

CORRELATIONS STRATIGRAPHIQUES

DANS LE LIAS DU QUERCY

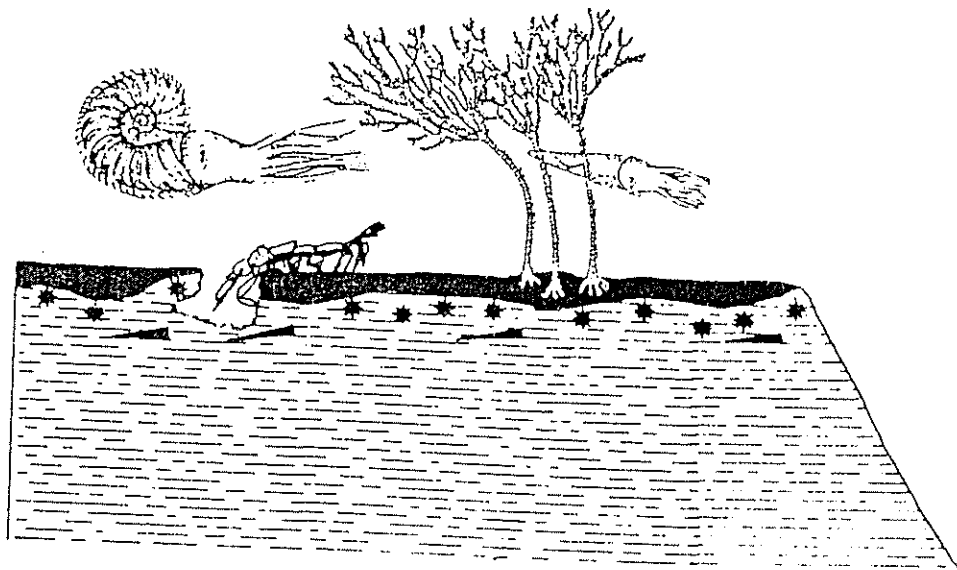
par

René CUBAYNES et Jacques REY

avec la collaboration de

François BRUNEL, Philippe FAURÉ, Christiane RUGET et Louis BONNET

LE LIAS DU QUERCY GENERALITES



1 - INTRODUCTION

A l'Est du bassin d'Aquitaine (fig. 1), le Quercy présente de larges affleurements des terrains jurassiques, en une bande longue de 200 km et large de 10 à 80 km, à faible pendage général (2 à 3 %) vers l'Ouest et le Sud-Ouest, et affecté par trois directions majeures de fracturation : N 20° E (direction de la faille de Villefranche-de-Rouergue qui limite le Quercy à l'Est), N 140° E (direction du linéament ouest-quercynois) et N 90° E (direction des linéaments empruntés partiellement par les tracés de l'Aveyron, du Lot et de la Dordogne). Le Lias arrive en affleurement sur toute sa bordure orientale depuis le dôme anticlinal de la Grésigne, au Sud, jusqu'à la limite du bassin de Brive, au Nord. Notre analyse portera essentiellement sur les affleurements méridionaux, entre la Grésigne et Figeac, à l'Ouest de la faille de Villefranche-de-Rouergue.

A la suite de la première synthèse de A. Thevenin (1903), les travaux menés depuis plusieurs décennies sur la composition stratigraphique (Gèze, Durand-Delga et Cavaillé, 1947 ; Lefavrais-Raymond et Le Calvez, 1963, 1964 ; Lefavrais-Raymond et Lafaurie, 1980), le contenu micropaléontologique (Dufaure, 1958 ; Depêche, 1968), la sédimentologie et l'organisation séquentielle (Delfaud, 1969, 1972, 1975, 1980) ont permis de larges avancées dans la connaissance du Jurassique quercynois. Les recherches plus récentes, réalisées dans le cadre de thèses d'Etat (Cubaynes, 1986 ; Hantzpergue, 1987) ou de spécialité (Pélissié, 1982) ont eu pour ambition d'associer un examen approfondi et renouvelé du contenu macro et micropaléontologique à une analyse lithostratigraphique et sédimentologique détaillées, prenant en compte l'examen des faciès et séquences de faciès aux diverses échelles d'observation. Ces dernières années ont été développées diverses études portant sur l'identification des séquences de dépôt dans le Lias moyen et supérieur, et sur les relations entre cortèges sédimentaires et associations de Foraminifères êtres benthiques (Bonnet et *al.*, 1994 ; Cubaynes et *al.*, sous-pressé ; Rey et *al.*, 1994 ; Qajoun, 1993).

2 - LA PALEOGEOGRAPHIE LIASIQUE

Au Lias, le Quercy était occupé (fig. 1) par un bassin sédimentaire structuré par des accidents d'origine hercynienne. De la région de Figeac à la région de la Grésigne se développait un bassin triangulaire à bordure faillée, limité par deux hauts-fonds et s'approfondissant vers le Sud, à l'intersection de la faille de Villefranche-de-Rouergue et du linéament ouest-quercynois (Cubaynes, 1986). La rupture de pente côtière coïncidait probablement, près de Villefranche-de-Rouergue, avec un paléoaccident d'orientation méridienne. Plus au Nord, la région de Gramat correspondait à un autre sous-bassin, probablement plus profond, aux rivages plus lointains, avec blocs basculés à pente vers le Nord.

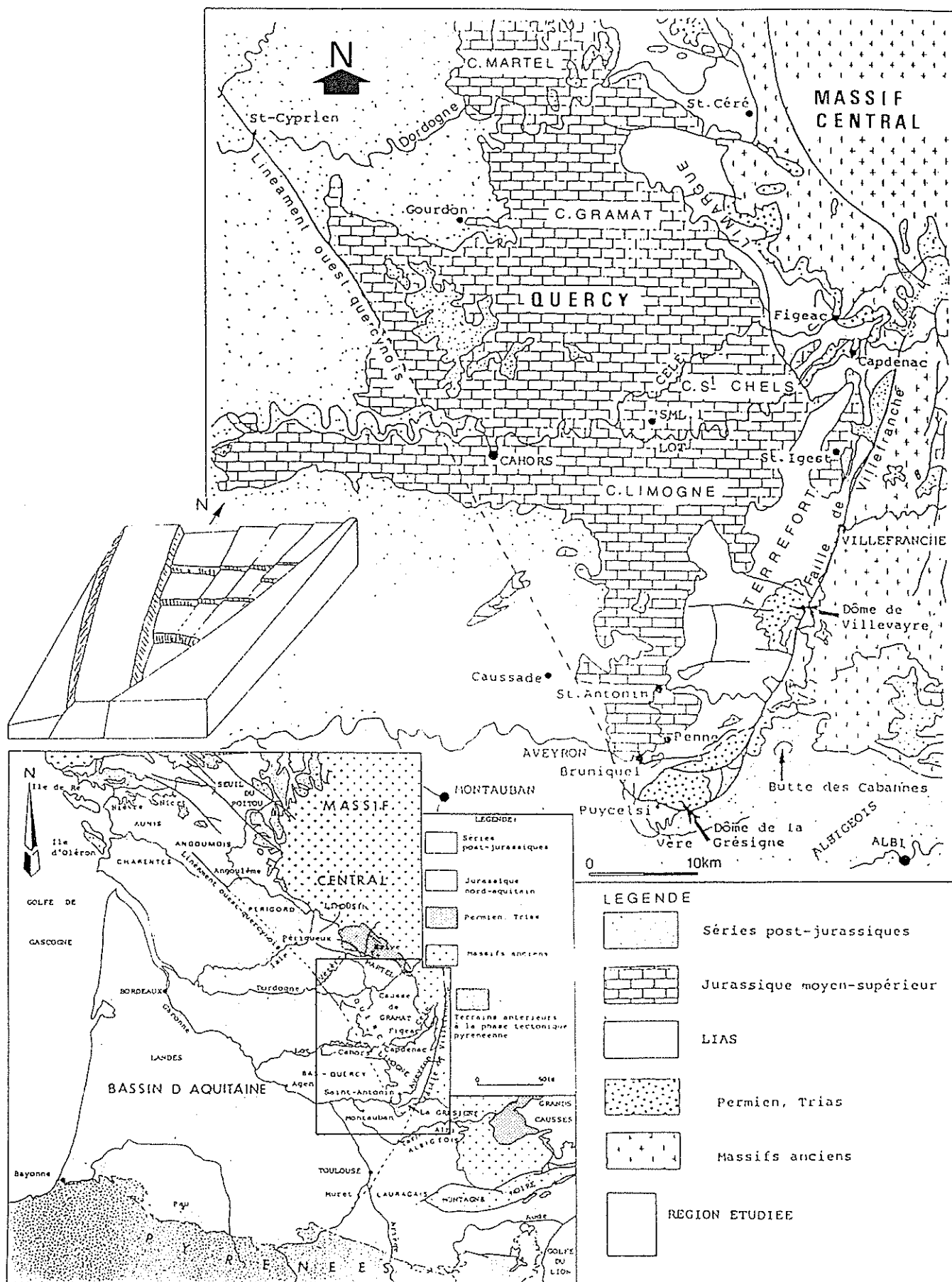


Fig. 1 - Esquisse géologique du Quercy. Sa place dans le bassin d'Aquitaine.

3 - LES UNITES LITHOSTRATIGRAPHIQUES

La série sédimentaire du Lias a été découpée (Cubaynes et *al.* 1989) en dix formations et onze membres dont nous rappellerons ici les principales caractéristiques lithologiques, paléontologiques et chronostratigraphiques (fig. 2).

Formation de la Madeleine

(R. Cubaynes, 1986 ; d'après S. Megelink-Assenat, 1982)

Epaisseur : 0 à 100 m.

Coupe-type : S. Megelink-Assenat (1982) propose la coupe du sondage CA2 (n° 858-3-262), l'un des cinq sondages réalisés par la CRAM VM dans le secteur des Cazaloux, au sud de la vallées du Lot, près du village de la Madeleine.

Définition : Reposant en discordance sur les Paléozoïque de la bordure sud-ouest du Massif central et sur des formations molassiques du Carbonifère-Permien (discontinuité DO), cet épandage fluviatile, essentiellement grés-argileux, précède la sédimentation marine ou lagunaire de l'Hettangien. L'épaisseur de cette série détritique est très variable. Nulle à l'est de Capdenac où l'Hettangien dolomitique repose directement sur le substratum, elle atteint 93 à 96 km, au sud-ouest, dans la vallée du Lot (coupe-type) puis se réduit progressivement vers le SSW (40 à 50 m dans le dôme de la Grésigne, 10 m dans le sondage de Nègrepelisse).

Cet épandage détritique témoigne d'une sédimentation continentale fluviatile. L'abondance des stratifications obliques arquées (d'échelle décimétrique à pluridécimétrique) et des chenaux, la rareté des stratifications tabulaires suggèrent l'image d'un réseau hydrographique avec de nombreux cours d'eau (type en tresses). La granulométrie des dépôts décroît du NNE vers le SSW, suivant le sens des écoulements (Grignac, 1983). La coupe type (Megelink-Assenat, 1982) montre au-dessus des dolomies de base, deux ensembles détritiques ("**Grès de Gaillot**", "**Grès de Cazaloux**") séparés par un mince niveau dolomitique, "**l'horizon de Villevayre**".

Les éléments de datation, fournis par des microfiores continentales, révèlent le diachronisme de cette formation qui semble d'autant plus récente que l'on se déplace du sud (Grésigne) vers le nord (Figeac) :

- microfiores d'âge Norien à *Classopollis* et *Ovalipollis pseudoalatus* dans les grès du sondage de Nègrepelisse (Grignac, 1983) ;

- microfiores d'âge Carnien-Norien à *Camerosporites*, *Enzonasporites*, *Ovalipollis*, *Duplicisporites* et *Paracirculina* dans la base des grès de la Grésigne (Boutet, 1980) ;

- microflore hettangiennes à *Classopolis* dans les grès des sondages de Figeac (Grignac et Taugourdeau-Lantz, 1982 ; Grignac, 1983) ;

- microflore hettangiennes à *Voltzia ribeiroi*, *Equisetites* cf. *pseudohoerensis*, *Otozamites conimbricensis* dans les grès fins au sud-ouest de Figeac (Doubinger et al., 1985).

Formation du Maillet

(R. Cubaynes, 1986 ; d'après S. Megelink-Assenat, 1982)

Epaisseur : 60 m

Coupe-type : carrières des Cabannes de Cordes (1,5 km à l'ouest de Cordes) pour sa partie inférieure ; au niveau du tunnel de chemin de fer d'Aussevaysse, le long de la route D 25 (entre le lieu-dit Notre-Dame et Aussevaysse) pour sa partie supérieure.

Age : Hettangien

Définition : Cette formation, essentiellement dolomitique, est limitée à sa base par les Grès de la Madeleine ou repose en discordance directe sur le socle à l'est de Capdenac. A son sommet, elle est interrompue par la discontinuité Da. La formation des Dolomies du Maillet se divise en deux membres qui sont, de la base au sommet : le membre des Dolomies en dalles (40 m dans la Grésigne) et le membre des Dolomies et argiles vertes (20 m dans la Grésigne).

- **Les Dolomies en dalles** sont disposées en bancs centimétriques à décimétriques avec des rares passées marno-dolomitiques finement laminées. Cette unité montre une évolution verticale avec la succession de séquences tidales métriques ordonnées du domaine infralittoral au domaine médiolittoral. Le développement successif de biofaciès à *Eomiodon* (Freneix et Cubaynes, 1984), de faciès cryptalgaires, de faciès stromatolitiques, de faciès à évaporites, et enfin de brèches de dissolution souligne le confinement progressif du milieu marin avec une augmentation de la salinité des eaux.

- **Les Dolomies et argiles vertes** tirent leur originalité du développement -en sommet de séquence tidale- d'argiles supralittorales à *Classopolis*. Les faciès sont ceux de lagunes ouvertes, de marais maritimes puis évoluent, avec le développement des mouchetures d'anhydrite et des brèches de dissolution, vers des faciès de sebkhas.

Dans les vingt kilomètres qui séparent le dôme de Najac-Villevayre des affleurements les plus méridionaux de la vallée du Lot, la totalité du membre des Dolomies en dalles disparaît. Le passage latéral de faciès entre ces dolomies et les Grès de la Madeleine semble se faire par l'intermédiaire de sédiments argilo-dolomitiques. Nous aurions ainsi, du nord au sud et au

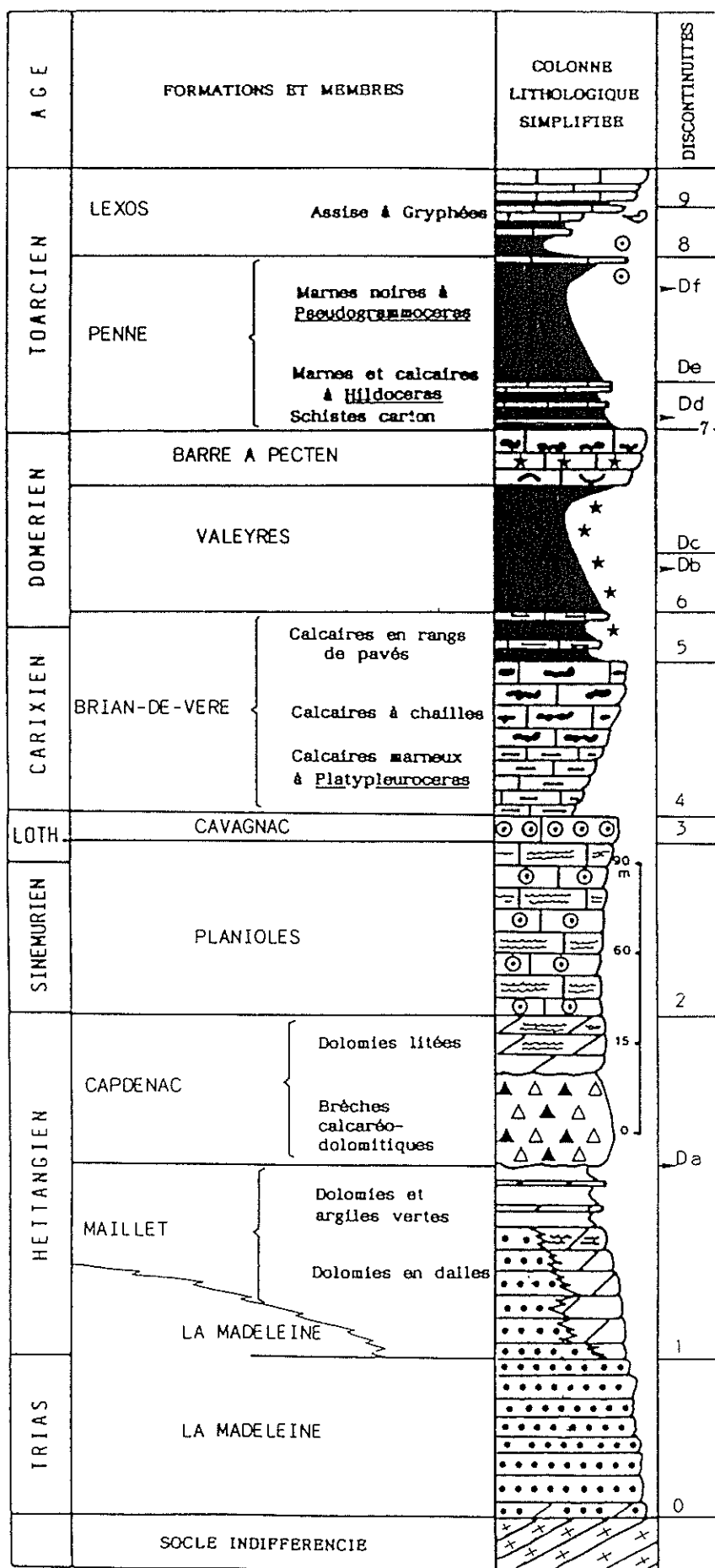


Fig. 2 - Les unités lithostratigraphiques du Lias.

SSW, une plaine fluviale margino-littorale (région de Figeac), un marais maritime (région de Saint-Igest) et un domaine marin plus ou moins confiné (région de Négrepelisse - La Grésigne). L'attribution stratigraphique de la Formation du Maillet est argumentée par des microflores continentales à *Classopollis* et *Araucariacites* (Boutet, 1980), (TERQUEN), *Cuneigervillia*, *Modiolus* et *Pteramya* (Freneix, Cubaynes, 1984).

Formation de Capdenac

(R. Cubaynes, 1986)

Epaisseur : 70 m à plus de 100 m.

Coupe-type : au sud de Brian-de-Vère (Tarn-et-Garonne), dans la vallée de la Vère, le long de la Route D 664.

Age : Hettangien.

Définition : Cette formation est comprise entre les discontinuités DA et D2. Elle est plus épaisse dans la région de Figeac-Capdenac (plus de 100 m) qu'en Grésigne (70 m). Nous y avons reconnu deux membres : **le membre des Brèches calcaréo-dolomitiques**, **le membre des Dolomies litées**. La majeure partie de cette formation est constituée par le membre inférieur des **Brèches calcaréo-dolomitiques** qui s'organise en séquences tidales de comblement avec développement de l'anhydrite en sommet de séquence. De telles séquences, avec précipitation de l'anhydrite au sien de boues carbonatées, évoquent les dépôts de sebkhas côtières du Golfe persique. La dissolution de l'anhydrite et les phénomènes de tassement confèrent à l'ensemble l'aspect d'une brèche de dissolution-tassement d'apparence massive et monotone ("cargneules" des anciens auteurs).

Au-dessus, le membre des **Dolomies litées** (20 à 25 m d'épaisseur) se compose de séquences élémentaires de comblement, d'échelle métrique, à faciès de plus en plus marins (infralittoral) à leur base et s'achevant d'abord par des récurrences d'évaporites puis par des tidalites (faciès cryptalgaires du domaine médiolittoral).

Formation de Planioles

(R. Cubaynes, 1986 ; d'après S. Megelink-Assenat, 1982)

Epaisseur : 30 à 60 m.

Coupe-type : nous proposons la coupe de la carrière de la commune de Campagnac (Tarn), à 600-700 m au SSW du village de Saint-Salvy.

Age : Sinémurien-Lotharingien inférieur

Définition : Ces calcaires gris clair, en bancs bien réglés, atteignant 0,50 m à 1 m d'épaisseur, sont caractérisés par des microrhythmes (à l'échelle centimétrique) d'origine stromatolitique (Rey et *al.*, 1982). La limite inférieure de cette formation correspond à l'apparition du premier banc de calcaires oolithiques francs ravinant les Dolomies litées (discontinuité D2). La limite supérieure est constituée par la surface durcie de la discontinuité D3.

Comme dans la formation sous-jacente, les divers faciès s'agencent en séquences tidales de comblement. Chaque séquence débute par un grainstone oolithique (tapis sableux du domaine infralittoral) puis se poursuit par un mudstone à bird-eyes, des niveaux stromatolitiques (domaine médiolittoral) pour se terminer soit par des brèches de dessiccation, soit par un paléosol, soit par des argiles à *Latochara durand-delgai* FEIST (Feist et Cubaynes, 1984) et à ostracodes. De tels faciès sont assimilables aux environnements actuels à Cyanophycées du Golfe persique et des Bahamas.

Les éléments de datation sont rares :

- à 21 m sous la discontinuité D3, une microflore continentale à *Lycopodiacites rugulatus* (coupe d'Aussevaysse) indiquerait un âge Sinémurien supérieur (Boutet, 1981) ;
- à 4,50 m et à 7 m sous cette même discontinuité, deux associations d'ostracodes (coupe de Milhars) à *Klinglerella luxuriosa* APOSTOLESCU et *Pleurifera* présentent plus d'affinités lotharingiennes que sinémuriennes ;
- enfin, au sommet de la formation, un niveau d'argiles (coupe de la carrière de la commune de Campagnac) renferme une association de nodosariidés avec *Dentalina multicostata* TERQUEM et *D. matutina* D'ORBIGNY ainsi que des ostracodes dont *Klinglerella undata* (APOSTOLESCU) indiquant le Lotharingien.

Formation de Cavagnac

(R. Cubaynes, 1986 ; d'après S. Megelink-Assenat, 1982)

Epaisseur : quelques cm à 7-8 m.

Coupe-type : tranchée du chemin de fer d'Aussevaysse à 400-450 m à l'est du hameau d'Aussevaysse.

Age : Lotharingien supérieur, zone à *Raricostatum*.

Définition : Cet ensemble de calcaires bioclastiques roux, gréseux et oolithiques à leur sommet, est compris entre la discontinuité D3 qui interrompt la formation sous-jacente et la discontinuité D4, post-lotharingienne, qui clôture le Lias inférieur calcaire. La formation de Cavagnac, dont l'épaisseur varie de 7 à 8 m dans la coupe-type à quelques centimètres dans la

région de Figeac, résulte d'un épandage de bioclastes, de gravelles, de pellets et d'oolithes sur une plate-forme marine de faible profondeur, dans le domaine infralittoral.

A l'extrême base de la formation, un mince niveau de marnes ocre est daté du Lotharingien supérieur (coupe de Milhars) par une microfaune de nodosariidés. La présence d'un *Paltechioceras* remanié (coupe de Bédier) sur la discontinuité D4 (Lefavrais-Raymond, 1950) pourrait confirmer l'âge Lotharingien supérieur de ces calcaires.

Formation de Brian-de-Vère

(R. Cubaynes, 1986)

Epaisseur : quelques dm à 55 m.

Coupe-type : vallée de la Vère le long de la route D 664 à Brian-de-Vère.

Age : Carixien inférieur (zone à Jamesoni, sous-zone à Taylori, horizon à Nodogigas) à Domérien basal (zone à Stokesi, sous-zone à Monestieri, horizon à Monestieri).

Définition : Ce premier ensemble de plate-forme distale est compris entre les discontinuités D4 et D6. Son épaisseur varie de 55 m dans la Grésigne à quelques décimètres sur les hauts-fonds de Figeac-Capdenac. Il a décomposé en trois membres :

- **Les calcaires marneux à *Platyleuroceras*** (Zone à Jamesoni) sont des biomicrites et des biopelmicrites, mudstone à wackestone. Le palynofaciès est caractérisé par la première apparition d'un microplancton marin, l'abondance de la matière amorphe non sapropélique et une microflore continentale à Cheirolépidiacées et à Ptéridophytes.
- **Les calcaires à chailles** (zones à Jamesoni et à Ibex) ont un microfaciès dominant de biopelmicrite (wackestone à packestone) à spicules de démosponges. Le matériel ligno-charbonneux, l'apparition des Tasmanacées et la diminution du microplancton d'acritarches marquent le retour d'une période plus agitée et des influences terrestres.
- **Les calcaires en rangs de pavés** (biomicrites pyriteuses) à nombreux *Aegoceras* (zone à Davoei) et à *Protogrammoceras* (horizons à Occidentale et à Monestieri) se composent d'une alternance rythmique de bancs calcaires décimétriques et de marnes. Le palynofaciès, avec la présence des Tasmanacées et l'apparition des *Spheripollenites*, dans la zone à Davoei, suggère un paysage de zones côtières peuplées de Cheirolépidiacées et d'un arrière-pays couvert de Ptéridophytes. Le climat chaud, sans doute humide, de type tropical persistera pendant tout le reste du Lias.

Formation de Valeyres

(R. Cubaynes, 1986)

Epaisseur: 15 à 35 m.

Coupe-type : versant Nord de la vallée du ruisseau de la Merdarié, affluent de la Vère, à hauteur du lieu-dit "la Boulbène".

Age : Domérien, zone à Stokesi, zone à Margaritatus, base de la zone à Spinatum.

Définition : Nous désignons ainsi l'ensemble des argilites et marnes comprises entre la discontinuité D6 et la formation des Calcaires bioclastiques à Pectinidés (Barre à Pecten).

La formation des Marnes de Valeyres conserve une épaisseur relativement constante de la Grésigne (30-35 m) à la région de Figeac (20-25 m) puis se réduit rapidement vers Capdenac (15 m).

Nous avons distingué deux membres : le membre des Argilites grises qui correspond à la plus grande partie de la zone à Stokesi et à la partie inférieure de la zone à Margaritatus et le membre des Marnes à taphoséquences de pente correspondant à l'extrême base de la zone à Spinatum.

- **Les Argilites grises**, avec un mélange de matériel amorphe non sapropélique et de matériel ligno-charbonneux, témoignent de la première arrivée massive de colloïdes dans le bassin quercynois. La succession de trois écozones de crinoïdes (à *Chladocrinus*, puis à *Chladocrinus* et à *Balanocrinus* enfin à *Balanocrinus*) souligne l'approfondissement calme et progressif du Bassin quercynois. La réalisation de vasières circalittorales à crinoïdes correspond à une phase d'homogénéisation de ce bassin. A 3-4 m du sommet de ce membre se développe une croûte ferrugineuse de 5 à 10 mm d'épaisseur (discontinuité Db), comprise entre un niveau à *Furcilytoceras* gr. *furcicrenatum* (BUCKMAN) et un horizon à *Protogrammoceras depressum* (Quenstedt) marquant l'extrême base de la zone à Margaritatus.

- **Les Marnes à taphoséquences de pente** signalent d'importants remaniements sédimentaires probablement sous l'action de tempêtes. La microflore continentale s'enrichit des premières Pinacées. Ce membre est constitué d'une dizaine de séquences binaires d'échelle métrique (taphoséquences), comprenant chacune un niveau décimétrique à métrique d'une accumulation de nodules calcaires ferrugineux plus ou moins coalescents, avec des formes contournées typiques de slumps, puis 1 à 3,50 m d'argilites à *Balanocrinus* et *Gryphaea gigantea* SOWERBY et *Mactromya* sp.

Formation de la Barre à Pecten

(R. Cubaynes, 1986)

Epaisseur : 10 à 20 m.

Coupe-type : carrière ouverte le long de la route D 33, au SSE de Château-Granier (à l'est de Penne, Tarn).

Age : Domérien supérieur (zone à *Spinatum*), extrême base du Toarcien (zone à *Tenuicostatum*, horizon à *Paltus*).

Définition : Ensemble massif de bancs décimétriques, gris ou roux, interrompu à son sommet par la discontinuité D7. Ces calcaires bioclastiques sont datés à leur base par *Pleuroceras solare* (PHILLIPS), dans leur partie supérieure par *Pleuroceras hawskerense* puis tout au sommet, par *Paltarpites paltus* (BUCKMAN). Les biomicrites, wackestone à packestone, représentent des dépôts bioclastiques du domaine infralittoral, colonisé par des grands Pectinidés tels *Pseudopecten (Pseudopecten) aequivalvis* (SOWERBY) ou par des *Pinna*.. Le palynofaciès se caractérise par un intervalle à Tasmanacées (Cubaynes et *al.*, 1984) et par l'abondance des Ptéridophytes.

Formation de Penne

(R. Cubaynes et Ph. Fauré, 1981)

Epaisseur : 30 à 60 m.

Coupe-type : coupe de Penne (Tarn) et coupe des cimenteries Lafarge de Lexos (Tarn-et-Garonne), le long de la route D 958.

Age : Toarcien inférieur à supérieur, zones à *Tenuicostatum*, *Serpentinus*, *Bifrons*, *Variabilis*, *Thouarsense* et zone à *Insigne*, sous-zone à *Fallaciosum*, horizon XVII.

Définition : L'unité est limitée par deux discontinuités sédimentaires : D7 à la base et D8 au sommet. Essentiellement marneuse, épaisse de 60 m (Grésigne) à 33 m (Capdenac), elle se compose de trois membres qui sont : le membre des Schistes carton, le membre des Marnes et Calcaires à *Hildoceras*, le membre des Marnes noires à *Pseudogrammoceras*.

- **Les Schistes carton** (zone à *Serpentinus*, sous-zone à *Strangewaysi*, horizon à *Elegantulum*) indiquent des fonds réducteurs, sans brassage, où règne une intensive activité anaérobie ; ils représentent le seul faciès sapropélique algaire du Lias quercynois. Ce membre se termine par un mince (10 à 15 cm) niveau de condensation à *Harpoceratoides strangewaysi* (SOWERBY), (horizon à *Strangewaysi*).

- **Les Marnes et Calcaires à *Hildoceras*** (zone à *Serpentinus*, sous-zone à *Pseudoserpentinum*, *Falciferum* et *Sublaevision*, zone à *Bifrons*, zone à *Variabilis*) correspondent d'abord à une alternance de bancs calcaires décimétriques et de marnes puis à des marnes. Ces dépôts du domaine infralittoral se caractérisent par le développement du microplancton algaire, et par leur richesse en nodosariidés et en ostracodes.

- **Les Marnes noires à *Pseudogrammoceras*** (zone à *Thouarsense*) indiquent le développement d'une vasière circalittorale avec des fonds réducteurs. Une oolithe ferrugineuse, couronnée par un banc de calcaires oolithiques, packestone à grainstone, lui-même interrompu par la discontinuité D8 post-Fallaciosum (zone à *Insigne*, sous-zone à horizon à *Fallaciosum*) clôture la formation.

Formation de Lexos

(R. Cubaynes et Ph. Fauré, 1981)

Epaisseur : 0 à 18 m.

Coupe-type : entrée de la carrière des cimenteries Lafarge à Lexos, le long de la route D 958.

Age : Toarcien supérieur, zones à *Insigne*, à *Pseudoradiosa* et à *Aalensis*.

Définition : Cette unité se compose de marnes sombres puis d'une alternance de marnes et marno-calcaires. Elle se place entre la discontinuité D8 et les calcaires aaléniens à *Leioceras opalinum* (REINECKE) et *Pseudammatoceras* sp., au sommet. Son épaisseur se réduit du sud (18 m en Grésigne) au nord (1,50 à 2 m à Figeac) avant de disparaître (Capdenac). Le développement des faunes benthiques (lamellibranches et brachiopodes de l'assise à Gryphées), des Tasmanacées, du matériel ligno-charbonneux, traduit le retour à des conditions plus agitées dans le domaine infralittoral et souligne de nettes tendances régressives. Cette formation évolue donc du domaine circalittoral (marnes noires) au domaine infralittoral.

