matière organique et la lithologie .  
Coupe du Toulourenc . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons et des variables .  
Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs .  
• : calcaires, + : calcaires argileux délités, o : marnes .  
Abréviations : cf annexe II .

Il n'existe pas de reclassement des échantillons en fonction de leur taux de carbonate ; la composition du palynofaciès n'est donc pas lié directement à la teneur en calcaire des sédiments , en particulier, le pourcentage des éléments terrestres (ELVE, ELNO, CHAR, SPPT) dans le palynofaciès n'est pas en relation avec la teneur en argile des échantillons (fig. 72) .

La teneur en carbonate des sédiments n'est pas déterminante dans la composition de la matière organique . Cependant, l'étude de ses variations verticales peut faire apparaître d'autres relations liées à l'évolution lithologique de la série .



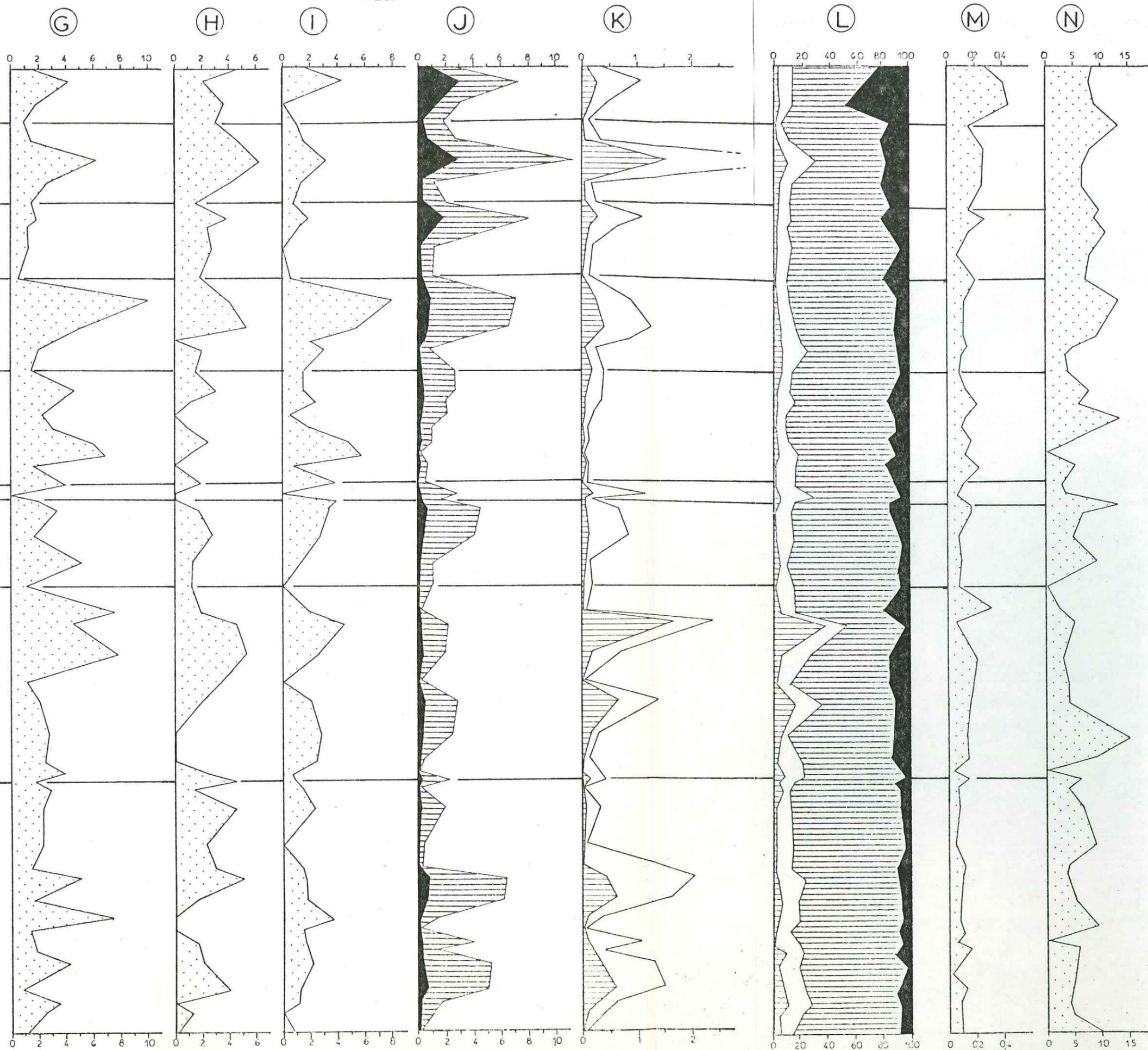


Figure 75 : Variations verticales de la composition de la matière organique . Comparaison avec celles de la lithologie (A) et du taux de carbonate des sédiments (B) .

C : % carbone organique total (C.O.T.)

D : % indice de récupération organique (I.R.O)

E : composition du palynofaciès  
 [ ] : matière organique amorphe (MOAM)  
 [ ] : éléments végétaux (ELVE)  
 [ ] : éléments ligneux noirs (ELNO)  
 [ ] : charbons (CHAR)  
 [ ] : éléments figurés (ELFI)

F : % C.O.T. x % MOAM

G : charbons dans les sédiments  
 % C.O.T. x % CHAR

H : éléments végétaux dans les sédiments  
 % C.O.T. x ELVE

I : Eléments ligneux noirs dans les sédiments  
 % C.O.T. x ELNO

J : Chorates ( [ ] ) et autres dinoflagellés contenus dans les sédiments  
 % C.O.T. x % chorates  
 % C.O.T. x % autres dinoflagellés

K : % C.O.T. x Dissaccates ( [ ] ) et autresspores-pollens ( [ ] ) dans le palynofaciès

L : composition des éléments figurés  
 [ ] : % dissaccates  
 [ ] : % autres spores-pollens  
 [ ] : % chorates  
 [ ] : % autres dinoflagellés

M : %  $\frac{\text{Chorates}}{\text{Dinoflagellés}}$

N :  $\frac{\text{éléments autochtones}}{\text{éléments terrestres}}$

c - Etude des variations verticales de la matière organique .

\* - Variations verticales du carbone organique total .

Le carbone organique total et l'indice de récupération (fig. 75C, 75D) évoluent parallèlement, ce qui indique que pour ce cas au moins, la préparation palynologique ne détruit pas d'éléments du palynofaciès de manière sélective et erratique, et que l'indice de récupération organique est bien calculé. De plus, leurs variations confirment que la concentration de matière organique est plus faible au niveau des bancs calcaires ou des niveaux calcaires argileux délités.

\* - Evolution verticale du palynofaciès .

Tout au long de la série, on observe une dominance des éléments autochtones avec la grande importance de la matière organique amorphe, des dinoflagellés et un rapport  $\frac{\text{éléments autochtones}}{\text{éléments terrestres}}$  supérieur à un en général (fig. 75N).

Les proportions et la concentration des palynomorphes évoluent différemment dans la partie inférieure de la coupe, plutôt argileuse, et dans la partie supérieure, plutôt calcaire. Ce contraste lithologique peut expliquer la part plus importante de la matière amorphe (fig. 75E, 75F) tant en proportion qu'en quantité absolue dans la partie inférieure de la coupe; en effet, il existe une relation entre la cyclicité lithologique et la concentration en matière organique amorphe, celle-ci étant toujours plus abondante dans les marnes que dans les calcaires, sans qu'il existe une relation stricte entre la concentration de matière organique amorphe dans les sédiments et leur teneur en carbonate. De même, les proportions plus importantes de spores et pollens rapportées aux éléments figurés peuvent être mises en relation avec les dépôts plus argileux de la partie inférieure de la coupe (fig. 75K).

Les proportions des différentes catégories d'éléments terrestres montrent que leurs variations ne sont pas liées; c'est le cas de l'ensemble des spores et pollens et des autres restes végétaux. La différence du mode de sédimentation de ces éléments sont sans doute à l'origine de cette divergence (fig. 75G-75K).

L'augmentation de la concentration des éléments végétaux peut être considérée comme un indicateur du flux argileux. La comparaison entre éléments végétaux et charbons peut refléter le taux de sédimentation: en effet, les éléments végétaux seront toujours plus rapidement détruits que les charbons, relativement inertes.

En général, au niveau des bancs calcaires, la concentration en charbons diminue et celle du rapport entre les éléments autochtones et les éléments terrestres augmente. Ceci peut traduire une augmentation de la production primaire et du taux de sédimentation au niveau des bancs. De fait, il existe une relation directe entre la production planctonique et le taux de sédimentation en domaine pélagique (cas du Crétacé du Site 535 DSDP leg 77, COTILLON, com. orale). Dans les deux bancs les plus calcaires (n°39 et n°48), la diminution de la concentration des charbons en regard de la stabilité de celle des éléments végétaux (ELVE) peut traduire un taux de sédimentation assez fort (fig. 75G, 75H). Les apports étaient donc importants à ces niveaux. Or ces apports coïncident avec une forte concentration en carbonate dans les sédiments. Ceci souligne l'importance des apports matérialisés par les éléments terrestres, apports en suspension et en solution, ces derniers favorisant la production en carbonate.

L'évolution verticale de la concentration des charbons permet de découper la série en trois parties:

- la partie inférieure où la concentration des charbons est faible tandis

que celle dans l'ensemble des spores et pollens et des autres débris végétaux est forte. Les apports terrigènes seraient donc importants, ils dilueraient le matériel carbonaté et expliqueraient le faible contraste entre les bancs et les interbancs de cette partie;

- la partie moyenne est caractérisée par une grande abondance de charbons et une concentration des autres débris terrestres (éléments végétaux, spores et pollens) peu importante. Le taux de sédimentation de même que les apports terrigènes pourraient être faibles; ceci expliquerait la sédimentation à contraste lithologique faible observée entre les niveaux n°29 et 44: les marnes ont une teneur en carbonate assez élevée et les bancs sont constitués de calcaires argileux délités de faible épaisseur. Le niveau n°35 est caractérisé par un rapport entre les éléments autochtones et les éléments terrestres très faible et par une forte accumulation de charbons en regard de celle des autres débris végétaux; il pourrait correspondre à une baisse générale de la production autochtone plutôt qu'à un apport terrigène important. C'est à ce niveau que débute la chute de production de *Stylosphera* et la multiplication de lamellibranches planctoniques;

- la partie supérieure: le contraste lithologique marqué entre les bancs calcaires et les interbancs marneux se retrouve dans la composition de la matière organique. Dans les interbancs, la concentration forte de charbons et faible des autres éléments végétaux (spores et pollens) marque un taux de sédimentation peu important accompagné d'une faible production autochtone (rapport entre les éléments autochtones et les éléments terrestres faible); ceci indiquerait des conditions de vie peu favorables, coïncidant avec un assez grand développement des chorates par rapport à l'ensemble des dinoflagellés. Dans les interbancs, les lamellibranches planctoniques apparaissent en quantités relativement importantes (fig. 64) de la même façon qu'au niveau n°35. Ces accumulations de lamellibranches planctoniques peuvent refléter soit un ralentissement du taux de sédimentation (on les retrouve là où ce dernier semble le plus faible), soit d'une exigence écologique particulière à ces organismes, liée à de faibles apports terrigènes.

Au contraire dans les bancs, la concentration des éléments terrestres de même que celle des charbons est toujours assez faible, le matériel autochtone domine et la proportion de chorates diminue.

La production de carbonate coïncide donc avec une forte production organique et des taux de sédimentation assez élevés.

3 - Conclusions .

L'étude de la matière organique permet de comparer le rôle de la production organique autochtone et celui des apports détritiques.

Cette étude met en relief le rôle des apports terrigènes et du taux de sédimentation dans la formation des alternances marne-calcaire.

Une étude de la matière organique de quelques niveaux dans l'ensemble du bassin serait sans doute très utile pour apprécier le rôle des apports détritiques et celui du taux de sédimentation.

Le rôle des apports va être envisagé à la lumière de la répartition des différents organismes benthiques et planctoniques, tant sur le plan qualitatif que quantitatif dans le bassin vocontien.

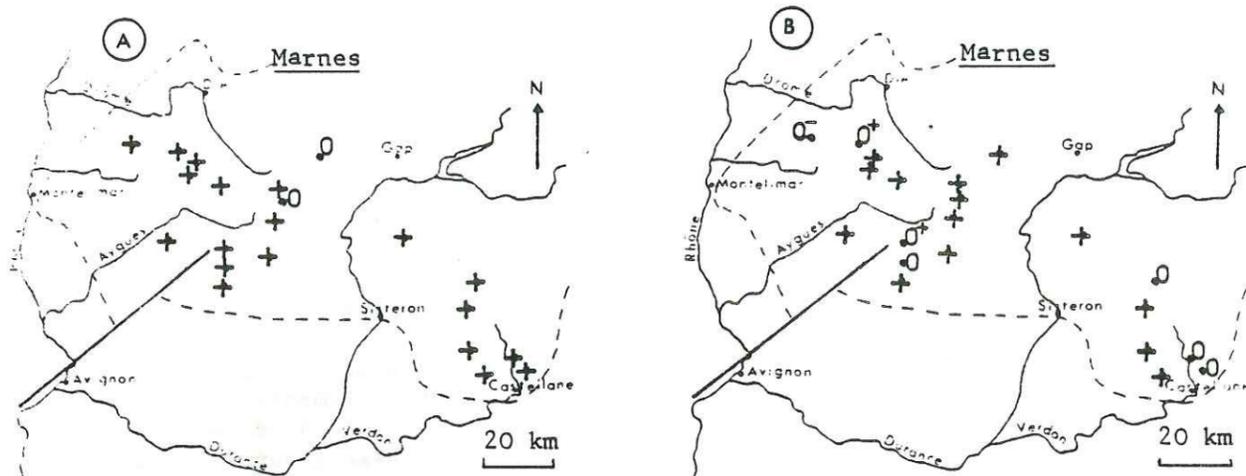


Figure 76 : Importance des *Trochammina* (A) et des *Lenticulina* (B) dans les marnes valanginiennes du bassin vocontien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons marneux à l'éloignement de *Trochammina* et de *Lenticulina* du centre de gravité du nuage de points

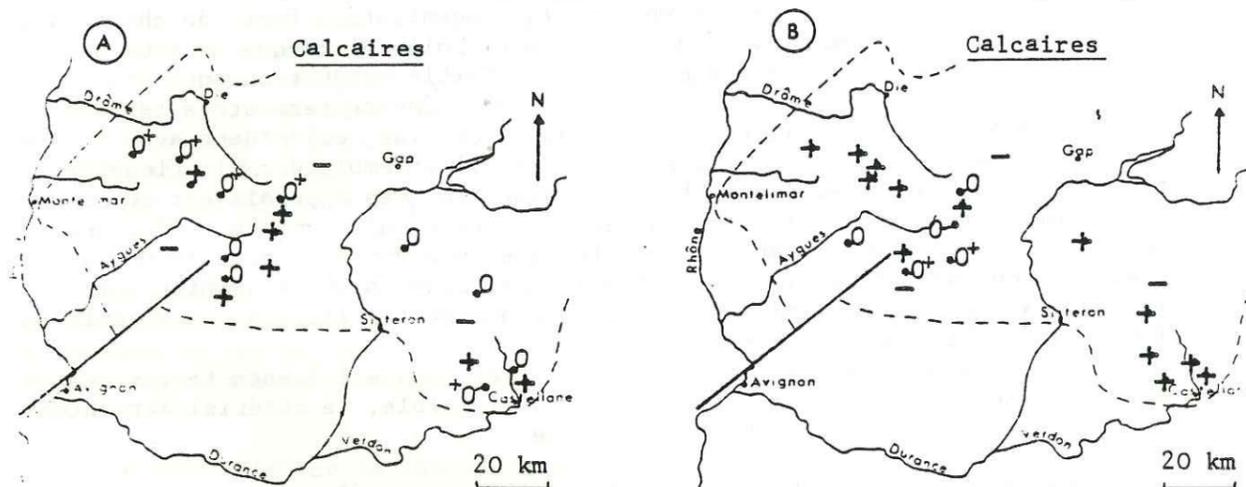


Figure 77 : Importance des *Ammobaculites* (A) et des *Dentalina* (B) dans les calcaires valanginiens du bassin vocontien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons calcaires à l'éloignement de *Ammobaculites* et de *Dentalina* du centre du nuage de points .

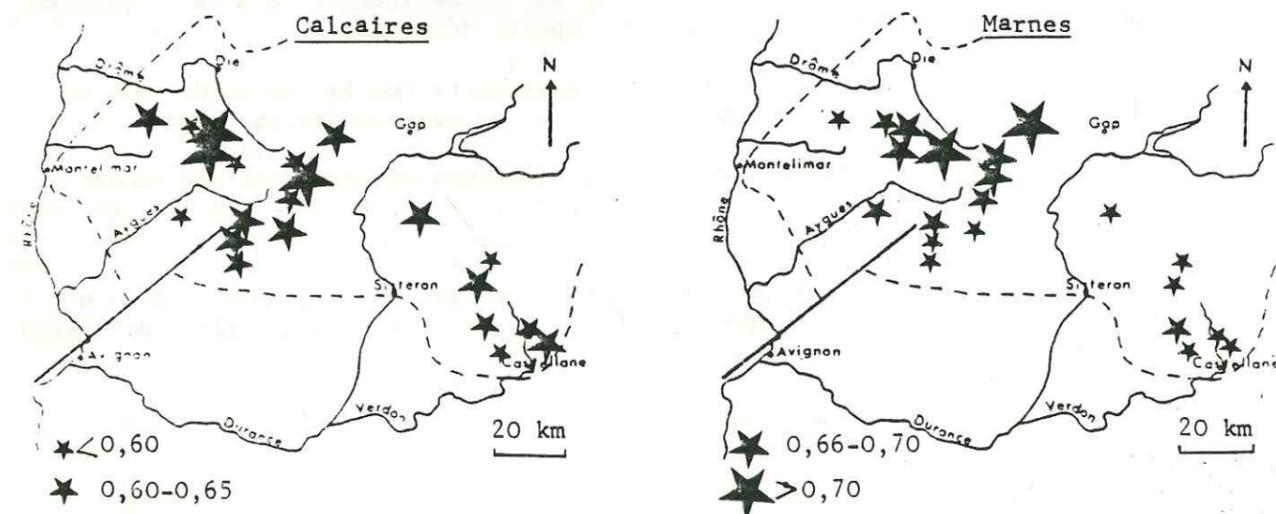


Figure 78 : Diversité des foraminifères dans le bassin vocontien . Valanginien .

III - INFLUENCES PALEO GEOGRAPHIQUES SUR LES VARIATIONS DE LA MICROFAUNE .

Pour simplifier les comparaisons d'une coupe à l'autre, deux ensembles de faciès vont être considérés : d'une part l'ensemble des marnes et d'autre part celui des calcaires et des calcaires argileux délités dans la mesure où les niveaux calcaires peuvent passer à des niveaux calcaires argileux délités et vice-versa .

J'appellerai "périodes calcaires" les périodes durant lesquelles se déposent les calcaires ou les calcaires argileux délités et "périodes marnes" les périodes à sédimentation marneuse .

A - Variations relatives de la microfaune .

1 - Foraminifères benthiques .

a - Données générales .

L'analyse factorielle des correspondances effectuée à partir des échantillons prélevés dans le bassin a montré que la teneur en carbonate des sédiments a une influence prédominante sur les proportions des différents groupes de foraminifères benthiques .

A l'aide de la description des correspondances, en particulier du signe de la contribution relative des échantillons à l'éloignement des variables du centre de gravité du nuage défini au cours de l'analyse factorielle, il est possible de déterminer l'importance des échantillons dans la répartition des variables, donc de caractériser chaque coupe par le genre ou le groupe principal soit pour l'ensemble des calcaires, soit celui des marnes .

Par cette méthode, on confirme la grande importance des *Trochammina*, *Lenticulina*, dans les marnes (fig. 76) , des *Ammobaculites*, des *Dentalina*, et des *Epistomina* dans les calcaires (fig. 77) , ceci dans tout le bassin .

La diversité des foraminifères est en moyenne un peu plus élevée (10 %) dans les calcaires que dans les marnes . Dans ces dernières, il semble qu'il y ait une augmentation de la diversité des foraminifères lorsque l'on se déplace de la bordure au centre du bassin, par exemple du Toulourenc au Col St Jean, de Bézaudun à la Charce ou de Lioux à Blégier (fig. 78) . Cette modification de la diversité des foraminifères pourrait n'être qu'apparente . Elle coïncide avec un amincissement des séries dans le centre du bassin (fig. 4) et elle peut correspondre à une diminution du taux de sédimentation . En effet, la concentration de la microfaune, résultant d'une sédimentation faible, permet l'apparition en plus grand nombre d'espèces ou de groupes peu représentés dans les résidus de lavage ; on obtient alors une concentration de la microfaune . Cependant, aussi bien dans les calcaires que dans les marnes, le nombre de foraminifères estimé dans 100 g de sédiment décroît toujours du bord au centre du bassin (fig. 79), c'est à dire dans le sens inverse de celui qui devrait logiquement traduire une diminution du taux de sédimentation .

L'augmentation de la diversité des foraminifères benthiques est donc bien liée à un phénomène écologique ou adaptatif et non pas à un processus sédimentaire . Cette augmentation de la diversité de la microfaune benthique peut traduire un approfondissement de ce dernier (HESSER & SANDER, 1967 ; GIBSON & BUZAS, 1973 ; GUERIN , 1981) . Dans le cas d'une sédimentation alternante marne-calcaire, il est délicat d'interpréter ce processus en terme de stabilité de milieu (ROWE, 1981) .

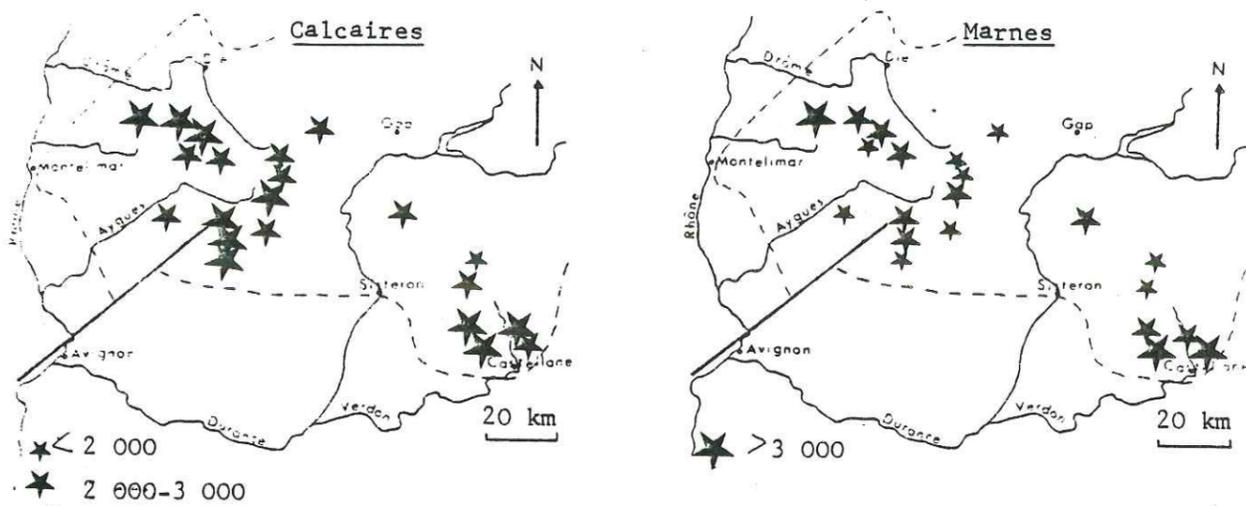


Figure 79 : Concentration des foraminifères dans 100 g de sédiment dans le bassin vocontien . Valanginien .

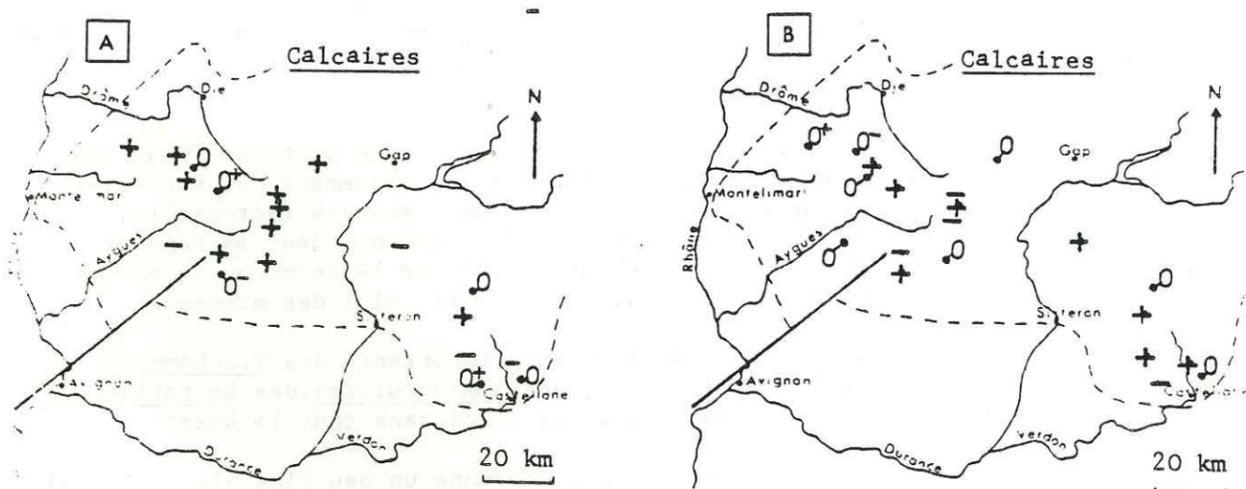


Figure 80 : Importance des lenticulines lisses (A) et des *Lenticulina busnardoii* (B) dans les calcaires valanginiens du bassin vocontien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons calcaires à l'éloignement des lenticulines lisses et des *Lenticulina busnardoii* du centre de gravité du nuage de points .

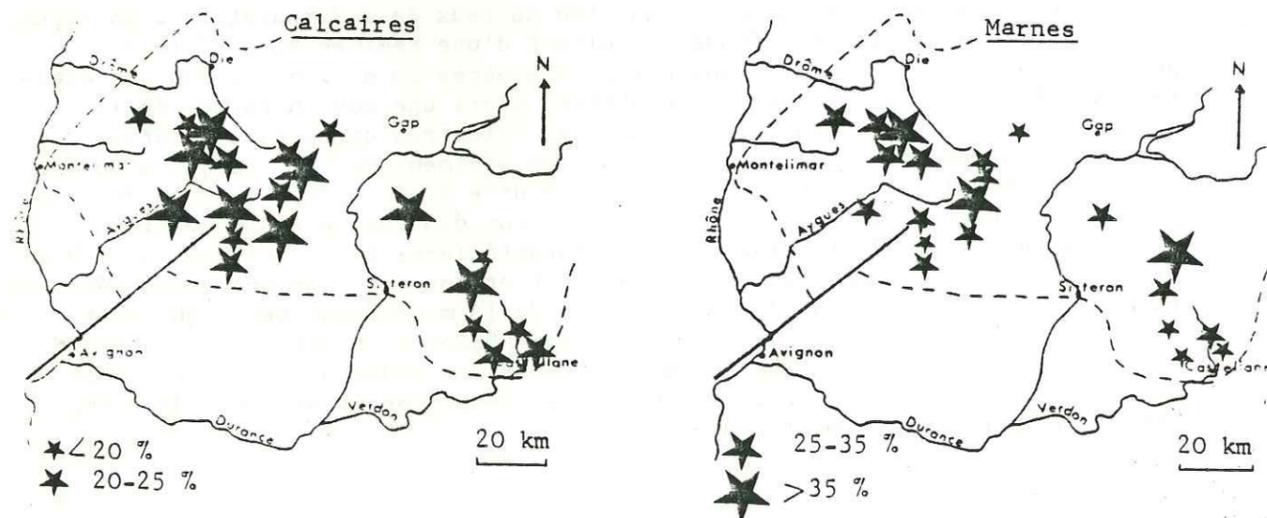


Figure 81 : Taille des lenticulines dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage moyen de lenticulines de taille supérieure à 200  $\mu$ m par rapport à l'ensemble des lenticulines .

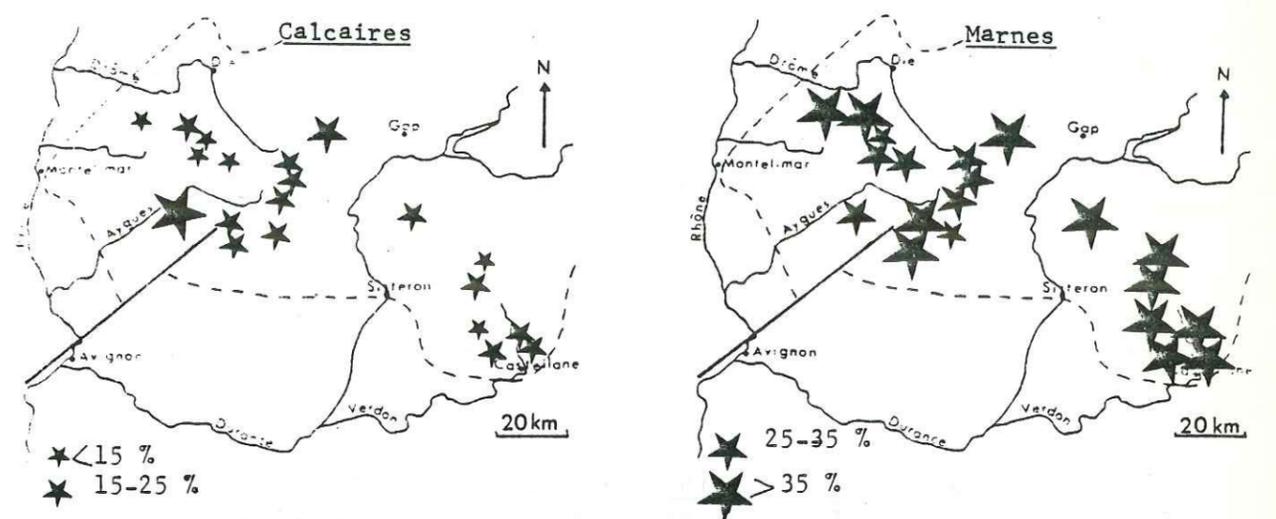


Figure 82 : Les lenticulines ornées dans le bassin vocontien . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des lenticulines de taille supérieure à 200  $\mu$ m .

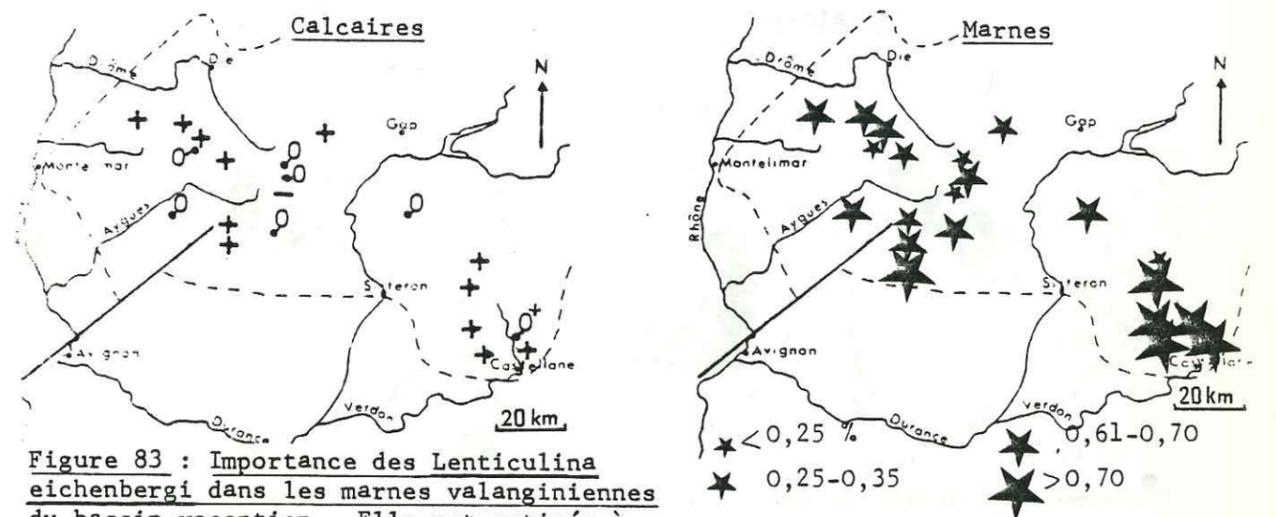


Figure 83 : Importance des *Lenticulina eichenbergi* dans les marnes valanginiennes du bassin vocontien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons marnes à l'éloignement de *Lenticulina eichenbergi* du centre de gravité du nuage .

Figure 84 : Indice pyrite moyen dans les marnes du bassin vocontien . Valanginien .

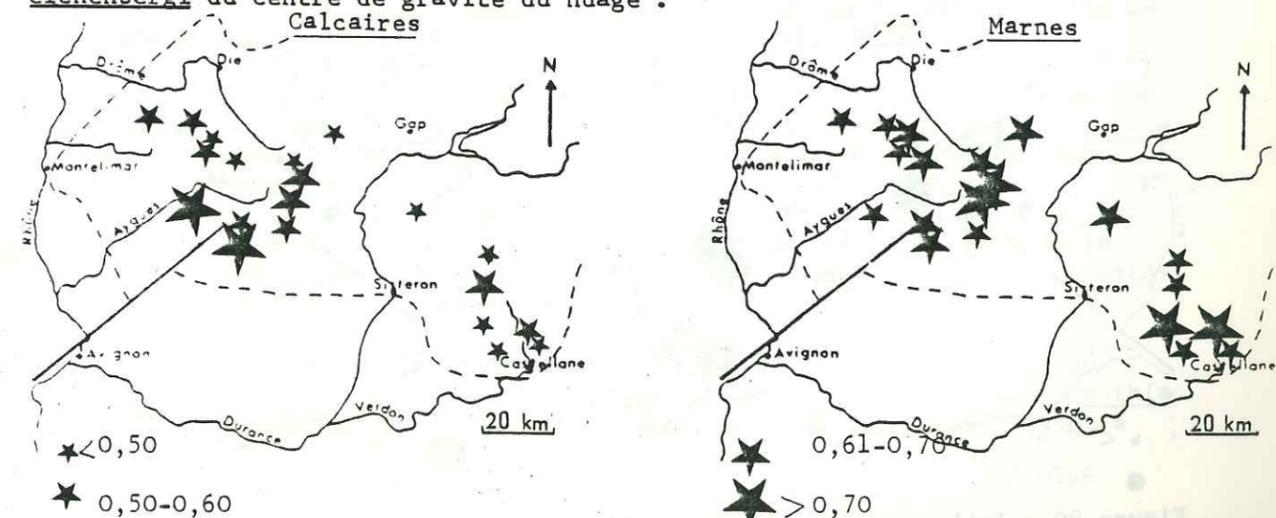


Figure 85 : Diversité moyenne des lenticulines dans le bassin vocontien . Valanginien .

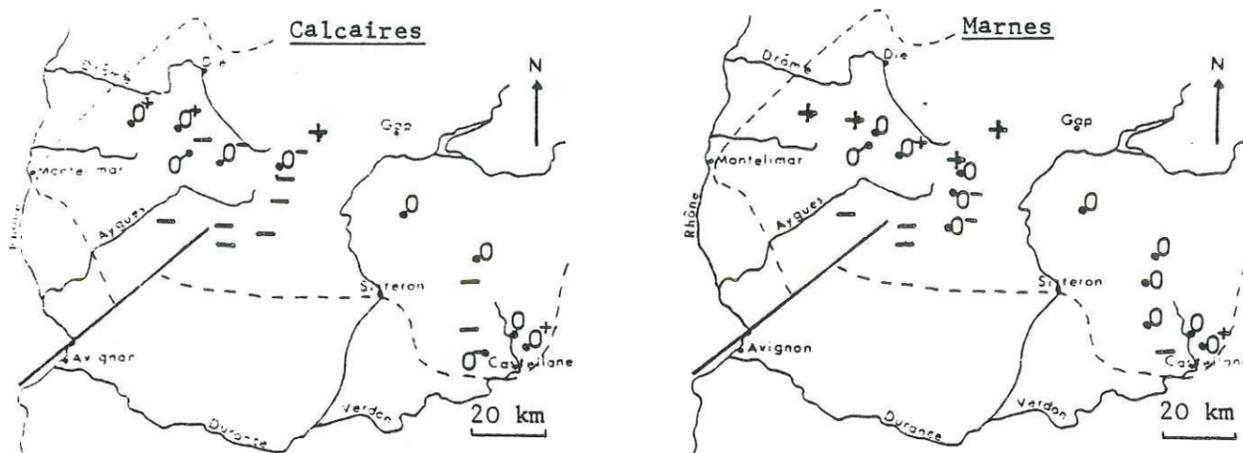


Figure 88 : Importance des *Dorothia kummi* dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons soit calcaires, soit marneux à l'éloignement de *Dorothia kummi* du centre de gravité du nuage de points .

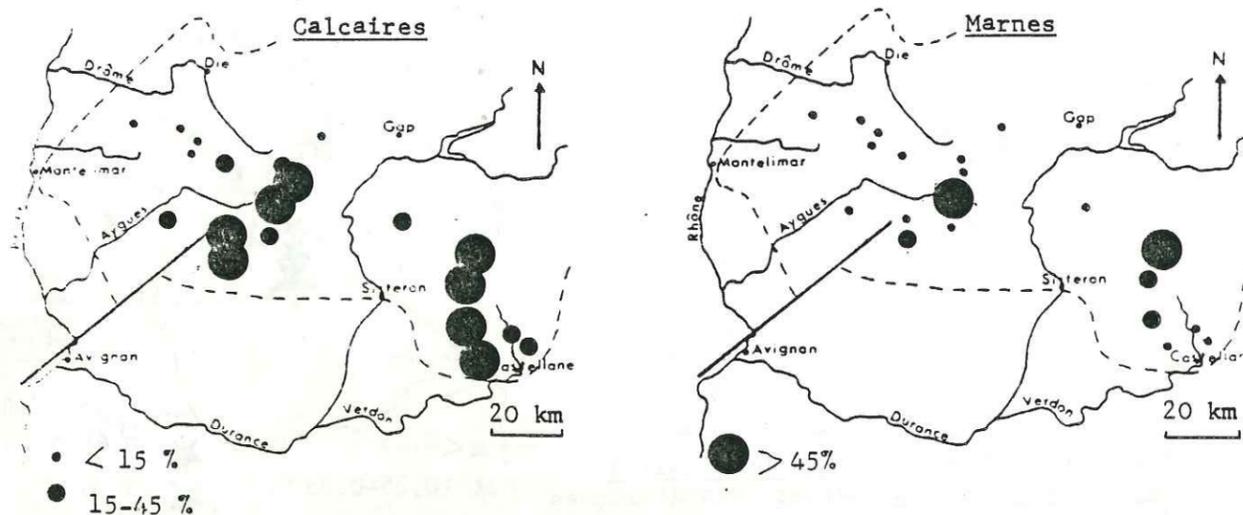


Figure 89 : Taille moyenne des *Dorothia kummi* dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage de *Dorothia kummi* de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  rapporté à l'ensemble des *Dorothia kummi* .

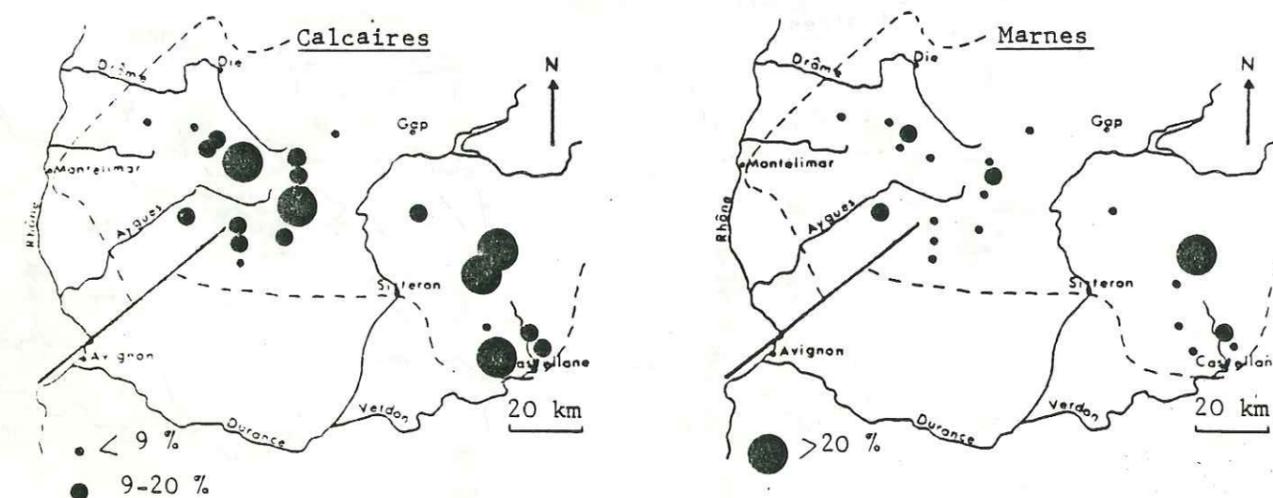


Figure 90 : Taille moyenne des *Dorothia* dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage de *Dorothia* de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  rapporté à l'ensemble des *Dorothia* .

Deux groupes de foraminifères à effectifs importants sont sensibles à la paléogéographie (cf p.76 et 71) : ce sont les *Lenticulina* et les *Dorothia* .

b - *Lenticulina* .

La répartition de leurs différents morphotypes dans les calcaires et dans les marnes confirme l'importance du taux de carbonate contenu dans les sédiments sur la composition de ce groupe .

Dans les calcaires, les lenticulines lisses caractérisent surtout les coupes de la partie Ouest du bassin (BZD, PRD, CLC, LCH, CTV, SGT, MCL, CHN, SAB, CSJ)(fig. 80A) . Les *Lenticulina busnardoï* semblent plus nombreuses dans la partie centrale du bassin (deBZD à MCL, de RNR à VRG) (fig. 80B) . Par ailleurs, la taille des lenticulines demeure plus forte dans les calcaires que dans les marnes et a tendance à augmenter vers le centre du bassin (fig. 81) .

Dans les marnes, la proportion de lenticulines ornées, plus importante que dans les calcaires, s'accroît dans l'ensemble des coupes bordières (CTV, BZD, PRD, MNR, LX, VRG) (fig. 82) . Les *Lenticulina eichenbergi* montrent leur prépondérance dans les coupes bordières ou riches en éléments argileux (BZD, PRD, VLV, LCH, CTV, MNR, SAB et dans toute la partie Est du bassin) (fig. 83) . L'abondance des *Lenticulina eichenbergi* sur les bords du bassin va de pair avec une augmentation de l'épaisseur des séries et des apports argileux .

Dans la partie Est du bassin, la diversité et la taille (fig. 85, 81) des lenticulines sont plus faibles que dans la partie Ouest . Par contre le pourcentage de lenticulines ornées devient plus élevé (10 à 15 %) (fig. 82) . Cette différence est marquée par une augmentation de l'indice pyrite (fig. 84) dans cette partie du bassin .

Le développement de la taille des lenticulines n'est pas lié à celui de leur ornementation . Ceci confirme la difficulté d'apprécier le caractère adulte ou juvénile d'une population appartenant à ce genre (voir p.76) .

c - *Dorothia* .

Une analyse factorielle des correspondances est effectuée à partir de 4 espèces de *Dorothia* et de 143 échantillons prélevés dans le bassin (fig. 86) . Dans le plan FlF2 (82 % de l'inertie du système), les échantillons ne sont pas reclassés en fonction de leur taux en carbonate . Par contre, on observe une répartition tripolaire des échantillons et des variables . Fl exprime l'opposition entre *Dorothia kummi* et *Dorothia zedlerae*, F2 est déterminé par les *Dorothia hauteriviana* .

A proximité de *Dorothia kummi* se situent des échantillons prélevés dans des coupes bordières du bassin (CTV, BZD, PRD, ANG, VRG) . Le point-variable *Dorothia zedlerae* est entouré d'un nuage de points-échantillons de teneur moyenne en carbonate provenant du centre du bassin (CSJ, MNR, LCH, MCL, CHN) . Par opposition, le point-variable *Dorothia hauteriviana* semble attiré par un ensemble de points caractérisant soit des échantillons calcaires de la bordure, soit des échantillons de teneur intermédiaire en carbonate récoltés dans la partie centrale du bassin .

L'analyse bivariée des proportions de chaque espèce en fonction du taux de carbonate des sédiments soulignent les points suivants : les *Dorothia kummi* se rencontrent surtout dans les marnes les plus argileuses (jusqu'à

50 % CaCO<sub>3</sub>) ; les *Dorothia zedlerae* de même que les *Dorothia hauteriviana* sont présentes avec une moyenne de 25 à 30 % dans les sédiments dont le taux de carbonate est supérieur à 50 % ; les *Dorothia* sp. sont caractérisées par de faibles variations de fréquence avec une légère augmentation de leur effectif dans les calcaires (fig. 87) .