4 - L'EVOLUTION PALEO GEOGRAPHIQUE ET SEDIMENTAIRE

4.1. LA CREATION D'UNE PLATE-FORME CARBONATEE AU LIAS INFÉRIEUR

La première transgression liasique, à l'Hettangien inférieur, se dirige du sud vers le nord et le nord-est. Elle entraîne la submersion progressive de plaines fluviales margino-littorales (Grès de la Madeleine) par une mer épicontinentale très peu profonde. Les dépôts des Dolomies du Maillet suggèrent l'image de côtes plates avec un ambiance de lagunes ouvertes, plus ou moins isolées par des cordons littoraux ou des flèches littorales. Le comblement développe graduellement une tendance continentale de plus en plus marquée dans les dépôts,

avec la réalisation de paysages de marais maritimes auxquels succède l'installation de sebkhas (Brèches calcaréo-dolomitiques). Cet épisode évaporitique est suivi d'un approfondissement relatif de la plate-forme proximale carbonatée, de 0 à 10 m de profondeur (Calcaires à microrhythmes), puis de 10 à 20 m (Calcaires oolithiques) par comparaison avec les environnements actuels du Golfe persique.

4.2.L'APPROFONDISSEMENT DU BASSIN QUERCYNOIS ET LES DEVELOPPEMENT D'ENVIRONNEMENTS DISTAUX

La limite Lotharingien-Carixien se caractérise par une nouvelle transgression marine qui se traduit par le dépôt du premier ensemble de marno-calcaires à ammonites (Calcaires de Brian-de-Vère). L'approfondissement des milieux de dépôt se poursuit pendant le Domérien inférieur-moyen avec l'installation des vasières circalittorales à *Balanocrinus*. Les eaux domériennes sont les plus profondes de tout le Lias quercynois. Le Domérien supérieur se caractérise par des dépôts carbonatés bioclastiques nettement moins profonds (Barre à Pecten). Dès le Toarcien inférieur, la mer s'avance à nouveau sur la plate-forme quercynoise. Cette nouvelle transgression est soulignée d'abord par des faciès anoxiques (schistes carton) puis par la généralisation de vasières infra et circalittorales moins profondes qu'au Domérien (faunes d'*Ectacrinus* puis d'*Isocrinus*). Enfin le Toarcien supérieur et l'Aalénien sont marqués par une évolution vers de nouveaux faciès de plate-forme carbonatée peu profonde.

5 - LES PRINCIPAUX FACTEURS DE L'EVOLUTION

5.1.LE CONTROLE TECTONIQUE

Pendant tout le Lias inférieur (Hettangien-Sinemurien), la plate-forme proximale quercynois se caractérise par une topographie uniforme. Au Sinémurien, les calcaires à Stromatolites de Planioles suggèrent l'image de vastes zones côtières plates, toujours à la limite de l'émersion. Dès le Lotharingien supérieur, le bassin quercynois présente une morphologie différenciée, attestée par les onlaps de la formation de Cavagnac (fig. 3). Cette phase de distension (crise lotharingienne des auteurs) coïncide avec une première discontinuité, qui est aussi eustatique (discontinuité D3). La discontinuité D4 qui couronne la Formation de Cavagnac est essentiellement tectonique, créant de nouvelles différenciations topographiques. En effet, dès le Carixien basal, le bassin quercynois présente une structure en héli-graben (fig. 4), limitée au sud et au sud-ouest par les linéaments ouest-quercynois (Durand-Delga, 1979), au nord et au nord-est par les hauts-fonds de la région Figeac-Capdenac, bordés par des failles d'orientation N 20° E.

Au Toarcien inférieur, un nouveau jeu distensif des failles majeures (faille de Villefranche-de-Rouergue, linéament ouest-quercynois) se traduit par une disposition en

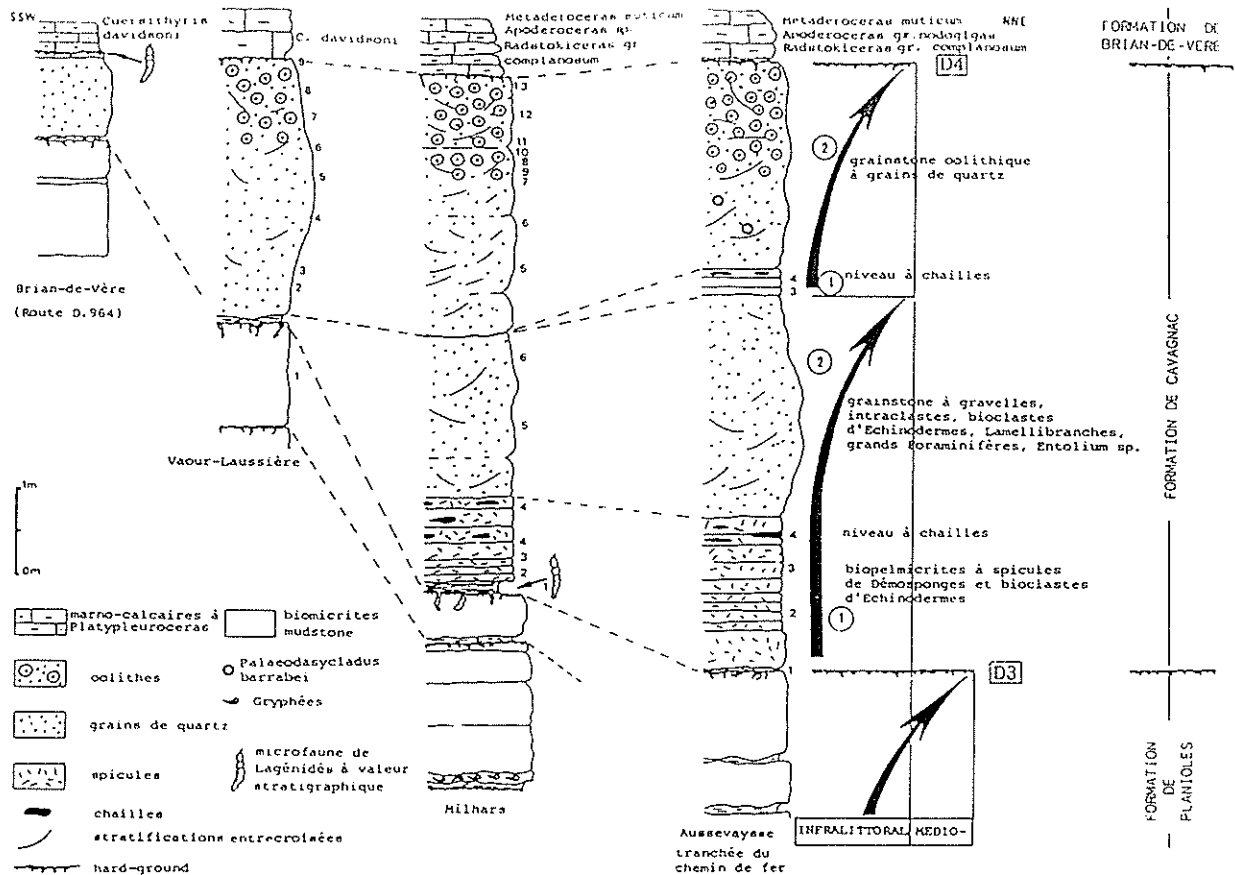


Fig. 3 - Coupes de la formation de Cavagnac dans la région de la Grésigne, montrant le dispositif en onlap au-dessus de la discontinuité D3

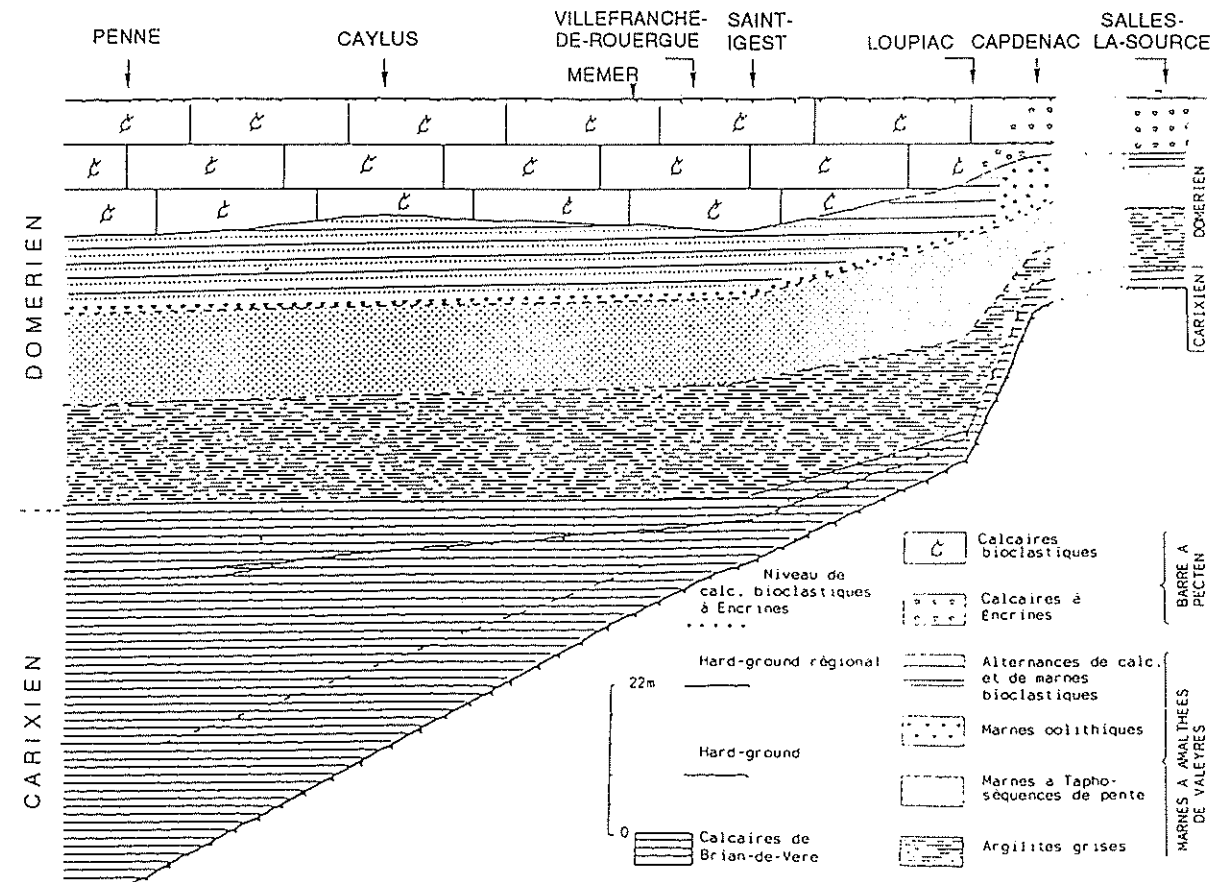


Fig. 4 - La structure en héli-graben du bassin liasique du Quercy méridional au Carixien-Domérien.

hémi-graben. Ce mouvement tectonique brutal s'exprime, dans la série sédimentaire, par la discontinuité D7" à fissures ouvertes orientées N-S à N 20° E.

5.2.LE CONTROLE CLIMATIQUE

L'influence des variations climatiques sur l'évolution sédimentaire a été principalement relevée au Lias et au Jurassique moyen.

Pour le Lias, on notera principalement l'opposition (démontrée par les associations palynologiques) entre un climat chaud et sec à l'Hettangien suivi d'une relative humidification au Sinémurien et un climat chaud et humide, de type tropical, au Lias moyen et supérieur.

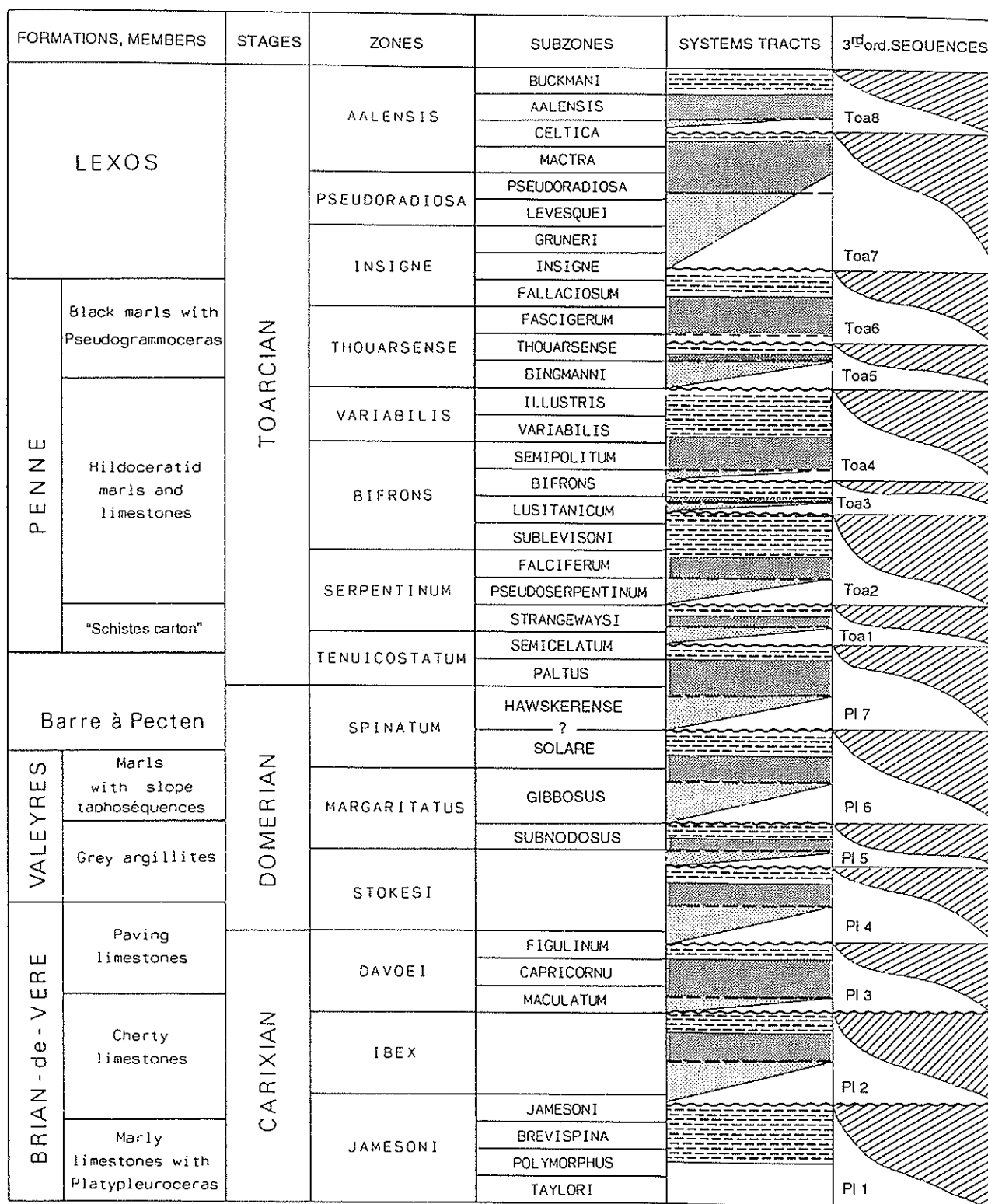
5.3.LE CONTROLE EUSTATIQUE

La stratigraphie séquentielle du Lias inférieur au Quercy est encore trop mal connue pour que l'on puisse proposer un découpage fiable en séquences de dépôt dans l'Hettangien et le Sinémurien.

Dans le Lias moyen et supérieur, quinze séquences de dépôts d'une durée moyenne de l'ordre de 1 M ont été identifiées en se fondant sur :

- les données géométriques (localisation des corps sédimentaires, variations des épaisseurs, biseaux de strates, entre la partie la plus distale du bassin, au sud, dans la région de la Grésigne, et la zone haute de Figeac-Capdenac, au nord) ;
- les indicateurs sédimentologiques et paléoécologiques de la bathymétrie ;
- la strato-fabrique dans les alternances calcaires-marnes (pouvant indiquer, à l'échelle des paraséquences, le caractère aggradant, progradant ou rétrogradant des dépôts) ;
- le traitement statistique des données micro-paléontologiques qui peut contribuer à l'identification des cortèges sédimentaires et des discontinuités ou disconformités stratigraphiques (Rey et *al.* , 1994, ; annexe en fin de livret-guide).

Sept séquences (numérotées Pl 1 à Pl 7) ont été reconnues au Pliensbachien (fig. 5), huit séquences (Tao 1 à Toa 8) au Toarcien. Elles sont généralement bien datées, à l'échelle de la sous-zone ou de l'horizon d'Ammonites. Nous analyserons plus particulièrement les séquences de la partie supérieure du Domérien (Pl 6, Pl 7) et du Toarcien inférieur à moyen (Toa 1 à Toa 4) qui seront présentées au cours de l'excursion.



LEGEND

- Maximum flooding surface
 Transgressive Surface
 Sequence boundary
 Hiatus landward

- Highstand systems tract
 Transgressive systems tract
 Lowstand prograding wedge
 shelf margin wedge systems tract

Fig. 5 -

5.3.1. - Les séquences de la partie supérieure du Domérien

Deux séquences couvrent les zones à *Margaritatus pro-parte* et à *Spinatum* (fig. 6) :

La séquence Pl 6 comprend, à la base, un ensemble de séquences élémentaires binaires (terme inférieur à nodules calcaires et faune remaniée ; terme supérieur d'argilites carbonatées à biocénoses de crinoïdes) formant le membre des "Marnes à taphoséquences de pente". Cet ensemble sédimentaire, à limite inférieure ravinant et qui disparaît vers le Nord-Est, aux approches de Villefranche-de-Rouergue, est interprété comme un cortège de bas niveau. L'intervalle transgressif sus-jacent est composé d'une alternance, sur 5 à 10 m, de calcaires et de marnes riches en crinoïdes (*Balanocrinus*). Son sommet appartient à la sous-zone à Solare. Un niveau de condensation à encrines est interprété comme la surface d'inondation maximale. Le prisme de haut niveau est représenté à la base de la "Barre à Pecten" ; il est organisé en plusieurs séquences associant des marnes strato décroissante et des calcaires bioclastiques à biostromes de brachiopodes. Il date de la sous-zone à Solare. Les cortèges transgressifs et de haut niveau de la séquence Pl 6 ont été identifiés dans tout le Quercy, en particulier sur les hauts-fonds de Villefranche-de-Rouergue et de Figeac.

La séquence 7 est représentée dans la partie moyenne et supérieure de la "Barre à Pecten". Son prisme de bordure de plate-forme, bien développé à Penne, d'épaisseur moindre à Caylus, et absent dans les régions de Villefranche-de-Rouergue et de Figeac, est constitué de calcaires à chailles (provenant de spicules de Démospoges) disposés en plusieurs séquences métriques qui associent des bancs épais de biomicrites à Pectinidés et *Pinna* en position de vie, et des bancs décimétriques de calcaire bioclastique. Toutes les surfaces de bancs sont ondulées (rides de courant à rostrés de Bélemnites orientés, fragments de crinoïdes, lignite). L'intervalle transgressif (sous-zone à Hawskerense), connu dans tout le Quercy, est formé de calcaires bioclastiques, riches en brachiopodes, disposés en bancs décimétriques à surfaces supérieures durcies, encroutées et taraudées par des organismes fouisseurs. La deuxième croûte ferrugineuse est interprétée comme la surface d'inondation maximale. Le prisme de haut niveau est mince, avec un à deux bancs de calcaires marneux et bioclastiques riches en Ammonites (sous-zone à Paltus et base de la sous-zone à Semicelatum).

5.3.2. Les séquences du Toarcien inférieur-moyen

Cinq séquences de dépôts de troisième ordre ont été reconnues dans le Toarcien inférieur et moyen (fig. 7) :

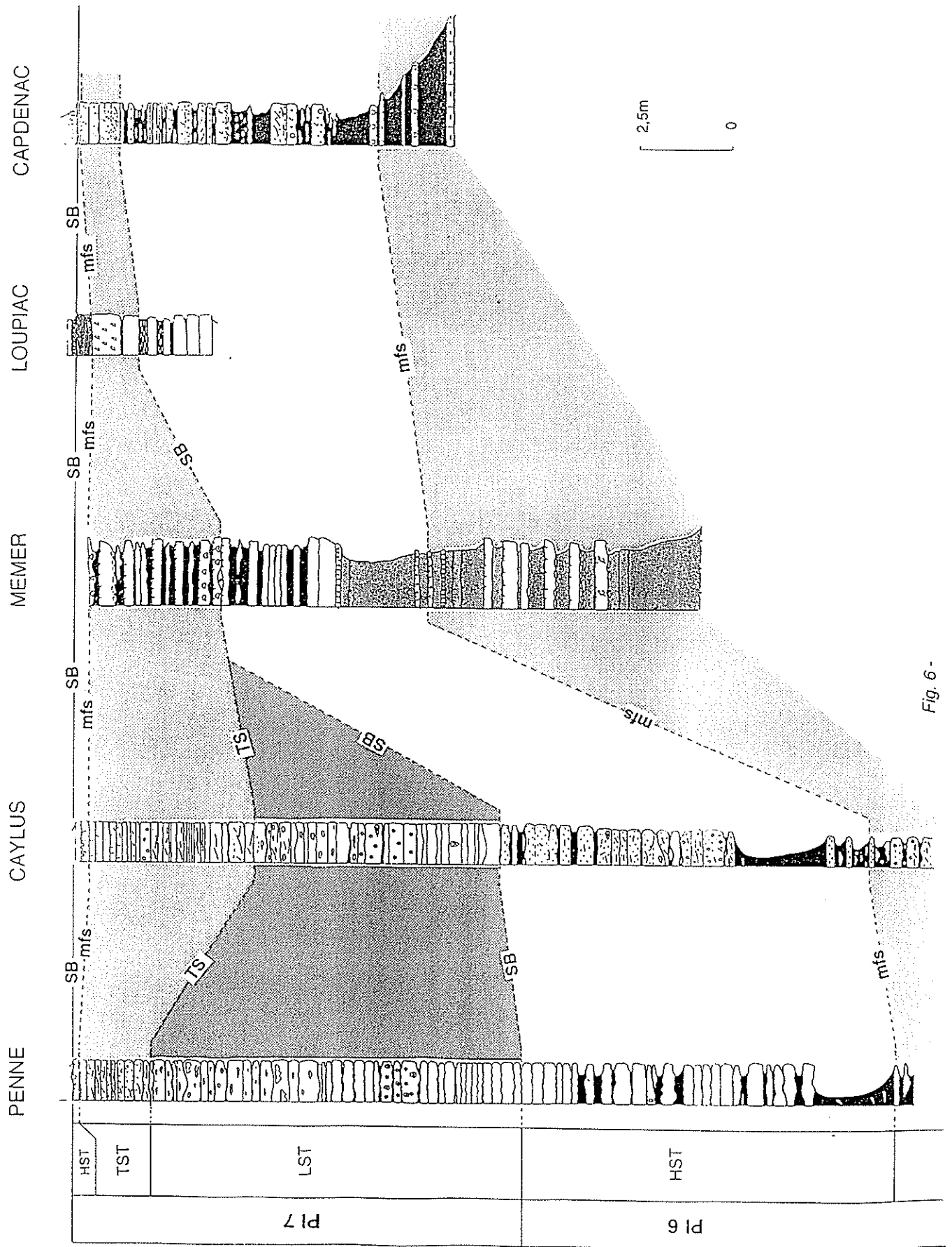


Fig. 6 -

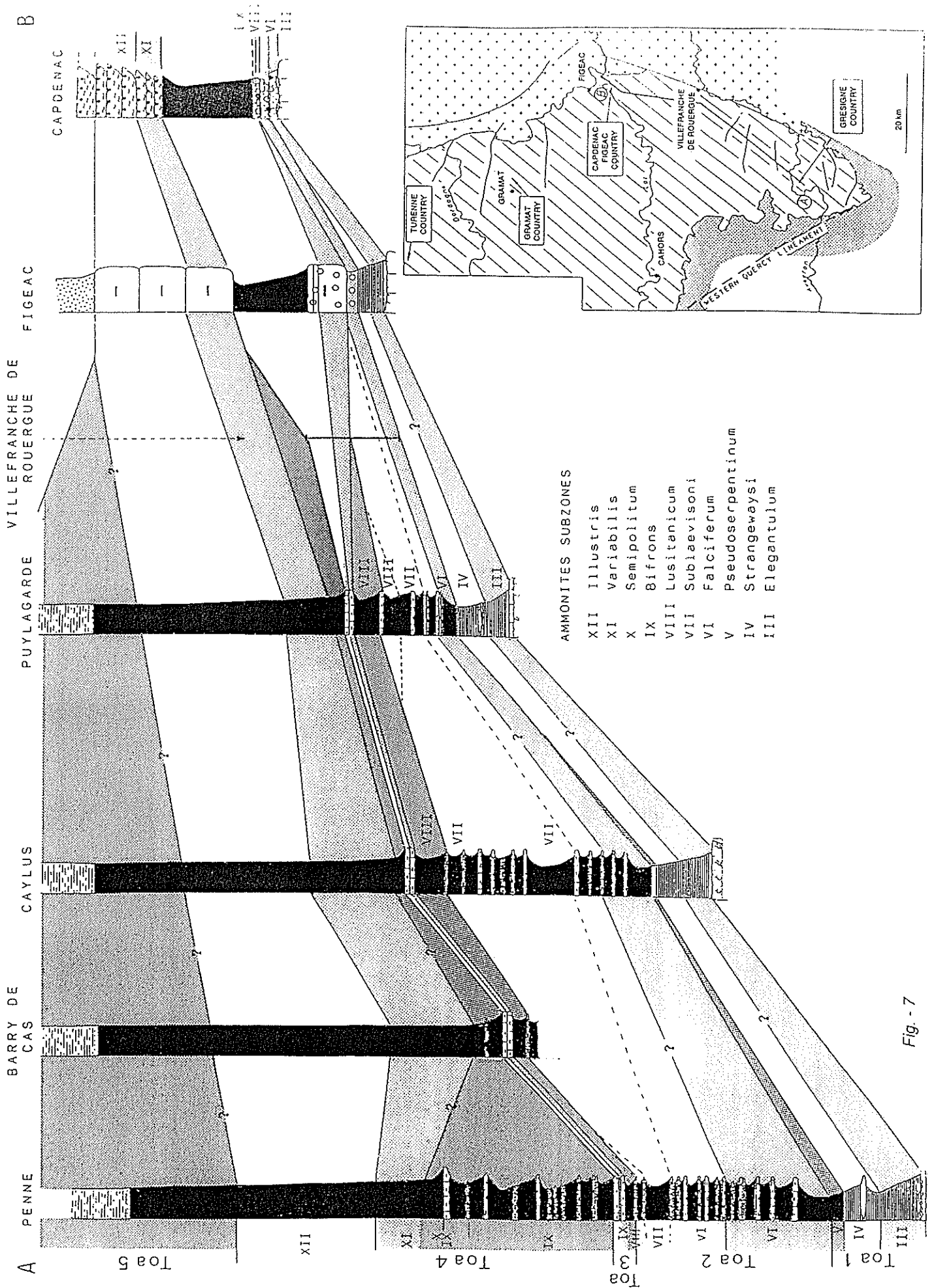
La séquence Toa 1 débute sur une surface d'érosion karstique, par un mince prisme de bordure de plate-forme argilo-gréseux, à bois flottés et fossiles remaniés (sous-zone à Semicelatum). Elle se continue par les dépôts anoxiques des "Schistes carton", représentant un intervalle transgressif et un prisme de haut niveau marin (horizons à Elegatulum et Strangewaysi).

La séquence Toa 2 possède un prisme de bordure de plate-forme bien développé au Nord de Gramat (sommet de l'horizon à Strangewaysi, sous-zone à Pseudoserpentinum). Ce cortège est très mince ou absent dans la région de la Grésigne. La surface de transgression est soulignée par un niveau riche et ammonites. Le cortège transgressif, marneux ou marno-calcaire, est surmonté par un prisme de haut niveau composé d'une alternance de calcaires et de marnes qui s'ordonnent en trois paraséquences de comblement, progradantes (sous-zone à Falciferum, Sublaevisoni, base de la sous-zone à Lusitanicum). Aucun critère lithologique ou stratonomique ne permet d'identifier la surface d'inondation maximale. Dans la région de Turenne, au Nord du Quercy (près du bassin de Brive), un intervalle condensé remplace ces deux cortèges transgressif et de haut niveau.

La séquence Toa 3, très mince, est rétrogradante. Elle date de la sous-zone à Lusitanicum et de la base de sous-zone à Bifrons. Le prisme de bordure de plate-forme repose sur une surface érosive ("toplap"), avec lacune stratigraphique et faune remaniée. Il est marneux, se biseaute vers le Nord Est et disparaît près de Villefranche-de-Rouergue. Deux ou trois bancs jointifs de calcaire, largement étendus sur tout le bassin, représente un intervalle condensé. La surface d'inondation maximale est située au sommet du premier banc calcaire. Le cortège de haut niveau s'épaissit vers le Nord, en direction du continent.

La séquence Toa 4 est une séquence de comblement. Elle fait suite à une nouvelle surface érosive. Le prisme de bordure de plate-forme est constitué d'une alternance de marnes et de calcaires (sous-zones à Bifrons et à Semipolitum). Il s'amincit et disparaît vers le Nord Est, au niveau de la plaine côtière. Le cortège transgressif est mince, marneux, très étendu (sous-zone à Variabilis). Il est surmonté par un banc noduleux et bioturbé riche en Ammonites (surface d'inondation maximale). Le cortège de haut niveau est marneux dans le domaine distal, plus calcaire et/ou oolithique sur la plate-forme proximale (sous-zone à Illustris).

La séquence Toa 5 débute par un prisme de bordure de plate-forme marneux (sous-zone à Illustris), au-dessus d'une surface érosive et rubéfiée à abondants débris ligniteux.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

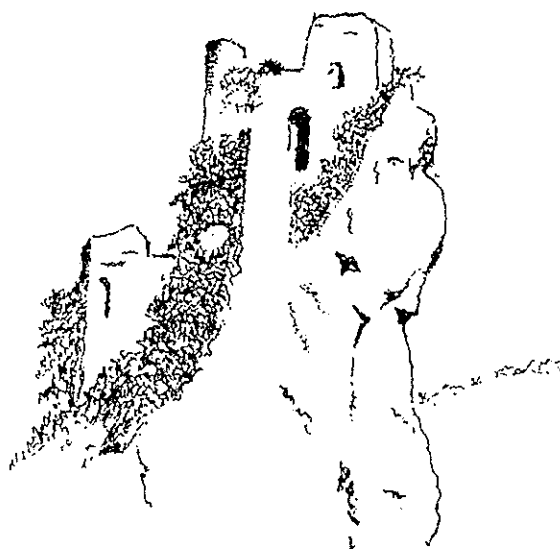
- Bally A.W. (1987) - Atlas of seismic stratigraphy. Am. Assoc. Pérol. Géol., Studies in Geology, n° 27, vol. 1.
- Bonnet L., Cubaynes R., Qajoun A, Rey J., Ruget C. (1994) - Indices biocoenotiques, cortèges sédimentaires et séquences de dépôt. Géobios, 27, 1, pp.23-38 , fig.8
- Boutet C. (1981) - Etude palynoplantologique du Trias et du Jurassique inférieur et moyen de Grésigne, Sud-Quercy, Thèse Doctorat 3° cycle, Université P. Sabatier, Toulouse, 161 p.
- Cubaynes R., Faure Ph., Boutet C., Delfaud J. (1984) - La mégaséquence d'ouverture du Lias quercynois (bordure sud-ouest du Massif Central français) : rapports entre environnements sédimentaires et palynofaciès, contexte climatique. C.R. Acad. Sci. Fr., (II), 298, pp. 83-88.
- Cubaynes R. (1986) - Le Lias du Quercy méridional : étude lithologique, biostratigraphiques, paléoécologique et sédimentologique. Strata, 2, 6, 574p., Thèse Doctorat d'Etat, Université P. Sabatier, Toulouse.
- Cubaynes R., Faure Ph., Hantzpergue P., Lefavrais-Raymond A., Pelissié Th., Rey J. (1987) - Le Jurassique du Quercy, Généralités ; livret-guide d'excursion. Strata, 2, 7, 159 p.
- Cubaynes R., Faure Ph., Hantzpergue P T. Pelissié Th., Rey J. (1989) - Le Jurassique du Quercy : unités lithostratigraphiques ; stratigraphie et organisation séquentielle ; évolution sédimentaire. Géologie de la France, 3, pp. 33-62, 15 fig. 11 tabl.
- Cubaynes R., Ruget C., Rey J., Bonnet L., Brunel F. (1994) - Communautés de Foraminifères benthiques et variations du niveau marin dans le Lias moyen du bassin d'Aquitaine. Géobios, (sous-presse).
- Delfaud J. (1969) - Essai sur la Géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurassique et le Crétacé inférieur. Thèse Doctorat d'Etat, Université Bordeaux, 5 vol.
- Delfaud J. (1972) - Application de l'analyse séquentielle à l'exploration lithostratigraphique d'un bassin sédimentaire. L'exemple du Jurassique et du Crétacé inférieur d'Aquitaine, Mém. B.R.G. M. Fr., 77, pp 593-611.
- Delfaud J. (1975) - Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôt. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), 15, 6, pp. 643-650.
- Delfaud J. (1980) - Le contexte paléogéographique des séquences d'échelle moyenne dans le Jurassique aquitain. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), 22, 4, pp. 575-579.