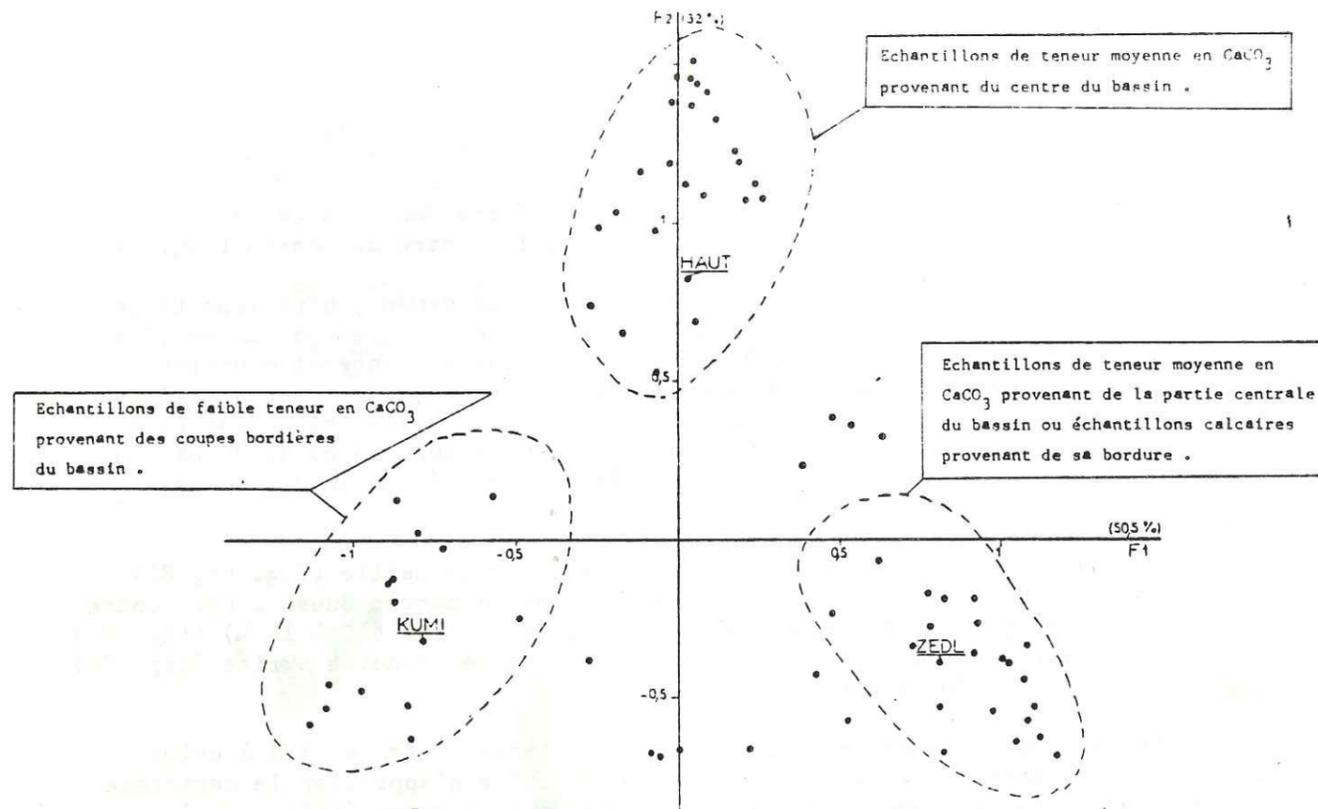


Figure 86 : Correspondance entre l'ensemble des *Dorothia* et la lithologie . Bassin vocontien . Valanginien . Projection simultanée sur le plan des deux premiers facteurs des échantillons à contribution significative et des variables essentielles . Les valeurs placées entre parenthèses représentent l'inertie des facteurs . Abréviations : cf annexe II .

Ces variations de la composition des *Dorothia* reflètent une distribution paléogéographique particulière .

En effet, les *Dorothia kummi* sont plus importantes, tant en nombre qu'en proportion, dans les marnes que dans les calcaires ; de même , elles sont plus abondantes sur les bords qu'au centre du bassin , en particulier à l'Ouest, à proximité de la bordure ardéchoise (fig. 88) .

La prolifération des *Dorothia kummi* de petite taille sur les bordures fait penser à une influence certaine des "plates-formes" environnantes (fig. 89) : ce fossile est considéré par M. MOULLADE in R. BUSNARDO et al. (1979) comme un foraminifère à cachet néritique .

De plus, dans certains échantillons marneux, quelques patellines et miliolles, toujours de petite taille, accompagnent de nombreuses *Dorothia kummi* et le reste des foraminifères . Il est donc possible que de petits foraminifères se trouvent transportés depuis des milieux moins profonds . Ils seraient alors des indicateurs d'axes d'apports dans le bassin .

Cependant, ces dernières comme l'ensemble des *Dorothia*, voient leur taille augmenter vers le centre du bassin, celle-ci étant toujours beaucoup plus forte dans les calcaires que dans les marnes (fig. 89, 90) . La grande taille des *Dorothia kummi* dans le centre du bassin permet d'écarter une distribution par gravité de ces formes .

Il y aurait donc deux populations de *Dorothia kummi*, celle de petite taille liée à des phénomènes de transport et celle de taille normale caractéristique du milieu .

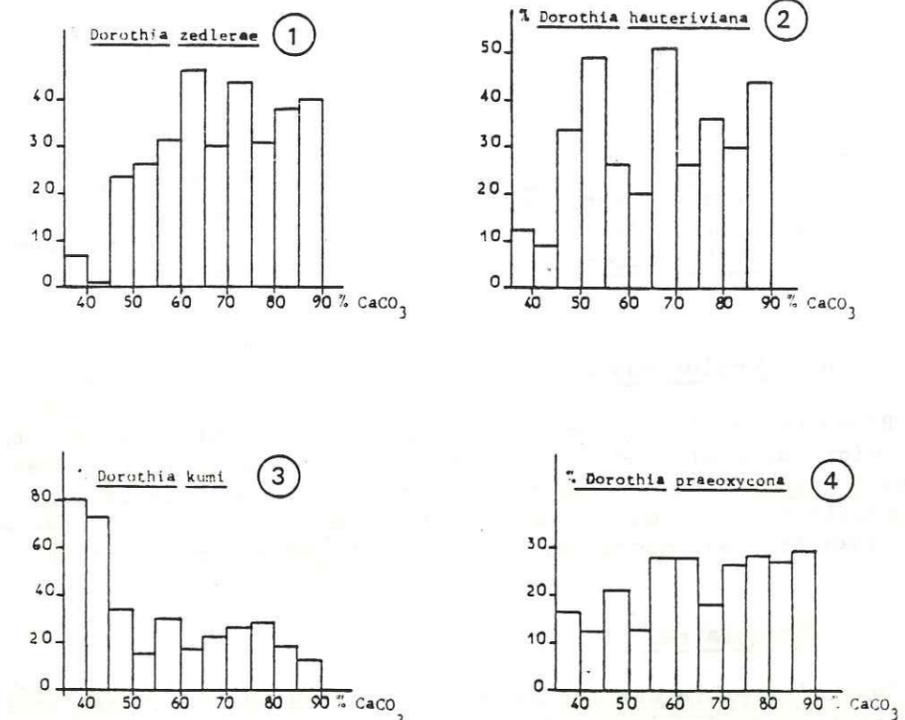


Figure 87 : Les *Dorothia zedlerae* (1), les *Dorothia hauteriviana* (2), les *Dorothia kummi* (3), les *Dorothia* sp (4) et la teneur en carbonate des sédiments . Bassin vocontien . Valanginien .

Les histogrammes résultent du calcul de la moyenne du pourcentage de chaque catégorie de *Dorothia*, rapporté à l'ensemble des *Dorothia*, des échantillons contenus dans chacune des classes de teneur en CaCO<sub>3</sub> . L'intervalle de classe est de 5 % .

Les *Dorothia hauteriviana* ont aussi un comportement particulier . En effet, leur importance est plus grande dans les calcaires que dans les marnes ; dans ces dernières, cette espèce se cantonne à l'extrême centre du bassin (CHN, BLG) et à Vergons , comme si elle fuyait les parties du bassin les plus exposées aux arrivées terrigènes (fig. 91) .

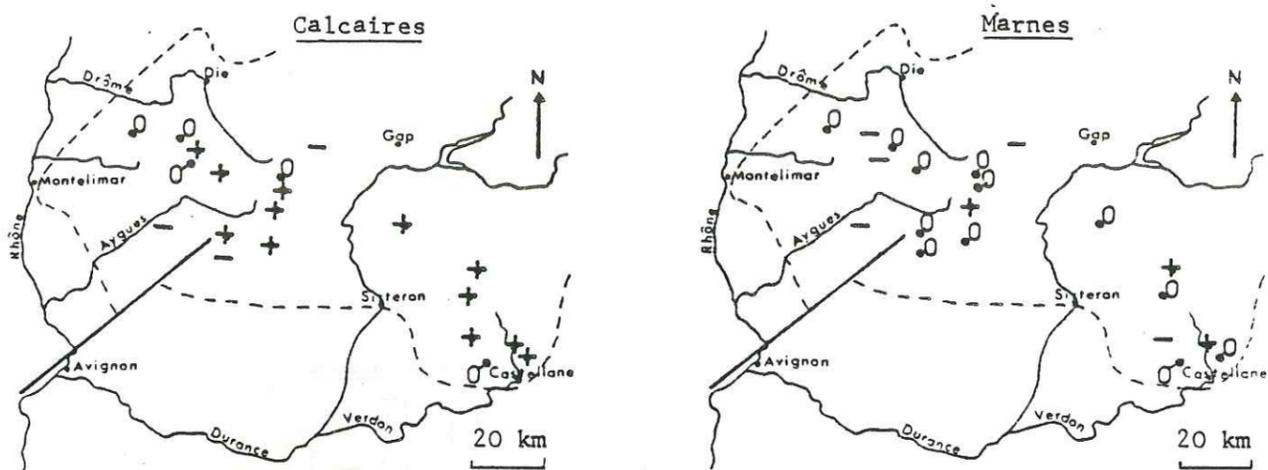


Figure 91 : Importance des *Dorothis hauteriviana* dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons soit calcaires , soit marneux à l'éloignement de *Dorothis hauteriviana* du centre de gravité du nuage de points .

d - Conclusions .

Bien que la lithologie joue un rôle déterminant dans la composition de la microfaune, l'étude de la diversité des foraminifères, des *Lenticulina*, et des *Dorothis* montre l'importance que peut prendre la paléogéographie ; la composition de la microfaune semble être en particulier liée en partie à la quantité des apports provenant des "plates-formes" environnantes .

2 - Radiolaires .

Dans l'ensemble des faciès de calcaires et de calcaires argileux délités, les échantillons du niveau n°35 sont exclus dans la mesure où ils présentent une anomalie systématique : une déficience en *Stylospheara* (cf p.85).

La répartition de diverses catégories de radiolaires permet de souligner une divergence déjà esquissée avec les foraminifères benthiques entre la partie Ouest et la partie Est du bassin . Dans cette dernière, la diversité des radiolaires d'une part (fig. 97) et la taille des radiolaires ronds pustuleux (fig. 95) d'autre part sont plus faibles que dans la partie Ouest du bassin, là où les *Stylospheara*, les *Xitus* (fig. 94) et l'ensemble des radiolaires coniques ont une plus grande influence (fig. 96) . Cette opposition s'atténue légèrement durant les périodes calcaires" ; elle souligne sans doute des modifications des caractères des masses d'eau dans le bassin vocontien d'une période à l'autre .

Dans la partie Ouest du bassin, les variations relatives des radiolaires soulignent l'influence de la bordure ardéchoise et avec elle, la proximité du continent : les radiolaires se spécialisent, la proportion de radiolaires ronds réticulés (fig. 92) s'accroît au détriment de celle des radiolaires coniques (fig. 96) et des radiolaires ronds pustuleux (fig. 93) . Leur grand nombre et leur petite taille peuvent souligner une multiplication rapide de ces populations (fig. 97 et 99) (PERES & DEVEZE, 1963) .

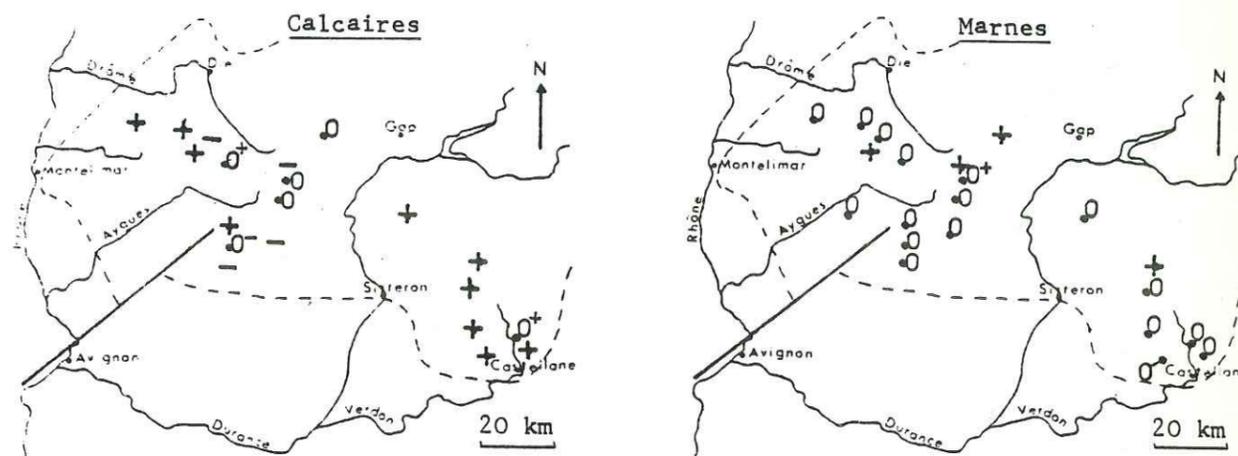


Figure 92 : Importance des radiolaires ronds réticulés dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons soit calcaires, soit marneux à l'éloignement des radiolaires ronds réticulés du centre du nuage de points .

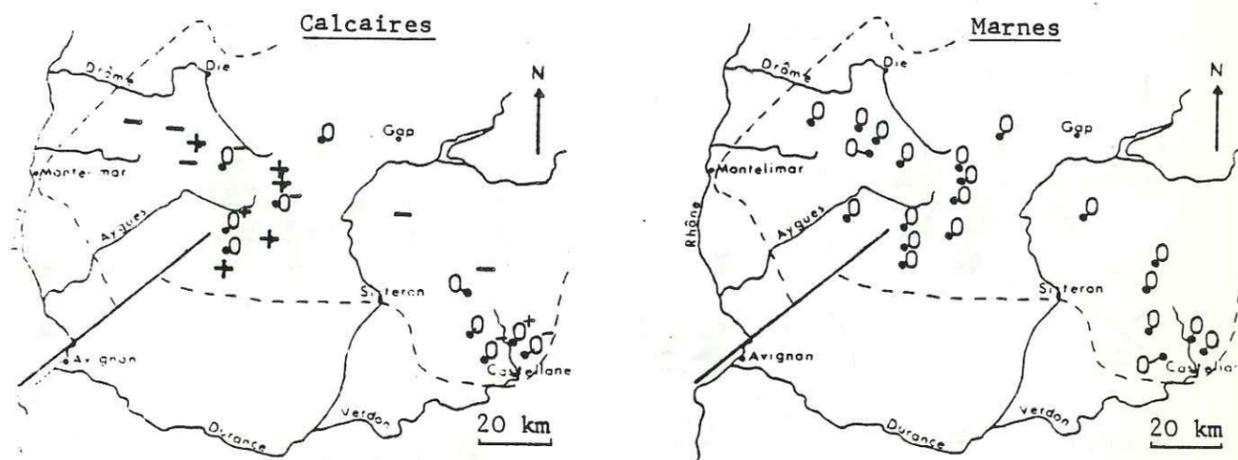


Figure 93 : Importance des radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons soit calcaires, soit marneux à l'éloignement des radiolaires ronds pustuleux du centre de gravité du nuage de points .

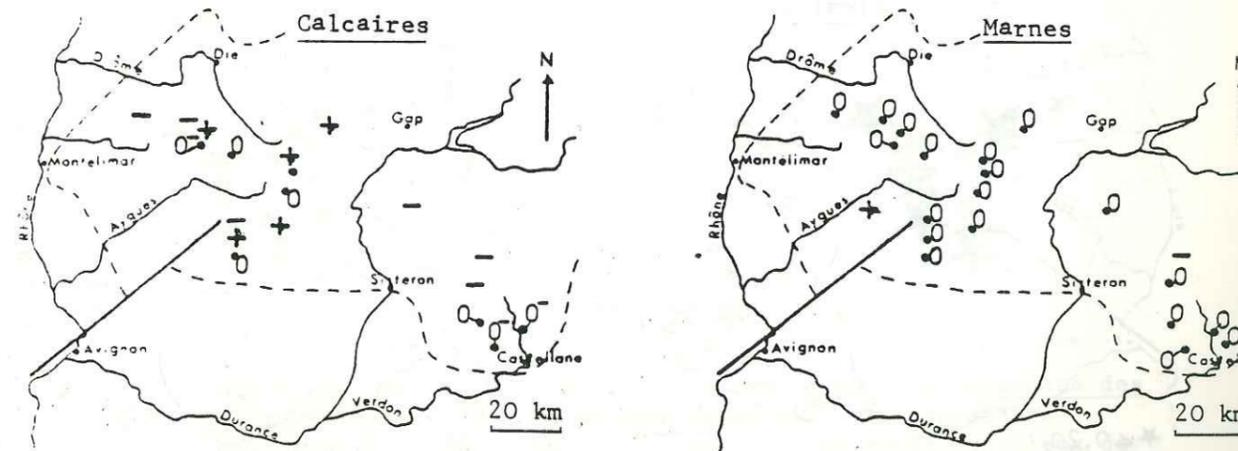


Figure 94 Importance des radiolaires de type "Xitus" dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du signe de la contribution relative moyenne de l'ensemble des échantillons soit calcaires, soit marneux à l'éloignement des radiolaires de type "Xitus" du centre de gravité du nuage de points .

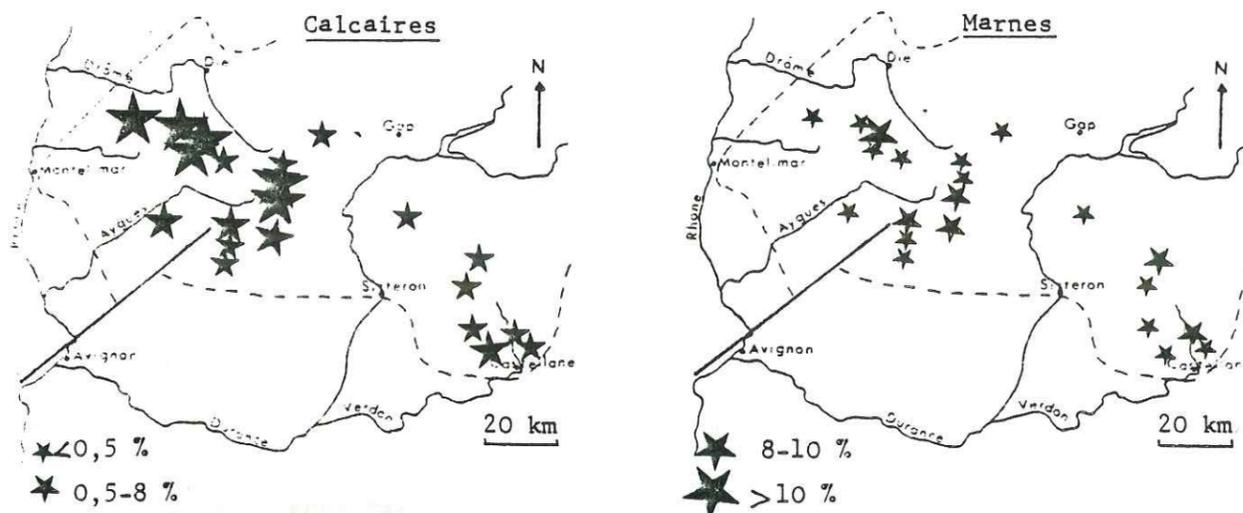


Figure 95 : Taille des radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage des radiolaires ronds pustuleux de de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  rapporté à l'ensemble des radiolaires ronds pustuleux .

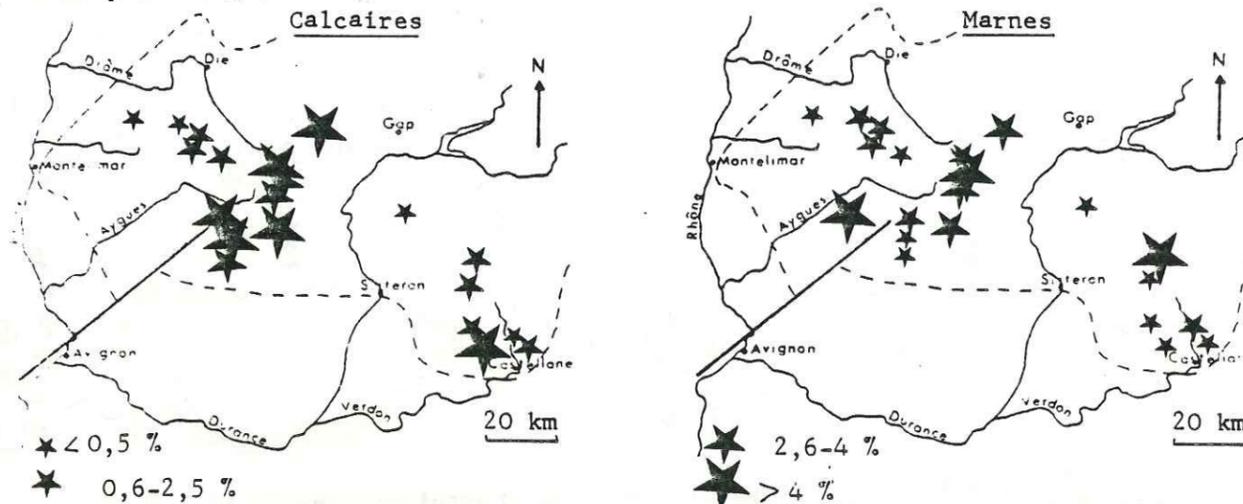


Figure 96 : Les radiolaires coniques dans le bassin vocontien . Valanginien . Leur pourcentage est calculé par rapport à l'ensemble des radiolaires .

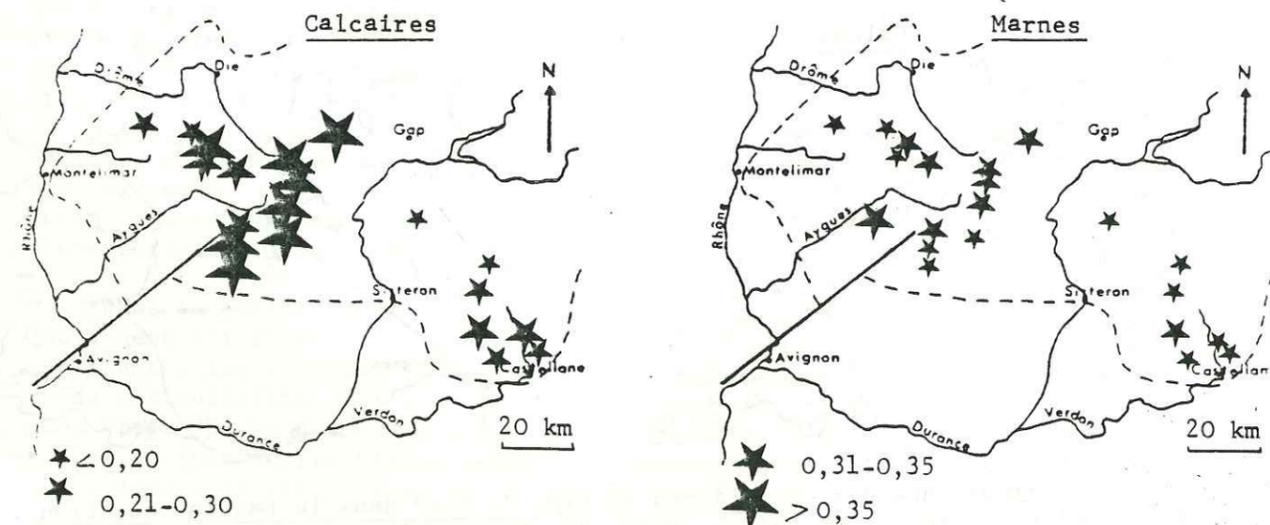


Figure 97 : Diversité moyenne de l'ensemble des radiolaires dans le bassin vocontien . Valanginien .