- Depeche F. (1968) - Etude micropaléontologique du Bathonien des Causses du Quercy (région de Cajrac), Rev. Micropal., 11, 4, pp. 210-216.
- Dhiersat G., Pélissié Th. (1985) - Séquences carbonatées internes régressives du Dogger des Causses du Quercy, Strata, 1, 2, pp. 23-45.
- Doubinger J., Grauvogel-Stamm, Felzines A. Lefavrais-Raymond A. (1985) - Découverte d'une macroflore d'âge hettangien dans les grès dits "triasiques" de la région de Figeac (Quercy), Bull. B.R.G.M. Fr., 3, pp. 323-327.
- Dufaure Ph. (1958) - Contribution à l'étude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique et du Néocomien de l'Aquitaine à la Provence. Rev. Micropal., 1, 2, pp. 87-115.
- Durand-Delga M. (1979) - L'anticlinal de la Grésigne (Tarn, Haut-Languedoc), résultat du coulisement d'un bloc crustal quercynois, C.R. Acad. Sci. Fr., (D), 289, pp. 9-Enay R., Mangold C., Cariow E., Contini D., Derbrand-Pasard S., Donze P., Cabilly J., Lefavrais-Raymond A., Mouterde R., Thierry J. (1980) - Synthèse paléogéographique du Jurassique français. Groupe Français d'Etude du Jurassique. Doc. Lab. Géol. Lyon. H.S., 5, 210 p.
- Feist M., Cubaynes R. (1984) - Découverte de Charophytes dans le Lias du Sud de la France. Implications paléoécologiques et phylogénétiques. C.R. Acad. Sci. Fr., (II), 299, pp. 593-596.
- Freineix S., Cubaynes R. (1984) - Biocaciès à *Cuneigervilleia-Pteromya* et biofaciès à *Eomiodon* dans l'Hettangien du Quercy (Aquitaine orientale). Géobios, 17, 1, pp. 5-17.
- Gabilly J. (1976) - Le Toarcien à Thouars dans le Centre-Ouest de la France. Biostratigraphie. Evolution de la faune (*Harpoceratinae*, *Hildoceratinae*). Editions C.N.R.S., les Stratotypes Français, 3, 217 p.
- Cabilly J., Cariou E., Hantzpergue P. (1985) - Les grandes discontinuité stratigraphiques du Jurassique : témoins d'événements eustatiques, biologiques et sédimentaires. Bull. Soc. Géol. Fr., (8), I, 3, pp. 391-401.
- Geze B., Durand-Delga M., Cavaillé A. (1947) - Cycles sédimentaires et épisodes tectoniques d'âge secondaire dans les Causses méridionaux du Quercy. C.R. Acad. Sci. Fr., 224, pp. 133-135.
- Grignac C., Taugourdeau-Lantz J. (1982) - Découverte de microflores d'âge hettangien dans l'épandage grésoconglomératique "Triasique" formant la base du Mésozoïque de la région de Figeac-Capdenac (Quercy). C.R. Acad. Sci. Fr., (2), 295, pp. 57-62.
- Grignac C. (1983) - Contribution à l'étude des sédiments détritiques post-hercyniens de la bordure sud-ouest du Massif central (France). Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université P. Sabatier, Toulouse, 211 p.
- Haq U.B., Hardenbol J., Vail P.R. (1987) - Chronology of fluctuating sea level since the Triassic. Science, 35, pp. 1156-1166.

- Hantzpergue P. (1987) : Les Ammonites kimmeridgiennes du haut-fond d'Europe occidentale (*Perisphinctidae*, *Aulacostelphanidae*, *Aspidoceratidae*). Biochronologie, Systématique, Evolution, Paléobiogéographie. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Poitiers 568 p.
- Lefavrais-Raymond A. (1950) - Le Pliensbachien du Lot. C.R. Somm. Soc. Géol. Fr., 9, pp. 147-148.
- Levafrais-Raymond A., Le Calvez Y. (1963) - Etude détaillée du Lias moyen et supérieur des sondages implantés par l'Asturienne des Mines dans la région de Bel-Air et du Castelet (Sud de Figeac). Rapport B.R.G.M., DS 63 à 43.
- Levafrais-Raymond A., Le Calvez Y. (1964) - Sondage de Théminettes, Rapport B.R.G.M., DS 64 A 94.
- Levafrais-Raymond A., Lafaurie G. (1980) - La "Crise lotharingienne" sur la bordure d'Aquitaine, Quercy en particulier. Ses répercussions du Carixien. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), 22, 4, pp. 613-621.
- Megelink-Assenat S. (1982) - Le Trias et le Lias de la bordure aquitaine du Massif Central français : fin du remblaiement post-hercynien et modalités d'une transgression dans un contexte pré-atlantique. Thèse Doctorat d'Etat, Université Claude-Bernard, Lyon, 354 p.
- Pelissié Th. (1982) : Le Causse jurassique de Limoge-Quercy Stratigraphique, Sédimentologie, Structure. Thèse de Doctorat 3° cycle, Université P. Sabatier, Toulouse, 281 p.
- Qajoun A. (1993) - Le Toarcien du Quercy Septentrional : stratigraphie et micropaléontologie *Strata*, 2, 22, 263 p. 75 fig, 15 pl.
- Rey J., Peybernes B., Faure Ph. (1981) - Les Stromatolithes du Lias inférieur aquitano-pyrénéen. Archives Sciences Genève, 34, pp. 191-190.
- Rey J., Cubaynes R., Faure Ph., Hantzpergue P., Pélissié Th. (1988) - Stratigraphie séquentielle et évolution d'une plate-forme carbonatée : le Jurassique du Quercy (Sud-Ouest de la France). C.R. Acad. Sci. Fr., (II), 306, pp. 1009-1015.
- Rey J., Bonnet L., Cubaynes R., Qajoun A., Ruget C. (1994) - Séquence stratigraphy and biological signals : statistical studies of benthic Foraminifera from Liassic series. *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*.
- Thevenin A. (1903) - Etude géologique de la bordure Sud-Ouest du Massif Central. Bull. Serv. Carte Géol. Fr., 95, 14, 203 p.
- Vail P.R., Colin J.P., Jan du Chene R., Kuchly J., Mediavilla F., Trifilieff V. (1987) - La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris. Bull. Soc. Géol. Fr., (8), III, pp. 1301-1321.

Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum R.M., Vail P.R., Sarg J.F., Loutit T.S., Hardenbol J. (1988) -
An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and wey definitions. Soc. Econ. Palaeont.
Mineral. Sp. Pub., 42, pp. 39-45.

LIVRET-GUIDE D'EXCURSION



PROGRAMME

Objectif

L'excursion propose une analyse détaillée de trois unités lithostratigraphiques à la charnière du Lias moyen et supérieur :

- La barre à Pecten (Domérien supérieur - zone à Spinatum - Toarcien basal - zone à Tenvicostatum),
- les Schistes carton (Toarcien inférieur, zone à Serpentinum, sous-zone à Strangewaysi),
- les Marnes à calcaires à Hildocératidés (Toarcien inférieur à moyen, zone à Serpentinum, sous-zone à Pseudoserpentinum, Falciferum et Sublaevisoni, zone à Bifrons, zone à Variabilis.

Ces deux dernières unités constituent la partie inférieure et moyenne de la Formation de Penne.

Les successions stratigraphiques seront examinées sur cinq sites, le long d'un transect sud-ouest nord-est (fig. 8) allant de la partie la plus distale du bassin (région de la Grésigne) à sa partie la plus proximale (région de Figeac-Capdenac), sur une distance de 70 km.

L'interprétation des dépôts en cortèges sédimentaires et séquences de dépôts, leur calage sur les sous-zone ou horizons d'Ammonites permettront d'obtenir des corrélations stratigraphiques fines et rigoureuses à l'échelle du bassin quercynois, et de proposer une interprétation de principaux facteurs contrôlant l'évolution géodynamique de cette région au cours du Domérien supérieur et du Toarcien inférieur-moyen.

L'excursion donnera lieu par ailleurs à diverses observations d'ordre paléoécologique et sédimentologique. Elle permettra de montrer l'apport de méthodes quantitatives pour l'interprétation des milieux de dépôt.

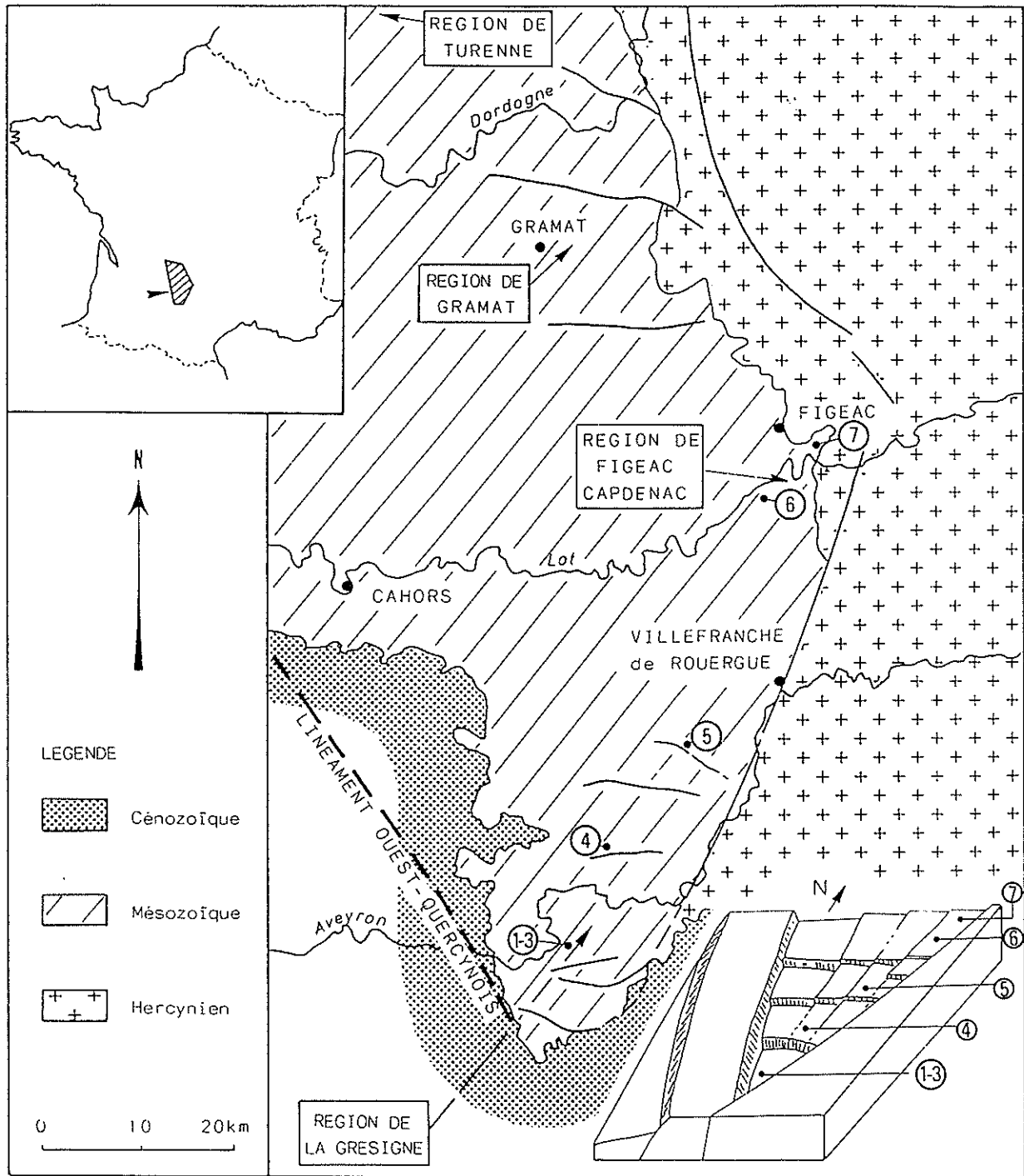
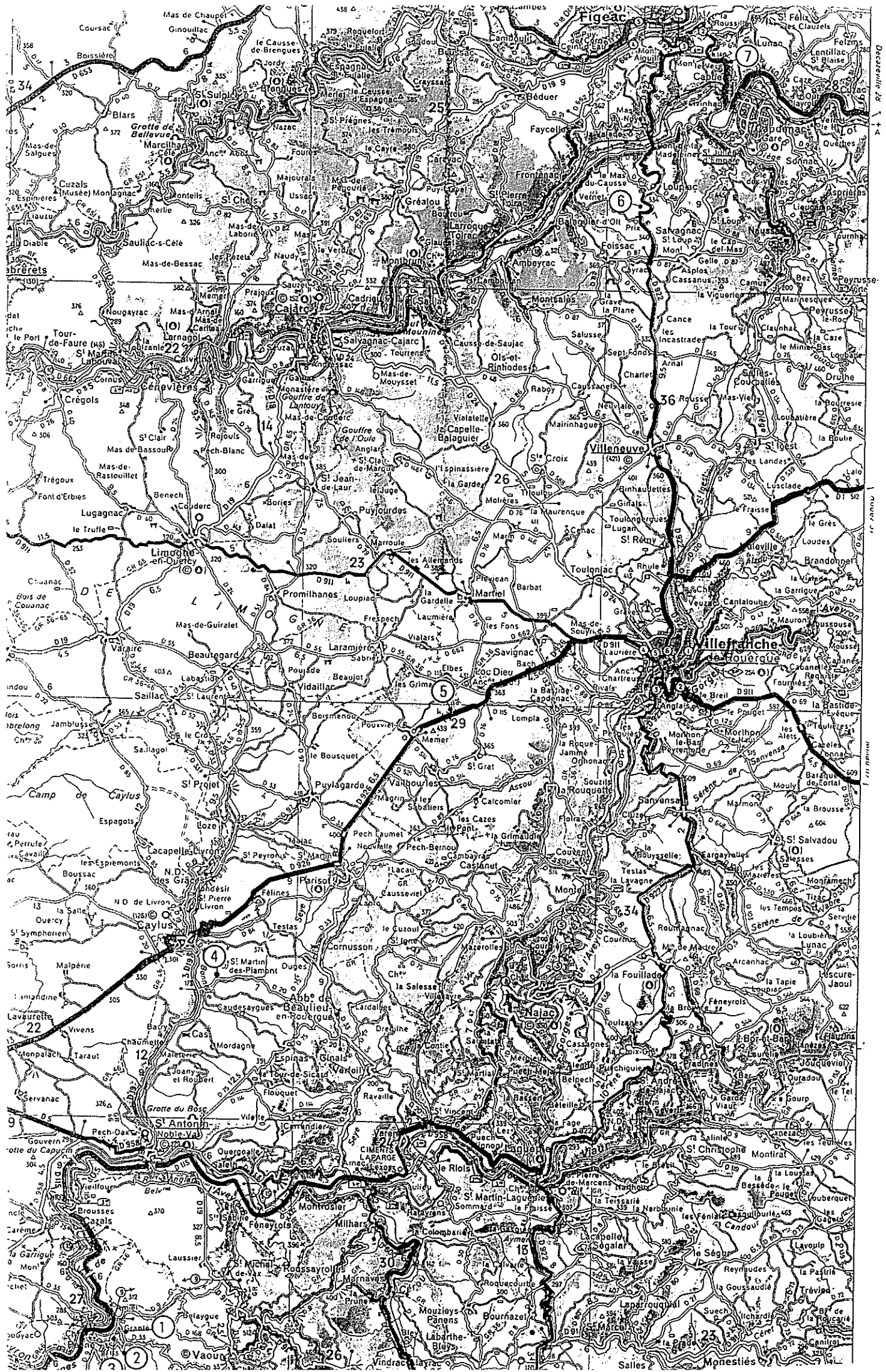


Fig. 8 -

Itinéraire

Sept points d'arrêt sont prévus, entre la vallée de l'Aveyron, au Sud, et la vallée du Célé, au Nord (Fig. 9).

- 1 - Région de Penne, coupe de Château-Granier : Barre à Pecten et Schiste carton.
- 2 - Région de Penne, coupe de la route de Penne à la C.D. 33 : Marnes et calcaires à Hildocératidés.
- 3 - Région de Penne, coupe de la route C.D. 20 : Marnes et calcaires à Hildocératidé.
- 4 - Région de Caylus, coupe de Font-Froide : Barre à Pecten.
- 5 - Région de Villefranche-de-Rouergue, coupe de la route C.D. 926, 2 km au NE de Memer : Barre à Pecten.
- 6 - Région de Capdenac, coupe de la route C.D. 922, 500 m au Sud de Loupiac : Barre à Pecten et Formation de Penne.
- 7 - Région de Capdenac, coupe de la route RN 140, 1 km au nord- Ouest de Capdenac-le-Haut : Barre à Pecten et Formation de Penne.



Decembre 20 14

14

14

14

14

ARRET 1

PENNE, CARRIERE DE CHATEAU-GRANIER

LA BARRE A PECTEN ET LES SCHISTES CARTON

Documents : Fig. 10 et 11, Planche hors-texte, Planches photographiques 1, 2.

Description sommaire

1 - Barre à Pecten

Quatre ensembles peuvent être distingués dans la Barre à Pecten :

a) A la base : 6 m à 6,50 m de calcaires bioclastiques avec des alternances de marnes feuilletées sombres. De véritables biostromes à *Lobothyris punctata* et *L. subpunctata* caractérisent la base de ce premier ensemble.

Le microfaciès apparaît relativement monotone sur toute l'épaisseur : une biomicrite wackstone à packstone, sableuse (3 à 10 % de quartz anguleux et hétérométriques). Les bioclastes d'échinodermes constituent la masse du sédiment associé à d'autres bioclastes de lamellibranches, d'annélides, brachiopodes, bryozoaires, ostracodes, nodosariidés...

Ces dépôts sont interprétés comme représentant un prisme de haut niveau marin (séquence Pl 6), lui-même constitué de plusieurs paraséquences marnes-calcaires. La découverte, à l'extrême base, de *Pleuroceras solare*, et dans le niveau 12-1 12 de *P. gr. trapezoidiformis* permet de dater cette unité de la sous-zone à Solare.

b) Dans la partie médiane, 11,50 m de bancs décimétriques bioclastiques, lumachelliques. Les marnes se réduisent à de très minces joints millimétriques à centimétriques et chaque surface de banc apparaît très bioclastique. Les chailles se développent progressivement de la base au sommet de ce deuxième ensemble. Le microfaciès se charge en spicules d'éponges qui forment des plages de "spiculites" autour des chailles. Des niveaux à *Isocrinus cf. jurensis* (crinoïdes les "moins profonds" de toute la série liasique) soulignent une diminution de l'épaisseur de la tranche d'eau. Les rides indiquent des courants principaux orientés au SSE vers le NNW et du SSW vers le NNE.

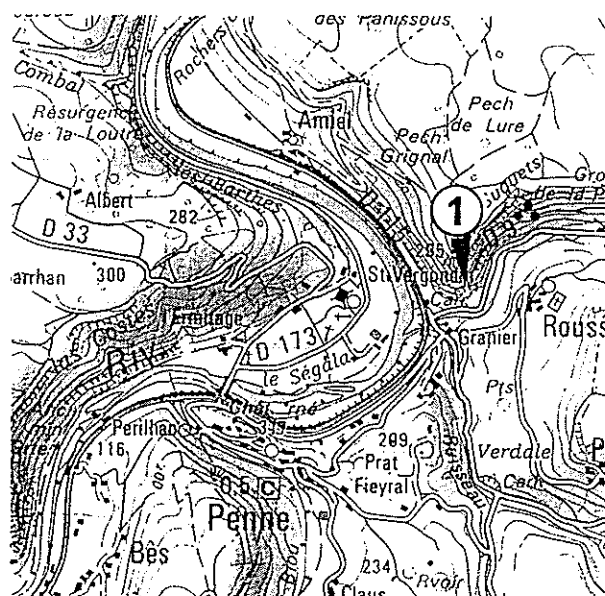
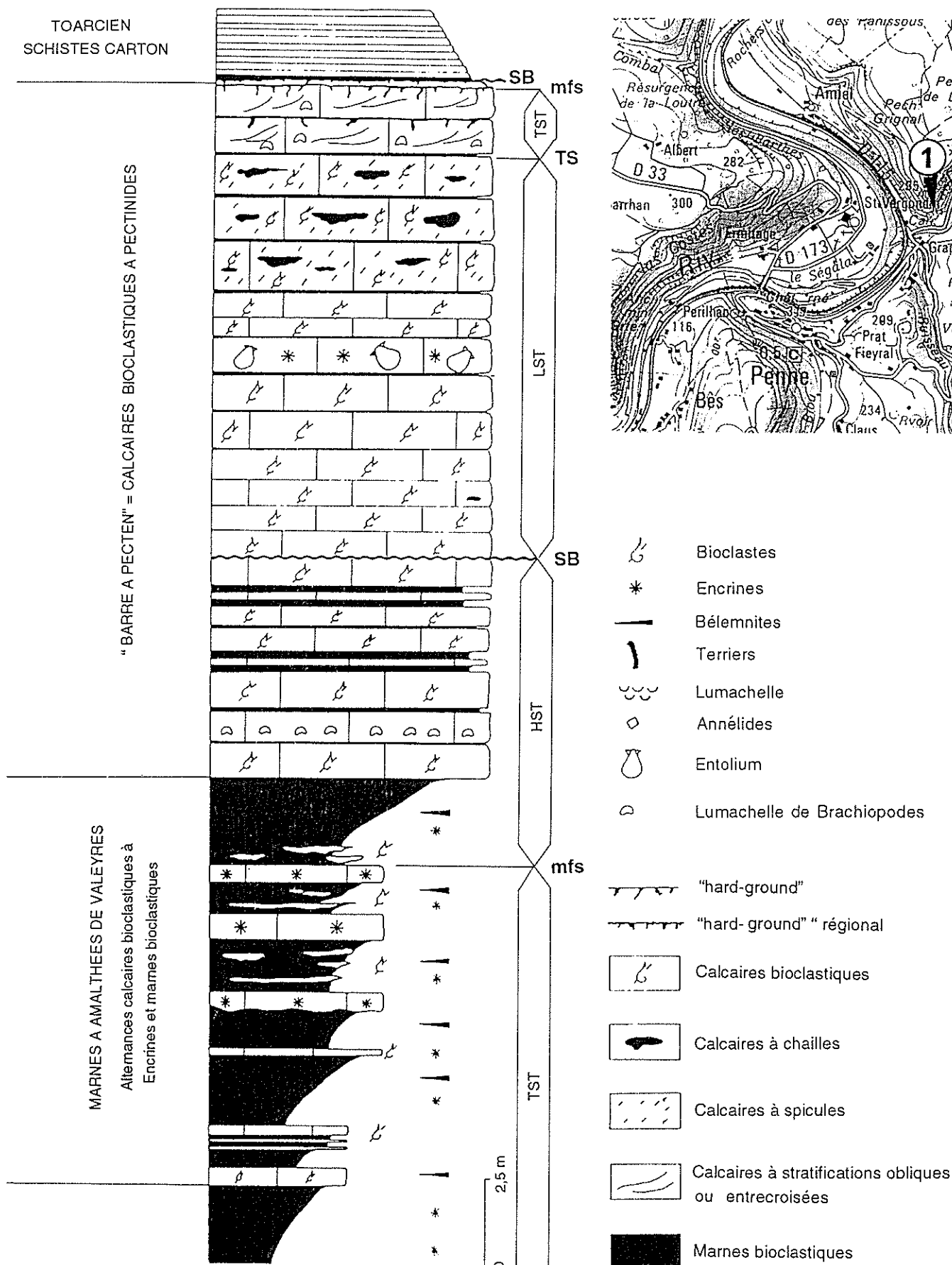


Fig. 10 - Coupe de Penne - Château-Granier

La barre à Pecten (Coupe synthétique)

L'accroissement de l'énergie et la diminution de la profondeur permettent de rapporter cet ensemble à un prisme de bordure de plate-forme (séquence Pl 7).

c) Dans la partie supérieure, 2 m de petits bancs décimétriques à stratifications obliques ou alternées, avec des biostromes à *Lobothyris punctata*, *L. subpunctata*, *Gibbirhynchia amalthei* et *Tetrathynchia. sp*

Ces bancs minces témoignent d'un taux de sédimentation réduit, de multiples arrêts de sédimentation, et d'un accroissement d'épaisseur de la tranche d'eau avec le développement des biostromes à brachiopodes appartiendraient à un intervalle transgressif (séquence Pl 7). Au sommet, une surface durcie, encroûtée et perforée particulièrement bien développée matérialiserait la surface d'inondation maximale.

d) Dans la partie sommitale, un banc de calcaire marneux et bioclastique roux, surmonté par une nouvelle surface durcie, microkarstifiée, à encroûtement de pyrite, constitue le mince prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 7. La présence de *Paltarpites paltus*, associé à *Dactylioceras (Eodactylites) gr. pseudocrassulosum* et à *Coenoceras fontanesi* permet de rapporter ce niveau à la base du Toarcien (zone à *Tenuicostatum*, sous-zone à *Paltus* - horizon I).

2 - Schistes carton

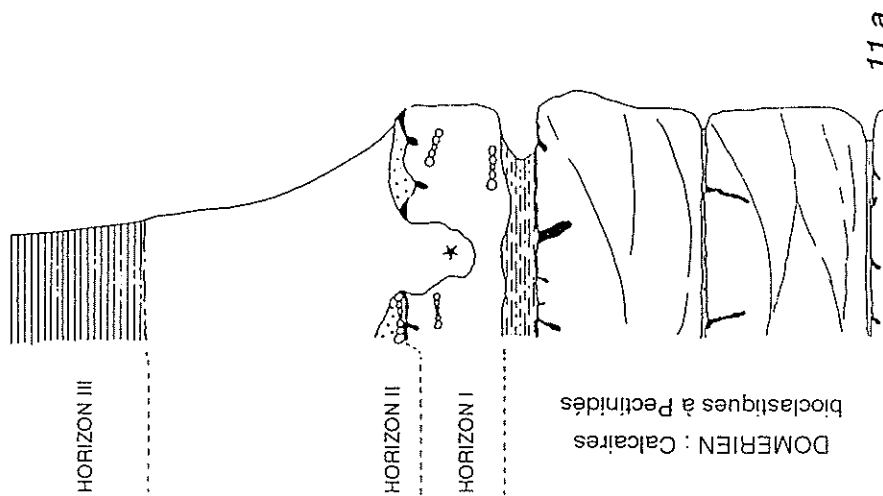
Sur le hard-ground karstifié du sommet de la Barre à Pecten se développent :

a) Un mince (2 à 5 cm d'épaisseur) niveau lenticulaire de calcaires grumeleux à *D. (O.) gr. semicelatum* et *D. (O.) anguinum* (horizon II). Une abondante thanatocénose comprend des bélemnites, des lamellibranches : *Ceratomya sp.*, *Plicatula spinosa*, *Pseudolimea sp.*, des brachiopodes : *Gibbirhynchia cf. amalthei*, *Spiriferina nicklesi*, *Tetrathynchia sp.* ; des annélides : *Spirorbis sp.*, des crinoïdes : *Isocrinus sp.*

b) 0,30 m de marnes (48 % de Ca CO₃) sombres pyriteuses sableuses (abondants quartz roulés) et très bioclastiques colmatant les cavités du karst sous-jacent quand l'horizon a manqué.

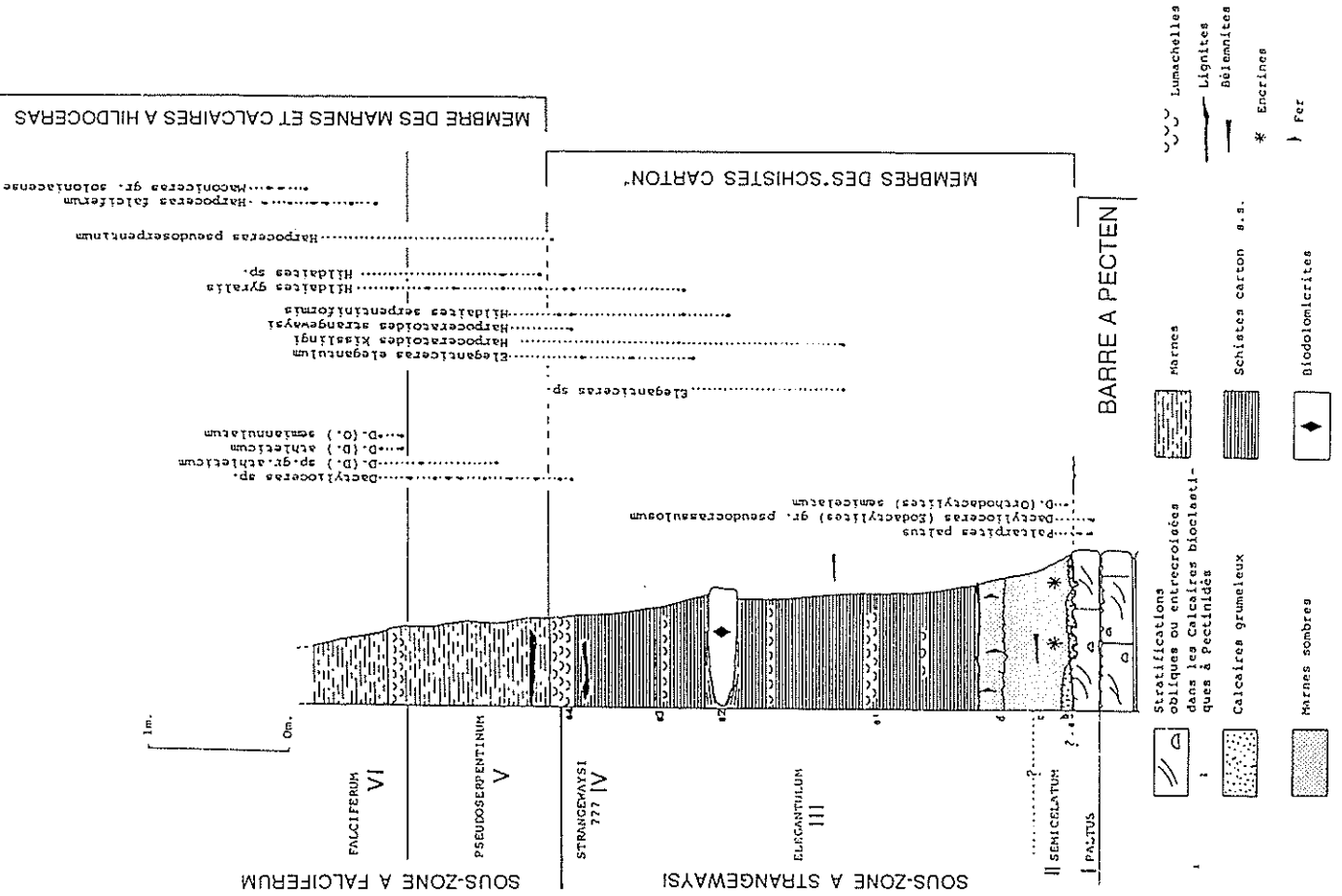
Les lavages (refus du tamis de 250 microns) livrent un matériel émoussé, visiblement remanié : grains de quartz, bioclastes de *Pectinaceae*, de brachiopodes, pinces de crustacés, radioles brisées et plaques d'échinides, osselets d'ophiures, articles de crinoïdes, dents de *Palaeospinacidae*, d'orectolobiformes, de requins ou de batoïdes, ostracodes et nodosariidés.

Les ostracodes représentent près de 20 % de la microfaune avec surtout des formes domériennes lisses, *Ogmochonca sp* et *Ogmochonchella sp.*, associées à quelques formes



11 a

Fig. 11 - Coupe de Penne - Château-Granier.
Le sommet de la barre à Pecten (Fig. 11a)
et les "Schistes carton" (Fig. 11b)



11 b

ornées : *Kinkelinella* et *Ektyphocythere* sp.

Les nodosariidés sont les héritiers directs des espèces du Domérien et même du Lias inférieur avec le couple *Dentalina terquemi* - *D. obscura*, *Marginulina burgundiae*, *M. gr. prima* et de nombreuses *Lenticulina* : *L. pl. sp. mg. Lenticulina*, *L. s p. mg. Marginulinopsis*, *L. aragonensis mg. Saracenella*.

c) 0,25 à 0,30 m de marnes faiblement carbonatées (8,14 % de Ca CO₃) riches en hydroxydes de fer, pyriteuses, très faiblement sableuses et micacées. La biophase se réduit à quelques bioclastes d'échinides et de crinoïdes, à de rares ostracodes *Kinkelinella*, *Ogmochonca* et *Ogmochoncella* et à quelques nodosariidés : *Lenticulina* sp. mg. *Lenticulina*, *Pseudonodosaria* sp.

d) 3 m de Schistes carton. Les Schistes carton apparaissent comme des argiles grises à brunes, à phase carbonatée peu abondante (13 à 14 %), essentiellement composées d'illites, de chlorite et d'une très faible proportion de kaolinite.

Nous avons distingué dans ces Schistes carton, quatre termes qui sont, de la base au sommet :

d.1) 1,80 m de Schiste carton gris, criblés de restes de *Leptolepis coryphaenoides* et datés par *Eleganticerias* sp. et *Harpoceratoides kisslingi* (horizon III).

Leur varvage parfait est souligné par des lits d'épaisseur millimétrique de fines amygdales blanchâtres. Les analyses réalisées au Muséum d'Histoire naturelle par Denise Noël, sur des échantillons prélevés dans ces feuillets, révèlent leur richesse en coccolithes. Les nannofossiles se détachent très bien du reste de la roche et apparaissent groupés en amas qui pourraient correspondre à des pelotes fécales de Crustacés (Goy, 1979 ; Aelin, 1980).

Les feuillets blanchâtres présentent de minces lumachelles à *Lucinaceae*, *Astarte* sp. et *Bositra* sp.

De rares *Pseudomytiloides dubius*, *Bositra (Posidonomya) bronni* de très rares bélemnites et dents de crocodiliens complètent la biophase.

d.2) Un niveau repère de meules carbonatées régulièrement espacés tous les 0,50 m à 1 m. Ces nodules ont une forme lenticulaire parfaite avec une épaisseur pouvant atteindre 0,15 à 0,20 m et un diamètre variant de quelques centimètres à 1 m. Ces meules renferment des débris ligniteux, de rares bioclastes de pélécy-podes, de nombreux restes de *Leptolepis* et des ammonites : *Hildaites serpentiniformis* et *H. sp.*

Quelques nodules présentent des condensations de petites *Hildaites* (formes juvéniles de taille inférieure à 5 mm).

Les nodules carbonatés (75 à 80 % de Ca CO_3) sont des biodolomicrites à litage horizontal nettement souligné par des variations de couleur : lits de couleur grise alternant avec des lits sombres. Cette stratification, parfaitement horizontale, est parallèle à celle des Schistes carton encaissants, beaucoup plus compacté. Ceux-ci épousent étroitement le contour des meules avec une compaction de l'ordre de 4 à 6 fois plus élevés

Nos observations s'accordent avec celles de M Hanzo (1978, 1979) sur les Schistes carton du Grand-Duché de Luxembourg : "la stratification des nodules et toujours très bien conservée et se raccorde à celle déformée, mais toujours régulière, des argilites finement feuillées".

d.3) 1 m de Schistes carton gris à varvage parfait, puis de Schistes carton bruns à litage plurimillimétrique.

Ce terme livre *Eleganticerias elegantulum*, *Hildaites gyralis* et *H. serpentiformis* (horizon III).

d.4) Un niveau décimétrique de condensation avec une thanatocénose de lamellibranches : *Astarte depressa*, *Bositra* sp., *Pseudomytiloides dubius*, *Goniomya rhombifera*, *Propeamussium* (P.) *pumilus*, *Plicatula* sp., *P. (P.) catinus* associés à des poissons du genre *Pachycormus*.

Ce niveau de condensation présente à sa base un horizon à *Harpoceratoides strangewaysi* (horizons IV) et, à sa partie supérieure, un horizon à *Harpoceras pseudoserpentinum* (horizon IV, extrême base).

Les Schistes carton correspondent ainsi aux horizons III et IV.

L'étude palynoplantologique de ces Schistes carton (Boutet, 1981) souligne la monospécificité d'une microflore terrestre à petits pollens, avec 80 % de *Spheripollenites* associés à des spores trilètes et des *Classopollis*.

Les acritarches (*Michrystidium* et *Baltisphaeridium*) dominent l'association marine avec des Algues telles *Cymatiosphaera*, *Crassosphaera* et des *Tasmanites*, les *Nannoceratopsis* étant peu représentés. Le microplancton, s'il n'est pas très abondant, apparaît donc très diversifié et le matériel amorphe est ici, pour la seule fois dans tous le Lias quercynois, sapropélique.

Les niveaux a à d pourraient appartenir à un prisme de bordure de plate-forme, tandis que les Schistes carton *stricto-sensu* se seraient déposés en période de montée des eaux et de haut niveau marin. Le banc à meules (d.2) pourrait matérialiser la surface d'inondation maximale. L'ensemble constitue la séquence de dépôt Toa 1.

ARRET 2 et 3

PENNE, ROUTE DE PENNE A LA C.D. 33, C.D. 20
LES MARNES ET CALCAIRES A HILDOCERATIDES
(FORMATION DE PENNE)

Document ; Fig. 12, planche photographique 6, Annexe.

Description sommaire : Les talus des deux routes situées à l'Est de Penne permettent d'avoir une vision complète du Membre des Marnes et calcaires à Hildocératidés. Cette unité est formée, sur une épaisseur de l'ordre de 15 m, d'une alternance de marnes grises et de calcaires argileux gris, en bancs centimétriques ou décimétriques. Dans cet ensemble, riche en ammonites et très précisément daté, d'apparence homogène, divers niveaux peuvent retenir l'attention :

1) A la base, une mince assise marneuse qui se termine par un niveau de condensation à *dactyloceratidae*. Le lit marneux bien plus développé vers le Nord, dans les régions de Gramat et de Turenne, représenterait un prisme de bordure de plate-forme, couronné par une surface de transgression fossilifère.

2) A la partie inférieure, une alternance de marnes et calcaires argileux à intervalles marneux strato-décroissants (jusqu'au niveau 13), puis strato-croissants. Les bancs indurés correspondent à des biomicrites mudstone et pyriteuses, à très rares quartz silteux, sections circulaires de tubulures remplies de pyrite (terriers de micro-annélides ?) ; bioclastes de crinoïdes à réseau pyritisé, de lamellibranches, rares filaments, nodosariidés très bien conservés, à remplissage pyriteux (10 à 20 par lame). Le nombre de bioclastes de crinoïdes diminue progressivement de la base au sommet (il passe de 30 à 5 par lame) ; les bioclastes de lamellibranches restent rares (2 à 3 par lame), comme ceux de gastéropodes.

Ce niveau, datant des sous-zones à *Falciferum* et *Sublaevisoni*, est rapporté à l'intervalle transgressif et au prisme de haut niveau marin de la séquence Toa 2. La surface d'inondation maximale serait localisée à l'inversion de tendance dans l'épaisseur de marnes. Les changements fauniques (foraminifères) observés à ce niveau confirment une telle interprétation.

3) Un niveau de marnes grises (23) qui tronque les couches sous-jacentes (observation à l'échelle des affleurements -coupes de la C.D. 20 et de Belaygue- comme à l'échelle de la région où l'on peut noter de fortes variations d'épaisseurs de bancs immédiatement sous-jacents). Il débute par un lit à sables bioclastiques, lignite et faune remaniée. Il est interprété comme un prisme de bordure de plate-forme. La limite de séquence est accompagnée d'une déstabilisation totale des peuplements de Foraminifères benthiques.

4) Le double banc sus-jacent, comme à l'échelle de tout le Quercy, est un intervalle condensé très riche en Hildocératidés (sommet de la sous-zone à *lupitanicum*, base de la sous-zone à *Bifrons*). Le banc inférieur matérialise l'intervalle transgressif, le banc supérieur le prisme de haut niveau et l'interlit marneux la surface d'inondation maximale. Cette séquence Toa 3, très mince, est une séquence de rétrogradation, largement étalée et connue dans tout le Quercy.

5) Une alternance de marnes et de calcaires argileux à microfilaments sans polarité bien nette (niveaux 27 à 41), représentant la sous-zone à *Bifrons* et interprétée, en raison de son extension géographique limitée, comme un prisme de bordure de plate-forme. Les considérations lithologiques inciteraient à placer la surface de transgression au sommet du dernier banc induré (entre 41 et 43). Les données micropaléotologiques localiseraient cette surface 1 m au-dessus, au sein des marnes.

ARRET 4

CAYLUS, ROUTE DE FONT-FROIDE

LA BARRE A PECTEN

Documents : Fig. 13, 14. Pl hors texte. Planche photographiques 3

Description sommaire : Sur une épaisseur moindre (17 à 18 m), on retrouve la même organisation d'ensemble et la même succession de microfaciès que sur la coupe de Penne-Château Granier. Aux derniers bancs marneux, intercalés de lits de calcaires bioclastiques à encrines de la Formation de Valeyres succèdent :

- 1) 7 à 7,50 m de calcaires très bioclastiques avec des alternances de marnes feuilletées sombres et bioclastiques ; ils sont plus chargés en pentacrines, belemnites et brachiopodes que dans la coupe de Penne-Château-Granier. Ces dépôts, agencés en paraséquences métriques marnes-calcaires, constituent le prisme de haut niveau marin de la séquence Pl 6.
- 2) 3,50 m de bancs décimétriques à *Isocrinus* cf. *jurensis* et *Critolium* sp. Ces bancs s'organisent en séquences élémentaires d'ordre métrique strato-décroissantes. A la base de ces séquences les bancs pluridécimétriques présentent des *Pinna* sp en position de vie. les rides indiquent des courants se dirigeant du NE vers le SW. Ce niveau représenterait le prisme de bordure de plate-forme de la séquence pl. 7, avec une épaisseur moindre qu'à Penne.
- 3) 4 à 4,20 m de bancs centimétriques à décimétriques avec des stratifications obliques et alternées. Ce troisième ensemble se caractérise par des biostromes à *Lobothyris punctata* et *Zeilleria quadrifida*. Les bancs calcaires sont interrompus par des surfaces durcies. l'ensemble est rapporté, comme à Penne, à l'intervalle transgressif de la séquence Pl 7. Sa puissance y est plus élevée.
- 4) Calcaires roux, disposés en deux bancs décimétriques. Le banc supérieur à fourni *Dactylioceras* gr. *semicelatum* (sous-zone à *Semicelatum*). Il est absent à Penne. Ce niveau, compris entre deux hard-grounds ferrugineux, représente ce prisme de haut niveau de la séquence Pl. 7.

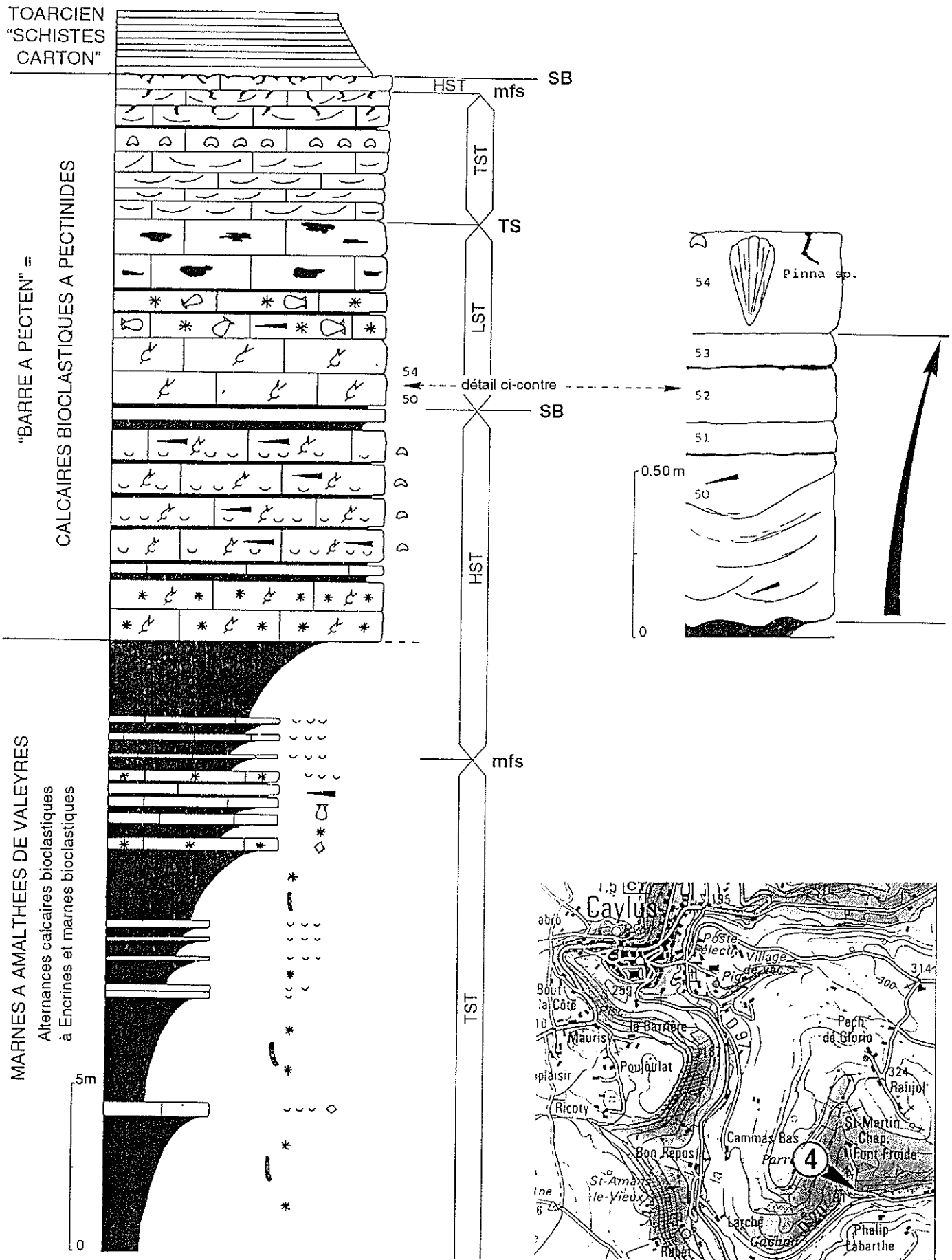


Fig. 13 - Coupe de Caylus - Font Froide.
Sommet de la formation de Valeyres et barre à Pecten (coupe synthétique).

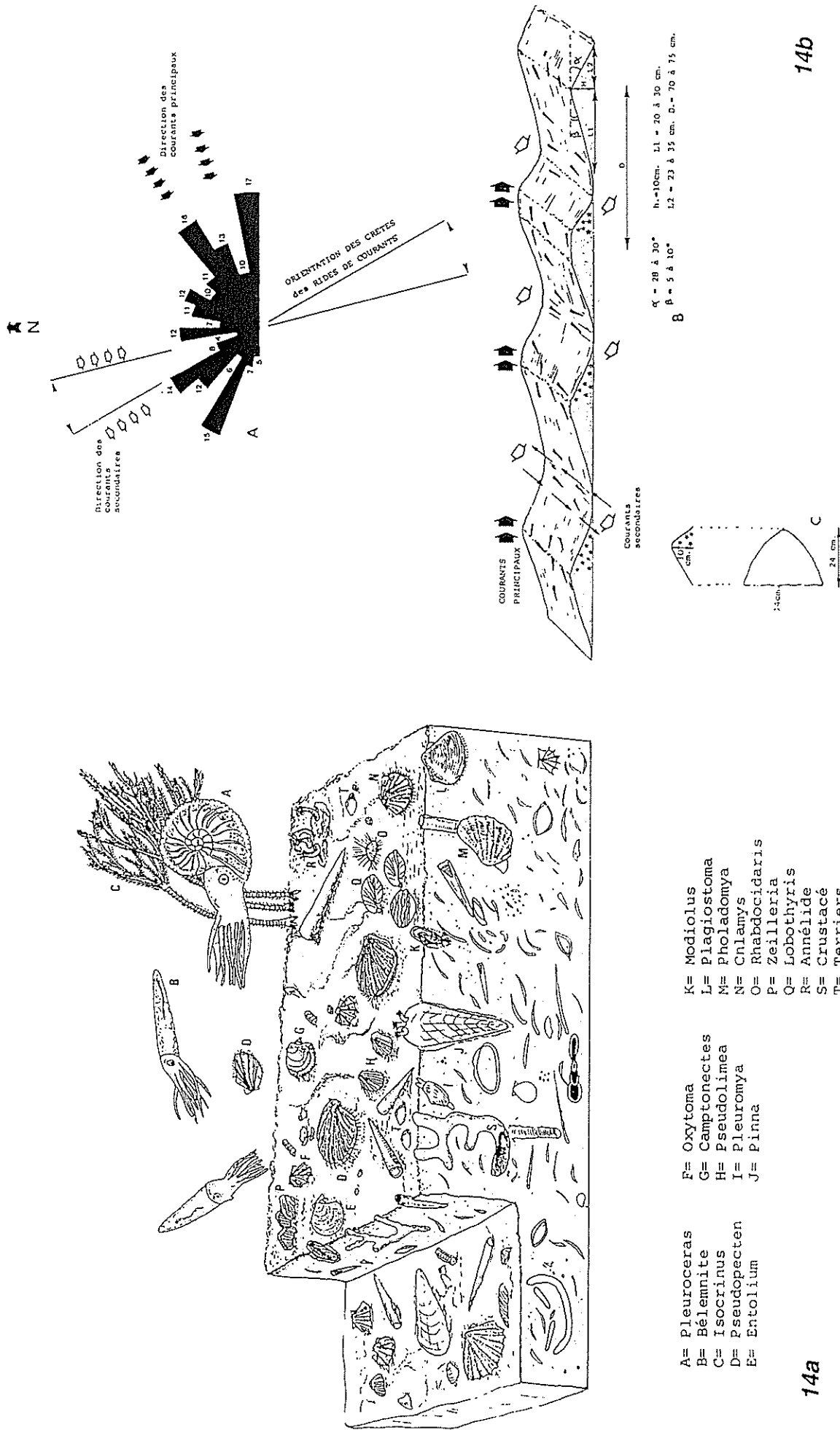


Fig. 14 - Coupe de Caylus - Font Froide.
Reconstitution d'une biocénose dans la barre à Pecten (14a) et relations entre rides et orientations des rosters de Bélemnites (14b).

ARRET 5

MEMER, ROUTE C.D. 926

LA BARRE A PECTEN

Document : Fig. 15.Description sommaire : Trois niveaux principaux peuvent être reconnus :

1) Marnes noires, intercalées de bancs de calcaires argileux gris foncé, à encrines. Les surfaces sommitales des bancs calcaires sont durcies. Les marnes sont intercalées elles-mêmes de plusieurs croûtes ferrugineuses et de minces lits (2 à 5 cm), essentiellement composés d'encrines associées à des surfaces basales ou sommitales oxydées. Le niveau, qui a fourni *Leptaleoceras* sp. et *Arietoceras* sp. est rapporté à la sous-zone à Solare. Un lit d'encrines particulièrement remarquable, à 2,50 m du sommet, est interprété comme la surface d'inondation maximale de la séquence Pl. 6 (observé sur 9,50 m).

2) Calcaires micritiques à microclastiques jaunes à Bélemnites en bancs onduleux décimétriques alternant avec des marnes noires (3 m). Le niveau s'achève par une surface durcie, localement érodée. Il représenterait la partie supérieure du prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 6.

3) Calcaires bioclastiques jaunes en bancs onduleux centimétriques à décimétriques, intercalés de lits plus marneux. Les surfaces supérieures des bancs calcaires sont oxydées. La faune est abondante : encrines (localisées notamment en petites lentilles à la base du niveau), brachiopodes concentrés dans divers lits (en particulier dans les deux premiers bancs et à la partie sommitale). Dans la couche la plus élevée a été identifié par ailleurs *Amaltheus margaritatus*. L'analogie de faune et de faciès avec les séries de Penne et de Caylus permet de considérer que ce niveau 3 correspond à l'intervalle transgressif de la séquence Pl. 7.

Ainsi, le prisme de bas niveau marin (calcaire à chailles de Penne et de Caylus) serait absent. La limite de séquence, confondue avec la surface de transgression se localiserait entre les niveau 2 et 3, au milieu d'un double banc bien apparent dans la succession.

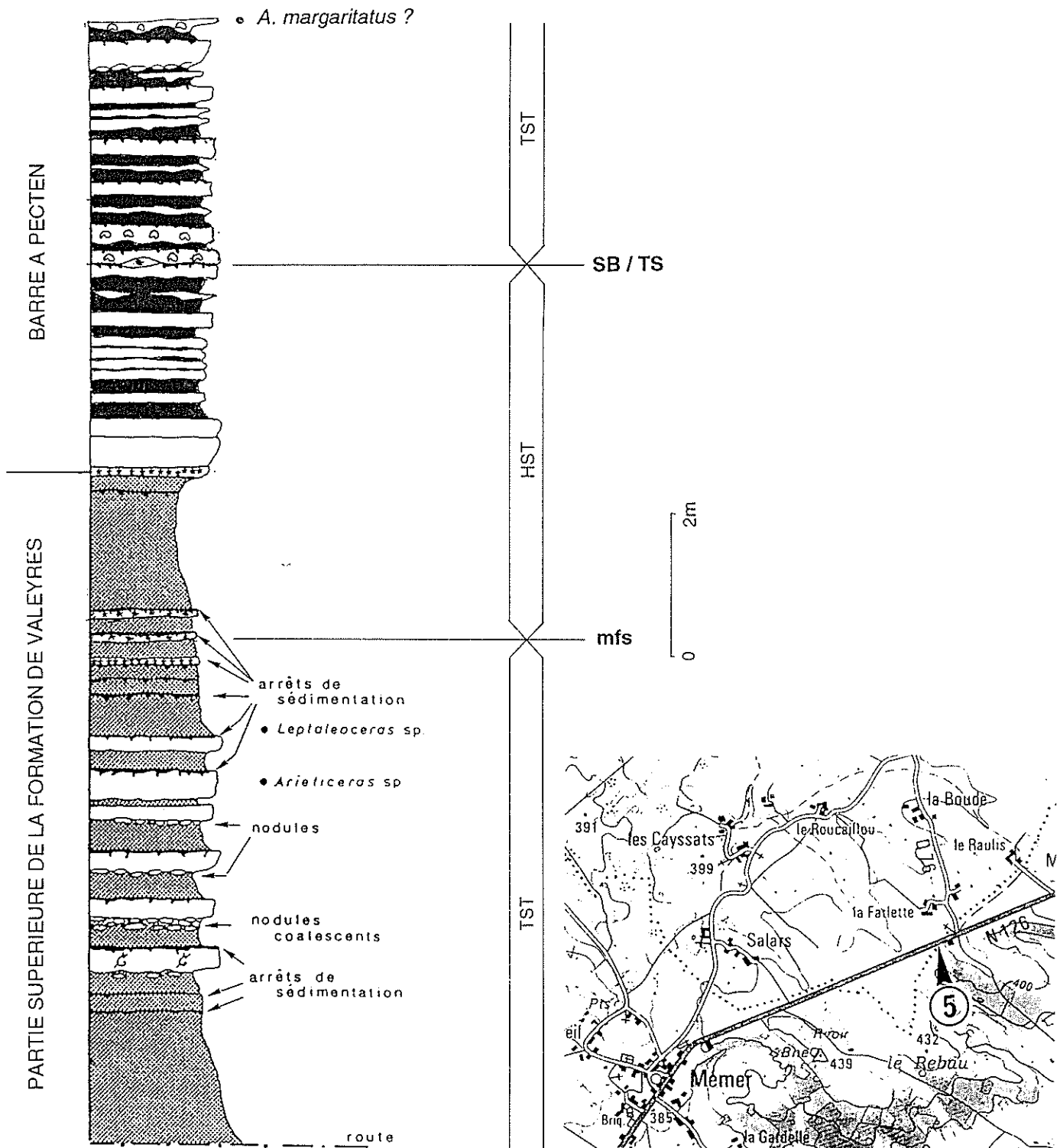


Fig. 15 - Coupe de Memer - La Farlette .
Sommet de la formation de Valeyres et barre à Pecten.

ARRET 6

LOUPIAC, ROUTE C.D. 122

LA BARRE A PECTEN ET LA FORMATION DE PENNE

Documents : Fig. 16, 17.

Description sommaire : Cette coupe nouvellement dégagée, riche en Ammonites permettant des datations précises, illustre bien la composition de la partie supérieure de la Barre à Pecten, des "Schistes carton" et de Marnes et calcaires à Hildocératidés dans la région des hauts-fonds de Figeac-Capdenac. De la base au sommet se succèdent :

1 - Barre à Pecten

Trois niveaux peuvent être distingués :

- à la base, une alternance de calcaires gris bleuté, argileux, en bancs onduleux épais de 20 cm en moyenne, microparitiques, alternant avec des marnes ocre à nodules calcaires. Ce niveau, observé sur une épaisseur de 2,50 m est rapporté au prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 6.
- au milieu, deux bancs de calcaire massif, bioclastiques, à surfaces supérieures oxydées. La roche est de type grainstone à packstone. Elle est riche en brachiopodes remaniés et brisés et en articles d'encrines. Elle représenterait l'intervalle transgressif de la séquence Pl. 7. Ce cortège est d'épaisseur plus réduit qu'à Mémer.
- au sommet, deux bancs calcaires décimétriques, à stratifications internes entrecroisées et bases ravinantes. Le banc supérieur a fourni *Dactylioceras* (*Orthodactylites*) *semicelatum*. Par analogie avec les séries identifiées dans les régions de Caylus et de Villefranche-de-Rouergue (fig. 17), on peut supposer que le banc inférieur appartient à l'horizon I (sous-zone à Paltus) et le banc supérieur l'horizon II *pro-parte* (sous-zone à Semicelatum). Tous deux constitueraient le prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 7. Une croûte ferrugineuse épaisse de 3 à 5 cm, à la base de ce niveau, matérialiserait la surface d'inondation maximale.

La surface sommitale, encroûtée et fortement karstifiée, du banc supérieur signale la limite entre les séquences de dépôts Pl 7 et Toa 1.

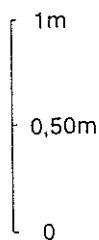
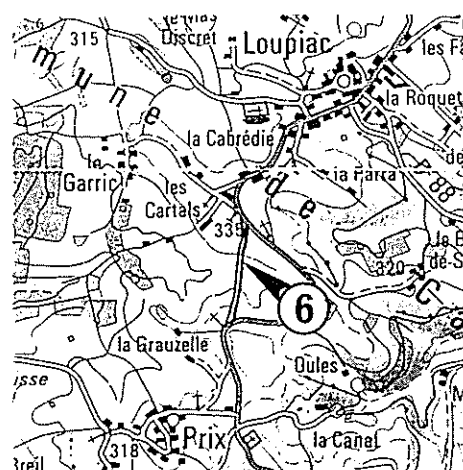
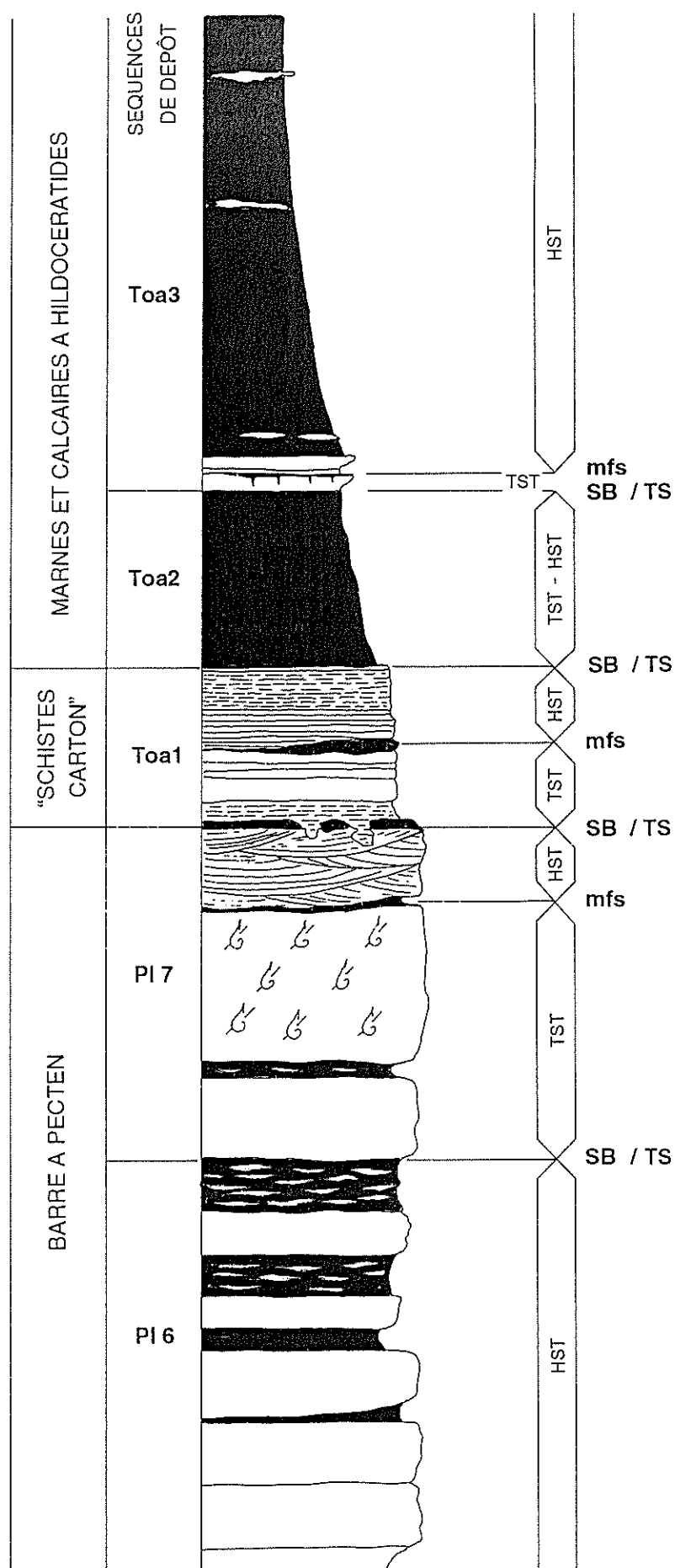


Fig. 16 - Coupe de Loupiac.

La barre à Pecten, les "Schistes carton" et les Marnes et Calcaires à Hildocératidés.