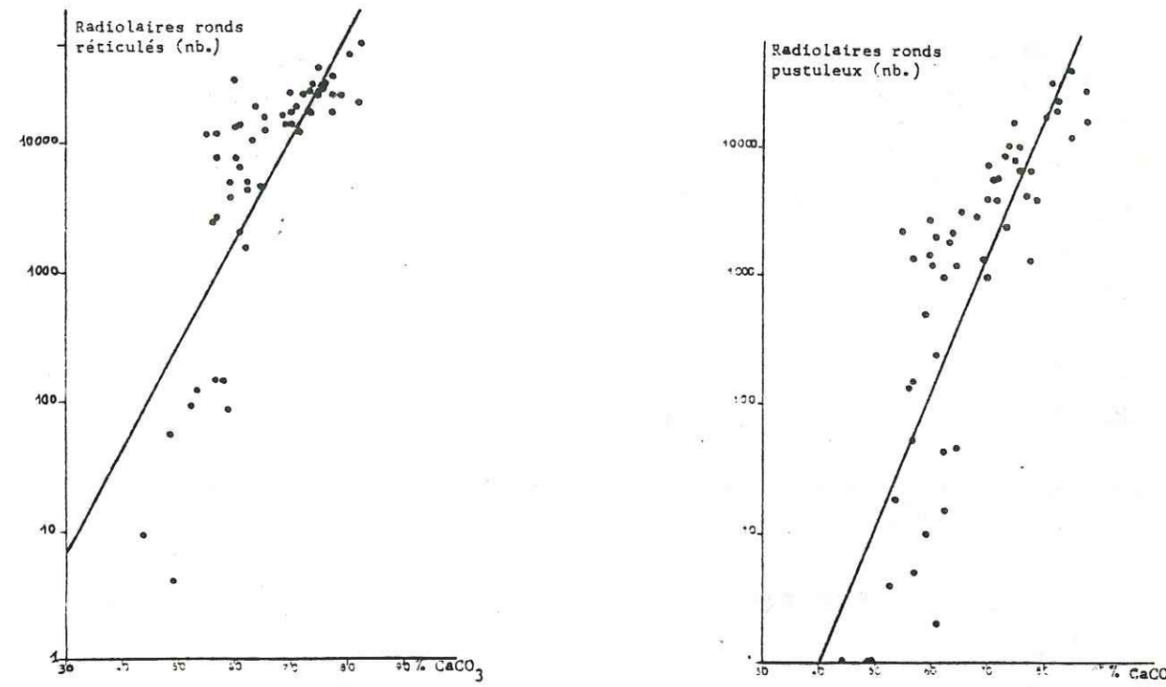


Figure 98 : Concentration des radiolaires et taux de carbonate des sédiments . Droites de référence . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
A : Radiolaires ronds réticulés  
B : Radiolaires ronds pustuleux .

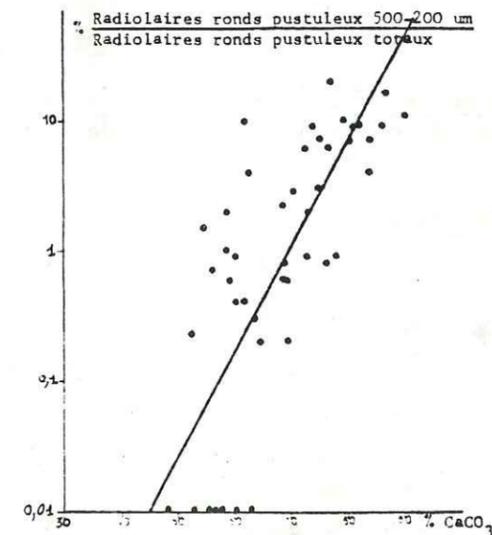


Figure 99 : Taille des radiolaires ronds pustuleux et taux de carbonate des sédiments . Droite de référence . Coupe du Toulourenc . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage de radiolaires ronds pustuleux de taille supérieure à 200  $\mu\text{m}$  rapporté à l'ensemble des radiolaires ronds pustuleux .

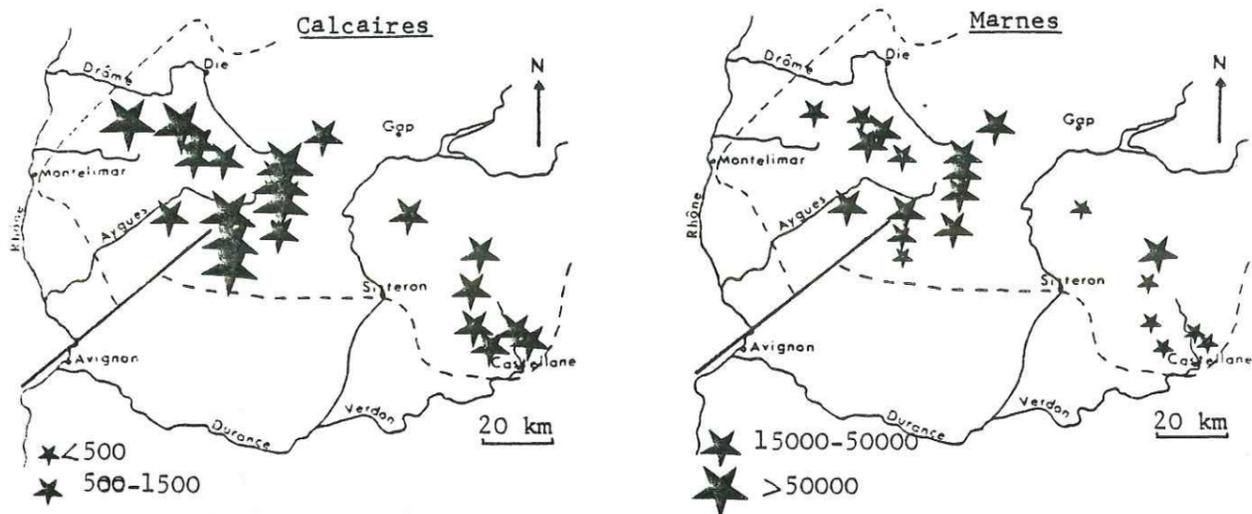


Figure 100 : Concentration moyenne de radiolaires ronds réticulés dans 100 g de sédiments. Bassin vocontien . Valanginien .

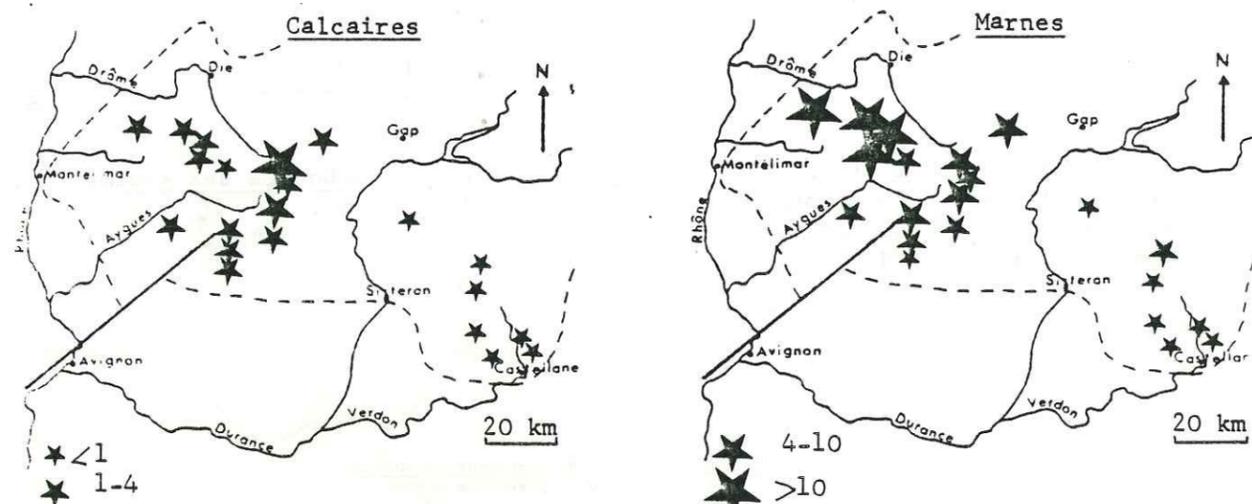


Figure 101 : Rapport entre la concentration réelle et la concentration théorique des radiolaires ronds réticulés dans les sédiments du bassin vocontien . Valanginien .

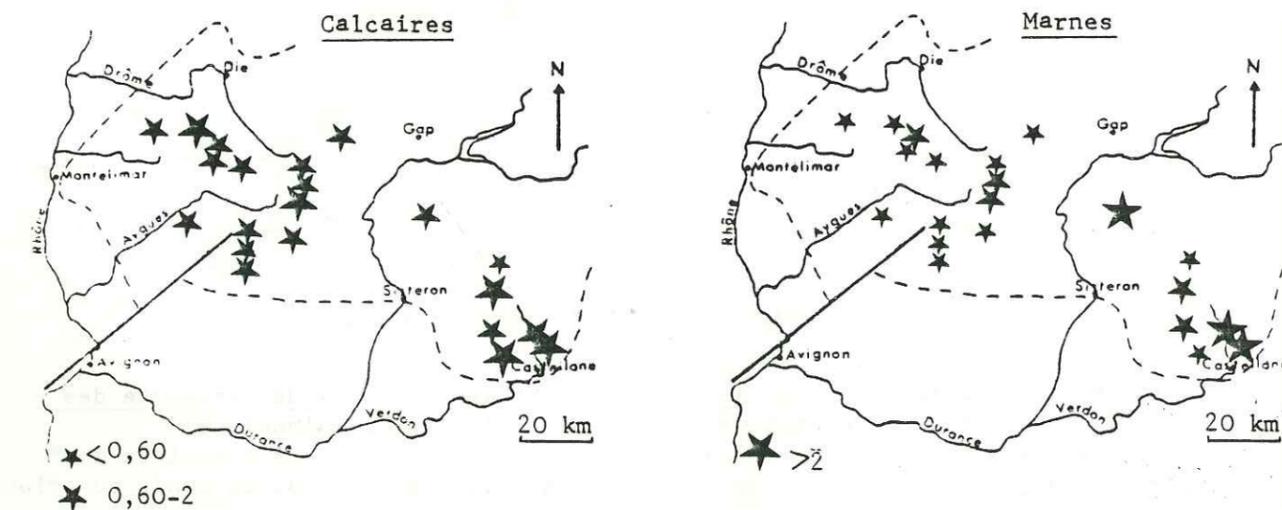


Figure 102 : Taille des radiolaires ronds réticulés dans le bassin vocontien . Valanginien . Elle est estimée à partir du pourcentage de radiolaires ronds réticulés de tailles supérieure à 200  $\mu$ m rapporté à l'ensemble des radiolaires ronds réticulés .

B - Variations quantitatives de la microfane dans le bassin vocontien au cours du dépôt du faisceau valanginien du Toulourenc .

Les variations de la concentration des éléments microfauques ainsi que de leur taille, comparées aux variations lithologiques du faisceau valanginien dans le bassin, vont permettre de comprendre l'influence des apports terrigènes sur la production des radiolaires et du carbonate .

1 - Données de la microfane .

a - Généralités .

L'analyse des variations de la composition de la microfane a montré que plus le sédiment est calcaire, plus les éléments microfauques quels qu'ils soient, sont abondants . Des observations semblables avaient déjà été effectuées pour des périodes plus longues (à l'échelle de l'étage) et pour des milieux moins profonds : l'Albien du bassin parisien ( ROBIN, 1960 ; MAGNIEZ-JANIN, 1975) .

Dans la coupe du Toulourenc, le nombre de radiolaires ronds réticulés et de radiolaires ronds pustuleux ainsi que la valeur du rapport entre le nombre de radiolaires ronds pustuleux de taille supérieure à 200  $\mu$ m et celui de radiolaires ronds pustuleux totaux, croissent de façon exponentielle en fonction du taux de carbonate des sédiments (fig. 98 et 99) . Les coefficients de corrélation obtenus à partir des différents comptages étant élevés ( 0,80 en général), il est possible de tracer des droites de référence résumant les variations de ces éléments microfauques en fonction du taux de carbonate contenu dans les sédiments .

Pour chaque échantillon prélevé dans le bassin, le taux de carbonate est mesuré . A partir de chaque droite de référence, il est possible d'estimer la valeur théorique de chaque élément étudié . Les valeurs observées seront rapportées aux valeurs théoriques .

b - Observations .

La partie occidentale du bassin est caractérisée par :

- une forte concentration de radiolaires (totaux, ronds réticulés et ronds pustuleux) (fig. 106, 100, 103) ;
- des concentrations réelles supérieures aux concentrations théoriques (fig. 101, 104) ;
- une taille des radiolaires pustuleux supérieure à leur taille théorique (fig. 105) .

Au contraire, la partie orientale du bassin s'individualise par :

- une plus faible concentration de radiolaires dans les sédiments (fig. 106) ;
- des concentrations réelles des différentes catégories de radiolaires inférieures aux concentrations théoriques .

La concentration en un élément biologique quelconque résulte du taux de sa production modifiée de sa dilution dans les matériaux sédimentés, terrigènes et carbonatés et par éventuellement des phénomènes de dissolution . A propos des radiolaires, nous avons vu que l'effet de la dissolution ne modifie pas les rapports des différents éléments entre eux .

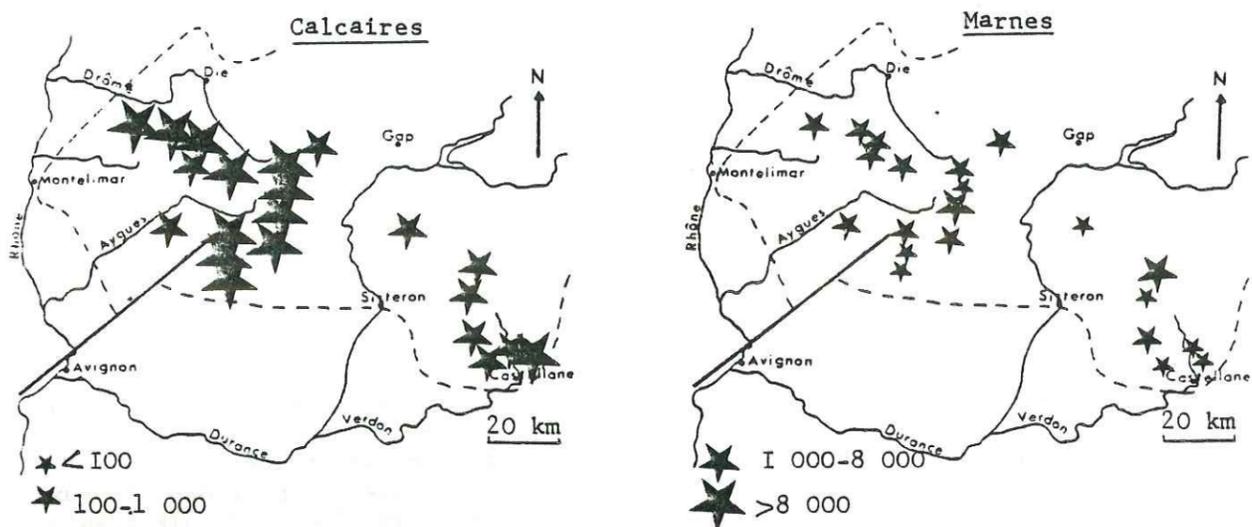


Figure 103 : Concentration moyenne de radiolaires ronds pustuleux dans 100 g de sédiments . Bassin vocontien . Valanginien .

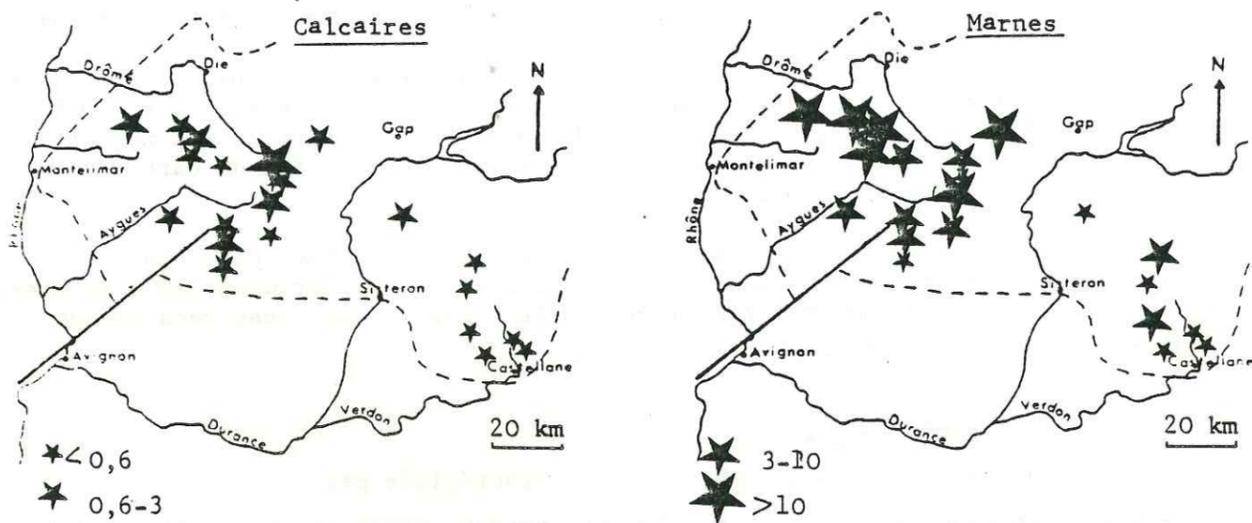


Figure 104 : Rapport entre la concentration réelle et la concentration théorique des radiolaires ronds pustuleux dans les sédiments du bassin vocontien . Valanginien .

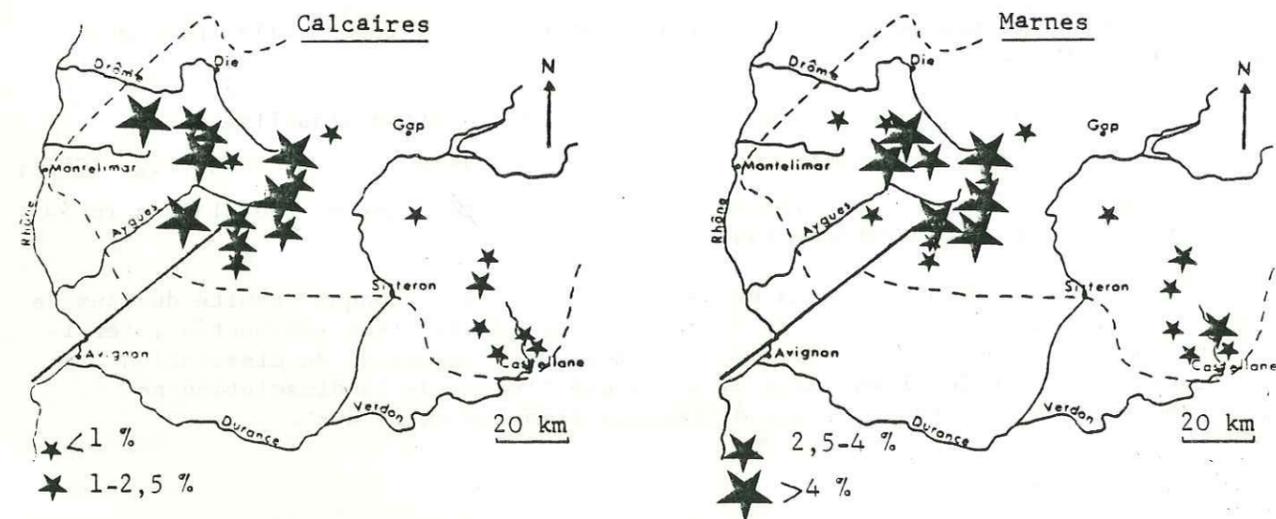


Figure 105 : Rapport entre la taille réelle et le taille théorique des radiolaires ronds pustuleux dans les sédiments du bassin vocontien . Valanginien .

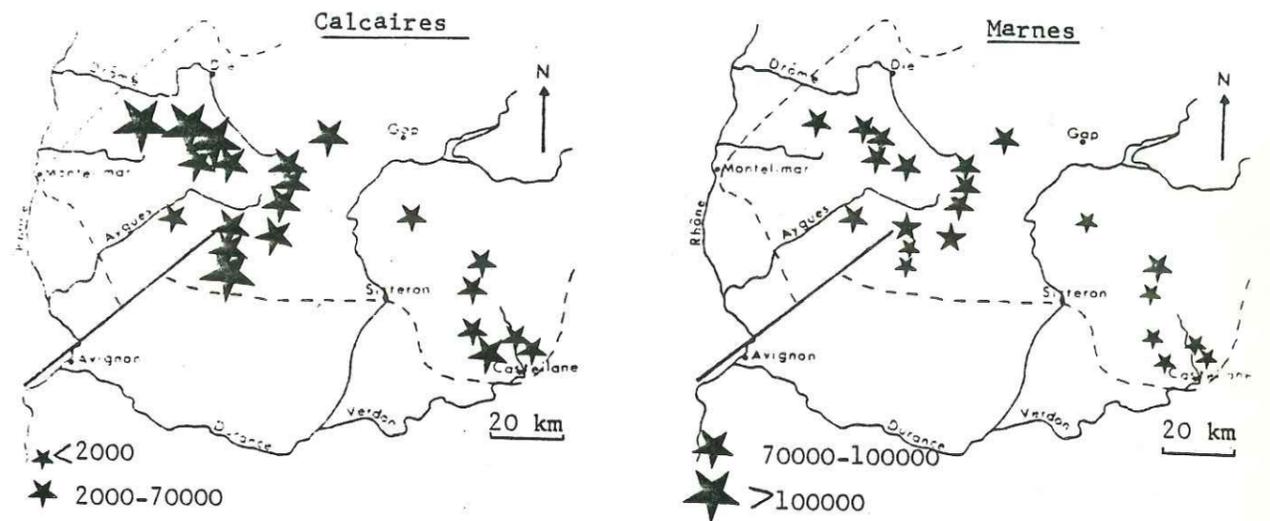


Figure 106 : Concentration moyenne des radiolaires dans 100 g de sédiments. Bassin vocontien . Valanginien

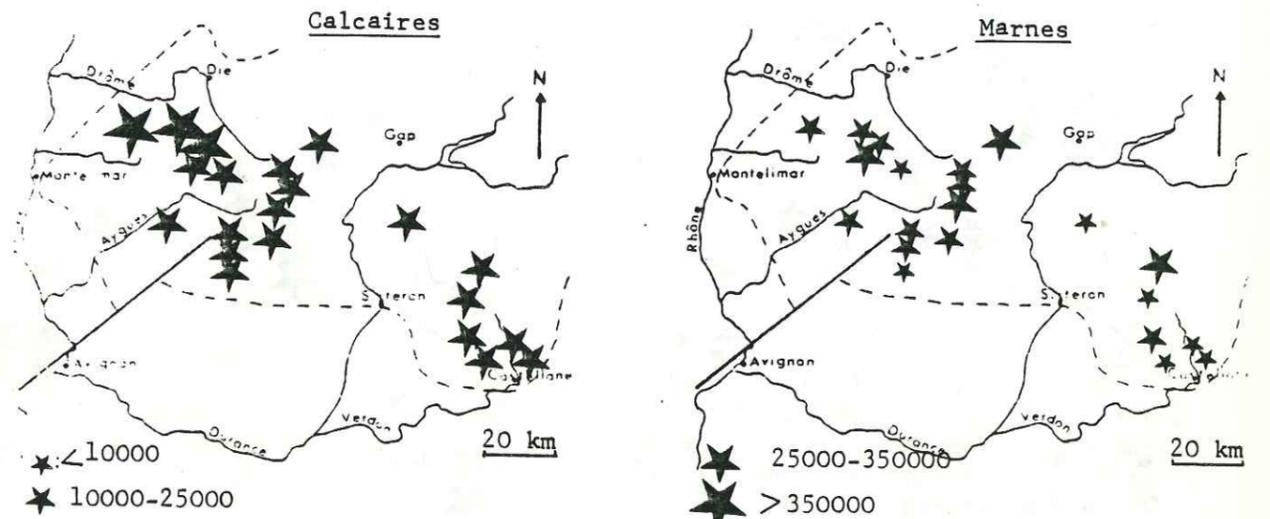


Figure 107 : Flux moyen de radiolaires pendant les "périodes calcaires" et les "périodes marnes" dans le bassin vocontien . (Flux : concentration x épaisseurs cumulées des marnes ou des calcaires) .