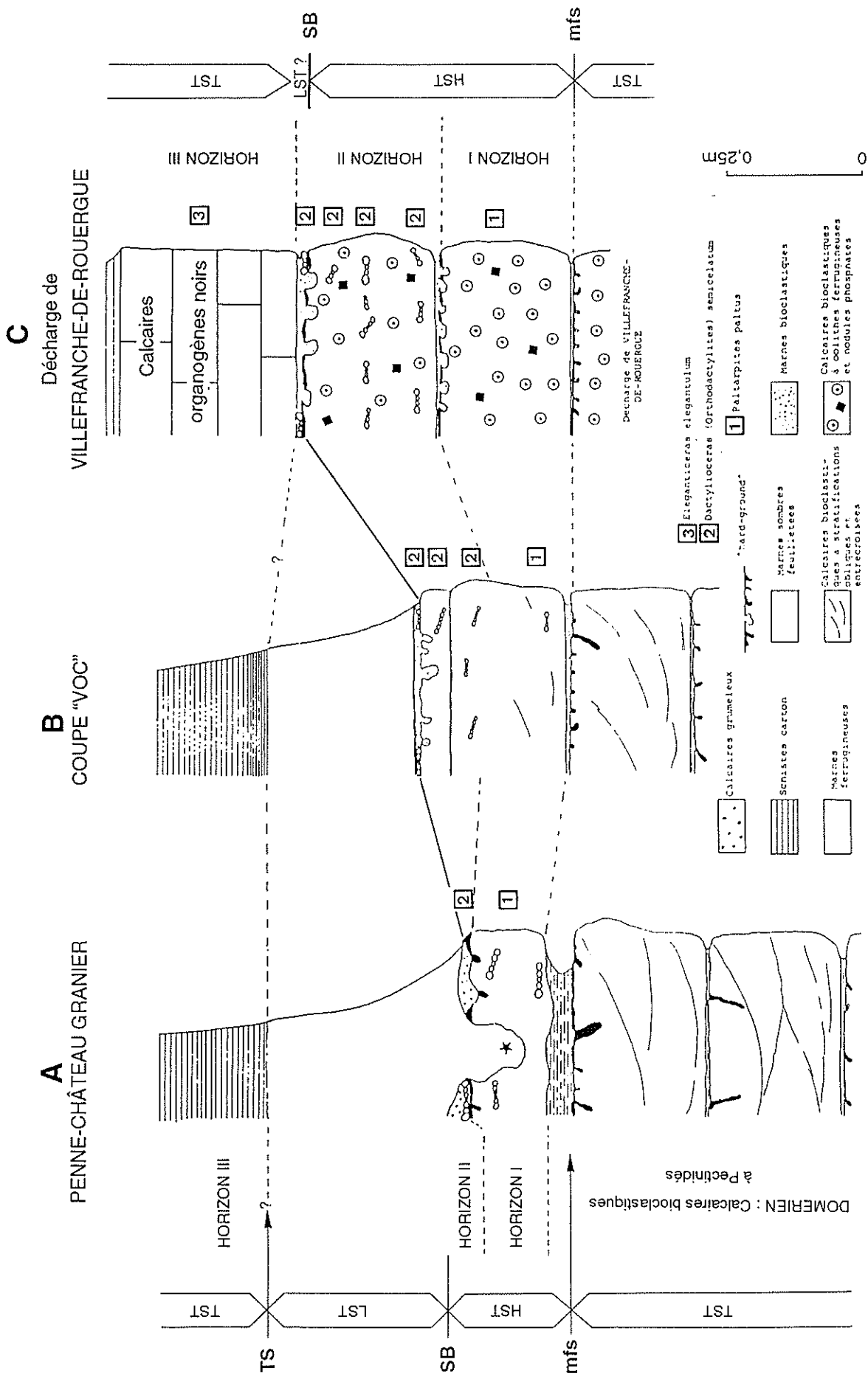


Fig. 17 - Coupes montrant le sommet de la barre à Pecten et la base des "Schistes carton" dans les régions de la Grésigne (A), Caylus (B) et Villefranche de Rouergue (C).

2 - Schistes carton

Sur la surface karstifiée se développe 1 m de marnes ocre, très chargées en fer dans les dix premiers centimètres. Au milieu du niveau se développe un lit irrégulier, discontinu (1 à 10 cm) de domicrite noire.

La découverte, dans la partie inférieure de *Claviceras* sp. et *Harpoceratoides* sp. montre que ce niveau constitue l'équivalent latéral des schistes carton. Il représente la séquence Toa 1. Le prisme de bas niveau (composé d'argiles gréseuses dans les régions de la Grésigne et de Gramat) serait absent. Seuls seraient exprimés les cortèges transgressif et de haut niveau marin. Le lit de dolomicrite, équivalent du niveau à meules, est interprété comme représentant la surface d'inondation maximale.

3 - Marnes et calcaires à Hildocératidés

Sur plus de 4 m apparaît un ensemble de marnes grises. Deux minces bancs plus carbonatés, séparés par une surface ferrugineuse à un mètre de la base du membre, correspondent au "double-banc" à *Hildoceras bifrons* reconnu dans tout le Quercy. Le banc inférieur contient *Dactylioceras* gr. commune de la sous-zone à Lusitanicum et le banc supérieur *Hildoceras bifrons* et *Nodicoeloceras dayi* de la sous-zone à Bifrons. Ils appartiennent donc à la séquence rétrogradante Toa 3, le banc inférieur constituant l'intervalle transgressif, la surface oxydée localisant l'inondation maximale, et le banc supérieur la base du prisme de haut niveau. Il est probable que le mètre de marnes sous-jacentes appartient à la séquence Toa 2 (sous-zone à Faciferum et à Sublaevisoni). Les données actuelles ne permettent pas d'y distinguer les cortèges transgressif et de haut niveau marin. Le prisme de bas niveau marin de la séquence Toa 3 serait absent.

Les 2 m de marnes grises superposées au double banc ont fourni *Hildoceras bifrons*, *Nodicoeloceras fontis* et *Maconiceras* sp. datant de la sous-zone à Bifrons. Elles constitueraient la partie supérieure du prisme de haut niveau de la séquence Toa 3 (ce dernier cortège étant donc plus épais que dans la partie distale du bassin). Le développement, à la partie sommitale, de plaquettes calcaires (d'origine cryptalgale ?) pourrait témoigner d'une sédimentation sous tranche d'eau très faible.

ARRET 7

CAPDENAC, ROUTE R.N. 594

LA BARRE A PECTEN ET LA FORMATION DE PENNE

Documents : Fig. 18, 19. Planche photographique 4

Description sommaire : La coupe de la route RN 594 permet d'observer une succession sédimentaire particulièrement réduite, avec, de la base au sommet :

1 - Barre à Pecten

Peu épaisse (10 m), la Barre à Pecten s'organise en séquences métriques grano-décroissantes de deux types :

a) Type A (de haut en bas) :

67. Marnes gréseuses à nodules calcaires et *Tisoo siphonalis*. Oolithes ferrugineuses rares, bioclastes d'échinides (plaques et radioles), de crinoïdes, d'ophiures (osselets), de lamellibranches, de gastéropodes (moules internes pyritisés). Rares nodosariidés (*Ichtyolaria sulcata* et *I. muelensis*).

66. Biomicrite packstone à encrines, bioclastes de pélécy-podes - traces de bioturbation - ciment ferrugineux dolomitisé.

65. Biosparite grainstone à encrines (dont des pentacrines) avec leurs réseaux hématitisés - grands bioclastes de lamellibranches dans un ciment ferrugineux très réduit et partiellement dolomitisé (grands rhomboèdres).

b) Type B (de haut en bas) :

90. Marnes.

89. Biomicrite packstone sableuse (7 à 10 % de quartz anguleux) à bioclastes de pélécy-podes.

88. Biomicrite packstone à bioclastes de crinoïdes, de lamellibranches, de brachiopodes, d'échinides (radioles et plaques), pelotons de serpuliers bien conservés - ciment

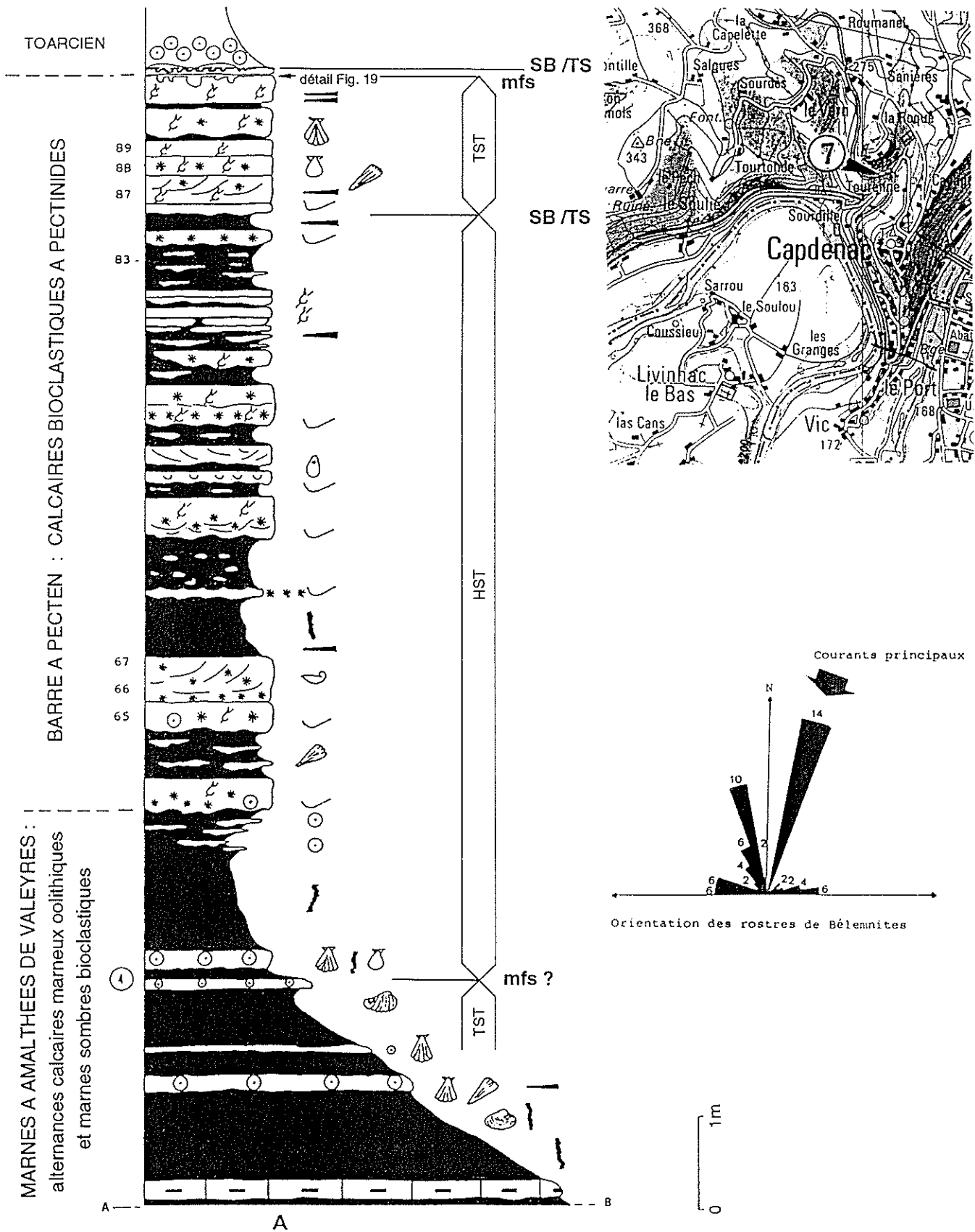


Fig. 18 - Coupe de Capdenac.

Le sommet de la formation de Valeyres et la barre à Pecten

ferrugineux dolomitisé. Le nombre de bioclastes de crinoïdes diminue nettement par rapport à celui des pélécy-podes. Stratifications obliques et entrecroisées.

87. Biosparite grainstone à encrines dont des pentacrines - bioclastes très mal triés de lamellibranches, d'échinides, de brachiopodes (plus rares) dans un ciment de dolomie et d'hématite. Nosodariidés abondants : *Lenticulina* sp. mg. *Lenticulina*.

Les séquences de type A apparaissent à la base de la Barre à pecten. Chaque séquence de chenal ravine les marnes de la séquence précédente. Dans ces marnes, la microfaune, réduite, se compose essentiellement de nodosariidés usés et le niveau 83 a livré : *Dentalina pseudocommunis* D. cf. *matutina*, *Ichtyolaria bicostata* et *I. sulcata*. Ces séquences composent le prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 6, épais de 8 m au total.

Les séquences de type B interviennent en sommet de formation et ne présentent aucun terme marneux. Chaque base de séquence ravine les biomicrites sous-jacentes. Le milieu de dépôt semble être épisodiquement le siège de brusques et fortes augmentations de l'énergie des eaux. Des chenaux divagants sur la pente d'une plate-forme distale remanient les sédiments (biosparites grainstone) puis le calme revient avec le dépôt de marnes.

Ce deuxième ensemble, épais de 1,40 m, correspond à l'intervalle transgressif de la séquence Pl. 7. La limite de séquence, à la base du banc 87, constitue donc aussi une surface de transgression.

Au sommet de la formation, l'horizon à Paltus (Toarcien basal) correspond à une biomicrite mudstone marquant une nette diminution dans l'énergie du milieu de dépôt. Le banc, épais de 15 cm, représente le prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 7.

Un hard-ground sommital, taraudé et karstifié, interrompt la Barre à Pecten. Les cavités karstiques atteignent 20 à 25 cm de diamètre et renferment de nombreux bioclastes.

2 - Schistes carton

Sur le hard-ground karstifié viennent 0,65 à 0,70 m d'argilites jaunâtres, avec la présence d'un lit discontinu de meules ovoïdes de biodolomicrites mudstone à encrines.

Ces argilites à oolithes phosphatées et ferrugineuses sont datées, à leur base, par *Dactylioceras* (*Orthodactylites*) *semicelatum* (horizon II) puis par *Eleganticeras* sp. et *Harpoceratoides kisslingi* (horizon III). Elles livrent une biophase marine réduite à l'état de bioclastes ou de moules internes : bélemnites, lamellibranches, gastéropodes, crinoïdes, dents de poissons infirmant l'hypothèse d'une origine lacustre (Trumphy, 1983).

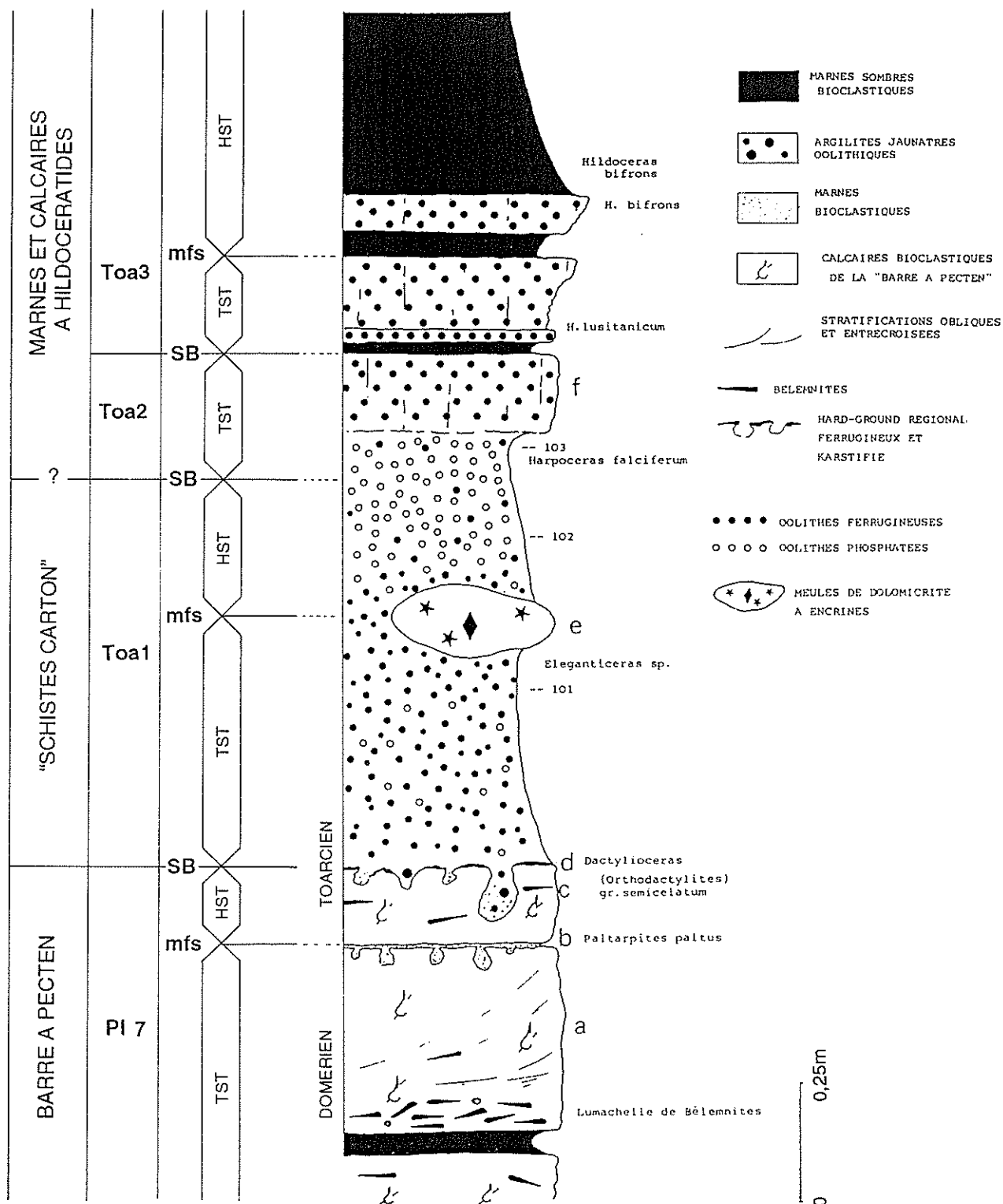


Fig. 19 - Coupe de Capdenac.

Le sommet de la barre à Pecten, les "Schistes carton" et la base des Marnes et Calcaires à Hildocératidés.

Les argilites constituent un équivalent latéral des Schistes carton. Elles appartiennent donc à la séquence Toa 1. Seuls seraient présents l'intervalle transgressif et le prisme de haut niveau marin, la surface d'inondation maximale étant placées par analogie avec les coupes de Penne et de Loupiac, au niveau de l'horizon discontinu de meules.

3 - Marnes et calcaires à Hildocératidés

Sur les argilites jaunes apparaît la succession suivante :

a) 0,70 à 0,80 m de marnes et marno-calcaires gris-cendré à oolithes avec, à la base, *Harpoceras falciferum* (horizon II), au milieu *Hildoceras lusitanicum* (horizon VIII) et au sommet *H. bifrons* (horizon IX).

Trois lavages nous ont permis de remarquer le remplacement rapide des oolithes ferrugineuses par des oolithes phosphatées :

Niveau	Oolithes ferrugineuse	Oolithes phosphatées
106	5 à 10 %	90 à 95 %
104	20 à 30 %	70 à 80 %
103	95 à 96 %	4 à 5 %

b) 2 à 3 m de marnes sombres à *Ammobaculites fontinensis* (horizon IX), équivalent les marnes grises de la coupe de Loupiac (sous-zone à Bifrons).

c) 5 m de marnes sombres à *Haugia* sp. et à passées oolithiques, s'organisant en séquences décimétriques, terminées chacune par un arrêt de sédimentation :

petite surface durcie,

marnes à oolithes ferrugineuses,

marnes sombres.

Ces marnes de la zone à Variabilis (horizons XI à XII) apparaissent très bioclastiques, avec de nombreux débris de lamellibranches dont *Plagiostoma* sp., *Pseudomytiloides* sp. et *Propeamussium* (*P.*) *pumilus*.

Cette série, à la fois lacunaire (absence des horizons V, VII et X) et condensée, située dans la partie la plus proximale du bassin, matérialise trois séquences de dépôts d'épaisseur décimétrique à métrique : les séquences Toa 2 (base du niveau a), Toa 3 (partie médiane et supérieure du niveau a ; niveau b) et Toa 3 (niveau c). Ces séquences sont exclusivement composées de dépôts des cortèges transgressif et de haut niveau marin. Les faunes d'ammonites attestent de l'absence des cortèges de bas niveau.

CONCLUSION

CORRELATIONS STRATIGRAPHIQUES ET SEQUENTIELLES SUR LA TRANSVERSALE PENNE-CAYLUS-VILLEFRANCHE-DE-ROUERGUE- CAPDENAC

La comparaison entre les diverses coupes étudiées lors de l'excursion montre une nette diminution d'épaisseur, accompagnées de changements de faciès, dans les diverses unités lithostratigraphiques depuis la partie distale du bassin, au sud-ouest, jusqu'à sa partie proximale. Ces réductions d'épaisseur sont essentiellement dues à des lacunes sédimentaires, comme le prouve l'absence, dans les coupes de Loupiac et Capdenac, de diverses sous-zones à ammonites.

BARRE A PECTEN

Dans la région de la Grésigne (coupe de Penne), la Barre à Pecten est composée du prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 6 et de l'ensemble des cortèges sédimentaires de la séquence Pl. 7.

De la région de la Grésigne à la région de Capdenac, la formation perd 60 % de son épaisseur, avec les caractéristiques suivantes :

- l'intervalle transgressif de la séquence Pl. 7, identifié par ses biostromes à brachiopodes, par la présence de nombreuses surfaces durcies et par l'identification ponctuelle d'ammonites, possède une épaisseur maximale à Caylus et Memer. Il s'amincit vers la partie distale du bassin (Penne) et vers la partie proximale où il est réduit à quelques bancs de calcaire bioclastique.
- le prisme de haut niveau marin de la séquence Pl. 7 est constitué par un à deux bancs de calcaire (banc inférieur de la sous-zone à Paltus, banc supérieur de la sous-zone à Semicelatum). La karstification sus-jacente, en limite de séquence de dépôt, a pu induire localement la disparition complète du banc supérieur.

SCHISTES CARTON

Ils correspondent à la séquence de dépôt Toa 1. Cette séquence est complète dans la région de la Grésigne, avec la présence à la base d'un mince prisme de bas niveau marin (argiles gréseuses). Le faciès "Schistes carton" se serait sédimenté durant l'intervalle transgressif et le prisme de haut niveau marin. Dans la région de Villefranche-de-Rouergue, l'unité lithostratigraphique est plus mince. Elle est représentée par des marnes probablement sédimentées en période de haut-niveau). A Capdenac, une oolithe ferrugineuse et phosphatée se serait mise en place dans le même intervalle de temps. Un niveau à meules de dolomicrite identifié dans tout le bassin localiserait la surface d'inondation maximale.

MARNES ET CALCAIRES A HILDOCERATIDES

Cet ensemble à dominante argileuse diminue très fortement d'épaisseur entre la région de la Grésigne (coupe de Penne) et la région de Villefranche-de-Rouergue-Capdenac (coupes de Loupiac et Capdenac). La richesse en ammonites permet des corrélations précises. Ces indications biostratigraphiques, associés aux données paléoécologiques et sédimentologiques, contribuent à une interprétation en terme de stratigraphie séquentielle :

- la séquence Toa 2 serait présente dans tout le bassin, avec 7,50 m de calcaires et calcaires argileux à Penne, 1 m de marnes à Loupiac et 0,30 m de calcaire oolithique à Capdenac. le cortège de bas niveau (sous-zone à *Pseudoserpentinum*) n'est présent que dans la région de la Grésigne. Les cortèges transgressifs et de haut niveau se présentent sous le même faciès, avec une surface d'inondation maximale peu exprimée ;
- la séquence Toa 3 s'identifie dans tout le bassin grâce à l'intervalle condensé représenté par le double banc à la limite des sous-zones à *Lusitanicum* et à *Bifrons*. Le cortège de bas niveau sous-jacent peut-être identifié, par sa surface basale érosive et par son association micropaléontologique, entre Penne et Villefranche-de-Rouergue. Le cortège de haut niveau s'épaissit entre Villefranche-de-Rouergue et Figeac-Capdenac, alors que le cortège transgressif reste réduit, en tous points du bassin, à un seul banc ;
- la séquence Toa 4 possède un prisme de bordure de plate-forme calcaire et marneux, bien développé dans la région de la Grésigne, s'amincissant vers Caylus, et disparaissant dans la région de Villefranche-de-Rouergue (lacune de la sous-zone à *Semipolitum*). Les cortèges transgressif et de haut niveau marin, exclusivement marneux, sont séparés par une croûte ferrugineuse (surface d'inondation maximale).

Cette description montre les apports réciproques de deux outils (biostratigraphique, stratigraphie séquentielle) pour la réalisation de corrélations stratigraphiques fiables à l'échelle d'un bassin :

- la biostratigraphie fournit un cadre général de corrélation, contraint certaines interprétations (notamment en l'absence de faciès différenciés) et permet une datation précise des séquences et cortèges ;

- la stratification séquentielle permet de compléter et d'affiner les corrélations (en particulier dans les niveaux peu fossilifères), d'interpréter les lacunes de dépôt et les réductions d'épaisseur, afin de reconstituer la géométrie du bassin.

ANNEXE



Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 111 (1994) 000–000

PALAEO GEOGRAPHY
CLIMATOLOGY
ECOLOGY

Sequence stratigraphy and biological signals: statistical studies of benthic foraminifera from Liassic series

J. Rey ^a, L. Bonnet ^b, R. Cubaynes ^a, A. Qajoun ^a, C. Ruget ^c

SEQUENCE STRATIGRAPHY AND BIOLOGICAL SIGNALS : STATISTICAL STUDIES OF BENTHIC FORAMINIFERA FROM LIASSIC SERIES

J. Rey ¹, L. Bonnet ², R. Cubaynes ¹, A. Qajoun ¹, C. Ruget ³

ABSTRACT

The studies of benthic Foraminifera from the Toarcian in Quercy (Aquitaine Basin, France) show that the micropaleontological assemblages are influenced by sea level changes. The percentages of coiled, uncoiling and straight Nodosariidae (*Lenticulina*, *Citharina*) differ from low sea levels to high sea level. Statistical analyse of all the taxa in the successive levels of a section (Multiple factorial Analysis of Correspondences, methods of automatic clustering) prove that there is a perfect distribution of the samples into groups corresponding to the type of systems tract : differences within the Foraminiferal benthic biocenosis allow the successive systems tracts to be separated. The first axis in the Multiple Analysis of Correspondences coincides with a gradient of biotic capacity and seems connected with the sea level changes. The second axis could be linked with depth. The renewal rate of taxa and the factorial diversity of the sampling levels present fluctuations associated with 4th, 3rd and 2nd order variations of the sea level. These connections are caused by intricate processes with ecological, biogeographical and bioevolutionary influence. However, the micropaleontological assemblages can be good indicators of systems tracts and unconformities, particularly within deposits with homogeneous lithology.

INTRODUCTION

A living creature can record environmental changes better than a sedimentary particle. So, it is possible to postulate that the sea level changes, which affect the physico-chemical parameters (e.g. temperature, light, pressure, oxygenation, salinity, sediment grain sizes), the nature and abundance of trophic input, the paleogeography and the oceanic paleocirculations, induce alterations of the biological communities : these alterations include composition of marine biocenosis, structure of species, bioevolution and adaptative strategies. Thus, paleontological data could be used to identify systems tracts, unconformities and sequence boundaries.

We intend to present in this work various statistical studies showing, the biological reply to sea level changes. These studies are based on examples of benthic Foraminifera assemblages from the lower and middle Toarcian in Quercy.

¹- Laboratoire de Géologie sédimentaire et Paléontologie, Université Paul Sabatier, U.A. 1405 CNRS, F-31062 Toulouse Cedex, France.

²- Laboratoire de Biologie Quantitative, Université Paul-Sabatier, UPR 8491 CNRS, F-31062 Toulouse Cedex, France.

³- Centre de Paléontologie stratigraphique et Paléoécologie, UA 11 CNRS and Laboratoire de Micropaléontologie, Université Catholique, 69288 Lyon Cedex 02.

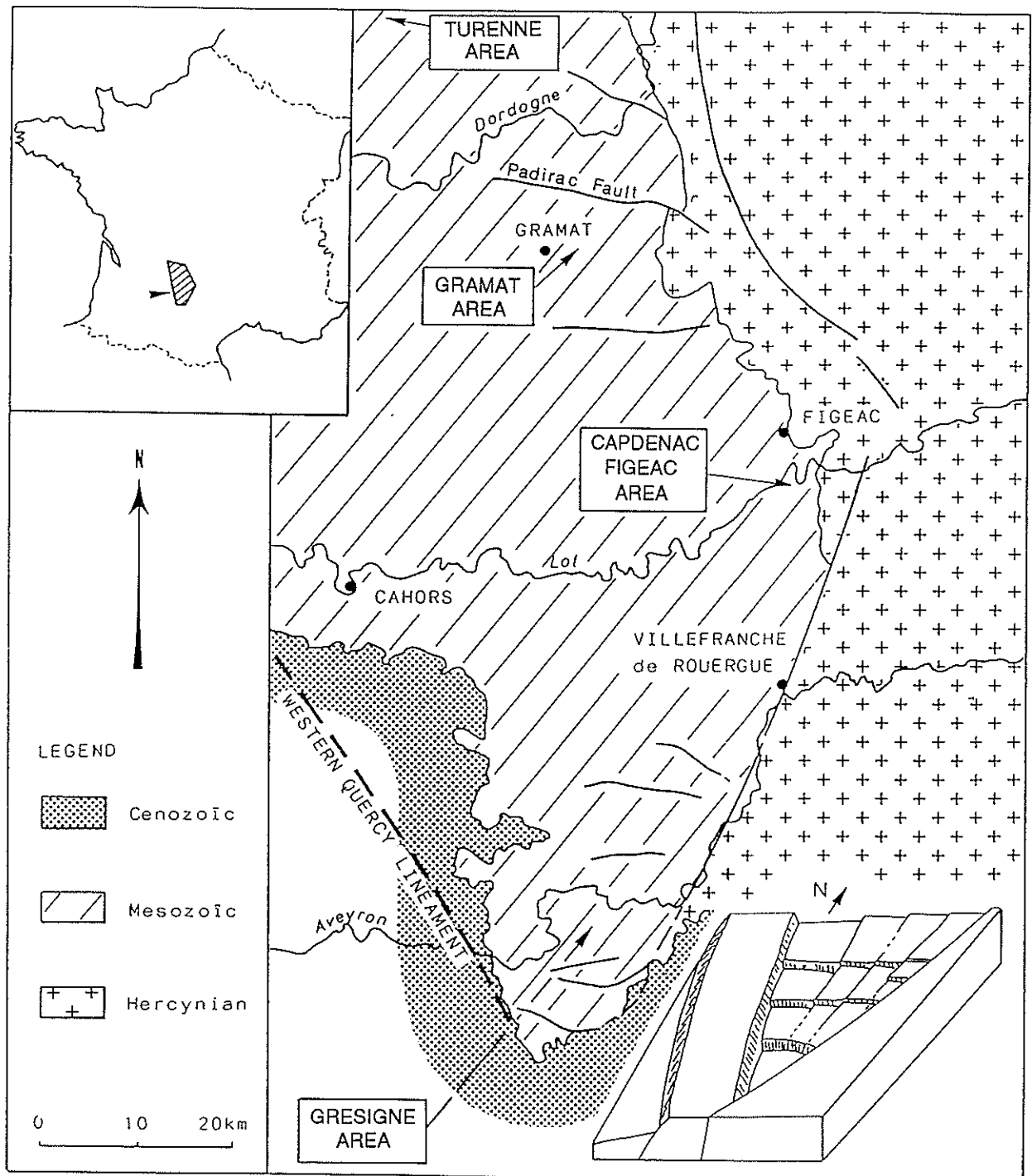


Figure 1 - Location map of the studied area and morphology of the Liassic basin of Quercy.

1. SEQUENCE STRATIGRAPHY OF THE LOWER AND MIDDLE TOARCIAN IN QUERCY

Quercy is located in the eastern part of the Aquitaine basin (fig. 1). During the liassic deposition took place south of the Lot river valley, in the area of Gresigne and Figeac-Capdenac countries (fig. 1, 2). The basin as described by Cubaynes (1986) is triangular and open toward the North. The southern two sides of the triangle are shallow or emerged shoals. The basin deepens to the South, reaching a maximum near the intersection of the Villefranche-de-Rouergue fault and the Western Quercy lineament. The Villefranche-de-Rouergue fault is a growth fault active during the Toarcian. We studied the shelfal area on both sides of the depositional shoreline break, West of the Villefranche-de-Rouergue fault. The depositional shoreline break is thought to coincide with a East-West oriented paleofault in the Figeac-Capdenac area. North of the Lot river valley in Gramat and Turenne countries, the northern distal platform opens toward the West (fig. 1, 3). The area is characterized by north dipping tilted blocks. The Padirac fault is a good example.

Five third order depositional sequences (Vail et al., 1987 ; Van Wagoner and al., 1988 ; Sarg, 1988 ; Rioult et al., 1991) have been identified within the early and middle Toarcian (fig. 2, 3). Each of these sequences is discussed below.

Toa 1 Depositional Sequence

The basal Toa 1 sequence boundary is an eroded and karstic surface. It is covered by a thin interval of sandy clay containing drift wood and reworked fossils. We interpret this interval as a shelf margin wedge systems tract. It is overlain by an organic rich shale called the "Schistes carton member" of the Penne Formation. This anoxic interval represents the transgressive and highstand systems tracts.

Toa 2 Depositional Sequence

The basal Toa 2 sequence boundary is a downlap surface. The downlapping strata are the toes of prograding clinoforms. This prograding interval is interpreted as a lowstand systems tract. It is very thin in Gresigne country and becomes thicker to the North in Gramat country.

The top of the lowstand prograding interval is a flooding surface interpreted as the transgressive surface at the base of the transgressive system tract. It is overlain by a thin interval of marls that is rich in Ammonites. The transgressive systems tract is composed of marls and limestones. There is a progressive decrease in the thickness of the marls relative to the limestones upward. The maximum flooding surface cannot be identified by lithological and stratal patterns, but it can be recognized on the basis of micropaleontological changes. The highstand systems tract is composed of three shallowing upward parasequences that prograd into the basin. Both the transgressive and highstand systems tracts are condensed in the Northern part of the basin, in the area of Turenne country. The Toa 2 sequence is more marine than the Toa 1, and thus represents a backstepping sequence within an overall transgression of the shoreline.

Toa 3 Depositional Sequence

The basal Toa 3 sequence boundary is an erosional surface evidenced by truncation of underlying strata. It also represents a biostratigraphic hiatus (subzones upper VI, VII and lower VIII missing in places). The sequence boundary is overlain by reworked fossils and a thin shelf margin wedge systems tract composed of marls. The shelf margin systems tract pinches out toward the Northeast by onlap. The transgressive systems tract is made up of a widespread limestone that thickens and then onlaps out in the area of Figeac-Capdenac. The highstand is a thin limestone that is present all over the basin. The maximum flooding surface is located between these limestones. The progressive increase in the marine nature of the Toa 3 sequence indicates a continuation of the backstepping and overall transgressive trend. The Toa 3 maximum flooding surface is considered as be the peak transgression of the second order cycle.

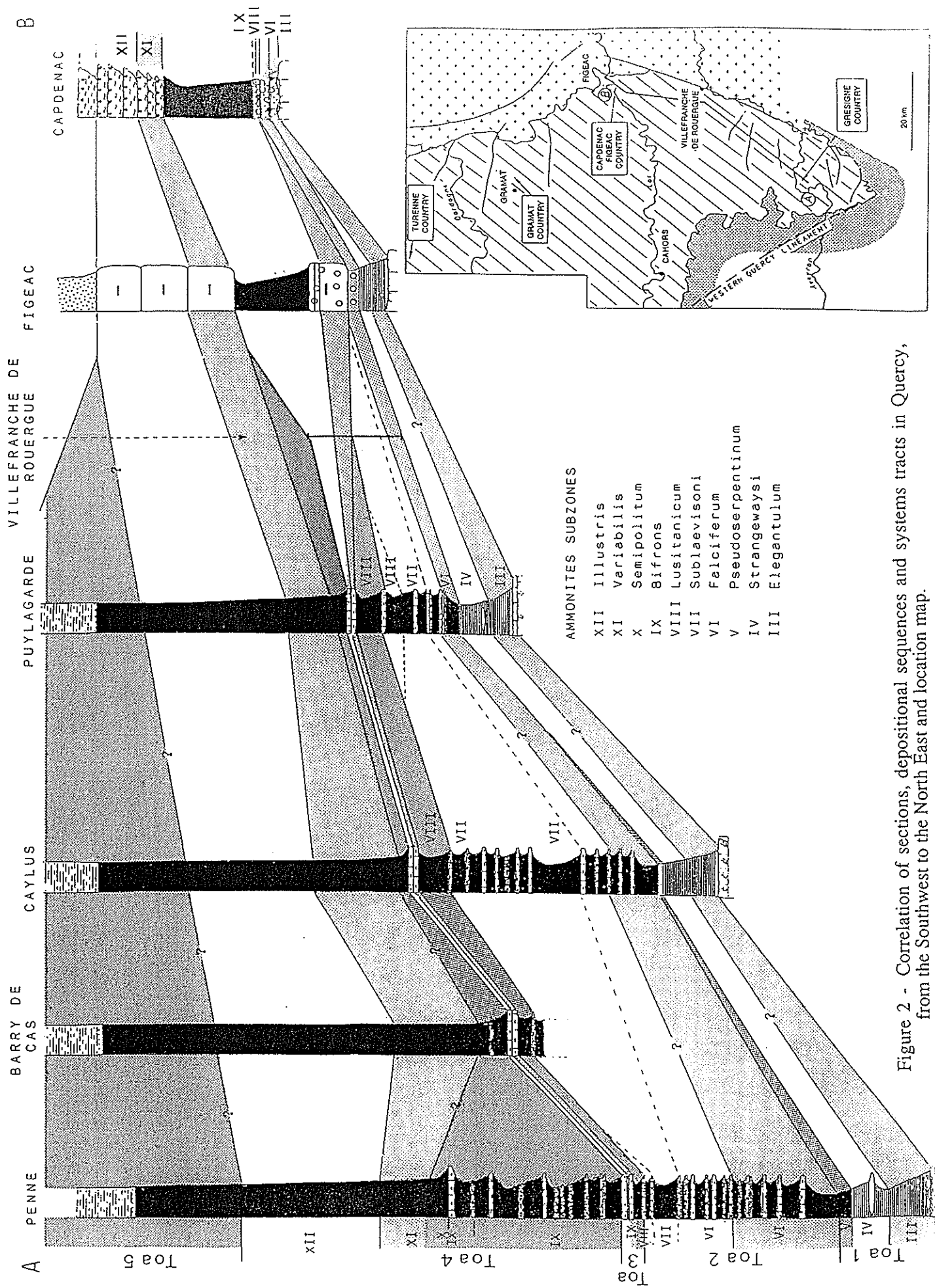


Figure 2 - Correlation of sections, depositional sequences and systems tracts in Quercy, from the Southwest to the North East and location map.

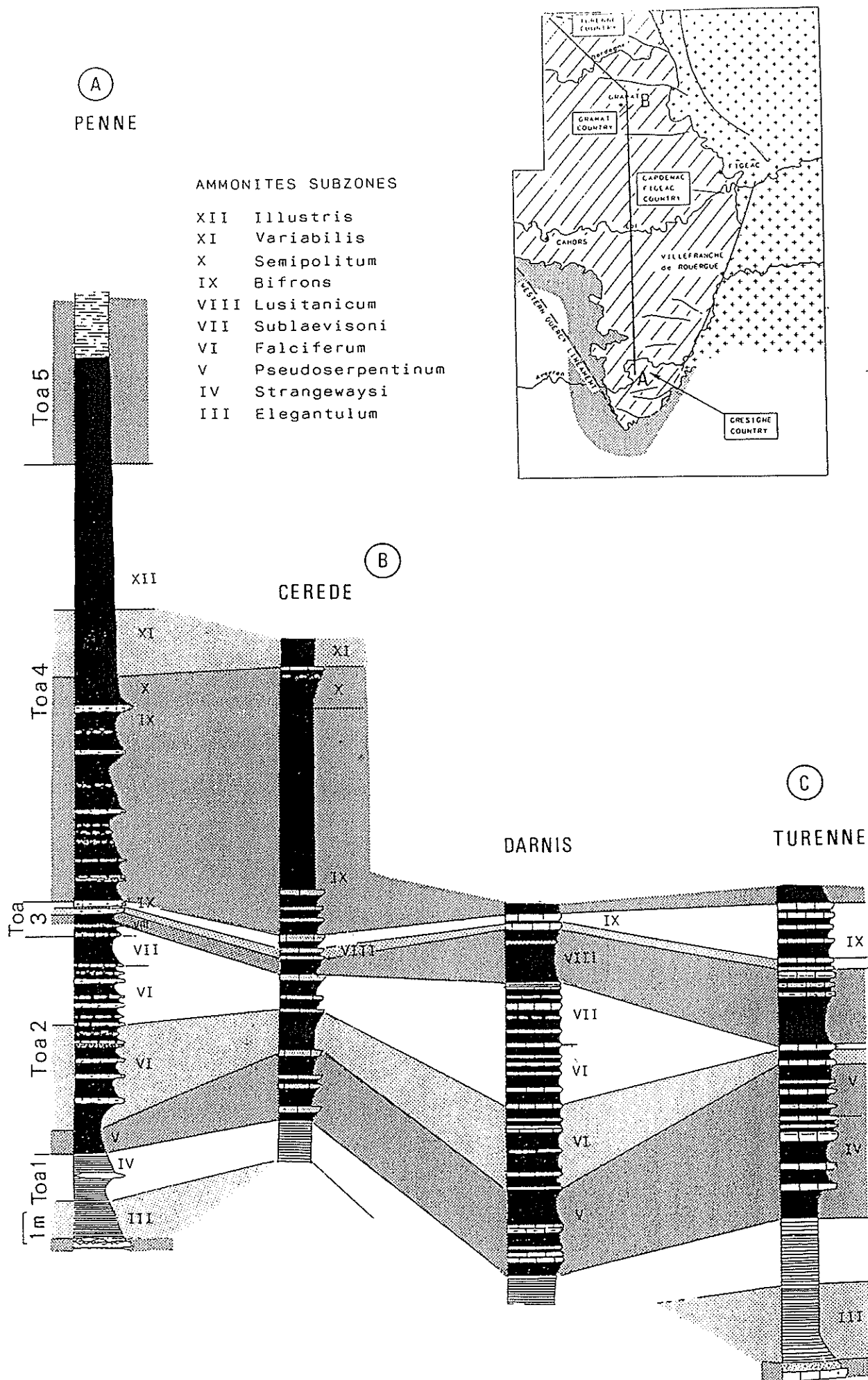


Figure 3 - Correlation of sections, depositional sequences and systems tracts in Quercy, from the South to the North and location map.

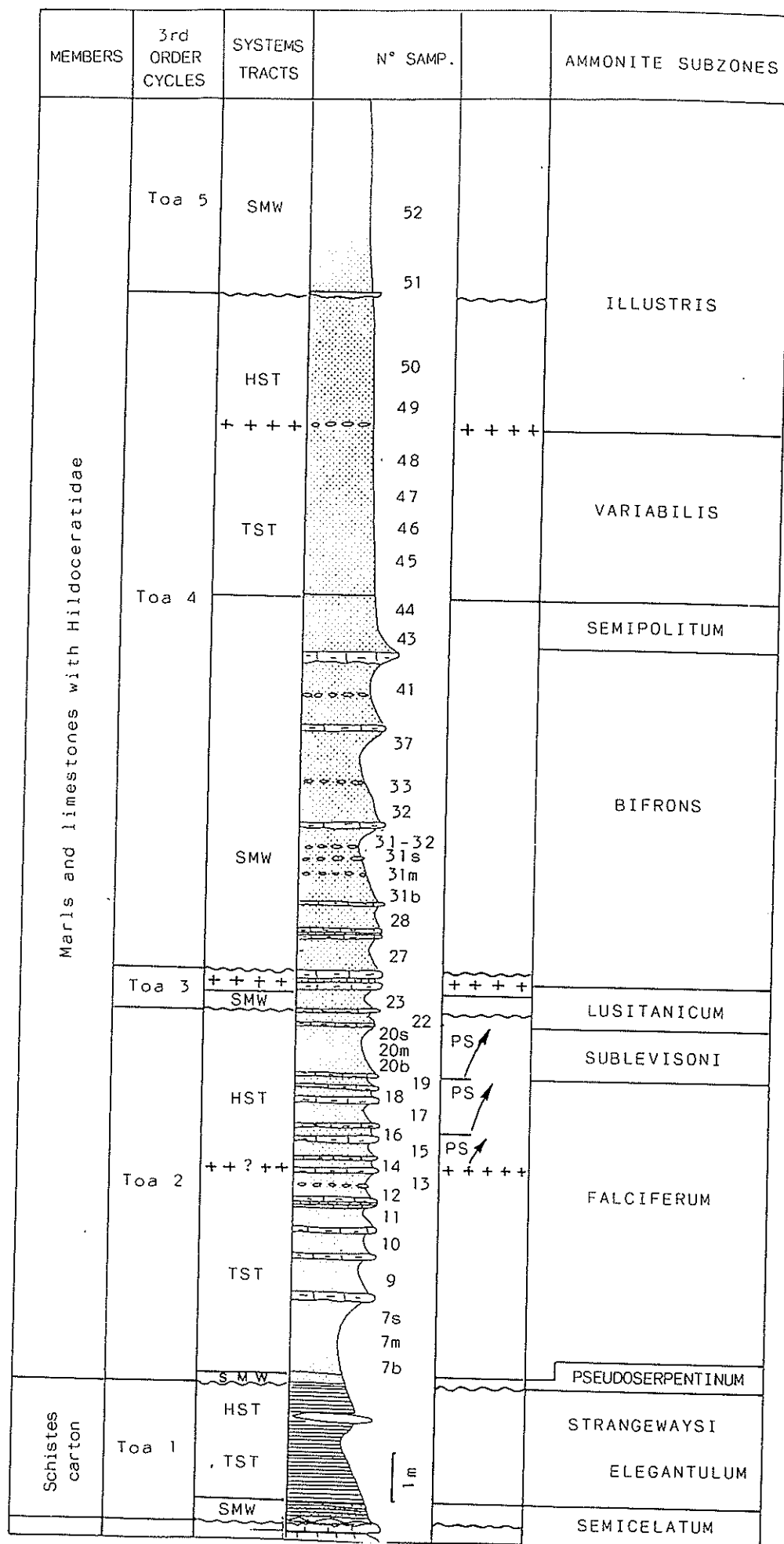


Figure 4 - The Penne section. Lithostratigraphic units, Ammonite subzones, sequences and systems tracts, sampling levels.

Toa 4 Depositional Sequence

The basal Toa 4 sequence boundary is an onlap surface. Ammonite subzones upper IX and X onlap out from the South to the North landward to the underlying depositional shoreline break. This onlapping interval is interpreted as a shelf margin wedge systems tract. It is composed of interbedded limestone and marl. The transgressive systems tract is interpreted to be the overlying thin marls interval. It is very homogeneous and laterally extensive. The top of this interval is a highly bioturbated nodular surface. That is rich in Ammonites. This surface is considered as a maximum flooding surface. The Toa 4 sequence is composed of widespread marls and is the start of the infilling 2nd order regressive phase.

Toa 5 Depositional Sequence

The basal Toa 5 sequence boundary is an erosive-capped type surface (Kidwell, 1991) associated with drift wood. This surface is overlain by a marly lowstand systems tract.

All these sequences and systems tracts are accurately tied to Ammonite subzones (fig. 2, 3, 4). Therefore, they can be correlated on the basis of biochronological data where physical criteria for identifying the boundaries are weak.

2. THE FORAMINIFERA ASSEMBLAGES

The sediments contain a lot of benthic Foraminifera, especially *Nodosariidae*. Three groups of shapes can be recognized (fig. 5) : planispiral coiled forms (morphogenera *Lenticulina*) ; uncoiling forms (morphogenera *Marginulinopsis*, *Falsopalmula*, *Astacolus*, *Planularia*) ; straight uniserial forms (genera *Citharina*, *Nodosaria*, *Pseudonodosaria* and *Dentalina*). The species are characterized by a great polymorphism (Ruget, 1985). For instance, one species of the genus *Lenticulina* includes up to five morphogenera (fig. 6) : a coiled morphogenus and four uncoiling morphogenera, with all the intermediate shapes. It is generally thought that the coiled *Lenticulina* are generalist, opportunistic forms, while the uncoiling morphogenera are more specialist forms, adapted to various microenvironments.

3. THE SAMPLING METHODS

In this paper we mainly discuss the results determined from the Penne section (fig. 2) in the Gresigne area. This section is located at the depocenter in the southern part of the basin. Other sections, in the central part of the basin (Gramat area), on the eastern edge (Figeac-Capdenac area) and on the northern edge (Turenne area), were studied and will be used for the correlations, discussed at the end of this paper.

In the Penne section, the samples were taken from each marly level and, if the thickness of a marly level exceeded fifty centimeters, the sampling was done every fifty centimeters (fig. 4). All the microfauna were analyzed. This represents analysis more than sixty thousand specimens for this section only. Indeed, quantification was indispensable for the credibility of the results.

4. STATISTICAL ANALYSIS OF SHAPES

The percentage of the three shapes of *Nodosariidae* (coiled, uncoiling and straight) changes in the successive sampling levels (fig. 7). The coiled *Lenticulina* are always prevalent (from 80% to 100%) in the foraminiferal assemblages. They are larger in the lowstand deposits than in the highstand deposits. After the anoxic episode of the "Schistes carton" (consequently without benthic life), these forms appear first, in the basal layer of the Toa2 depositional sequence. Then, a gradual growth of the percentage of *Citharina* occurs in the following layers. These straight *Nodosariidae* are plentiful in the Toa2 transgressive systems tract. In the following highstand systems tract the uncoiling forms increase. Globally, the percentage of straight and uncoiling *Nodosariidae* increases then decreases during the

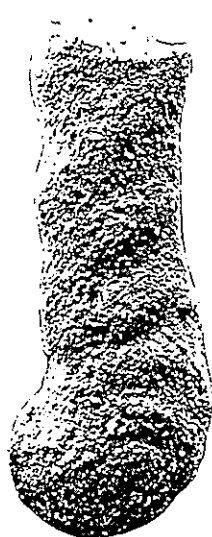
1. Planispiral coiled Forms

Lenticulina sensu-stricto



2. Uncoiling Forms

Morphogenera of Lenticulina sensu-lato



Marginulinopsis



Falsopalmula

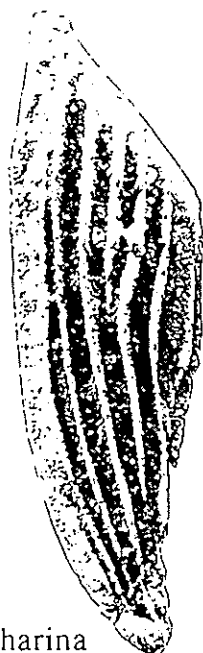


Astacolus



Planularia

3. Rectilinear uniserial Forms



Citharina



Dentalina



Nodosaria

Figure 5 - The various shapes of *Nodosariidae* from the Lower and Middle Toarcian in Quercy.

INCREASE OF THE UNCOILING

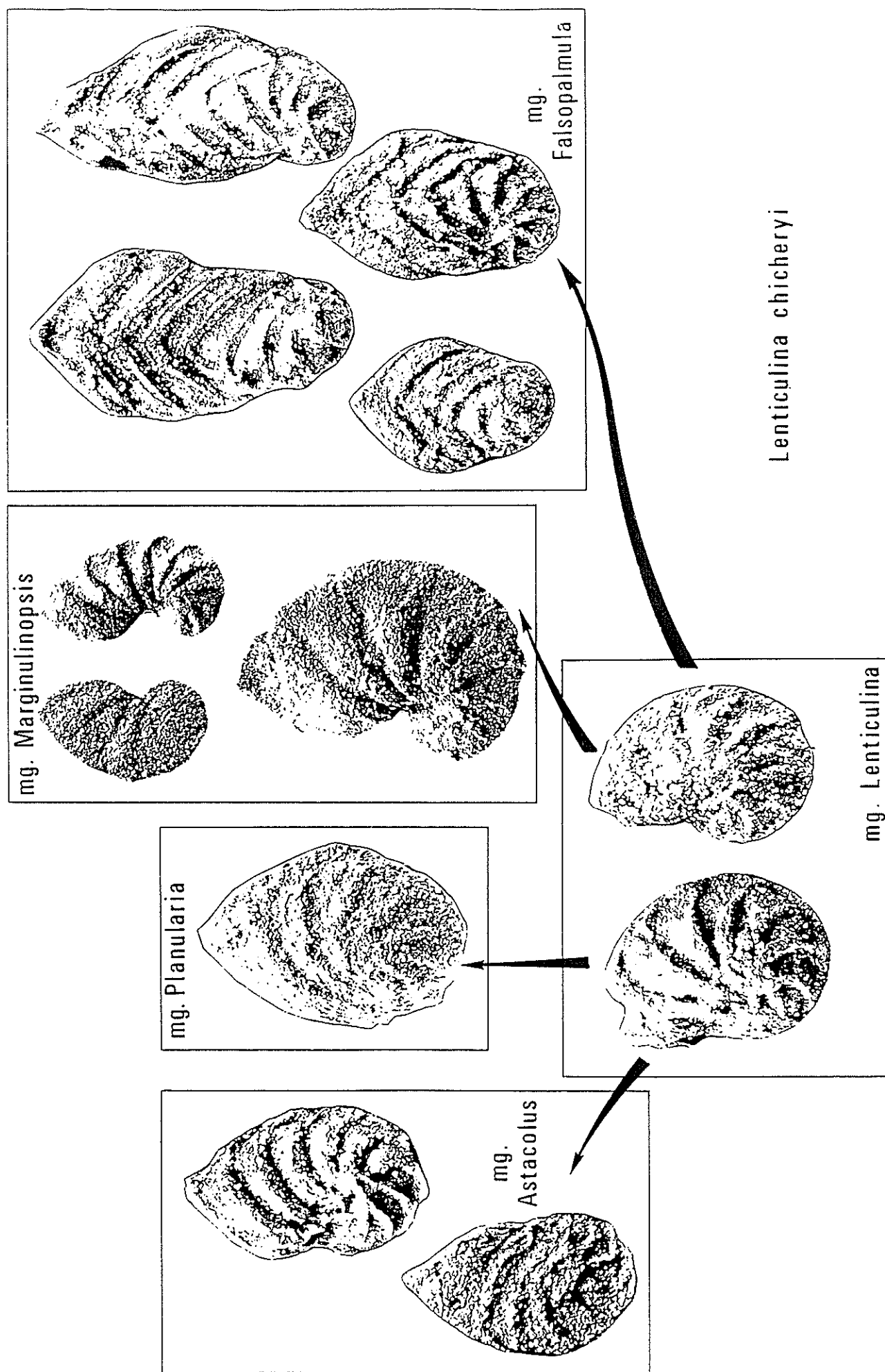


Figure 6 - The species *Lenticulina chicheryi* with its different morphogenera.

Toa2 transgressive and highstand systems tracts. At the Toa3 sequence boundary, the percentage of these shapes suddenly falls, and the coiled *Lenticulina* are almost the only ones in the Toa3 and Toa4 shelf margin wedges, except in the 27 level, on the erosive surface of the Toa4 boundary with, perhaps, a reworked fauna. The Toa4 transgressive systems tract is characterized by another development of straight and uncoiling forms. In the highstand systems tract of the Toa4 sequence, these shapes become progressively less numerous. A second abrupt fall of the straight and uncoiling forms happens at the Toa5 sequence boundary. The sediments of the Toa5 shelf margin wedge contain almost only coiled *Lenticulina*.

Therefore, in this section, a similarity appears between the curve of the ratio of straight and uncoiling *Nodosariidae* and the curve of the sea level changes. The same results were found, with different species and proportions in the Domerian sequences of this region (Cubaynes et al., 1989). Consequently, we can propose the following model, for this series, this basin and this location in the basin :

- Shelf margin wedge : the coiled *Lenticulina* are almost exclusive ;
- Transgressive systems tract : decrease of the proportion of coiled *Lenticulina* ; strong increase of the proportion of *Citharina* and gradual increase of the proportion of the uncoiling *Nodosariidae* ;
- Highstand systems tract : decrease of the proportion of *Citharina*, then of the proportion of the uncoiling *Nodosariidae*.

If we assume that the coiled forms are generalist forms, that the uncoiling *Nodosariidae* are more specialist forms, and that *Citharina* are Foraminifera adapted to deeper waters, it is likely that we have a transition from a type r adaptative strategy tendency in the low sea levels to a type K partial tendency in the high sea levels. The same model was described with Ostracods from these series (Bodergat et al., 1991).

5. THE CHART OF TAXA

Analysis of the taxa was based on the identification of 65 taxa (genera, species, morphogenera) of benthic Foraminifera present in the different samples of the Penne section (fig. 8). Their relative percentages were not taken into consideration because the high proportion of coiled *Lenticulina* would have hidden the information brought by the other forms.

A quick look at the chart (fig. 8) shows a massive arrival of the benthic fauna at the beginning of the Toa2 transgressive systems tract and the colonization of the virgin biotopes after the anoxic episode of the "Schistes Carton" member. Some taxa (*Pseudonodosaria* sp., *Citharina cornucopiae*) have an ephemeral presence. Others (*Lenticulina toarcense* mg. *Lenticulina*, *Citharina longuemari* var. *clathrata*, *Citharina subaequilateralis*) are known in all the levels. Others (*Citharina colliezi*, *Citharina iberica*, *Lenticulina chicheryi* mg. *Falsopalmula*) disappear in a systems tract, then appear again. After that, the appearances of new taxa become increasingly widespread inside the systems tracts and at the systems tract boundaries. Therefore, we have here intricate processes, with :

- i) an ecological control allowing the episodic setting up of specific biotopes and the establishment of adapted ecophenotypes ;
- ii) a biogeographical control that induces the arrival of exogenous fauna ;
- iii) a biological control generating the bioevolution on site of some lineages and sympatric speciations, such as the creating of the species *tenuistriata* from the species *chicheryi* (Cubaynes et al., 1990).

6. FAUNA PROFILE ANALYSIS

6.1. Statistical methods (Bonnet et al., 1991)

The presence-absence table of 65 taxa in the 38 sampling levels was studied by Multiple Factorial Analysis of Correspondences (MAC) after double binary coding (for each taxon : 1 presence point and 1 absence point). From the sample scores on the factorial axes,

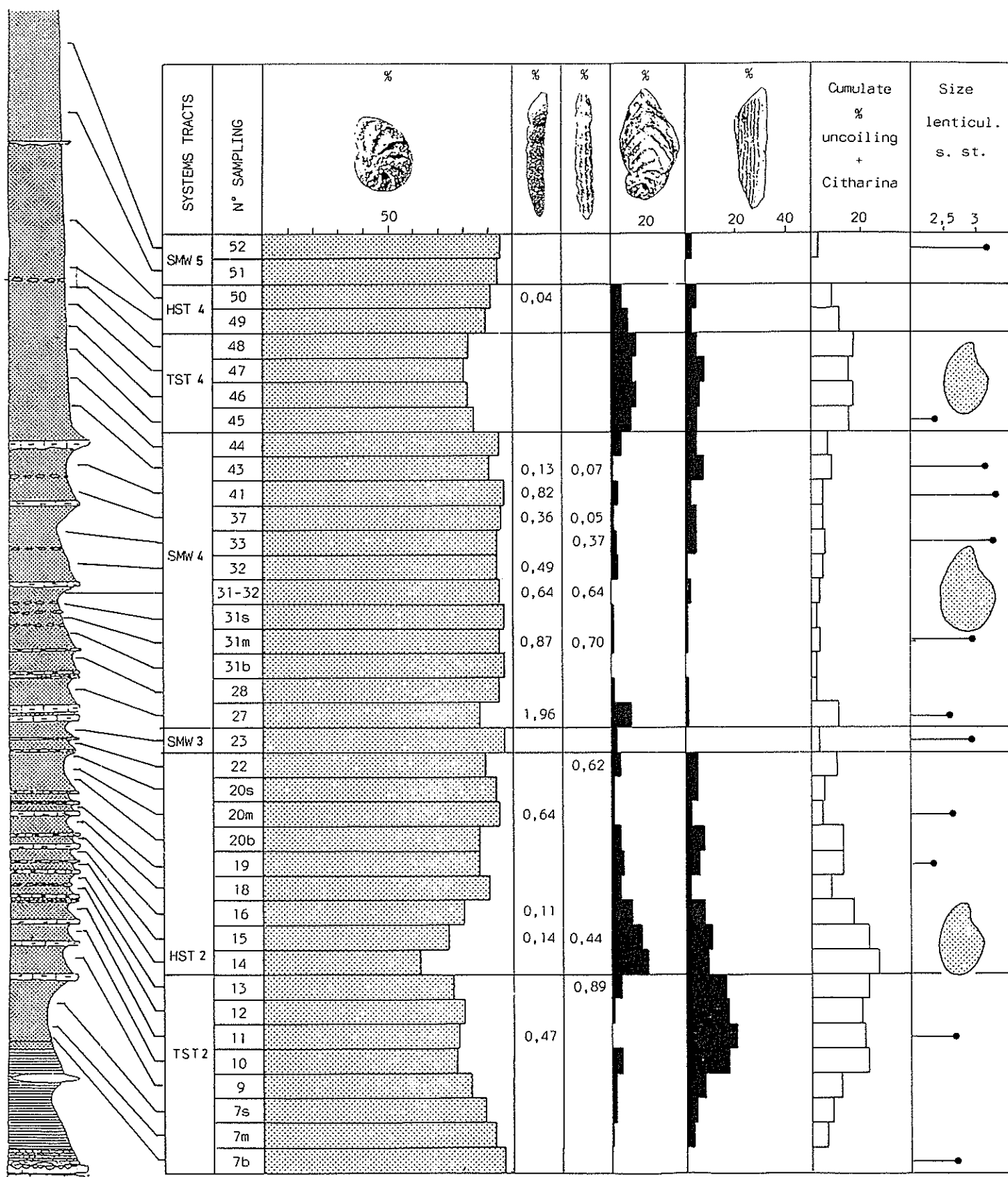


Figure 7 - Distribution and percentages of the main forms of benthic Foraminifera in the Penne section.

automatic clustering was applied using a hierarchical method (second order moment or ward's criterion) and a non-hierarchical method (grouping around mobile centres, using Diday's "Nuées dynamiques" method, with conservation of the strong shapes). The initial distribution of all the deposits into sedimentary series, established from sedimentological criteria and the geometry of the deposits, was processed by Multivariate Discriminant Analysis (MDA) using the scores of the sample on the first factorial axes of the MAC. The main purpose of the MDA was to check the persistence of the initial distribution when sedimentological information was replaced by that supplied by the qualitative composition of the biocenosis of the Foraminifera. It allowed the detection of badly classified elements and thus the proposal of new limits for groups of samples considered as systems tracts.

6.2. Results

Multiple Factorial Analysis of Correspondences of the chart (fig. 9) clearly shows three groups corresponding to the different systems tracts previously determined by sedimentological and geometrical data : group "A" with the sampling levels of the Toa 2 transgressive and highstand systems tracts ; group "B" with the sampling levels of the three shelf margin wedge systems tracts (Toa 3, Toa 4, Toa 5) ; group "C" with the sampling levels of the Toa 4 transgressive and highstand systems tracts. These three groups are also well distinguished by the two methods of automatic clustering with, as data, the first five axes of the Factorial Analysis of Correspondences (fig. 10).

The use of some additional indicators (macrofauna, ornamentation of *Citharina*, other microfauna) and the relative position of the samples allowed the factors to be interpreted : the first axis F1, coincident with a gradient of biotic capacity that could integrate the temperature (ornamentation of *Citharina* and specific diversity of microfauna increasing from the left - SMW - to the right-Toa2 TST and HST), is complex. F1 integrates many ecological and temporal components. The second axis F2 which opposes the three shelf margin wedges to the Toa4 transgressive and highstand systems tracts (with the Toa2 transgressive and highstand systems tracts in an intermediate location) seems linked with the depth.

Discriminant analysis based on the first axes of the MAC (same data as for the automatic clustering) gave the results summarized in table I.

All the discriminant analyses present the following common characteristics :

1 : the first two functions (discriminant axes 1 and 2) have highly significant ($P < 10^{-4}$) discriminant values. The others have almost zero discriminant value.