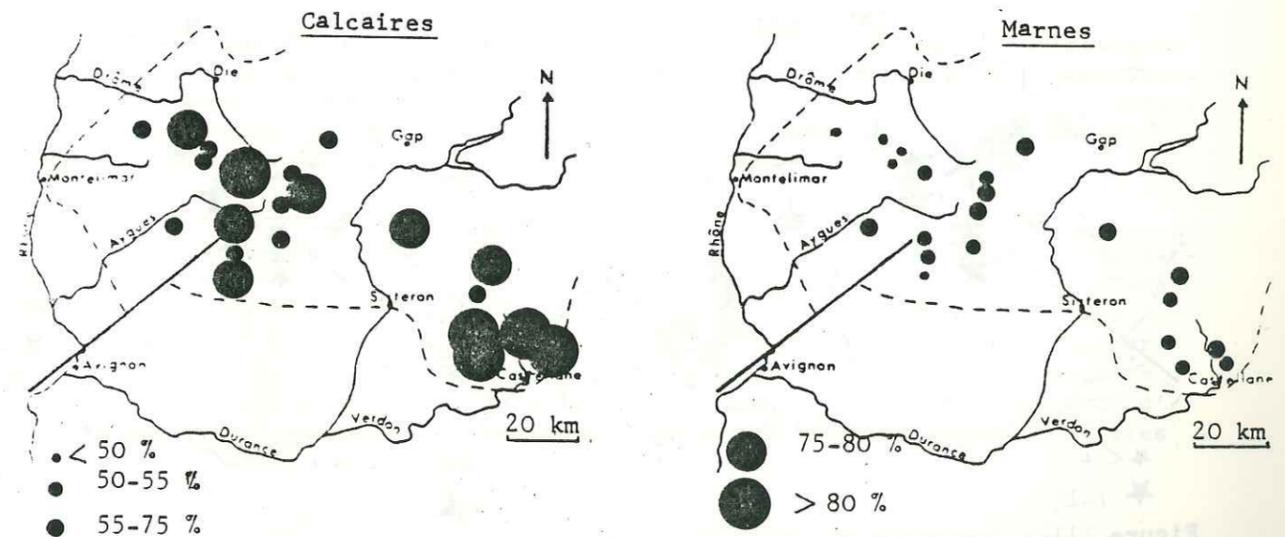


Figure 108 : Pourcentage moyen du taux de carbonate des sédiments . Bassin vocontien . Valanginien .

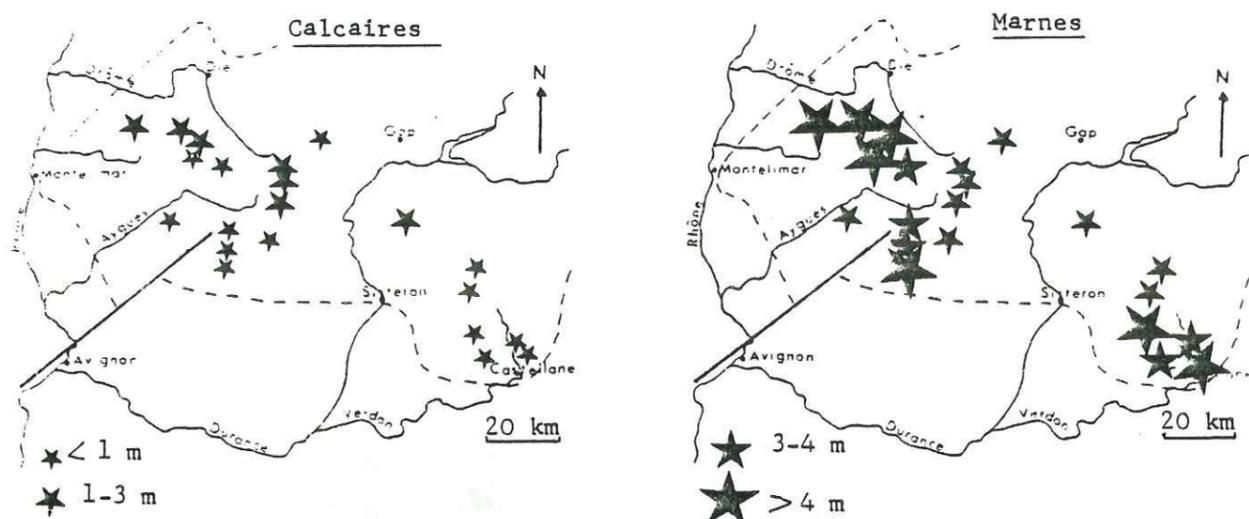


Figure 109 : Epaisseur d'argile accumulée durant le dépôt du faisceau valanginien dans le bassin vocontien .

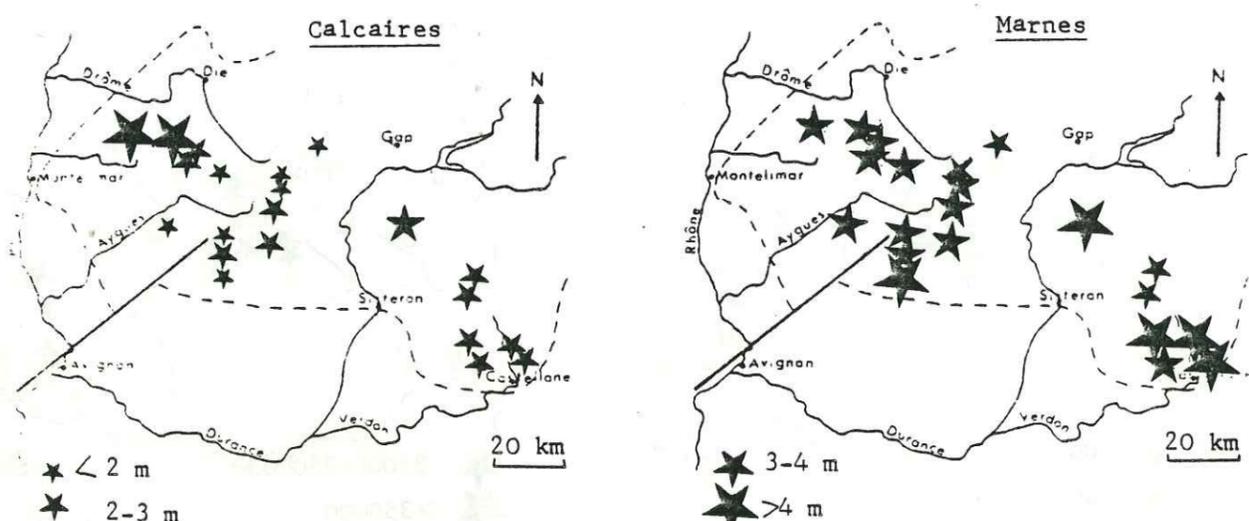


Figure 110 : Epaisseur de carbonate accumulée durant le dépôt du faisceau valanginien dans le bassin vocontien .

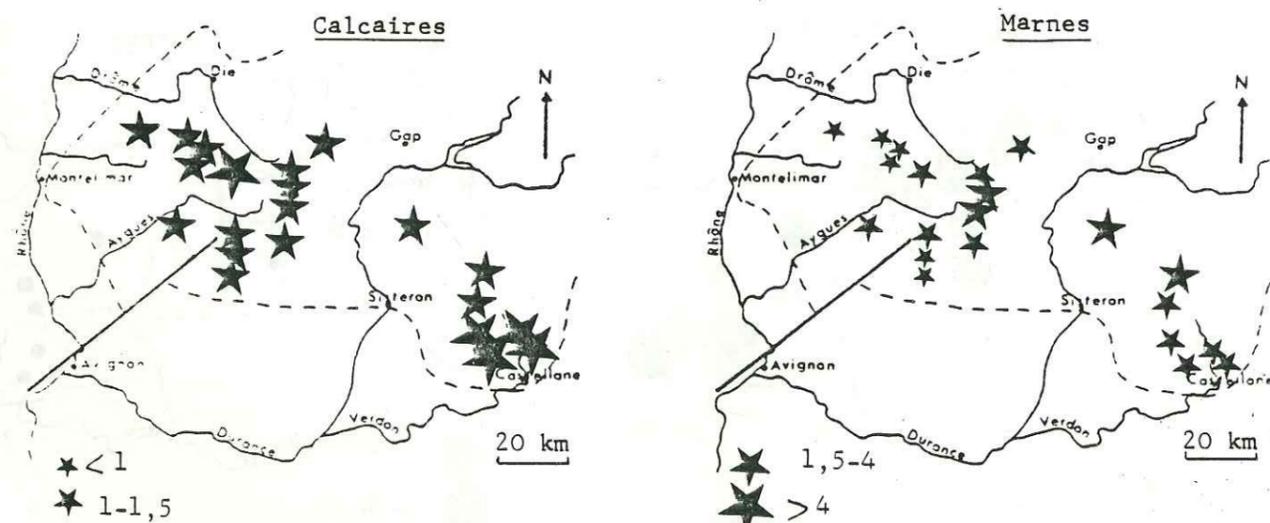


Figure 111 : Epaisseur de carbonate accumulée par rapport à celle des argiles durant le dépôt du faisceau valanginien dans le bassin vocontien .

En considérant les épaisseurs cumulées des dépôts pendant les "périodes calcaires" ou les "périodes marnes" et la concentration des radiolaires dans les sédiments, on peut espérer obtenir une image de la production de ceux-ci .

L'estimation de la quantité de radiolaires déposés pendant les "périodes calcaires" ou les "périodes marnes" confirme l'opposition entre les parties Est et Ouest du bassin (fig. 107) : la production de radiolaires était plus forte dans les secteurs Ouest, proche de la bordure ardéchoise .

2 - Données sédimentologiques .

a - Généralités .

Le pourcentage de carbonate contenu dans les sédiments a servi tout au long de ce travail , de variable caractérisant la lithologie . Celle-ci est le résultat d'un équilibre entre la production de carbonate et les apports argileux (si l'on fait abstraction de la dissolution et de la diagenèse dont on a vu le rôle négligeable p. 92).

Dans la mesure où je n'ai utilisé pour l'étude de la microfaune que quelques niveaux particuliers de marnes ou de calcaires, j'ai calculé la moyenne des teneurs en carbonate pour chacun des types lithologiques de chacune des coupes étudiées (fig. 108) . L'épaisseur estimée de carbonate pur déposé correspond au produit de l'épaisseur de l'ensemble des niveaux marneux ou calcaires de chaque coupe par le pourcentage moyen de carbonate de ces deux types lithologiques (fig. 100) . L'épaisseur des argiles pures est estimée grâce au complément à 100 du pourcentage de carbonate .

b - Epaisseur d'argile déposée .

Globalement, il se dépose plus d'argile sur les bords du bassin que dans le centre . De plus, la sédimentation semble plus argileuse dans la partie Ouest du bassin que dans la partie Est (fig. 109) . L'opposition entre ces deux secteurs du bassin vocontien apparaît surtout pendant les "périodes calcaires" , périodes pendant lesquelles il se dépose nettement moins d'argile dans la partie Est (moins de 0,70 m pour la bordure de la partie Est contre plus de 1,20 m pour la bordure de la partie Ouest) .

c - Le rapport épaisseur CaCO<sub>3</sub> / épaisseur argile

Il correspond au rapport quantitatif de la sédimentation du carbonate et de celle des apports terrigènes . La phase carbonatée est composée principalement de nannoplancton (observations de S. FERRY dans la coupe du Toulourenc) . la sédimentation de CaCO<sub>3</sub> représenterait donc une image de la bioproduction de carbonate .

Le rapport entre l'épaisseur de carbonate et celle d'argile montre une forte opposition entre les deux parties du bassin . Or, les épaisseurs de carbonate déposées sont relativement constantes pendant les "périodes calcaires" (fig. 111) . Il y a donc apparemment des variations géographiques du flux argileux plus importantes que celles du flux carbonaté . Ainsi, dans la partie Ouest du bassin, l'accumulation de carbonate coïncide avec des apports terrigènes notables alors que dans la partie Est, des dépôts de carbonate d'épaisseur équivalente sont accompagnés d'une moins grande quantité d'argiles .

Dans la partie Ouest du bassin, de nombreuses intercalations de plaquettes rousses pourraient contribuer à surestimer l'épaisseur, donc la quantité, de carbonate d'origine planctonique déposée .

Dans la partie Est, l'épaisseur importante de carbonate déposée en l'absence d'apports argileux importants peut être interprétée comme une accumulation de carbonate micritique venu de la plate-forme provençale .

Une étude systématique de la phase carbonatée sur l'ensemble du bassin serait nécessaire pour lever ces ambiguïtés concernant la signification des dépôts de calcaire . Cependant, les variations quantitatives des apports terrigènes peuvent coïncider avec des modifications quantitatives et qualitatives des apports de substances nutritives . De plus, la situation de la partie Est du bassin vocontien par rapport à la Téthys permet d'envisager l'action de courants pouvant modifier la production de radiolaires en regard de la bioproduction de carbonate .

### 3 - Interprétations .

Il n'est pas possible de comparer la production de carbonate avec les apports terrigènes dans l'état actuel de nos observations . Cependant, la grande accumulation de radiolaires peut être mise en parallèle avec celle des apports terrigènes . Ces derniers sont plus importants à proximité de la bordure ardéchoise . Or la quantité de sels dissous est proportionnelle à la quantité de matière en suspension. Par conséquent, une augmentation des apports terrigènes entraînant une augmentation de la quantité d'éléments nutritifs peut favoriser un développement important du plancton et des radiolaires.

Si l'on suit cette logique, on devrait observer une quantité plus importante de radiolaires dans les marnes que dans les calcaires à condition que le flux de matière reste constant et, par conséquent que le taux de sédimentation soit le même quel que soit le type lithologique en cours de dépôt. Or, on a vu que les radiolaires sont moins nombreux, et de beaucoup, dans les marnes que dans les calcaires. Si le nombre de radiolaires est bien le reflet de l'importance des apports nutritifs, on doit considérer que ces derniers étaient relativement faibles durant les "périodes marnes". Les épaisseurs d'argiles déposées pendant ces périodes sont évidemment les plus grandes.

On en vient à l'idée que le flux détritique était moins intense durant les "périodes marnes" que durant les "périodes calcaires" et que les premières ont duré beaucoup plus longtemps que les secondes. Cela revient à dire que le taux de sédimentation des calcaires est plus élevé que celui des marnes.

On aurait donc durant les "périodes calcaires" des apports (argiles et éléments nutritifs) rapides et massifs provoquant une multiplication rapide des radiolaires et de l'ensemble du plancton (BOJE et TOMEZACK, 1978 ; LEVINTON, 1982).

La prédominance des Nannoconus sur les coccolithes dans les calcaires conforte cette hypothèse : l'afflux d'éléments terrigènes provoque une baisse de la production des coccolithophoridés (BETZER et al., 1977).

La multiplication rapide des radiolaires est confirmée par la petite taille qui caractérise les radiolaires ronds réticulés, dont le nombre en fait le groupe dominant pour l'ensemble des radiolaires.

Le dépôt des calcaires serait provoqué par une multiplication brutale du plancton sous l'effet de décharges terrigènes limitées dans le temps.

Pendant les "périodes calcaires", on assiste à une atténuation des différences entre les épaisseurs de carbonate déposée et entre les concentrations des radiolaires entre les deux parties du bassin : les conditions de milieu étaient alors plus homogènes ; ceci suggère une amélioration de la circulation des eaux pendant ces périodes.

CONCLUSIONS GENERALES

---

fluc-  
de  
conditions

Le but de ce travail fut de caractériser par la composition des associations microfauniques les différents termes lithologiques des séries alternantes pélagiques du Crétacé inférieur vocontien.

## I - LIAISONS ENTRE LA MICROFAUNE ET LA LITHOLOGIE.

### A - Relation entre le taux de carbonate et la microfaune.

Au Valanginien comme à l'Aptien, la composition de la microfaune suit étroitement les variations de la lithologie symbolisées par la teneur en  $\text{CaCO}_3$  des sédiments :

- les sédiments les plus argileux ( $\text{CaCO}_3 < 55\%$ ) sont caractérisés par des populations relativement peu denses et peu diversifiées, groupant des individus de petite taille. Les foraminifères benthiques à test agglutinant fin siliceux (*Trochammina*) et quelques foraminifères à test calcaire (*Gavelinella*, *Lenticulina*) sont dominants ;

- les marnes calcaires ou les calcaires argileux délités (55 à 75 %  $\text{CaCO}_3$ ) se signalent par une concentration importante de la microfaune qui se diversifie et au sein de laquelle les organismes planctoniques deviennent majoritaires ; les radiolaires présentent une diversité maximale, avec des formes coniques de plus en plus nombreuses. A l'Aptien, les foraminifères planctoniques sont encore prépondérants au sein du plancton. Les divers groupes de foraminifères benthiques sont bien représentés ; leur taille et leur diversité sont maximales ;

- les calcaires (taux de  $\text{CaCO}_3 > 75\%$ ) se distinguent par une concentration maximale de la microfaune. Celle-ci se spécialise à nouveau : elle est dominée par les radiolaires qui, même à l'Aptien, supplantent les foraminifères planctoniques. Les *Epistomina* constituent l'élément essentiel des foraminifères benthiques dont les individus sont de petite taille.

### B - Conséquences : gravité, dissolution ou processus biologiques.

Ces observations permettent d'écarter l'hypothèse d'un dépôt gravitaire des bancs calcaires (LOMBARD 1954, 1974), ou du couple banc calcaire-interbancarneux (BEAUDOIN 1974, 1977). Selon cette hypothèse, les éléments les plus grossiers devraient se rencontrer en priorité et respectivement dans la partie inférieure des bancs calcaires ou dans les niveaux calcaires du couple banc-interbanc. Or les radiolaires, comme la plupart des éléments benthiques voient leur taille diminuer dans les sédiments les plus carbonatés. De plus, si la concentration d'organismes reste la plus importante dans les calcaires, la plus forte accumulation de radiolaires par rapport à celle des foraminifères dans ces faciès ne peut être expliquée par un processus gravitaire : en effet, la taille et la densité de ces organismes ne sont pas très différentes.

Dans les marnes, la présence de lamellibranches planctoniques et l'absence de trace de corrosion, autant sur les tests de foraminifères planctoniques que sur ceux de foraminifères benthiques, permettent d'écarter le rôle de la dissolution dans la genèse de ces séries alternantes.

Les facteurs mécaniques et chimiques étant écartés comme causes des fluctuations cycliques de la microfaune, ces dernières résulteraient plutôt de processus biologiques contrôlés par des modifications périodiques de conditions de milieu.

## II - LIAISONS ENTRE LA MICROFAUNE ET LES CONDITIONS DU MILIEU.

### A - Organisation cyclique des variations de la microfaune.

Les variations microfauniques s'effectuent au moins à deux échelles, la plus petite est celle du cycle banc-interbanc, la plus grande regroupe trois à quatre cycles élémentaires.

Cet emboîtement de cycles peut être rapproché d'oscillations climatiques contrôlant les paramètres physico-chimiques du milieu.

### B - Importance des apports sur la production carbonatée.

La concentration de la microfaune et la production de  $\text{CaCO}_3$  plus importante dans la partie Ouest que dans la partie Est du bassin montrent l'impact des apports terrigènes et nutritifs, en liaison avec la proximité de masses continentales, sur la productivité planctonique.

L'étude de la matière organique conforte cette hypothèse. L'accumulation relativement forte de débris végétaux ligneux par rapport à celle des charbons et celle de l'ensemble des palynomorphes dans les calcaires souligne l'importance des apports terrigènes pendant la production carbonatée.

La variation de teneur en carbonate qui assure la transition marne-calcaire argileux délité-calcaire dépend de la disponibilité en éléments nutritifs du milieu. Ces apports nutritifs règlent la production du nanoplancton (fournisseur de  $\text{CaCO}_3$  et de substances nutritives), celle du plancton et par conséquent celle du benthos. On aboutit ainsi à un sédiment qui peut être : soit pauvre en  $\text{CaCO}_3$  contenant une microfaune très peu abondante et spécialisée, soit de teneur en  $\text{CaCO}_3$  intermédiaire avec une bonne concentration et une grande diversification de la microfaune, soit de forte teneur en  $\text{CaCO}_3$  entraînant une surproduction et une surpopulation de la microfaune.

Les conséquences directes de ce processus sont les suivantes : la durée des dépôts des bancs calcaires paraît beaucoup plus courte que celle des dépôts des marnes, et, par conséquent, le taux de sédimentation des calcaires semble beaucoup plus fort que celui des marnes.

Une augmentation du flux terrigène et des apports d'éléments nutritifs ne peut s'effectuer, dans ce contexte, que si l'on considère une augmentation de la pluviosité sur les continents.

### C - Importance de la circulation des eaux.

Les variations de l'épaisseur des dépôts de carbonate, beaucoup plus faibles pendant les "périodes calcaires" que pendant les "périodes marnes" associées à une atténuation des variations relatives dans la composition des radiolaires, soulignent une plus grande homogénéité des conditions de milieu de vie dans le bassin vocontien pendant les "périodes calcaires". De plus, la composition du benthos et le faible indice pyrite des sédiments font penser à une meilleure oxygénation des eaux du fond durant ces périodes. Ceci peut être expliqué par un brassage plus intense des eaux pendant les "périodes calcaires" que pendant les "périodes marnes".

Ce processus va de pair avec l'augmentation de la circulation atmosphérique, phénomène caractéristique des périodes froides (MOORE et al., 1980).

Les "périodes calcaires" correspondraient alors à des périodes plus humides et plus froides que les "périodes marnes".