2 : of the variables used as data in the discriminant analyses, only the first two (factorial axes F1 and F2 of the MAC) contribute significantly to discrimination of the groups.

Therefore, in this section, the foraminiferal assemblages allow the separation of successive systems tracts, particularly the systems tracts of low sea level (SMW) which are very homogeneous from those of high sea level (TST and HST). On the outer shelf, like in the Gresigne area, the samples of the transgressive systems tract are mixed with the samples of the next highstand systems tract.

7. STUDIES OF THE FIRST FACTORIAL AXIS F1 OF THE M.A.C.

7.1. Methods

The F1 axis of the Multiple Analysis of Correspondences represents, by definition, a synthetic variable summarizing the taxonomic, ecological and temporal variations of the biocenosis. It is therefore of great value in describing the alterations of the ecosystem. We consider here the series of the F1 scores of the deposits as a time-series. Its study involves, in particular (Bonnet et al., 1992) :

- exponential filtering to attenuate random fluctuations ;
- demonstration of the trend by polynomial regression ;
- detection of modifications of the trend by the non-parametric tests of Mann-Kendall-Sneyers (Sneyers, 1975) and Pettitt (1979) ;

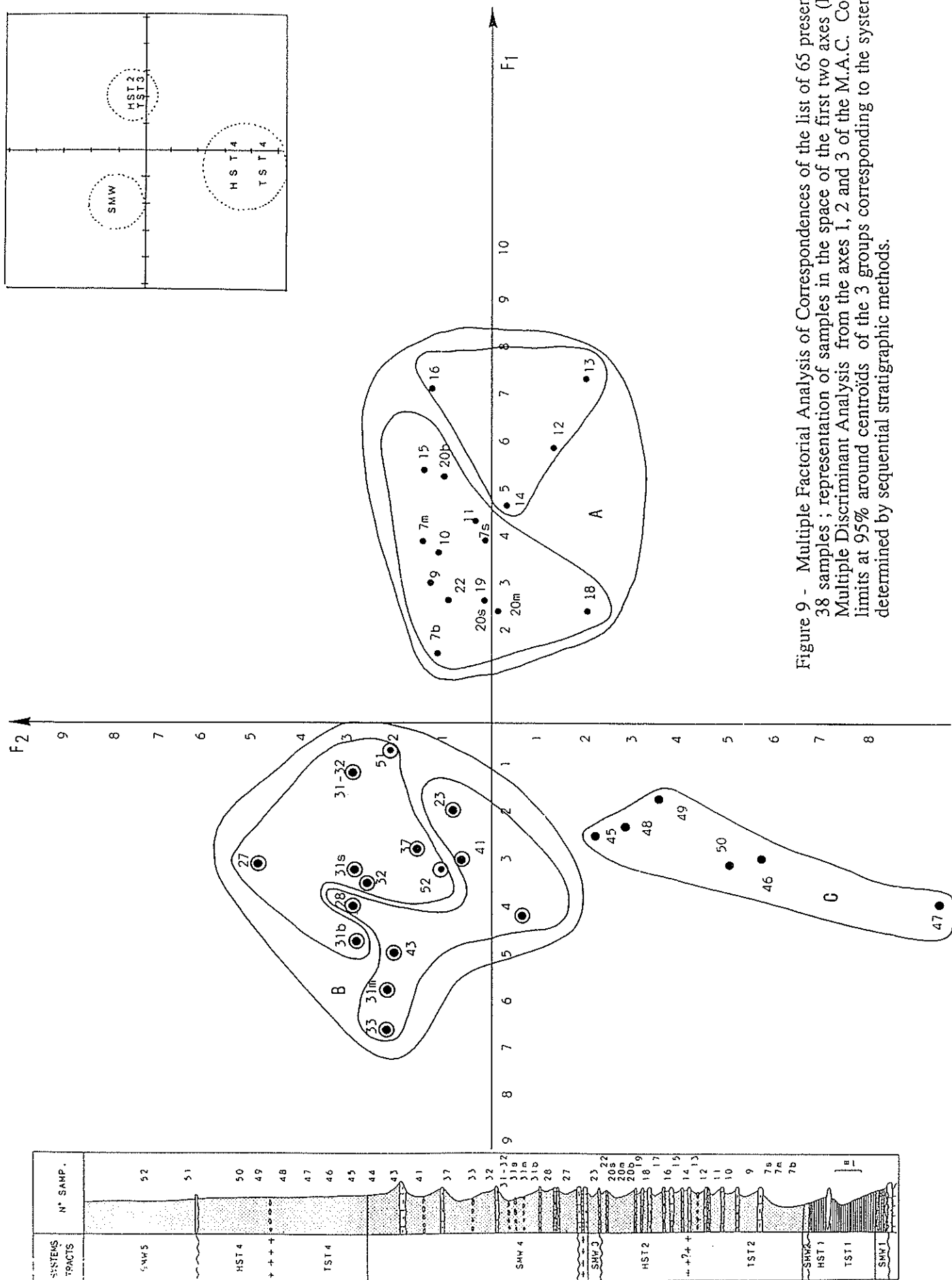


Figure 9 - Multiple Factorial Analysis of Correspondences of the list of 65 present taxa in 38 samples ; representation of samples in the space of the first two axes (F1, F2) ; Multiple Discriminant Analysis from the axes 1, 2 and 3 of the M.A.C. Confidence limits at 95% around centroids of the 3 groups corresponding to the systems tracts determined by sequential stratigraphic methods.

	5 GROUPS	4 GROUPS	4 GROUPS	3 GROUPS
INITIAL PARTITION	Toa2 - TST and HST (7b-22) Toa3 - Toa4 SMW (23-24) Toa4 TST (45-48) Toa4 HST (49-50) Toa5 SMW (51-52)	Toa2 - TST and HST (7b-22) All SMW (23-44 and 51-52) Toa4 TST (45-48) Toa4 HST (49-50)	Toa2 - TST and HST (7b-22) Toa3-Toa4 SMW (23-44) Toa4 TST (45-48) Toa4 HST (49-50) [Toa5 SMW (51-52) as additional samples]	Toa2 - TST and HST (7b-22) All SMW (23-44 and 51-52) Toa4 TST and HST (45-50)
NUMBER OF MISSORTED SAMPLING LEVELS	6	1	1	0
% ERRORS OF SORTING	158	26	28	0
ASSIGNMENT	48 (Toa4 TST) assigned to Toa4 HST	48 (Toa4 TST) assigned to Toa4 HST	48 (Toa4 TST) assigned to Toa4 HST ----- Additional Toa5 SMW assigned to Toa3 - Toa4 SMW	
CONCLUSIONS	SMW blended	Homogeneity of SMW	Homogeneity of SMW	Homogeneity of SMW Homogeneity of Toa4 TST and Toa4 HST Conformity with the automatic classification (Fig.9.10)

Table 1 - Results of the Discriminant Analysis. Critique of partitions into 3 to 5 groups established from sequence stratigraphic methods. Data : scores of the samples on the first axes of the M.A.C.

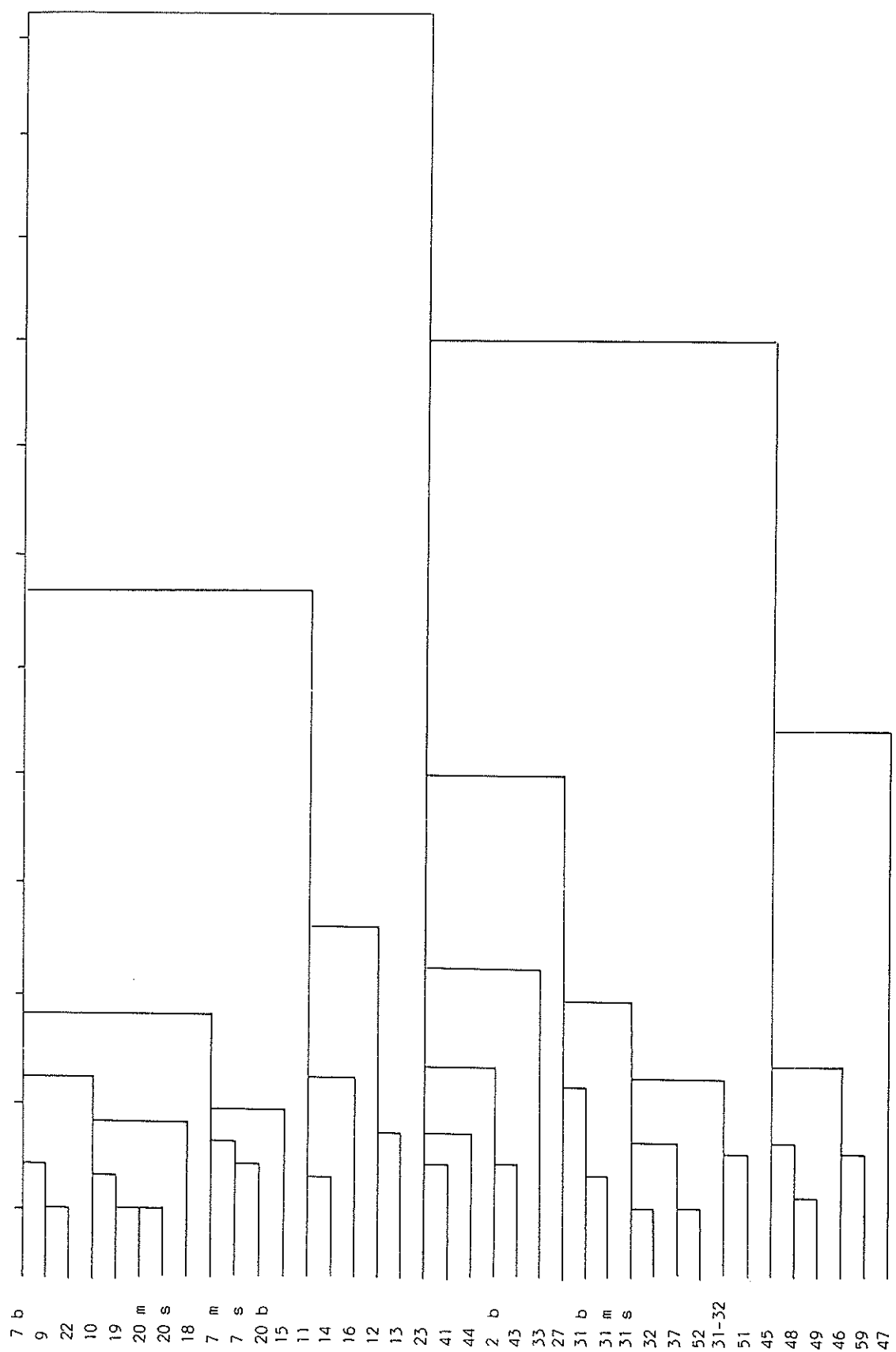


Figure 10 - Hierarchical clustering of the 2 order moment from the first five axes of the M.A.C.

- a graphic study of the systematic fluctuations of the series itself and of the series of regression residuals.

7.2. Studies of the F1 series of the Penne section

The study of the F1 - score series of the sampling levels with the chronological arrangement reveals (fig. 11) an expressive curve : the values rise in the Toa2 transgressive systems tract, then they go down in the Toa2 highstand systems tract. The fall is strong at the two (Toa3 and Toa4) sequence boundaries and the values stay low in the Toa3 and Toa4 shelf margin wedge systems tracts. They increase in the Toa4 transgressive systems tract, reach a maximum at about the maximum flooding surface, then decrease, weakly in the Toa4 highstand systems tract and strongly in the next Toa5 shelf margin wedge systems tract. Consequently, the curve of the successive values of F1 presents, in these sequences and in the morphological oppositions between its various parts, large analogies with the model of eustatic curve (Vail et al., 1987), and the F1 axis seems connected with the sea level changes.

The change of the F1 values is greatest during the Toa3 backstepping sequence (major transition at the sampling level 23, Mann-Kindall-Sneyers' and Pettitt's tests). The micropaleontological assemblages are submitted during this latest stage of the transgressive period to a fundamental alteration, perhaps with climatic or biogeographical control or perhaps linked to the double stress generated by the two close falls of sea-level at the two sequence boundaries.

The time-delay method (fig. 12) is a graphic analysis of the trajectory of points with the coordinates : x : values of F1 at the time t ; y : value of F1 at the time t + 1. Two cycles can be distinguished : cycle A corresponding to the Toa2 sequence (during the transgressive period of a second order cycle), and cycle B corresponding to the Toa4 infilling sequence (during the regressive period of a second order cycle), with an abrupt transition at the Toa2 backstepping sequence. This opposition might be interpreted as corresponding to two different states of the biocenosis with a rapid passage from one to the other, in reply to the abrupt transition between two "attractor" ecological states. In cycle A, two breaks point out the bases of parasequences (samples 16, 20 b).

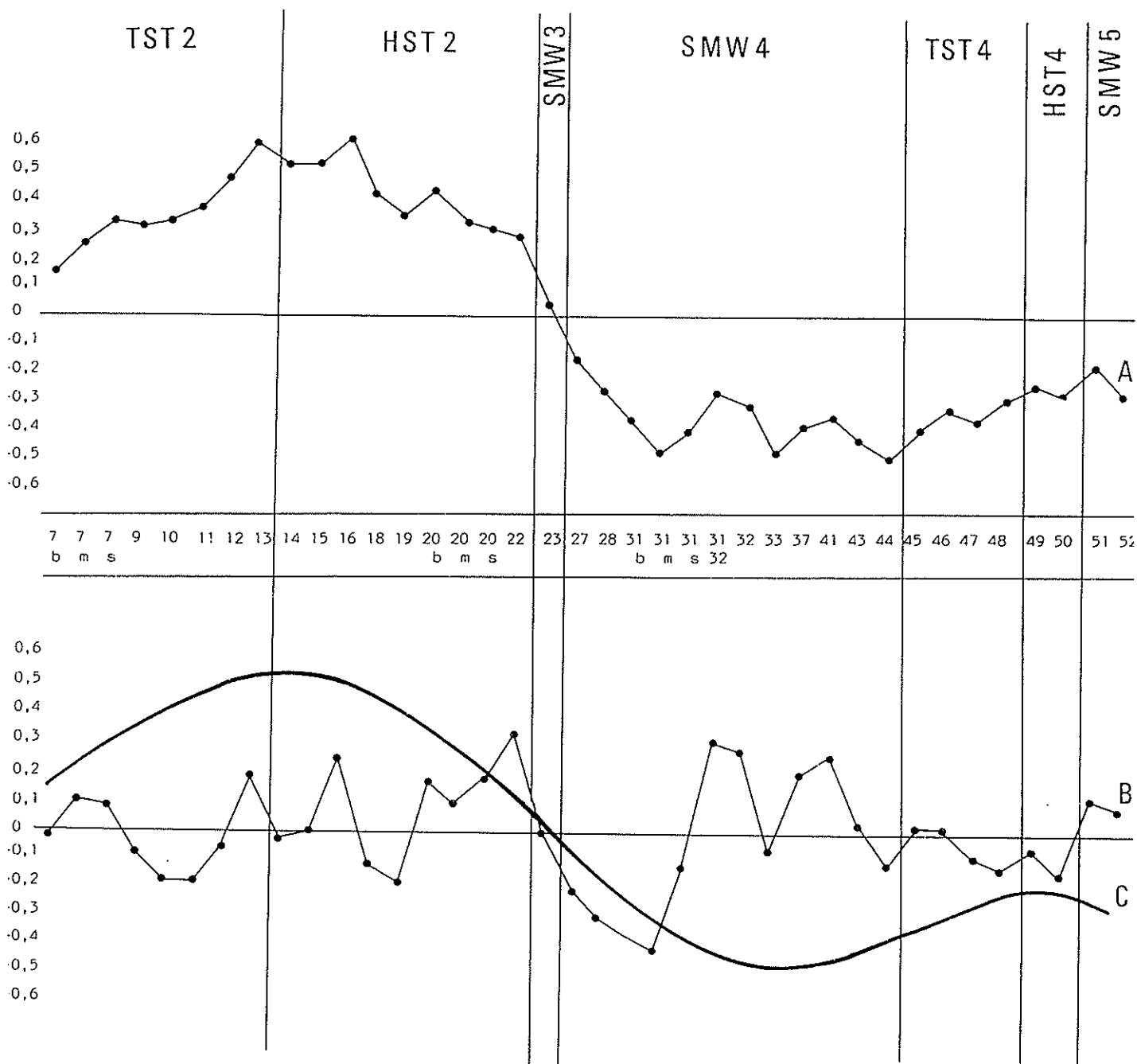
7.3. Comparison of the F1 - score series in the basin

The correlations of sections being controlled by biostratigraphical data (Ammonite distributions), by the characters of unconformities, by the stratal patterns and by the location of the guide layers related to the backstepping sequence Toa 3, we can propose a comparison of the F1 - score series at the basin scale.

The values in the outer part of the basin, in Penne (Gresigne area) and in Cerede (Gramat area) 80 km away (fig. 1, 3), generate similar curves (fig. 13). In these two cases, a major change appears at the two Toa3 and Toa4 sequence boundaries. The contrast between the first and the third sequences is less marked in the Cerede section than in the Penne section (the latter being nearer shoals). A correlation on a smaller scale of the F1 - score curve is not easy to obtain, because of the prograding arrangement of the highstand systems tracts and of the shelf margin wedge systems tract.

The Turenne section, near the northern edge of the basin (fig. 1, 3), seaward of the depositional shoreline break, and the Villefranche-de-Rouergue section, on the eastern edge of the basin (fig. 1, 2), landward of the depositional shoreline break, are shorter, whether because the outcrops only correspond to a part of the Penne succession (Turenne section), or because of a total or partial gap at the shelf margin wedge systems tracts (Villefranche-de-Rouergue section). On the other hand, they are characterized by a thickening of the Toa3 backstepping sequence. The comparison of the F1 - score series of these two sections with the curve of the Penne section shows (fig. 14) :

- similar fluctuations that allow separation of the various systems tracts. The values are always lower in the low sea levels than in the high sea levels ;
- a fundamental alteration at the Toa3 and Toa4 sequence boundaries that marks the reversal of trend (transgressive to regressive) at the second order scale.



A : Exponential smoothing of F1 series

B : Raw residual

C : Polynomial regression curve-fitting (degree 5)

Figure 11 -F1 score series of the Penne section, with the chronological arrangement. A : exponential smoothing of F1 series ; B : raw residual ; C : polynomial regression curve fitting (degree 5).

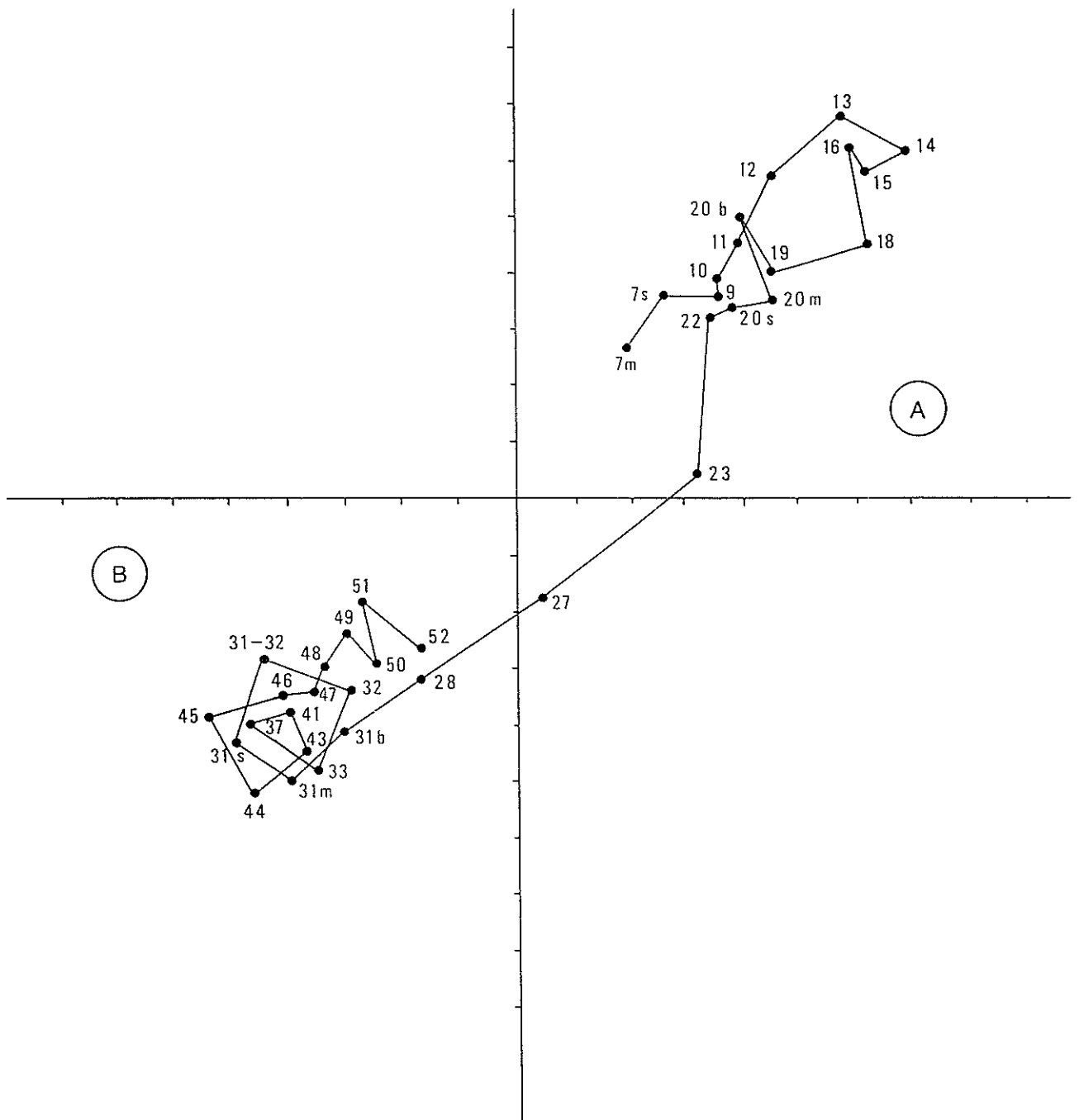


Figure 12 - Trajectory of points of the exponential smoothing of F1 Penne series (curve A in the figure 11 a). x : value at t ; y : value at $t + 1$.

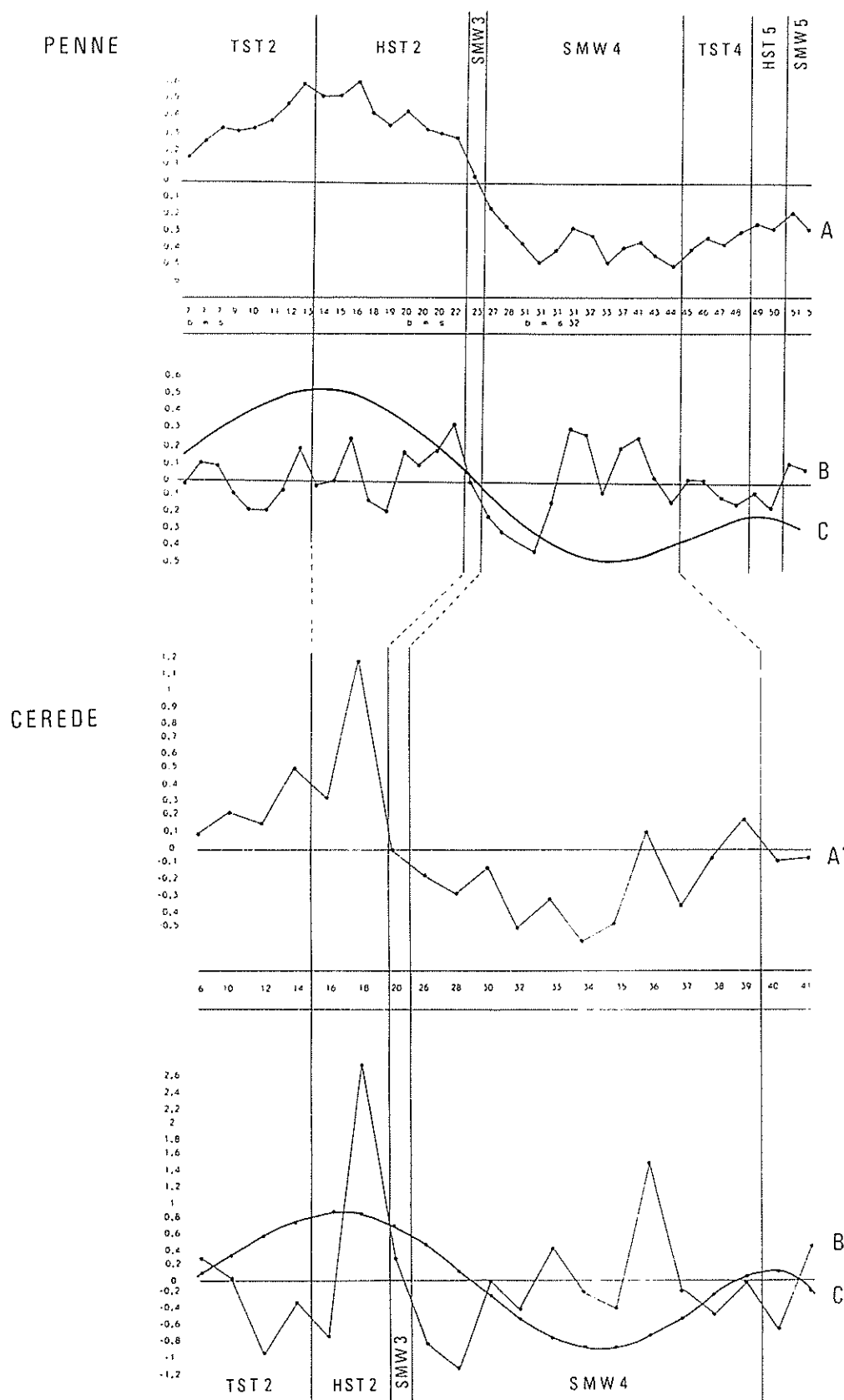


Figure 13 - Comparison of the F1 score series in Penne (Grésigne country, fig. 1) and Cérède (Gramat country, fig. 1). A and A' : exponential smoothing ; B and B' : raw residual of the regression ; C and C' : polynomial regression curve fitting (degree 5).

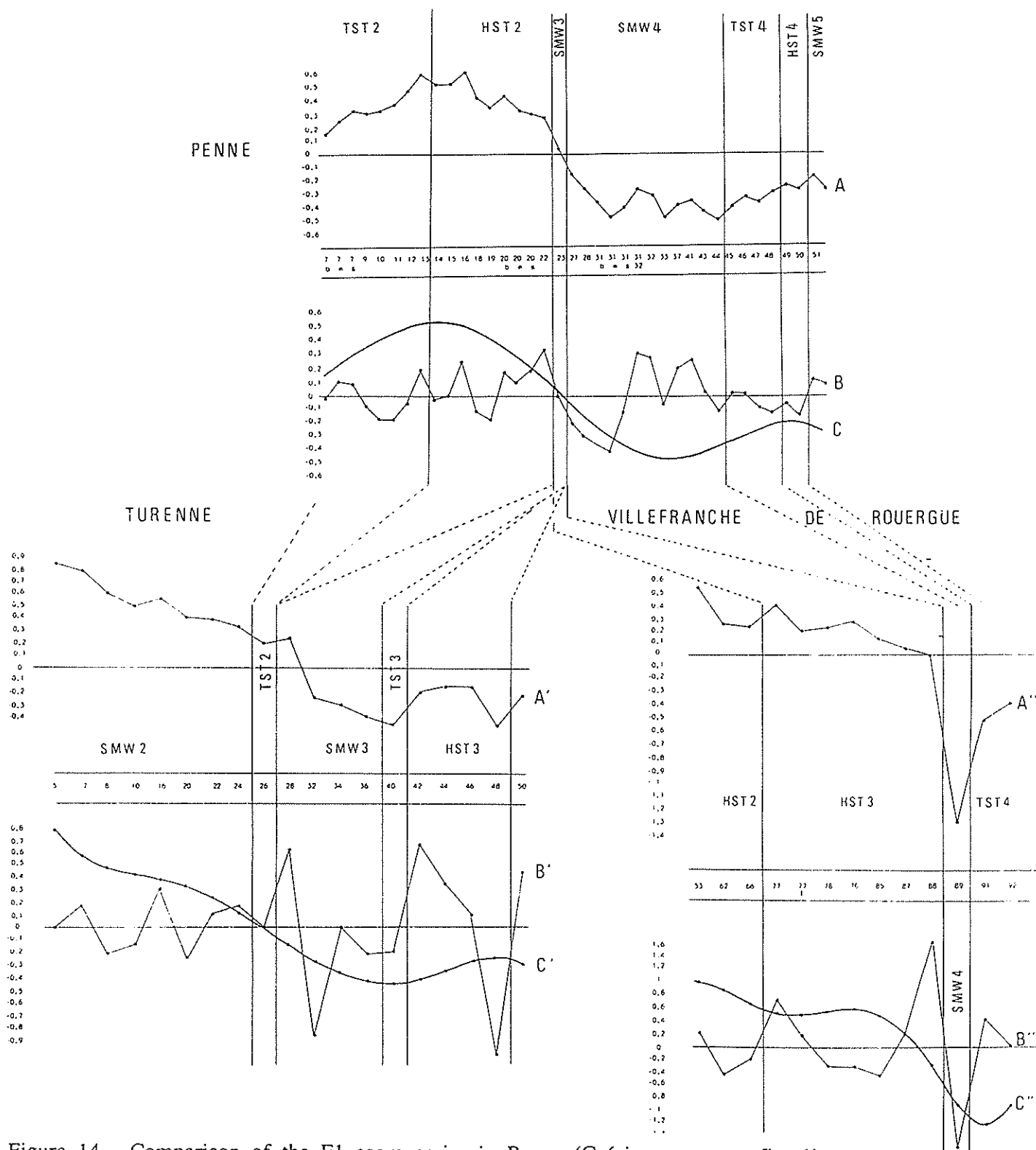


Figure 14 - Comparison of the F1 score series in Penne (Grésigne country, fig. 1), Villefranche-de-Rouergue and Turenne (fig. 1). A, A', A'' : exponential smoothing ; B, B', B'' : raw residual of the regression ; C, C', C'' : polynomial regression curve fitting (degree 5).

If we only consider the general morphology of the curves (smoothed F1 and polynomial curve fitting, fig. 13 and 14) we can observe in the four studied sections that the segments related to highstand systems tracts and those connected to shelf margin wedge systems tracts are opposite. This contrast is expressed with regard to the highstand systems tracts (except the Toa2 HST at Turenne by an increase followed by a maximum, then at the end of this systems tract, by a swift decrease of the F1 - scores. In the shelf margin wedges, on the contrary, a decrease appears ending in a minimum. The next transgressive systems tract is characterized at the beginning at least, by an increase of the F1 scores.

Subject to more extensive research into other sections and other examples, it seems that the study of the changes of sample values on the F1 axis that summarizes the variations of Foraminiferal assemblages could be used, here, to contribute to the setting up of correlations of events between sections. We would then propose of a new stratigraphic process, called to "Factorial correlations".

8 - THE RENEWAL OF TAXA

This analysis concerns the Penne section. The curve (fig. 15) of the renewal rate between a sampling level and the sample before shows five peaks :

- two peaks (1, 2) are located immediately after a parasequence boundary and a minor flooding surface ;
- one peak (4) follows a transgressive surface ;
- a double peak (3,3') succeeds two sequence boundaries.
- one peak (5) has a similar position, at the lower part of a shelf margin wedge.

Peaks 1, 2 and 4 might be connected to arrivals of exogenous fauna during major or minor transgressions. Peaks 3,3' and 5 might be interpreted as caused by sympatric speciations after disturbances of the biotopes during the sea level falls (exemples : the evolution from *Lenticulina chicheryi* to *Lenticulina tenuistriata*)

Nothing maximum of renewal rate characterize the maximum flooding surfaces.