BIBLIOGRAPHIE

- ANGELL R. W. (1967) : The test structure and composition of the foraminifer Rosalina floridana . Journ. Protozool., vol.14, p. 299-307.
- ARNAUD-VANNEAU A. (1980) : Micropaléontologie, paléocéologie et sédimentologie d'une plate-forme carbonatée de la marge passive de la Téthys : l'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreuse (Alpes occidentales) .Géol. alpine, Mém.11,3vol., 875 p.,254 fig., 115 pl.
- ARNOLD Z. M. (1954) : A note on foraminiferan sieve plates . Contr. Cushman Found. Foram. Res., vol. 5,p.77 .
- ARRENHIUS G. (1952) : Sediment cores from the East Pacific . Swedish Deep-Sea Expd. Reports (1947-1948), vol.5, p.1-89 .
- AVERBURG (1962) : Désagrégation des roches silico-marneuses sous l'action simultanées de l'hyposulfite et de l'eau oxygénée . Extr. "Vopr. Micropaleont. S.S.S.R.", n°6, p.147-148, 1 tabl.
- BANDY O.L. (1961) : Distribution of foraminifera, radiolaria and diatoms in sediments of the Gulf of California . Micropaleontology vol.7, n°1, p.1-26, 14 fig., 5 pl.
- BANNER F.T. & PEREIRA C. P. G.(1981) : Some biserial and triserial agglutinated smaller foraminifera : their wall structure and its significance . Journ. Foram. Res., vol.11, n°2, p.85-117, 10 pl.
- BARTENSTEIN H. (1974) : Upper Jurassic - Lower Cretaceous primitive foraminifera from D.S.D.P. Site 259 and 261, Eastern Indian Ocean : Leg 27, Deep Sea Drilling Project. Init. Report Deep Sea Drill. Proj. , vol.27, p.683-695
- BARTENSTEIN H. & BRAND E. (1951) : Mikropaläontologische untersuchungen zur Stratigraphie des nordwestdeutschen Valendis Festschrift zum Siebzigsten Geburtstag von Rudolf Richter . Abh. Senck. Naturf. Ges., a. M., vol.485, p.239-336, 25 pl.
- BAUDRIMONT A. F. & DUBOIS P. (1977) : Un bassin Mésogéen du domaine péri-alpin le Sud -Est de la France . Bull. Centre Rech. Expl. Prod. Elf - Aquitaine, n°1, p.261-308, 24 fig.
- BE A. W. H., DAMUTH J. E., LOTT L. & FREE R. (1976) : Late quaternary climatic record in Western Equatorial Atlantic sediment . Geol. Soc. Amer., Mem. 145, p. 165-200, 14 fig.
- BE A.W.H. & HAMELIN W. H. (1967) : Ecology of recent planktonic foraminifera . Part 3 . Distribution in the North Atlantic during the summer of 1962 . Micropaleontology,vol. 13, n°1, p. 87-106, 41 fig.
- BEAUDOIN B.,HERNANDEZ D., PINAULD M. (1974) : Essai d'analyse des rythmes dans les formations marno - calcaires alternantes . Bull. Soc. géol. France, sér. 7, t. 16, p. 634-642, 8 fig.
- BEAUDOIN B. (1977) : Méthodes d'analyse sédimentaire et reconstitution du bassin : le Jurassique terminal - Berriasien des Chaines Subalpines méridionales .Thèse Doct. es Sci. nat., Caen, n°85 004, 2 vol., 478 p., 116 fig., 20 pl. (inédit)

- BENZECRI J.P. & F. (1980) : Pratique de l'analyse des données . 1. Analyse des correspondances . Exposé élémentaire . Dunod édit., 424 p.
- BETZER P.R., EGGIMANN D.W., CARDER K. L., KESTER D.L. & BETZER S.B. (1977) : Seasonal patterns in suspended calcium carbonate concentration during the wet and dry seasons in the Eastern Caribbean . In : ANDERSON & MALAHOOF (edit.), The fate fossil fuel CO<sub>2</sub> in the oceans . Marine sci., vol. 6, p. 63-79 .
- BERGER A. L. (1978) : Théorie astronomique des paléoclimats, une nouvelle approche . Bull. Soc. belge Géol., t; 87, fasc. 1, p. 9-25, 11 fig.
- BERGER W.H. (1970) : Biogenous deep-sea sediments : fractionation by deep-sea circulation . Geol. Soc. Amer. Bull., vol. 81, n°5, p. 1385-1402 .
- BERGER W.H. (1970) : Planktonic foraminifera selective solution and lysocline . Marine Geol., vol. 8, p. 111-138 .
- BERGER W.H. (1973) : Deep-sea carbonates : Pleistocene dissolution cycles. Journ. Foram. Res., vol. 3, n°4, p. 187-195.
- BERGER W.H. (1977) : Deep-sea carbonate and the deglaciation preservation spike in pteropods and foraminifera . Nature, vol. 269, p. 301-304 .
- BERNER R.A. (1964) : Distribution and diagenesis of sulfur in some sediments from the Gulf of California . Marine Géol., vol. 1 , n°2, p.117-140, 10 fig.
- BLACKMAN P.D. & TODD R. (1959) : Mineralogy of some foraminifera as related to their classification and ecology . Journ. Paleont., vol.33, n°1, p.1-15, 1 fig.
- BOCK W.D. (1979) : Upper Aptian agglutinated foraminifers from D.S.D.P. hole 402 A. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., vol.48, p.371-375, 1pl.
- BRISKIN M. & HARRELL J. (1980) : Time series analysis of the Pleistocene deep-sea paleoclimatic record . Marine Geol., vol.36, n°1-2, p.1-22, 8 fig.
- BRUCKNER W.D. (1953) : Cyclic calcareous sedimentation as an index of climatic variations in the past .Journ. Sed. Petr., vol.23, n°4, p.235-237 .
- BUSNARDO R., THIEULOY J.P., MOULLADE M. et al. (1979) : Hypostratotype mésogéen de l'étage valanginien (Sud-Est de la France) . C.N.R.S. édit., vol.6, 143 p., 35 fig., 9tabl.
- CALVERT S.E. (1968) : Silica balance in the ocean and diagenesis . Nature, vol. 219, n°5157, p.919-920 .
- CAROZZI A. (1950) : Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation . Arch. Sci. Genève, vol.3, fasc.1-2, p.1-76, 13 fig.
- CLIMAP PROJECT MEMBERS (1976) : The surface of the Ice-Age Earth . Science, vol. 191, n°4232, p.1131-1144, 8 fig.
- CLOCCHIATTI M. (1976) : Sédimentation pélagique néogène et quaternaires des carbonates dans le bassin de Madagascar . Bull. Soc. géol. France, sér.7, t.18, n°6, p.1613-1624, 6 fig.
- COMBAZ A. (1964) : Les palynofaciès . Rev. Micropaleont., vol.7, n°3, p.205-218 .

- CORREIA M. & PENIGUEL G. (1975) : Etude microscopique de la matière organique . Ses applications à l'exploration pétrolière . Bull. Centre Rech. Pau SNPA, vol.9, n°2, p.99-127, 14 fig., 2 tabl., 2 pl.
- COTILLON P. (1971) : Le Crétacé inférieur de l'arc subalpin de Castellane entre l'Asse et le Var . Stratigraphie et sédimentologie . (Thèse Lyon, 1968) . Mém. Bur. Rech. géol. min. ,n°68, 243 p., 104 fig., 8 pl.
- COTILLON P., FERRY S., GAILLARD C., JAUTEE E., LATREILLE G., RIO M. (1979) : A la recherche des facteurs oscillants de la sédimentation marine ancienne par l'étude des alternances marno-calcaires . C.R. Acad.Sci., sér. D, t.289, p.1121-1124, 3 fig.
- COTILLON P., FERRY S., GAILLARD C., JAUTEE E., LATREILLE G., RIO M. (1980) : Fluctuations des paramètres du milieu marin dans le domaine vocontien (France S-E) au Crétacé inférieur : mise en évidence par l'étude des formations marno-calcaires . Bull. Soc. géol. France, sér.7, t.22, n°5, p.735-744, 12 fig.
- COTILLON P., DARMEDRU C., FERRY S., RIO M. (1982) : De l'Eocrétacé à bancs et inter-bancs aux marnes bleues gargaso-albiennes : pas de coupure dans le contrôle cyclique de la sédimentation en domaine vocontien (France S-E) . 9° Reun. ann. Sci. Terre, Paris, Soc. géol. France édit., p.157 .
- DAMUTH J.E. (1977) : Late Quaternary sedimentation in the Western Equatorial Atlantic . Geol. Soc. Amer. Bull., vol.88, p.695-710 .
- DARMEDRU C. (1982) : Variations de la microfaune dans les alternances marno-calcaire valanginiennes du domaine vocontien . 9° Réunion. ann. Sci. Terre, Paris, Soc. géol. France édit., p.179 .
- 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 (S-E France) . Bull. Soc. géol. France (sous presse) .
- DAVAUD E. & LOMBARD A. (1975) : Statistical approach to the problem of alternating of limestone and marl (Upper Oxfordian of the French Jura) . Eclog. Geol. Helv. vol.6813, p.491-509, 8 fig., 3 tabl.
- DAUMAS R.A. (1976) : Modifications des constituants organiques dans la couche superficielle des sédiments marins : minéralisation et diagenèse . Bull. Centre Rech. Pau SNPA, vol.10, n°1, p.149-158, 2 fig.
- DEANW.E., GARDNER J.V., JANSAN L.F., CEPER P., SEIBOLD E. (1978) : Cyclic sedimentation along the continental margin of Northwest Africa . Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., vol.41, p.965-989, 19 fig., 1 pl.
- DE RENEVILLE P. & RAYNAUD J.F. (1981) : Palynologie du stratotype du Barrémien . Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, vol.5, n°1, p.1-29, 5 fig.
- DEROO G., DE GRACIENSKY P.C., HABIB D., HERBIN J.P. (1978) : L'origine de la matière organique dans les sédiments crétacés du site IPOD 398 (haut-fond de Vigo) : corrélations entre les données de la sédimentologie, de la géochimie organique et de la palynologie . Bull. Soc. géol. France , sér.7, t.20, n°4, p. 465-469, 1 fig.
- DIESTER-HASS L. (1976) : Quaternary accumulation rates of biogenous and terrigenous components on the East Atlantic continental slope off N-W Africa. Marine Geol., vol.21, n°1, p.1-24, 25 fig.

- DIESTER-HASS L. (1977) : Radiolarian:planctonic foraminiferal ratios in a coastal up-welling region . Journ. For. Res., vol.7, n°1, p.26-33, 4 fig.
- DREYFUSS M. (1954) : Considerations sur la gènese des bancs dans les sédiments marins . Ann. Soc. géol. Nord, p.95-105 .
- DUPONT G. (1981) : Les communautés de foraminifères au Barrémien et au Bédoulien dans le bassin vocontien (chaines subalpines méridionales). Leur évolution lors du passage du bassin aux plates-formes bordières . Conséquences stratigraphiques et paléocéologiques . Thèse 3° cycle , Lyon, 2t., 264 p., 19 fig., 16 pl.(inédit)
- EDMOND J.M. (1974) : On the dissolution of the carbonate and silicate in the deep ocean . Deep Sea Res., vol.21, p.455-480 .
- EMILIANI C. & SHACKLETON N.J. (1974) : The Brunhes epoch ; isotopic paleotemperatures and geochronology . Science, vol.183, n°4124, p.511-514, 3 fig.
- EREZ J. (1979) : Modification of the oxygen isotope record in deep sea cores by Pleistocene dissolution cycles . Nature, vol.281, n°5732, p.535-538, 2 fig.
- ERICSON D.B. & WOLLIN G. (1956) : Micropaleontological and isotopic determinations of Pleistocene climates . Micropaleontology, vol. 12, n°3, p.257-270, 7 fig.
- FENELON J.P. (1981) : Qu'est ce que l'analyse des données . Lefonen édit., 311 p.
- FERRY S. (1976) : Cônes d'épandage bioclastique en eau profonde et glissements sous marins dans le Barrémien et l'Aptien inférieur vocontien de la Drôme . Implications paleostructurales . Thèse de 3° cycle, Lyon, n°586, 2fasc., 144 p. 48 fig. (inédit) .
- FERRY S. (1979) : Alternances marno-calcaire : comparaison du contenu minéralogique et faunique des bancs et interbancs dans le Barrémien vocontien (S-E de la France) . 7° Réun. ann. Sci. Terre , Lyon, Soc. géol. France édit., p. 189
- FERRY S. & SCHAAF A. ( 1981) : The early Cretaceous environment at Site 463 (Mid-Pacific Mountains) with reference to that of Vocontien Trough (French Subalpine Ranges) . Some comments on a widespread pelagic facies : limestone-marl alternations . Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., vol.62, p.669-682, 5 fig., 4 pl.
- GARDNER J. V. (1975) : Late Pleistocene carbonate dissolution cycles in the Eastern Equatorial Atlantic . Cushman Found. Foram. Res., spec. publ., n°13, p. 129-141 .
- GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON (1964) : Geological Society Phanerozoic time-scale . In : The Phanerozoic time-scale . Geol. Soc. London Quart. Journ., vol.120, p.260-262 .
- GIBSON T. G. & BUZAS M.A. (1973) : Species diversity : patterns in modern and Miocene foraminifera of the Eastern margin of North America . Geol. Soc. Amer. Bull., vol.84, p.217-238, 17 fig.
- GIGNOUX M. (1950) : Sédimentation rythmique dans les plaines maritimes et au fond des mers . C.R. Acad. Sci., t.250, p.695-698 .
- GOLL R.M. & BJORKLUND K.R. (1971) : Radiolaria in surface sediments of the Nord Atlantic Ocean . Micropaleontology, vol.17, n°4, p.434-454, 8 fig.

- GOLL R. M. & BJORKLUND K.R. (1974) : Radiolaria in surface sediments of the South Atlantic . Micropaleontology, vol.20, n°1, p.38-75, 16 fig.
- GRACIANSKY P. C. DE, BROSSE E., DEROO G., HERBIN J.P., MONTADERT L., MULLER C., SIGAL J. et SCHAAF A. (1982) : Les formations d'âge crétacé de l'Atlantique Nord et leur matière organique : paléogéographie et milieux de dépôt . Rev. Inst. franc. Petr., vol.37, n°3, p.275-336, 29 fig., 1pl.
- GUERIN S. (1981) : Utilisation des foraminifères planctoniques et benthiques dans l'étude des paléoenvironnements océaniques au Crétacé moyen : application au matériel des forages DSDP de l'Atlantique Nord et Sud . Comparaison avec la Téthys . Thèse de 3° cycle , Nice, Trav. C.R. micropaléontologique "Jean Cuvillier" n°2, 198p., 82 tabl., 9pl.
- GUERIN S. & MOULLADE M. (1979) : Les foraminifères dans les faciès "black shales" et assimilés : quelques réflexions sur le modèle vocontien au Crétacé inférieur. Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon, n°75, p.59-69, 2 fig.
- HALLAM A. (1964) : Origin of the limestone shale rhythm in the Blue Lias of England : a composite theory . Journ. Geol., vol.72, n°2, p.157-169, 6 fig.
- HEATH G.R. (1974) : Dissolved silica and deep-sea sediments . Soc. Econ. Paleont. Mineral., n°20, p.218 .
- HESSLER R.R. & SANDERS H.L. (1967) : Faunal diversity in the deep sea . Deep sea Res., vol.14, p.65-78 .
- HETCH A. D. (1974) : Quantitative micropaleontology and the amplitude of glacial temperatures changes in the Caribbean Sea, Gulf of Mexico and Equatorial Atlantic . In: Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène . Coll. Internat. C.N.R.S., 1973, n°219, C.N.R.S. édit., p. 211-219, 5 fig.
- HONJO S. (1976) : Coccoliths : production, transportation and sedimentation. Marine Micropaleont., vol.1, n°1, p.65-79, 2 fig., 2 pl.
- HURD D.C. (1972) : Factors affecting solution rate of biogenic opal in seawater. Earth planet. Sci. Lett., vol.15, p.411-414, 3 fig.
- IMBRIE J., J.Z. (1981) : Modeling the climatic response to orbital variations . Science, vol.207, n°4434, p.943-953, 5 fig.
- INGLE J., JR., KELLER G. et KOLPACK R. (1980) : Benthic foraminiferal biofacies sediments and water masses of the southern Peru-Chile Trench area, south-eastern Pacific Ocean . Micropaleontology, vol.26, n°2, p.113-150, 10 fig.
- JAMBU M. (1978) : Classification automatique pour l'analyse des données . I . Méthodes et algorithmes . Dunod édit., 310 p.
- JOHNSON T.C. (1974) : The dissolution of siliceous microfossils in surface sediments of eastern tropical Pacific . Deep Sea Res., vol.21, p.851-864, 8 fig., 5 tabl.
- JOUCHOUX A. (1982) : Les alternances pélagiques marnes-calcaires du bassin vocontien (S-E France) : essai de caractérisation géochimique des bancs et interbancs dans le Valanginien supérieur . 9° Réun. ann. Sci. Terre, Paris, Soc. géol. France édit., p.330 .

- KELLOGG T.B. (1976) : Late quaternary climatic changes : evidence from deep-sea cores of Norwegian and Groenland Sea . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.77-110, 23 fig.
- KENNEDY W.J. & ODIN G.S. (1982) : The Jurassic and Cretaceous time scale in 1981 . In : Numerical dating in Stratigraphy . ODIN G.S. édit., JOHN WILEY & sons éd., p.557-592, 12 tabl.
- KERR R.A. (1981) : Milankovitch climate cycles : old and unsteady. Science, vol.213, n°4, p.1095-1096, 2 fig.
- LABRACHERIE M. (1980) : Modifications de la circulation océanique au large du Cap Blanc (Afrique du Nord-Ouest) entre le dernier maximum glaciaire et l'époque actuelle . Apport des diatomées et des radiolaires . C.R. Acad. Sci., t.291, sér.D, p.601-604, 3 fig.
- LEBART L. & FENELON J.P. (1973) : Statistique et informatique appliquée . Dunod édit., 457 p.
- LEBART L. ,MORINEAU A. & TABARD N. (1977) : Techniques de la description statistique . Méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux . Dunod édit., 351 p.
- LEBART L. , MORINEAU A. & FENELON J.P. (1979) : Traitement des données statistiques . Méthodes et programmes . Dunod édit., 510 p.
- LE CALVEZ J. (1947) : Les perforations du test de Discorbis erecta (Foraminifère) . Bull. Dinard Lab. marit., vol.29, p.1-4 .
- LE CALVEZ Y. (1958) : Les foraminifères de la mer Celtique . Rev. Trav. Inst. Pêches marit., t.22, n°2, p.147-194, 3 pl.
- LECLAIRE L. (1974) : Late Cretaceous and Cenozoic pelagic deposits . Paleoenvironment and paleoceanography of Central Western Indian Ocean . Init.Rep. Deep Sea Drill. Proj., p.481-505, 9 fig.
- LE DOEUFF D. (1977) : Rythmes et contournements synsédimentaires en série carbonatée alternante. Reconstitution paléomorphologique au Crétacé inférieur dans les chaînes subalpines méridionales . Thèse 3° cycle, Orsay, n°295, 2 fasc., 239 p., 10 pl., 104 fig. (inédit)
- LISITZIN A.P. (1971) : Distribution of carbonate microfossils in suspension and in bottom sediments . In : The micropaleontology of oceans, FUNNELL B.M. & RIEDEL W.R. edit., Cambridge Univ. Press éd., p.197-218, 14 fig.
- LOMBARD A. (1956) : Géologie sédimentaire . Les séries marines . Masson & Cie édit., 722 p., 180 fig., 12 pl.
- LOMBARD A. (1972) : Séries sédimentaires . Genèse . Evolution . Masson & Cie édit.; 425 p., 89 fig.
- LOVE L. G. (1967) : Early diagenetic iron sulphide in recent sediments of the wash (England) . Sedimentology, vol.9, n°4, p.327-352, 6 fig.
- LOVE L.G. & MURRAY J.W. (1963) : Biogenic pyrite in recent sediments of Christchurch Harbour, England. Amer. Journ. Sci., vol.261, n°5, p.433-448, 1 fig., 2 pl.

- LOWENSTAM H.A. (1954) : Factors affecting the aragonite : calcite ratios in carbonate secreting marine organisms . Journ. Geol., vol.62, n°3, p.284-322, 15 fig.
- LOZANO J.A. & HAYS J.D. (1976) : Relationships of radiolarian assemblage to sediment types and physical oceanography in the Atlantic and Western Indian Ocean sectors of the Antarctic Ocean . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.303-336, 22 fig.
- LUZ B. & SHACKLETON N.J. (1975) : CaCO<sub>3</sub> solution in the tropical East Pacific during the past 130 000 years . Cushman Found. Foramin. Res., sp. publ., vol.13, p.142-150 .
- MC INTYRE A., KIPP N.G. et al. (1976) : Glacial North Atlantic 18 000 years ago : A climap reconstruction. Geol. Soc. Amer., mém.145, p.43-76, 18 fig.
- MAGNIEZ-JANNIN (1975) : Les foraminifères de l'Albien de l'Aube : paléontologie, stratigraphie, écologie . Cahiers paléontol. , C.N.R.S. édit., 360 p., 140 fig., 26 pl.
- MANGIN J.P.H. (1963) : Etude des phénomènes actuels d'érosion, de transport et de sédimentation conduisant à des dépôts alternants . C.R. Soc. géol. France, fasc.5, p.153-155 .
- MEULENKAMP J.E., DRIEVER B., JONKERS H., SPAAK P., GROOTJANS P., KOK C., DE MAN G., THEODORIDIS S., ZACHARIASSE W. (1979) : An empirical approach to paleoenvironmental analysis . 2: Changes in water mass properties and distribution of some Pliocene index species . Ann. Geol. Pays Hellen., t.hs., fasc.2, p.817-830, 1 fig.
- MICHEL D. (1982) : Les cycles astronomiques dans l'interprétation des rythmes des calcaires noduleux et lydiennes du Dévon-Dinantien du Mont Peyroux (Montagne Noire) . 9° Réunion. ann. Sci. Terre, Paris, Soc. géol. France édit. p.440 .
- MOORE R.C. (1964) : Treatise on invertebrate paleontology . Part C : Protista 2 (Foraminifera) . Geol. Soc. Amer. and Univ. Kansas Pr. édit., 2 vol., p.55-787, 642 fig.
- MOORE T.C., JR., BURCKLE L.H., GEITZENAUER K., LUZ B., MOLINA-CRUZ A., ROBERTSON J.H., SACHS H., SANCETTA C., THIEDE J., THOMPSON P. & WENKAM L. (1980) : The reconstruction of sea surface temperature in the Pacific Ocean of 18 000 B.P. Marin. Micropaleont., vol.5, n°3, p.215-247, 9 fig.
- MOORE T.C., PISIAS N.G., DUNN D.A. (1982) : Carbonate time series of the quaternary and late Miocene sediments in the Pacific Ocean : a spectral comparison . Marine Geol., vol.46, n°3-4, p.217-233, 8 fig.
- MOORKENS T.L. (1975) : Palökologische Bedeutung einiger Vergesellschaftungen von sandschaligen Foraminiferen aus dem N-W europäischen Alttertiär und ihre Beziehung zu Muttergesteinen. Gemeinsch. Verein Tiefbohrtechnik e.V. (VVT), p.77-94 .
- MORNEX N.A. (1974) : Sea level variations and climatic fluctuations . In : Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pleistocène . Coll. Internat. C.N.R.S., 1973, n°219, C.N.R.S. édit., p.135-141, 4 fig.
- MOULLADE M. (1966) : Etude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé inférieur de la "fosse vocontienne" . Docum. Lab. Fac. Sci. Lyon, n°15, 366p., 27 fig., 11 pl.

- MURRAY J.W. (1974) : A method of determining proximity of marginal seas to an ocean . Marine Geol., vol.22, n°2, p.103-119, 7 fig.
- NELSON D.M. & GOERING J.J. (1977) : Near surface silica dissolution in the up-welling region off northwest Africa . Deep-Sea Res., vol.24, n°1, p.65-73, 3 fig.
- NOEL D. (1968) : Nature et genèse des alternances de marnes et de calcaires du Barrémien supérieur d'Angles ( Fosse vocontienne, Basses Alpes) . C.R. Acad. Sci. sér. D, t.266, p.1223-1225, 2 fig.
- OLAUSSEN E. (1961) : Remarks on some Cenozoic core sequences from the Central Pacific with discussion of the role of Coccolithophorids and Foraminifera in carbonate deposition . Medd. Oceanograph. Inst., vol.29, p.1-35 .
- PAGNEY P. (1976) : Les climats de la terre . Masson édit., 150 p., 63 fig.
- PARSONS T. & TAKAHASHI M. (1973) : Biological oceanographic processes. Pergamon Press édit., 186 p., 58 fig.
- PELET (1981) : Orgon project : the distribution of organic matter in oceanic sediments . Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, vol.5, n°2, p.573-574 .
- PELTO C.R. (1954) : Mapping of multicomponent systems . Journ. Geol., vol.62, n°5, p.501-511, 6 fig.
- PERES J.M. & DEVEZE L. (1963) : Océanographie biologique et biologie marine . la vie pélagique . Press Univ. France, 514 p., 51 fig.
- PESSAGNO E.A. (1977) : Lower Cretaceous radiolarian biostratigraphy of the Great Valley sequence and Franciscan complex, California Coast Ranges. Cushman Found. Foram. Res., n°15, p.5-87, 8 fig., 12 pl.
- PHLERGER F.B. (1964) : Foraminiferal ecology and marine geology . Marine Geol., vol.1, p.16-43, 12 fig., 1 tabl.
- PISIAS N.G. (1976) : Late quaternary sediments of Panama Basin : sedimentation rates, periodicities and controls of carbonate and opal accumulation . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.375-388, 9 fig.
- PRELL W.L., GARDNER J.V., BE A.W.H., HAYS J.D. (1976) : Equatorial Atlantic and Caribbean foraminiferal assemblages, temperatures and circulation : interglacial and glacial comparaisons . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.247-266, 14 fig.
- PRELL W.L. & HAYS J.D. (1976) : Late Pleistocene faunal and temperature pattern of the Colombia Basin, Caribbean Sea . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.201-220, 13 fig.
- PUJOL C. (1980) : Les foraminifères planctoniques de l'Atlantique Nord au quaternaire . Ecologie. Stratigraphie. Environnement. Mém. Inst. Géol. Bass. Aquit., n°10, 250 p., 131 fig.
- RAYNAUD J.F. & ROBERT P. (1976) : Les méthodes d'étude optique de la matière organique . Bull. Centre Rech. Pau SNPA, vol.10, n°1, p.109-127, 1 fig., 2 tabl., 4 pl.
- REMANE J. (1960) : Les formations bréchiques dans le Tithonique du Sud-Est de la France . Trav. Lab. Geol. Fac. Sci. Grenoble, t.36, p.75-114 .

- RIEKE H.H. & CHILINGARIAN G.V. (1974) : Compaction of argillaceous sediments . Develop. Sediment. n°16, Elsev. Scient. Publish. Comp., 424 p., 217 fig.
- ROBIN M. (1960) : Etude micropaléontologique sur les marnes noires albo-cénomaniennes des Baronnies . Dipl. Etudes sup., Dijon, mém.34, 64 p. 8 fig. (inédit)
- ROWE G.T. (1981) : The deep-sea ecosystem . In : Analysis of marine ecosystems. LONGHURST édit., Academic Press éd., p.235-268, 9 fig.
- RUDDIMAN W.F. (1971) : Pleistocene sedimentation in the Equatorial Atlantic : stratigraphy and faunal paleoclimatology . Geol. Soc. Amer. Bull., vol.82, n°2, p.283-302, 14 fig.
- RUDDIMAN W.F. & MC INTYRE A. (1976) : Northeast Atlantic paleoclimatic changes over the past 600 000 years . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.111-146, 15 fig.
- SCHAAF A. (1981) : Late early Cretaceous Radiolaria from Leg 62 of the Deep Sea Drilling Project . Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., vol.62, p.418-470, 27 pl.
- SCHNEIDER V. (1974) : Aptian-Albian benthonic foraminifera from DSDP Leg 27, Site 259, 260 and 263, Eastern Indian Ocean : Leg 27, Deep Sea Drilling Project . Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., vol. 27, p.697-941 .
- SHACKLETON N.J. & OPDYKE N.D. (1976) : Oxygen-isotopic and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V 28-239, late Pliocene to latest Pleistocene . Geol. Soc. Amer., mém.145, p.449-463 .
- SLITER W.V. (1972) : Upper Cretaceous planktonic foraminiferal zoogeography and ecology eastern Pacific margin . Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecolog., vol.12, n°1-2, p.15-32, 11 fig.
- SLITER W.V. (1974) : Test ultrastructure of some living benthic foraminifers . Lethaia, vol.7, n°1, p.5-16, 9 fig.
- SLITER W.V. (1977) : Cretaceous foraminifers from the Southwestern Atlantic Ocean, Leg 36, Deep Sea Drilling Project. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., vol.36, p.519-573, 14 pl., 17 fig.
- SLITER W.S. & BAKER R. (1972) : Cretaceous bathymetric distribution of benthic foraminifers . Journ. Foram. Res., vol.2, n°4, p.167-183, 7 fig.
- SMITH A.G. & BRIDEN J.C. (1977) : Mesozoic and Cenozoic paleocontinental maps . Cambridge Univ. Press éd., 63 p., 53 fig.
- TAKAHASHI K. & HONJO S. (1981) : Vertical flux of radiolaria : a taxon quantitative sediment trap study from the western tropical Atlantic . Micropaleontology, vol.27, n°2, p.140-190, 4 fig., 15 pl.
- TANGRI A.K. (1980) : Paléopentes, glissements synsédimentaires et reconstitution de bassin dans le domaine vocontien (Valanginien - Hauterivien de la zone subalpine méridionale des Alpes occidentales françaises) . Thèse 3° cycle, Grenoble, 196 p., 58 fig., 11 pl.
- THIEDE J. (1973) : Planktonic Foraminifera in hemipelagic sediments : shell preservation off Portugal and Morocco . Geol. Soc. Amer. Bull., vol.84, p.2748-2754 .
- THIEDE J., PASTOURET L. & MELGEN M. (1974) : Sédimentation profonde au large du delta du Niger (Golfe de Guinée) . C.R. Acad. Sci., sér. D, t.278, p.987-990 .

THOMPSON P.R. (1976) : Planktonic foraminiferal dissolution and the progress towards a Pleistocene Equatorial Pacific transfer function . Journ. Foram. Res., vol.6, n°3, p.208-227, 11 fig.

THOMPSON P.R. (1981) : Planktonic Foraminifera in the Western North Pacific during the past 150 000 years : comparaison of modern and fossil assemblages . Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., vol.35, n°2-4, p.241-279, 17 fig.

THOMPSON P.R. & SAITO T. (1974) : Pacific Pleistocene sediments : Planktonic foraminifera . Dissolution cycles and geochronology . Geology, vol.2, p.333-335 .

THUNELL R.C. (1976) : Optimum indices of calcium carbonate dissolution in deep sea sediments . Geology, vol.4, p.525-528 .

VAN HINTE (1976) : A Cretaceous time scale . Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., vol.60, n°4, p.498-516, 9 fig.

VOLAT J.L., PASTOURET L. & VERGNAUD-GRAZZINI C. (1980) : Dissolution and carbonate fluctuations in Pleistocene deep-sea cores : a review . Marin. Geol., vol. 34, n°1-2, p.1-28, 6 fig.

WISEMAN J.D.H. (1956) : The rates of accumulation of nitrogen and calcium carbonate on the equatorial Atlantic floor . Adv. Sci., vol.12, p.579 .

ZWAAN G.J. Van der (1980) : The impact of climatic changes on deep-sea benthos . Palaeontology, sér. B, vol.83, n°4, p.379-397, 7 fig.

LISTE DES FIGURES

- 1 - Délimitation du bassin vocontien et localisation des coupes étudiées.....16
- 2 - Corrélation des différentes coupes lithologiques du faisceau dans le bassin vocontien ..... 17
- 3 - Série synthétique méso zoïque vocontienne post-Dogger et position stratigraphique des coupes étudiées ..... 18
- 4 - Coupe du Toulourenc - Valanginien ..... 20
- 5 - Carte des isopaques du faisceau valanginien ..... 21
- 6 - Schéma de la plaquette utilisée lors des comptages ..... 31
- 7 - Comparaison de deux échantillons issus d'un même niveau dans une même coupe ..... 34
- 8 - Variations verticales de la microfaune ..... 38
- 9 - La microfaune dans les marnes, les calcaires argileux délités et les calcaires ..... 42
- 10 - Situation du domaine vocontien par rapport aux masses continentales océaniques mondiales à l'Hauterivien ..... 47
- 11-- Correspondance entre la microfaune et la lithologie . Coupe du Toulourenc .Valanginien ..... 48
- 12 - Relation entre le pourcentage de carbonate des échantillons et leur abscisse sur le premier facteur . Analyse factorielle des correspondances - microfaune - Coupe du Toulourenc ..... 48
- 13 - Les Epistomina et la teneur en carbonate des sédiments ..... 50
- 14 - Les Trochammina et la teneur en carbonate des sédiments ..... 50
- 15 - Diversité de la microfaune et abscisse factorielle sur F1 des échantillons 51
- 16 - Diversité de la microfaune et teneur en carbonate des sédiments .....51
- 17 - Diversité des radiolaires et abscisse factorielle sur F2 des échantillons 52
- 18 - Diversité des radiolaires et teneur en carbonate des sédiments ..... 52
- 19 - Incidence de la variabilité des éléments microfauniques sur le reclassement des échantillons en fonction de leur teneur en carbonate .. 54
- 20 - Correspondance entre la microfaune et la lithologie . Bassin vocontien. Valanginien ..... 56
- 21 - Le pourcentage de carbonate des échantillons et leur abscisse Factorielle sur F1. Analyse factorielle des correspondances - microfaune - Bassin vocontien - Valanginien ..... 56
- 22 - Correspondance entre la microfaune et la lithologie . Gargasien ..... 57
- 23 - Le pourcentage de carbonate des échantillons et leur abscisse factorielle sur F1 . Analyse factorielle des correspondances - microfaune - Gargasien ..... 57
- 24 - Le rapport  $\frac{\text{Nombre d'éléments benthiques}}{\text{Nombre d'éléments planctoniques}}$  et le pourcentage de carbonate des sédiments valanginiens ou aptiens ..... 58
- 25 - Les foraminifères benthiques, les foraminifères planctoniques, les radiolaires et la teneur en carbonate des sédiments aptiens ..... 58

26 - Le pourcentage de radiolaires ronds pustuleux, calculé à partir de l'ensemble des éléments de la microfaune, et la teneur en carbonate des sédiments ..... 60

27 - Le pourcentage de radiolaires ronds réticulés, calculé à partir de l'ensemble des éléments de la microfaune, et la teneur en carbonate des sédiments ..... 60

28 - Correspondance entre les foraminifères benthiques et la lithologie Coupe du Toulourenc . Valanginien ..... 62

29 - Correspondance entre les foraminifères benthiques et la lithologie Bassin vocontien . Valanginien ..... 62

30 - Correspondance entre les foraminifères moins les Epistomina et la lithologie . Coupe du Toulourenc . Valanginien ..... 64

31 - Le logarithme de l'indice pyrite des échantillons et leur abscisse factorielle sur Fl ..... 64

32 - Correspondance entre les foraminifères benthiques et la lithologie. Gargasien ..... 66

33 - Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des sédiments et leur abscisse factorielle sur Fl . Analyse factorielle des correspondances - foraminifères benthiques . Gargasien ..... 66

34 - Les foraminifères à test agglutinant fin et la teneur en carbonate des sédiments . Valanginien ..... 67

35 - Les foraminifères à test agglutinant fin et la teneur en carbonate des sédiments . Gargasien ..... 67

36 - Les Gavelivella et la teneur en carbonate des sédiments ..... 67

37 - Les Dentalina et la teneur en carbonate des sédiments . Valanginien .... 68

38 - Les Dentalina et la teneur en carbonate des sédiments . Gargasien ..... 68

39 - L'abondance des Ammobaculites et la teneur en carbonate des sédiments .. 70

40 - Les foraminifères à test agglutinant grossier et la teneur en carbonate des sédiments ..... 70

41 - Les foraminifères à test agglutinant grossier et le nombre de radiolaires estimés dans les sédiments ..... 70

42 - L'abondance des Epistomina et la teneur en carbonate des sédiments ..... 72

43 - L'abondance des débris d'échinodermes de taille comprise entre 500 et 200 µm et la teneur en carbonate des sédiments ..... 72

44 - Les Spirillina néocomiana et la teneur en carbonate des sédiments ..... 73

45 - Correspondance entre les Lenticulina de taille supérieur à 200 µm et la lithologie ..... 74

46 - Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des échantillons et leur abscisse factorielle sur Fl. Analyse factorielle des correspondances : lenticulines de taille supérieur à 100 µm ..... 74

47 - Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des échantillons et leur abscisse factorielle sur Fl. Analyse factorielle des correspondances : lenticulines de taille supérieure à 200 µm ..... 74

48 - Les lenticulines ornées, les Lenticulina eichenbergi, les Lenticulina busnardoï, les lenticulines lisses et le taux de carbonate des sédiments ..... 76

49 - Diversité des lenticulines de taille supérieure à 200 µm et le taux de carbonate des sédiments ..... 78

50 - Diversité des foraminifères et teneur en carbonate des sédiments ..... 78

51 - La taille des lenticulines et la teneur en carbonate des sédiments ..... 79

52 - La taille des Dorothia et la teneur en carbonate des sédiments ..... 79

53 - Relation entre le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> des échantillons et leur abscisse factorielle sur Fl. Analyse factorielle des correspondances radiolaires y compris les radiolaires pyriteux ..... 81

54 - Correspondance entre les radiolaires et la lithologie. Coupe du Toulourenc - Valanginien ..... 84

55 - Correspondance entre les radiolaires et la lithologie. Bassin vocontien-Valanginien ..... 82

56 - Diversité des radiolaires et abscisse factorielle entre Fl des échantillons ..... 83

57 - Taux de carbonate et abscisse factorielle sur Fl des échantillons : Analyse factorielle des correspondance : ensembles des radiolaires non pyriteux ..... 83

58 - Les radiolaires ronds réticulés et le taux de carbonate des sédiments .. 84

59 - Les radiolaires ronds pustuleux et le taux de carbonate des sédiments .. 84

60 - Les Stylospherea et la teneur en carbonate du sédiments..... 84

61 - Les radiolaires coniques et la teneur en carbonate des sédiments ..... 84

62 - Taille des radiolaires ronds pustuleux et la teneur en carbonate des sédiments ..... 86

63 - Taille des radiolaires ronds réticulés et la teneur en carbonate des sédiments ..... 86

64 - Variations verticales de l'abondance de lamellibranches planctoniques ... 87

65 - Correspondance entre les éléments planctoniques et la lithologie .Aptien. 88

66 - Pourcentage en carbonate et abscisse factorielle des échantillons sur Fl . Analyse factorielle des correspondances - éléments planctoniques Aptien ..... 88

67 - Abondance des foraminifères planctoniques, celle des radiolaires et la teneur en carbonate des sédiments ..... 90

68 - Les Schackoina et la teneur en carbonate des sédiments ..... 90

69 - Lois de dissolution des tests carbonatés et de la silice biogénique ..... 91

70 - Teneur en carbone organique total et taux de carbonate des sédiments .... 96

71 - Abondance des coprolithes et taux de carbonate des sédiments ..... 96

72 - Les éléments végétaux et le taux de carbonate des sédiments ..... 98

73 - La matière organique amorphe et le taux de carbonate des sédiments ..... 98

74 - Correspondance entre la matière organique et la lithologie ..... 99

75 - Variations verticales de la composition de la matière organique ..... 100

76 - Importance des Trochammina et des Lenticulina dans le bassin vocontien .. 104

77 - Importance des Ammobaculites et des Dentalina dans les calcaires du bassin vocontien ..... 104

78 - Diversité des foraminifères dans le bassin vocontien ..... 104

79 - Concentration des foraminifères dans 100 g de sédiment dans le bassin vocontien ..... 106

80 - Importance des lenticulines lisses et des Lenticulina busnardoï dans les calcaires du bassin vocontien ..... 106

81 - Taille des lenticulines dans le bassin vocontien ..... 106

82 - Les lenticulines ornées dans le bassin vocontien ..... 107

83 - Importance des Lenticulina eichenbergi dans les marnes du bassin vocontien ..... 107

84 - Indice pyrite moyen dans les marnes du bassin vocontien ..... 107

85 - Diversité des lenticulines dans le bassin vocontien ..... 107

86 - Correspondance entre l'ensemble des Dorothia et la lithologie ..... 110

87 - Les Dorothia zedlerae, les Dorothia hauteriviana, les Dorothia kummi, les Dorothia sp. et la teneur en carbonate des sédiments ..... 111

88 - Importance des Dorothia kummi dans le bassin vocontien ..... 108

89 - Taille des Dorothia kummi dans le bassin vocontien ..... 108

90 - Taille des Dorothia dans le bassin vocontien ..... 108

91 - Importance des Dorothia hauteriviana dans le bassin vocontien ..... 112

92 - Importance des radiolaires ronds réticulés dans le bassin vocontien..... 113

93 - Importance des radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien ..... 113

94 - Importance des radiolaires de type "Xitus" dans le bassin vocontien .... 113

95 - Taille des radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien ..... 114

96 - Les radiolaires coniques dans le bassin vocontien ..... 114

97 - Diversité moyenne de l'ensemble des radiolaires dans le bassin vocontien 114

98 - Concentration des radiolaires et le taux de carbonate. Droites de référence ..... 115

99 - Taille des radiolaires ronds pustuleux et taux de carbonate des sédiments. Droite de référence ..... 115

100 - Concentration moyenne de radiolaires ronds réticulés dans le bassin vocontien ..... 116

101 - Rapport entre la concentration réelle et la concentration théorique des radiolaires ronds réticulés dans le bassin vocontien ..... 116

102 - Taille des radiolaires ronds réticulés dans le bassin vocontien ..... 116

103 - Concentration moyenne de radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien ..... 118

104 - Rapport entre la concentration réelle et la concentration théorique des radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien ..... 118

105 - Rapport entre la taille réelle et la taille théorique des radiolaires ronds pustuleux dans le bassin vocontien ..... 118

106 - Concentration moyenne de radiolaires dans le bassin vocontien ..... 119

107 - Flux moyen de radiolaires dans le bassin ..... 119

108 - Pourcentage moyen de carbonate contenu dans les sédiments ..... 119

109 - Epaisseur d'argile déposée dans le bassin vocontien ..... 120

110 - Epaisseur de carbonate déposée dans le bassin vocontien ..... 120

111 - Rapport entre l'épaisseur de carbonate déposée et celle des argiles dans le bassin vocontien ..... 120

LISTE DES TABLEAUX

I - Estimation dans un même échantillon des radiolaires coniques à partir de trois comptages différents ..... 32

II - Estimation de la composition de la microfaune dans un même niveau à partir de deux comptages indépendants ..... 33

III - Les durées du faisceau valanginien, comparaison entre les différentes valeurs obtenues selon les durées accordées en Valanginien par les auteurs ..... 44

IV - Inertie des trois premiers facteurs issus de l'analyse factorielle des correspondances des lenticulines de taille supérieure à 200 µm et celle des lenticulines de taille supérieure à 100 µm ..... 75

V - Importance des Stylospheara et celle des lamellibranches planctoniques dans les niveaux n° 35 et les autres niveaux du calcaires argileux déli-tés étudiés ..... 85

ANNEXE I : LOCALISATION DES COUPES ETUDIEES.

BZD : Bézaudun x = 824,13	Dieulefit 1/50 000 y = 261,62
PRD : Pradelle x = 834,13	Dieulefit 1/50 000 y = 261,80
VLV : Volvent x = 839,20	Dieulefit 1/50 000 y = 254,50
CLC : Chalancon x = 838,50	Dieulefit 1/50 000 y = 250,50
LCH : La Charce x = 846,83	Luc en Diois 1/50 000 y = 254,70
CTV : Chateauvieux x = 877,60	Gap 1/50 000 y = 255,75
SGT : Sigottier x = 865,05	Serres 1/50 000 y = 245,25
MLC : Monclus x = 866,75	Serres 1/50 000 y = 240,25
CHN : Chanousse x = 863,42	Serres 1/50 000 y = 235,90
PI : Piegion x = 824,25	Nyons 1/50 000 y = 227,65
SAB : Saint-Auban x = 845,37	Serres 1/50 000 y = 224,15
MNR : Morenas x = 846,10	Séderon 1/50 000 y = 219,60
TLR : Toulourenc x = 846,75	Séderon 1/50 000 y = 215,75
CSJ : Col St Jean x = 860,50	Séderon 1/50 000 y = 225,25
RNR : Reynier x = 901,15	Laragne-Montéglin 1/50 000 y = 229,60
BLG : Blégier x = 927,00	La Javie 1/50 000 y = 217,70
LPN : La Penne x = 924,75	Digne 1/50 000 y = 207,30
VLB : La Valbonnette x = 921,16	Digne 1/50 000 y = 191,58

AGL : Angles           Entrevaux 1/50 000  
      x = 937,35        y = 191,75

VRG : Vergons         Castellane 1/50 000  
      x = 940,00        y = 188,05

LX : Lioux            Moustiers Ste Marie 1/50 000  
LX I x = 928,68        y = 188,10  
LX 4 x = 931,45        y = 184,65

VLBP: Villebois les Pins   Serres 1/50 000  
      x = 861,25        y = 228,80

- 147 -

ANNEXE II : ABREVIATIONS EMPLOYEES

OSTR	: Ostracodes	COT	: Carbone organique total
FORA	: Foraminifères	IRO	: Indice de récupération organique
FOHY	: Foraminifères à test hyalin	MOAM	: Matière organique amorphe
EPIS	: <u>Epistomina</u>	ELVE	: Eléments végétaux
SPIR	: <u>Spirillina</u>	ELNO	: Eléments "lignem noirs"
LENT	: <u>Lenticulina</u>	CHAR	: Charbons
DENT	: <u>Dentalina</u>	ELFI	: Eléments figurés
VALV	: <u>Valvulineria</u>	ELTE	: Eléments terrestres
GAVE	: <u>Gave linella</u>	CHOR	: Chorates
AGFI	: Foraminifères à test agglutinant fin	DINP	: Dinoflagellés sans Chorates
DORO	: <u>Dorothia</u>	DINT	: Dinoflagellés totaux
AMDI	: <u>Ammodiscus</u>	DISS	: Dissaccates
GAUD	: <u>Gaudriynella</u>	SPPO	: Spores-Pollens sans Dissaccates
TROC	: <u>Trochammina</u>	KUMI	: <u>Dorothia kummi</u>
AGGR	: Foraminifères à test agglutinant grossier	ZEDL	: <u>Dorothia zedlerae</u>
AMBA	: <u>Ammobaculites</u>	HAUT	: <u>Dorothia hauteriviana</u>
AGTO	: Foraminifères à test agglutinant totaux		
FOPL	: Foraminifères planctoniques		
GUBK	: <u>Gubkinella</u>		
GLOB	: <u>Globigerinelloides</u>		
SCHA	: <u>Schackoina</u>		
HEDB	: <u>Hedbergella</u>		
RAPY	: Radiolaires pyriteux		
RARO	: Radiolaires ronds		
RARE	: Radiolaires ronds réticulés		
RAPU	: Radiolaires ronds pustuleux		
STYL	: <u>Stylosphera</u>		
RACO	: Radiolaires coniques		
RATO	: Radiolaires totaux		
BUSN	: <u>Lenticulina busnardoï</u>		
OUCH	: <u>Lenticulina ouachensis</u>		
EICH	: <u>Lenticulina eichenbergi</u>		
SCSU	: <u>Lenticulina</u> sans cal, ni côte, à sutures		
CACO	: <u>Lenticulina</u> à cal et à côtes		
LISS	: <u>Lenticulina</u> à cal, sans côte		
CCCA	: <u>Lenticulina</u> à cal, à côtes et à carène		
CASC	: <u>Lenticulina</u> à cal, sans côte et à carène		

TABLE DES MATIERES

Résumé .....	3
Avant-propos .....	5
Introduction .....	7
<u>PREMIER CHAPITRE : LE POINT SUR LES ALTERNANCES MARNE-CALCAIRE PELAGIQUES</u> .....	9
<u>I - ETAT DES CONNAISSANCES</u> .....	11
A - Dépôts gravitaires .....	11
B - Variations des conditions de milieu .....	11
1 - Variations périodiques de la profondeur du milieu .....	11
2 - Variations des apports terrigènes .....	11
3 - Variations de température .....	12
<u>II - LES ALTERNANCES MARNES-CALCAIRES CRETACEES DANS LE DOMAINE</u> <u>VOCONTIEN</u> .....	12
A - Rejet de l'hypothèse de la sédimentation gravitaire .....	12
B - Variations de la profondeur des fonds océaniques .....	13
C - Hypothèse retenue .....	13
D - Etude de la microfaune .....	13
<u>DEUXIEME CHAPITRE : CADRE DE L'ETUDE</u> .....	15
<u>I - INTRODUCTION</u> .....	19
<u>II - LE FAISCEAU DU TOULOURENC</u> .....	19
A - Caractères généraux.....	19
1 - Variations d'épaisseurs.....	19
2 - Variations de faciès .....	20
B - La coupe du Toulourenc .....	21
C - Les autres coupes du Valanginien .....	21
<u>III - LES MARNES BLEUES (GARGASIENNES A PSEUDO-ALTERNANCES)</u> .....	22
<u>TROISIEME CHAPITRE : METHODES D'ETUDE</u> .....	23
<u>I - PREPARATION DES ECHANTILLONS</u> .....	25
A - Prélèvements .....	25
B - Choix de la méthode d'étude .....	25
1 - La confection de lames minces .....	25
2 - Le lavage des sédiments .....	25

- C - Préparation des échantillons ..... 25
  - 1 - Les marnes ..... 25
  - 2 - Les calcaires ..... 26
  - 3 - Importance des pertes de résidus de lavages ..... 26
- II - ETUDE DES REFUS DE TAMIS ..... 26
  - A - Littérature utilisée ..... 26
  - B - Eléments microfauniques retenus ..... 27
    - 1 - Restes de métazoaires ..... 27
    - 2 - Foraminifères ..... 27
      - a - Foraminifères benthiques ..... 27
      - b - Foraminifères planctoniques ..... 29
    - 3 - Radiolaires ..... 30
      - a - Radiolaires ronds ..... 30
      - b - Radiolaires coniques ..... 30
      - c - Radiolaires étoilés ..... 30
  - C - Méthodes d'estimations ..... 30
    - 1 - Fraction de taille supérieure à 500 µm ..... 31
    - 2 - Fraction de taille comprise entre 500 - 200 µm ..... 31
    - 3 - Fraction de taille comprise entre 200 - 100 µm ..... 31
      - a - Faible quantité de résidu ..... 32
      - b - Forte quantité de résidu ..... 32
    - 4 - Fiabilité de ces estimations ..... 32
      - a - Sur un même échantillon ..... 32
      - b - Pour un même niveau ..... 33
- III - TRAITEMENT DES DONNEES ..... 33
  - A - Analyse factorielle des correspondances ..... 35
- QUATRIEME CHAPITRE : ANALYSE DES VARIATIONS DE LA MICROFAUNE ..... 37
  - I - VARIATIONS VERTICALES DE LA MICROFAUNE DANS LA COUPE DU TOULOURENC (VALANGINIEN) ..... 41
    - A - Etude des populations globales ..... 41
      - 1 - Variations calquées sur celles de la lithologie ..... 41
      - 2 - Variations d'ordre supérieur ..... 41
    - B - Variations relatives de divers genres ou morphogroupes ..... 41
    - C - Variations de la taille des différents organismes ..... 43
    - D - Conclusions ..... 43
  - II - VARIATIONS DE LA MICROFAUNE EN FONCTION DU TAUX DE CARBONATE DES SEDIMENTS ..... 49
    - A - L'ensemble de la microfaune ..... 49
      - 1 - Coupe du Toulourenc ..... 49
        - a - Les variables ..... 49
        - b - Les échantillons ..... 49
        - c - Vérification de la stabilité du reclassement des échantillons ..... 53
      - 2 - Bassin vocontien ..... 55

- 3 - Coupe de Villebois-les-Pins (Gargasien) ..... 55
- 4 - Conclusions ..... 59
- B - Le Benthos ..... 61
  - 1 - Coupe du Toulourenc ..... 61
    - a - Ensemble des foraminifères benthiques ..... 61
    - b - Foraminifères benthiques sans les Epistomina ..... 63
  - 2 - Bassin vocontien ..... 63
  - 3 - Coupe de Villebois-les-Pins ..... 65
  - 4 - Comparaison entre la composition de la microfaune benthique du Valanginien et celle de l'Aptien ..... 65
    - a - Généralités ..... 65
    - b - Relations entre les différents types de test de foraminifères et la nature des sédiments ..... 65
    - c - Taille et diversité des foraminifères benthiques ..... 76
  - 5 - Conclusions ..... 80
- C - Le plancton ..... 80
  - 1 - Valanginien ..... 80
    - a - Foraminifères planctoniques ..... 80
    - b - Radiolaires ..... 80
      - \* Coupe du Toulourenc ..... 80
      - \* Bassin vocontien ..... 89
  - 2 - Aptien ..... 89
  - 3 - Que signifie l'opposition Radiolaires-Foraminifères planctoniques ? ..... 91
    - a - Dissolution ..... 91
    - b - Diagenèse ..... 92
    - c - Modifications du milieu ..... 92
  - 4 - Conclusions ..... 92
- D - La matière organique ..... 93
  - 1 - Méthodes employées ..... 93
    - a - Mesure de la concentration de la matière organique ..... 93
    - b - Etude du palynofaciès ..... 93
  - 2 - Résultats ..... 95
    - a - Concentration de la matière organique dans le sédiments ..... 95
      - \* Consommation ..... 95
      - \* Conservation ..... 97
        - Taux de sédimentation ..... 97
        - Conditions d'oxydo-réduction ..... 97
    - b - Palynofaciès et lithologie ..... 97
    - c - Etude des variations verticales de la matière organique ..... 102
      - Variations verticales du carbone organique total ..... 102
      - Evolution verticale du palynofaciès ..... 102
  - 3 - Conclusions ..... 103
- III - INFLUENCES PALEO GEOGRAPHIQUES SUR LES VARIATIONS DE LA MICROFAUNE ..... 105
  - A - Variations relatives de la microfaune ..... 105
    - 1 - Foraminifères benthiques ..... 105
      - a - Données générales ..... 105
      - b - Lenticulina ..... 109
      - c - Dorothia ..... 109
      - d - Conclusions ..... 112
    - 2 - Radiolaires ..... 112

B - Variations de la concentration des éléments microfauniques..... 117

- 1 - Donnée de la microfaune ..... 117
  - a - Généralités ..... 117
  - b - Observations . ..... 117
- 2 - Données sédimentologiques ..... 121
  - a - Généralités ..... 121
  - b - Epaisseur d'argile déposée ..... 121
  - c - Le rapport  $\frac{\text{épaisseur CaCO}_3}{\text{épaisseur argile}}$  ..... 121
- 3 - Interprétation ..... 122

CONCLUSIONS GENERALES ..... 125

I - LIAISONS ENTRE LA MICROFAUNE ET LA LITHOLOGIE ..... 127

- A - Relation entre le taux de carbonate et la microfaune ..... 127
- B - Conséquences : gravité, dissolution ou processus biologiques ... 127

II - LIAISONS ENTRE LA MICROFAUNE ET LES CONDITIONS DE MILIEU ..... 128

- A - Organisation cyclique des variations de la microfaune ..... 128
- B - Importance des apports sur la production carbonatée ..... 128
- C - Importance de la circulation des eaux ..... 128

Bibliographie ..... 131

Liste des figures ..... 141

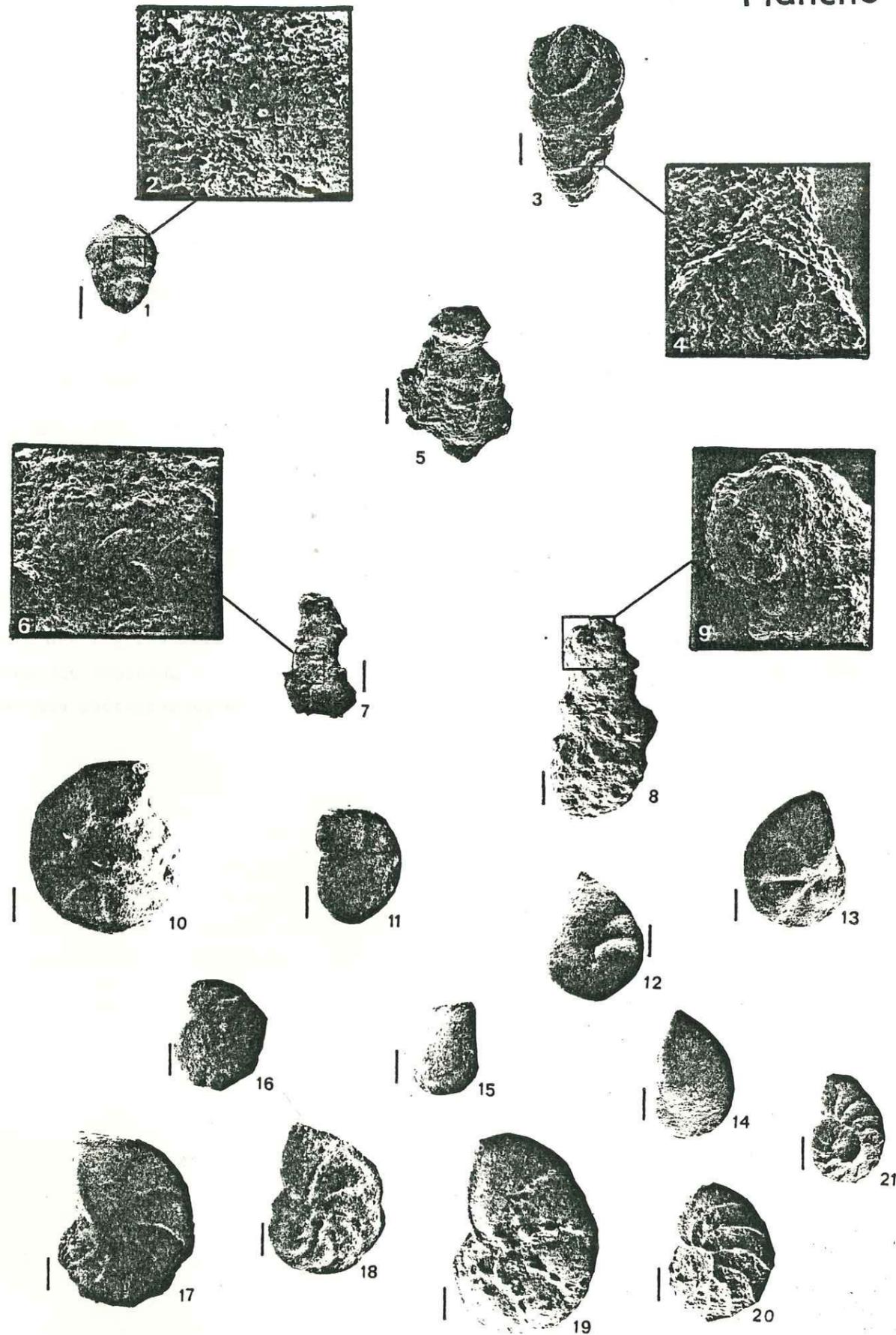
Liste des tableaux ..... 145

Planches photographiques .

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

---

# Planche 1



## PLANCHE I : LES FORAMINIFERES

### A - Les tests .

#### - Test hyalin perforé

1 : Lingulina . Valanginien . Coupe du Toulourenc . TLR n°51  
échelle : 100  $\mu\text{m}$

2 : Détail du test de Lingulina :  
La perforation du test reste visible .  
échelle : 10  $\mu\text{m}$

#### - Test agglutinant fin siliceux

3 : Gaudryinella . Valanginien . Coupe du Toulourenc . TLR n°51  
échelle : 100  $\mu\text{m}$

4 : Détail du test de Gaudryinella .  
L'agglutinat est composé d'éléments siliceux de petite taille .  
échelle : 10  $\mu\text{m}$

#### - Test agglutinant grossier

5 : Ammobaculites à gros quartz détritiques . Gargasien .  
Coupe de Villebois les Pins . VLBP n°20  
Cet exemplaire provient d'un niveau très argileux (30 % de  $\text{CaCO}_3$ )  
échelle : 100  $\mu\text{m}$

6 : Ammobaculites de "transition" : à quartz détritiques et radiolaires .  
Gargasien . Villebois les Pins . VLBP n°18  
Cet exemplaire provient d'un niveau à teneur en carbonate intermédiaire:  
(40 % de  $\text{CaCO}_3$ ) .  
échelle : 200  $\mu\text{m}$

7 : Détail du test de cet Ammobaculites de " transition" : quelques quartz  
restent visibles .  
échelle : 40  $\mu\text{m}$

8 : Ammobaculites agglutinant des radiolaires .Gargasien .  
Coupe de Villebois les Pins . VLBP n°2  
Cet exemplaire est issu d'un niveau assez carbonaté (50 % de  $\text{CaCO}_3$ )

9 : Détail d'Ammobaculites .  
De petits radiolaires sont visibles .  
échelle : 40  $\mu\text{m}$

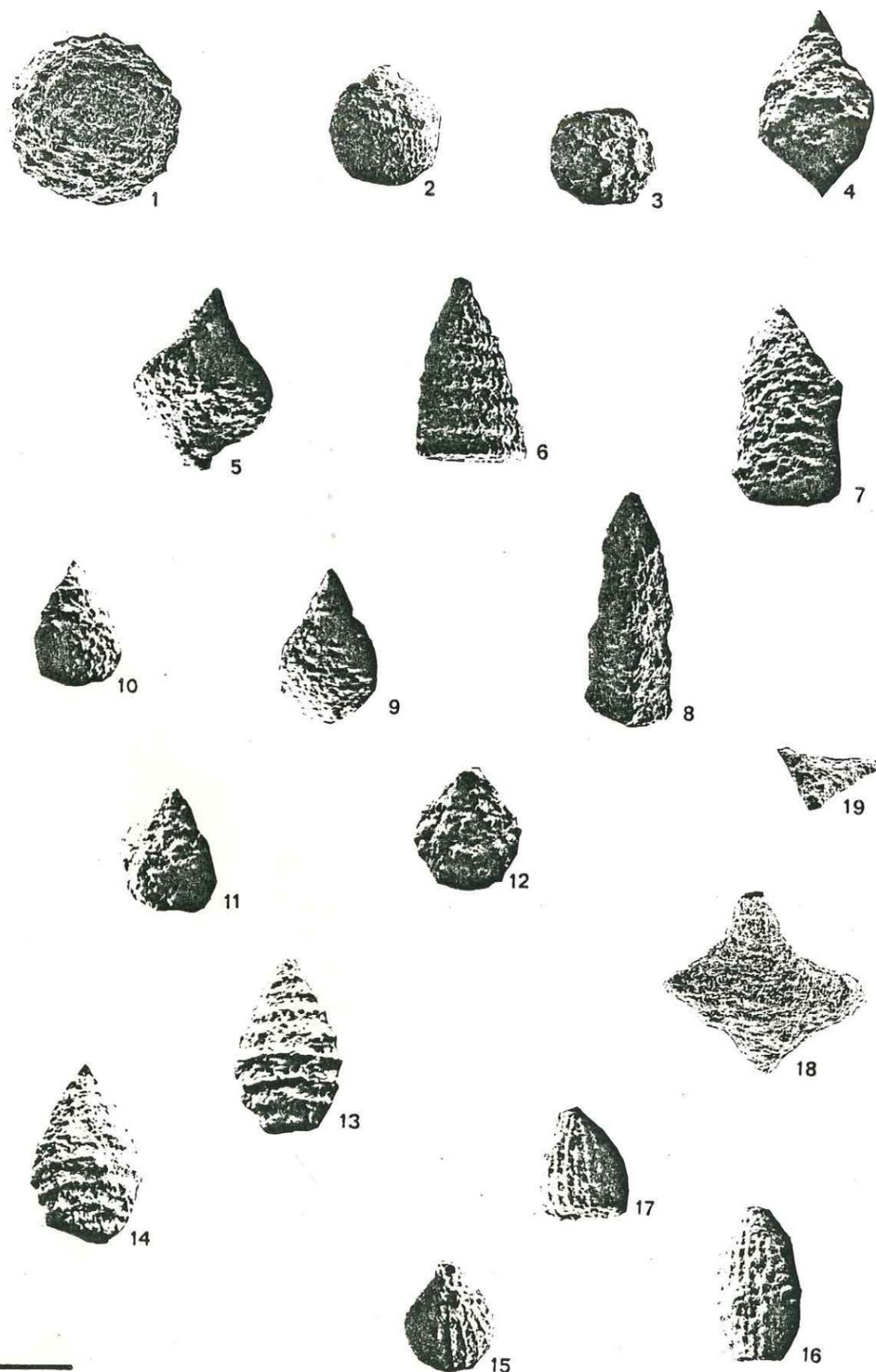
### B - Les morphotypes de lenticulines .

10,11 : Lenticulina busnardoï . Valanginien . Coupe du Toulourenc .  
TLR n 45 . échelle : 100  $\mu\text{m}$

12,13 : Lenticulines sans cal, avec suture . Valanginien . Coupe du Toulourenc  
TLR n°47 . échelle : 100  $\mu\text{m}$

- 14,15 : Lenticulines lisses . Valanginien . Coupe du Toulourenc .  
TLR n°49 . échelle : 100  $\mu$ m
- 16 : Lenticulines à cal, sans côte, à carène . Valanginien . Coupe du Toulourenc  
TLR n° 51 . échelle : 100  $\mu$ m
- 17 : Lenticulines à côtes, à carène et à cal . Valanginien . Coupe du Toulourenc  
TLR n°51 . échelle : 100  $\mu$ m
- 18, 19 : Lenticulina eichenbergi . Valanginien . Coupe du Toulourenc  
TLR n°45 . échelle : 100  $\mu$ m
- 20 : Lenticulina ouachensis . Valanginien . Coupe du Toulourenc . TLR n°45  
échelle : 100  $\mu$ m
- 21 : Lenticulina ouachensis . Valanginien . Coupe du Toulourenc . TLR n° 49  
échelle : 100  $\mu$ m

## Planche 2



100µm

## PLANCHE II : LES RADIOLAIRES

### Radiolaires ronds :

- 1 - Radiolaires ronds pustuleux . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6
- 2 - Radiolaires ronds réticulés . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n° 51
- 3,4 - Stylospheara . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6

### Radiolaires coniques

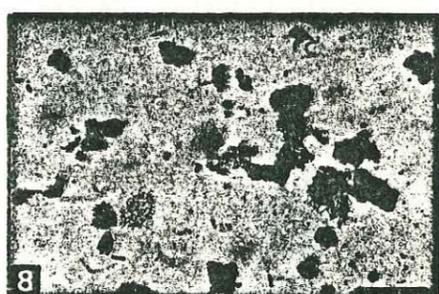
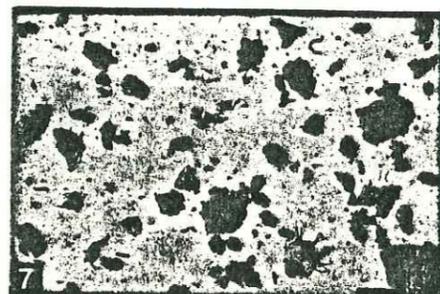
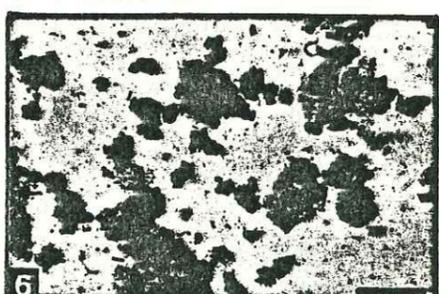
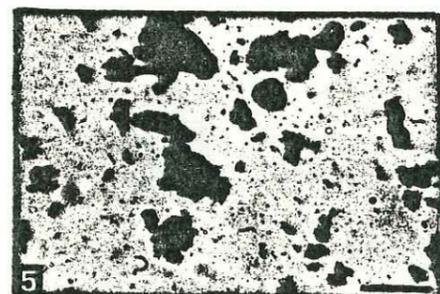
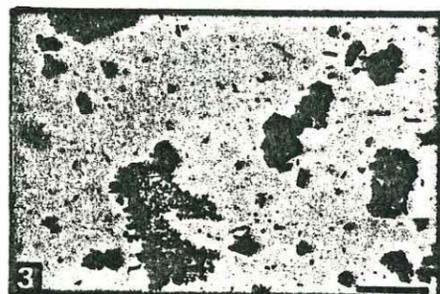
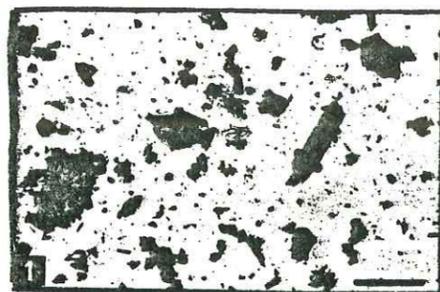
- 5 - Syringocapsa . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°51
- 6 - "Xitus" strié . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°51
- 7,8 - "Xitus" ponctué . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°51
- 9 - "Obercapsa" réticulé . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6
- 10 - "Obercapsa" réticulé de petite taille . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6
- 11,12 - "Obercapsa" pustuleux . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6
- 13,14 - Radiolaire indéterminé . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6
- 15,16,17 - "Archaeodictyomitra" . Valanginien .  
Coupe du Toulourenc . TLR n°6

### Radiolaires étoilés :

- 18 - à quatre branches . Gargasien .  
Coupe de Villebois les Pins . VLBP n°2
- 19 - à trois branches . Gargasien .  
Coupe de Villebois les Pins . VLBP n°2

# Planche 3

## PLANCHE III : LES PALYNOFACIES



### Les calcaires les plus riches en carbonate .

Les éléments végétaux sont toujours présents en assez grande quantité .

- 1 : TLR n°48 : 87 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 55 % , ELVE : 15 % , ELNO : 10 % , CHAR : 5 % , ELFI : 15 %  
 2 : TLR n°39 : 87 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 50 % , ELVE : 15 % , ELNO : 10 % , CHAR : 10 % , ELFI : 15 %

### Les calcaires à teneur en carbonate moyenne .

La matière organique amorphe est bien représentée .

- 3 : TLR n°1 : 81 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 87 % , ELVE : 3 % , ELNO : 5 % , CHAR : 5 % ,  
 4 : TLR n°52 : 77 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 70 % , ELVE : 10 % , ELNO : 5 % , CHAR : 5 % , ELFI : 10 %  
 Les éléments figurés sont essentiellement composés de dinoflagellés .

### Les calcaires argileux délités .

- 5 : TLR n°35 : 70,5 % de  $\text{CaCO}_3$  , niveau particulièrement riche en charbons .  
 MOAM : 65 % , ELVE : 5 % , ELNO : 10 % , CHAR : 15 % , ELFI : 5 %

### Les marnes .

Elles sont toujours riches en éléments carbonneux . Les dinoflagellés dominent l'ensemble des éléments figurés , les chorates prennent une part importante dans ces associations .

- 6 : TLR n°27 : 49 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 65 % , ELVE : 5 % , ELNO : 10 % , CHAR : 10 % , ELFI : 10 %  
 7 : TLR n°54 : 48,5 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 60 % , ELVE : 5 % , ELNO : 10 % , CHAR : 10 % , ELFI : 15 %  
 8 : TLR n°53 : 60,5 % de  $\text{CaCO}_3$  . Coupe du Toulourenc . Valanginien .  
 MOAM : 70 % , ELVE : - , ELNO : 5 % , CHAR : 10 % , ELFI : 15 %

L'échelle est représentée par le petit trait noir inclus dans chaque photo .  
 Ce dernier équivaut à 250  $\mu\text{m}$  .

Abréviations : voir annexe I et II .