9 - FACTORIAL DIVERSITY WITHIN SAMPLING LEVELS (F - DIVERSITY)

9.1. Method

In general, in Correspondence Analysis of the taxa-samples matrices, the elements of the two sets are ordered along an ecologically significant gradient (opposing different biotopes) often represented by the first axis F1 -we have already mentioned its importance as a synthetic variable summarizing various aspects of the ecosystem. Owing to the nature of the method itself, F1 give the best reciprocal ordination of the two sets.

The dispersion, on the gradient, of the scores of the samples in which a taxon is present gives an evaluation of the niche breadth of the taxon. Symmetrically, the dispersion of the scores of taxa present in a given sample provides a measure of the faunal and ecological diversity and thus of the complexity of organisation (niche variety etc.) of the sample's biocenosis (notions of habitat functional amplitude or F- amplitude and of within sample factorial diversity or F- diversity ; Chessel et al., 1982).

In the situation considered here, the variations of the community result from two main courses : (i) general evolution of the population with time for a given type of biotope (temporal heterogeneity through sympatric variation, allopatric input, etc). (ii) segregation (spacial or ecological heterogeneity) due to the simultaneous existence of near but different biotopes. There is therefore superposition, on the temporal gradient, of an ecological-type gradient. Thus, a high value of F- amplitude for a taxon could result from its long life-span and or its high ecological amplitude (generalistic taxon, eurybiontic). Symmetrically, a high value of F- diversity for an outcrop could arise from a high proportion, in the community, of panchronic taxa and/or of eurybiontic taxa, or again of taxa from a broad spectrum of ecological niches (heterogeneous thanatocenosis). These two components, temporal and ecological, are closely interwoven and very hard to dissociate. It is true we know very little

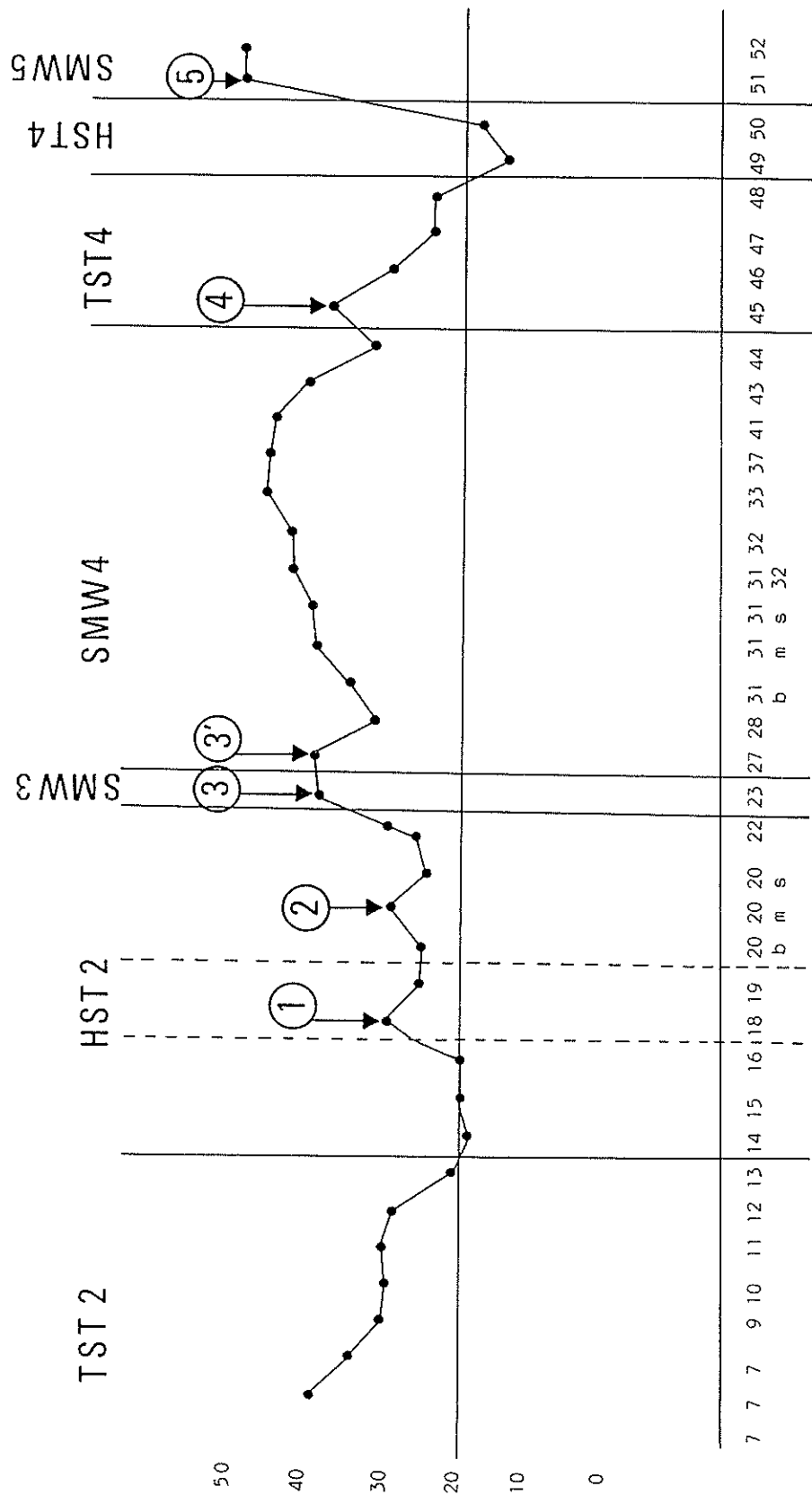


Figure 15 -Curve of the renewal rate of taxa between a sampling level and the samples before, in the Penne section.

about the details of the evolution with time of the biotopes or about the type of biotopes that gave rise to the taxa gathered in a given outcrop.

From a rather restricted point of view, it would be reasonable to consider that in a series deposited by a stable ecosystem, the first component predominates. It would also be possible to evaluate the importance of the second component by only keeping, in the analysis matrix, long-lived taxa.

We shall only study here the F-diversity of the outcrops, measured by the conditional variance of the F1 scores of the MAC for the species recorded in each of them (fig. 16).

9.2. Factorial diversity in Penne's section

F- diversity changes over time in successive waves often coinciding with upsurges in the renewal rate. In the Toa2 sequence two low amplitude waves in the transgressive systems tract are followed by a high amplitude wave in the highstand systems tract. A rapid increase in the values occurs at the Toa3 and Toa4 sequence boundaries. The values become stabilized at the start of the Toa4 shelf margin wedge systems tract, then rise again at the end of the systems tract. They reach a peak just before the Toa4 transgressive surface then, after a plateau in the Toa4 transgressive and highstand systems tracts, start a rapid decrease at the Toa5 shelf margin wedge systems tract. The whole series is affected by a linear trend up to the Toa5 sequence boundary.

If, in the MAC series, we only take into account long-lived taxa (recorded both in one of the first 6 levels and in one of the last 6) in order to attenuate the time factor effect, we obtain a graph of similar appearance except for the first peak which is no longer present. It can therefore be thought that the fluctuations are indicative rather of fauna modifications of the ecosystem (not excluding the reappearance of certain taxa) than of the general evolution of the community by relaying of taxa over time.

9.3. Comparison of F- diversity within the basin

The same type of analysis, carried out in the Gramat area (Cérède section, fig. 16) enabled a comparison to be made of the F- diversity of two relatively remote sites of the basin. In both cases we can note :

- very low values at the start of the series, corresponding to the setting up of a pioneer population with a limited number of species in biotopes not yet diversified following the anoxic period.
- fluctuations, correlated or not to the waves of fauna renewal, related to disturbances of the ecosystem. Each fluctuation presents a peak (rapid flourishing of the biocenosis) often coinciding with an Ammonite subzone limit, followed by deflation or stagnation. The fluctuations are situated in the vicinity of the parasequence boundaries, transgressive surfaces or sequence boundaries. The modifications of the environment bring about a diversification of the biotopes. The new niches then become available and are colonized by taxa of various origins and with various ecological optima; After this "youthful explosion", the biocenosis becomes stable (confinement), specializes and ages.
- lower sea levels can impoverish the variety of ecological niches and lead to a predominance of populations with opportunistic tendencies.
- more contrasting variations at Penne, (near shoals) where the balance is broken several times by new disturbances which reactivate the ecosystem thus allowing the biocenosis to increase the over all complexity of its organisation, than at Cérède where a low-amplitude climax is reached during the deposition of the Toa4 shelf margin wedge systems tract. The increase in F- diversity by successive patterns observed at Penne bring to mind the model proposed by Odum (1969) for the progressive structuration (e.g. complexification and diversification of the niches) of biocenosis in general.

So, the analysis of F- diversity also constitutes an important element in the description of paleo-ecosystems and can contribute to the establishment of correlations on the scale of the basin.

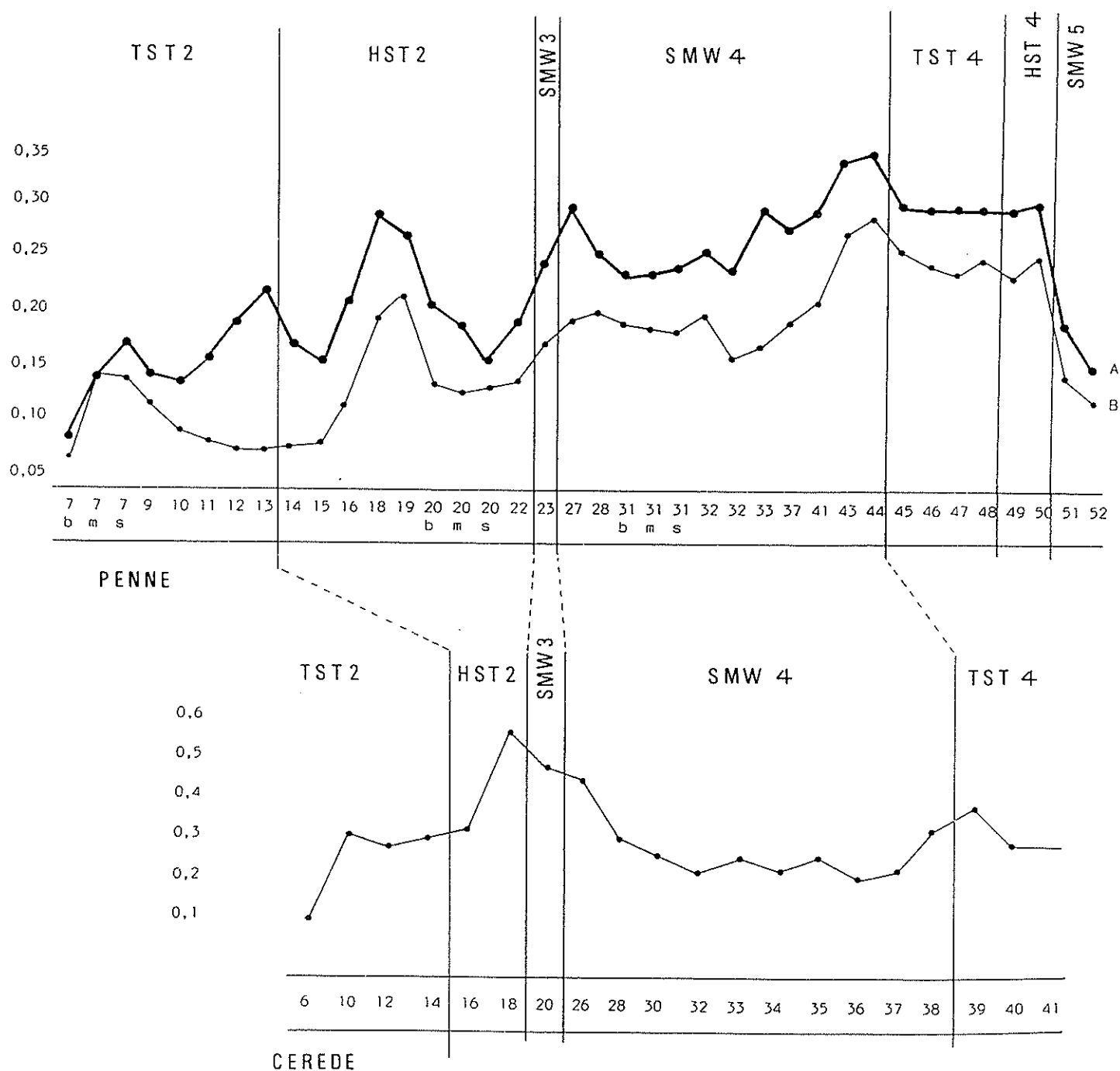


Figure 16 - Curves of the F1 diversity of sampling levels in the Penne section (A : all the taxa B : long-lived taxa) and in the Cérède section (all the taxa), with an exponential smoothing.

CONCLUSIONS

These studies of benthic Foraminifera from the Toarcian in Quercy show that the micropaleontological assemblages are influenced by sea level changes. Various statistical analyses prove connections between Foraminiferal benthic biocenosis, systems tracts, unconformities and sequence boundaries. Of course, they concern preliminary results about a single area and a single stage. The results will give a true value when the data are multiplied by other examples, concerning other fossils, different series and various paleogeographical backgrounds. However, even now it appears that :

i) micropaleontological assemblages can be good indicators of systems tracts and unconformities, especially within deposits with a homogeneous lithology.

ii) the study of the variations of a synthetic process summarizing various aspects of the ecosystem and of the benthic Foraminifera biocenosis (F1 axis of a Multiple Analysis of Correspondences, F- diversity, etc) can make a complementary tool for correlations, on the basin scale.

iii) the remarks about the evolution, structuration and destructuration of the biocenosis may grow richer by a connected study of the benthic fauna and of the sea level changes.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to P.R. VAIL for its criticisms, fruitful discussions and suggestions which considerably improved this work.

REFERENCES CITED

- Bodergat, A.M., Cubaynes, R., Courtinat, B. et Ruget, C., 1991, Stratégies adaptatives K, r et A dans l'évolution des Ostracodes du Toarcien quercynois (France) : C.R. Acad. sci. Paris, t. 312, ser. II, p. 1177-1182.
- Bonnet, L., Cubaynes, R., Qajoun, A., Rey, J. et Ruget, C., 1991, Analyse statistique des biocénoses de Foraminifères dans les cortèges sédimentaires du Toarcien du Quercy : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 313, ser. II, p. 1587-1593.
- Bonnet, L., Cubaynes, R., Rey, J. et Ruget, C., 1992, Cycles et rythmes dans les biocénoses de Foraminifères du Toarcien du Quercy. Relation avec les cycles eustatiques et les changements climatiques : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 314, ser. II, p. 77-83.
- Chessel D., Lebreton, J.D. et Prodon, R., 1982, Mesures symétriques d'amplitude d'habitat et de diversité intra-échantillon dans un tableau espèces-relevés : cas d'un gradient simple : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 295, ser. III, p. 83-88.
- Cubaynes R., 1986, Le Lias du Quercy méridional. Etude lithologique, biostratigraphique, paléoécologique et sédimentologique : Strata, ser. II, vol. 6, 574p.
- Cubaynes, R., Ruget, C. et Rey J., 1989, Essai de caractérisation des prismes de dépôt d'origine eustatique par les associations de Foraminifères benthiques : exemple du Lias moyen et supérieur de la bordure est du Bassin Aquitain : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 308, ser. II, p. 1517-1522.
- Cubaynes, R., Rey, J. et Ruget, C., 1990, Renouvellement des espèces de Foraminifères benthiques et variations globales du niveau des mers. Exemples du Lias du Quercy et de l'Eocène des Corbières: Revue de Micropaléontologie, vol. 33, n° 3-4, p. 233-240.

Jacquín, Th., García, J.P., Ponsot, C., Thierry, J. et Vail, P.R., 1992, Séquences de dépôt et cycles régressifs/transgressifs en domaine marin carbonaté : exemple du Dogger du Bassin de Paris : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 315, ser. II, p. 353-362.

Kidwell, S.M., 1991, Condensed deposits in siliciclastic sequences : Expected and observed features, in Einsele G., Ricken W. and Seilacher A., ed., Cycles and events in Stratigraphy, Springer-Verlag, p. 682-695.

Odum, E.P., 1969, The strategy of ecosystem development : Science, 164, p. 262-270.

Pettitt, A.N., 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist., 28, p. 126-135.

Rioult M., Dugue, O., Jan du Chene, R., Ponsot, C.M., Fily, G., Moron, J.M. et Vail, P.R., 1991, Outcrop sequence stratigraphy of the Anglo-Paris Basin, middle to upper Jurassic : Bull Centre Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, vol. 15, n° 1, p. 101-194.

Ruget, C., 1985, Les Foraminifères (Nodosariidés) du Lias de l'Europe occidentale : Doc. Lab. Géol. Lyon, n° 94, 273 p.

Sarg, J.F., 1988, Carbonate sequence stratigraphy, in "Sea level changes : an integrated approach", Soc. Econ. Paleont. Mineral., publ. sp., n° 2, p. 155-181.

Sneyers, R., 1975, Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Note technique n° 143, O.M.M., 415, Genève.

Vail, P.R., Colin, J.P., Jan du Chene, R., Kuchly, J., Mediavilla, F. et Trifilieff, V., 1987, La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris, Bull. Soc. Geol. France, (8), t. III, n° 7, p. 1301-1321.

Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S. and Hardenbol, J., 1988, An overview of the Fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions, in "Sea level changes : an integrated approach", Soc. Econ. Paleont. Mineral., publ. sp. n° 2, p. 39-45.

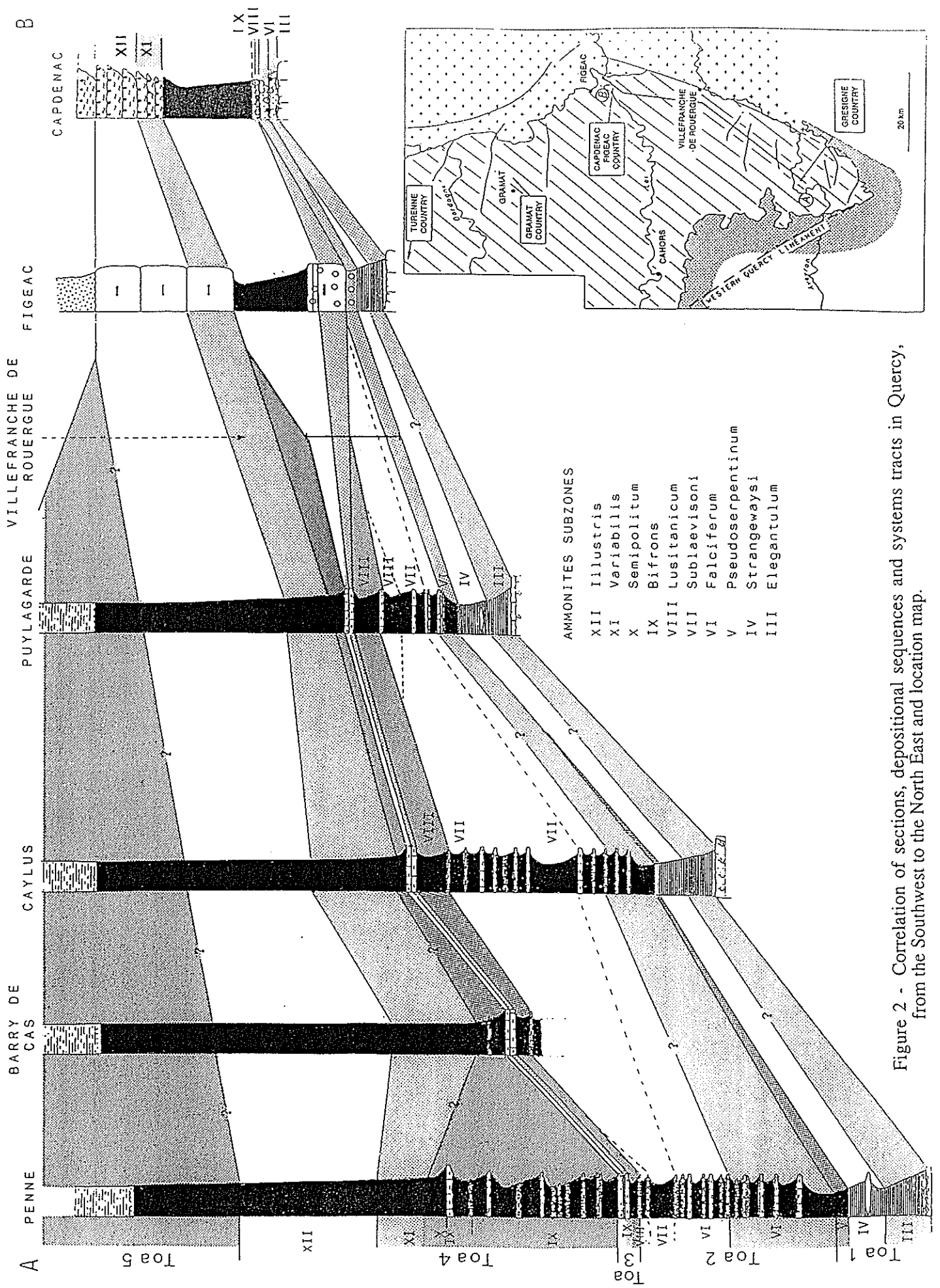


Figure 2 - Correlation of sections, depositional sequences and systems tracts in Quercy, from the Southwest to the North East and location map.

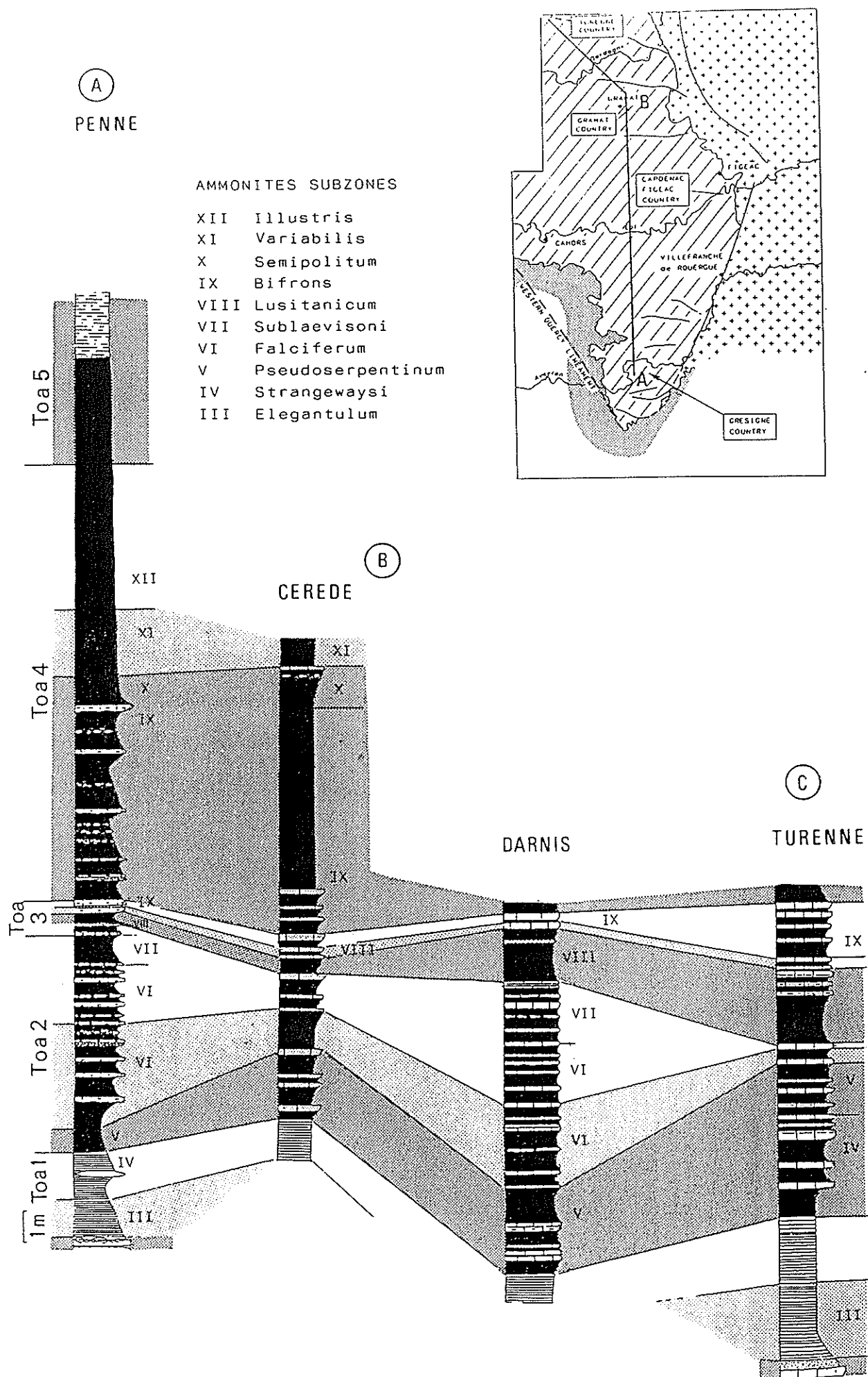


Figure 3 - Correlation of sections, depositional sequences and systems tracts in Quercy, from the South to the North and location map.

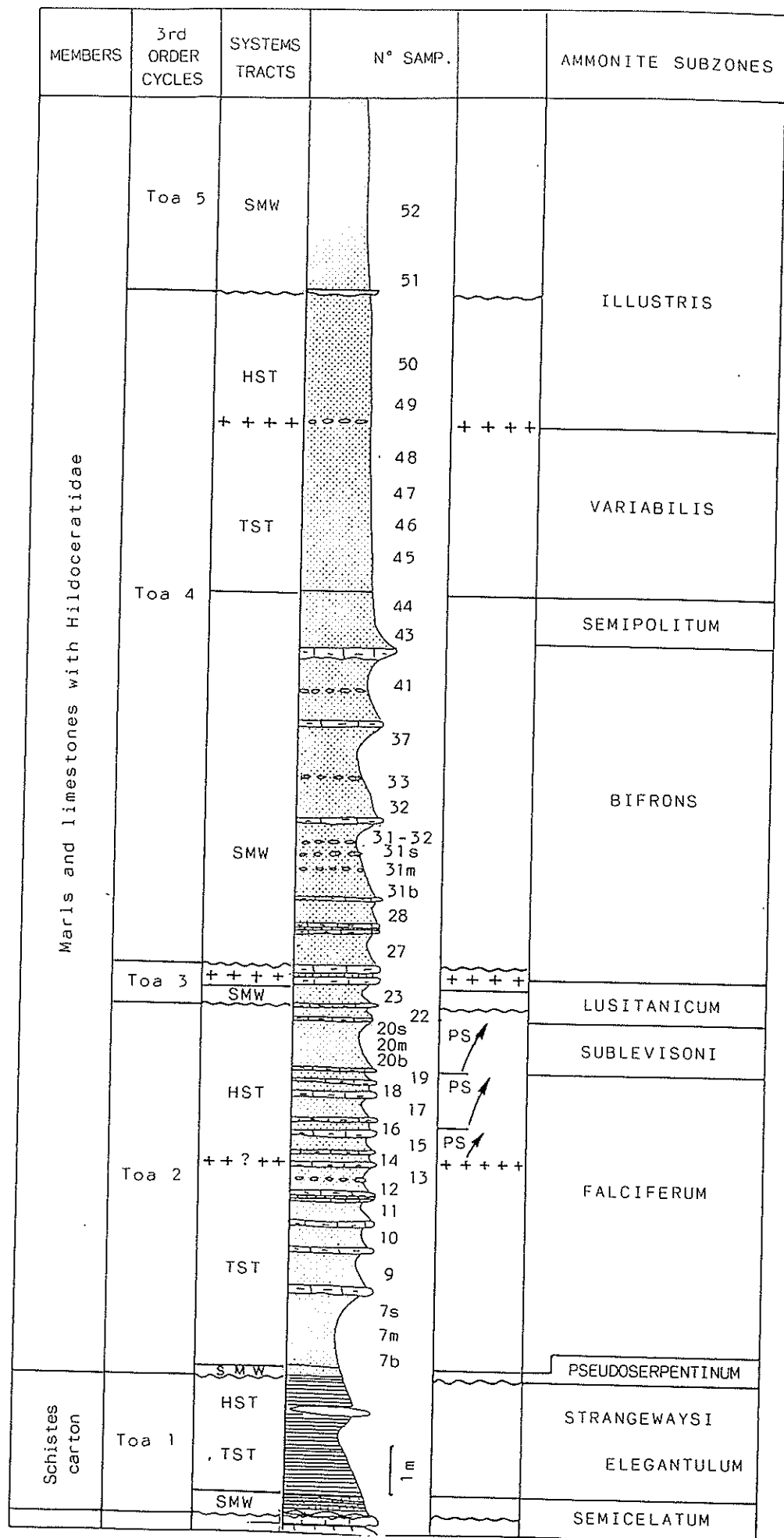


Figure 4 - The Penne section. Lithostratigraphic units, Ammonite subzones, sequences and systems tracts, sampling levels.

Toa 4 Depositional Sequence

The basal Toa 4 sequence boundary is an onlap surface. Ammonite subzones upper IX and X onlap out from the South to the North landward to the underlying depositional shoreline break. This onlapping interval is interpreted as a shelf margin wedge systems tract. It is composed of interbedded limestone and marl. The transgressive systems tract is interpreted to be the overlying thin marls interval. It is very homogeneous and laterally extensive. The top of this interval is a highly bioturbated nodular surface. That is rich in Ammonites. This surface is considered as a maximum flooding surface. The Toa 4 sequence is composed of widespread marls and is the start of the infilling 2nd order regressive phase.

Toa 5 Depositional Sequence

The basal Toa 5 sequence boundary is an erosive-capped type surface (Kidwell, 1991) associated with drift wood. This surface is overlain by a marly lowstand systems tract.

All these sequences and systems tracts are accurately tied to Ammonite subzones (fig. 2, 3, 4). Therefore, they can be correlated on the basis of biochronological data where physical criteria for identifying the boundaries are weak.

2. THE FORAMINIFERA ASSEMBLAGES

The sediments contain a lot of benthic Foraminifera, especially *Nodosariidae*. Three groups of shapes can be recognized (fig. 5) : planispiral coiled forms (morphogenera *Lenticulina*) ; uncoiling forms (morphogenera *Marginulinopsis*, *Falsopalmula*, *Astacolus*, *Planularia*) ; straight uniserial forms (genera *Citharina*, *Nodosaria*, *Pseudonodosaria* and *Dentalina*). The species are characterized by a great polymorphism (Rugé, 1985). For instance, one species of the genus *Lenticulina* includes up to five morphogenera (fig. 6) : a coiled morphogenus and four uncoiling morphogenera, with all the intermediate shapes. It is generally thought that the coiled *Lenticulina* are generalist, opportunistic forms, while the uncoiling morphogenera are more specialist forms, adapted to various microenvironments.

3. THE SAMPLING METHODS

In this paper we mainly discuss the results determined from the Penne section (fig. 2) in the Gresigne area. This section is located at the depocenter in the southern part of the basin. Other sections, in the central part of the basin (Gramat area), on the eastern edge (Figeac-Capdenac area) and on the northern edge (Turenne area), were studied and will be used for the correlations, discussed at the end of this paper.

In the Penne section, the samples were taken from each marly level and, if the thickness of a marly level exceeded fifty centimeters, the sampling was done every fifty centimeters (fig. 4). All the microfauna were analyzed. This represents analysis more than sixty thousand specimens for this section only. Indeed, quantification was indispensable for the credibility of the results.

4. STATISTICAL ANALYSIS OF SHAPES

The percentage of the three shapes of *Nodosariidae* (coiled, uncoiling and straight) changes in the successive sampling levels (fig. 7). The coiled *Lenticulina* are always prevalent (from 80% to 100%) in the foraminiferal assemblages. They are larger in the lowstand deposits than in the highstand deposits. After the anoxic episode of the "Schistes carton" (consequently without benthic life), these forms appear first, in the basal layer of the Toa2 depositional sequence. Then, a gradual growth of the percentage of *Citharina* occurs in the following layers. These straight *Nodosariidae* are plentiful in the Toa2 transgressive systems tract. In the following highstand systems tract the uncoiling forms increase. Globally, the percentage of straight and uncoiling *Nodosariidae* increases then decreases during the

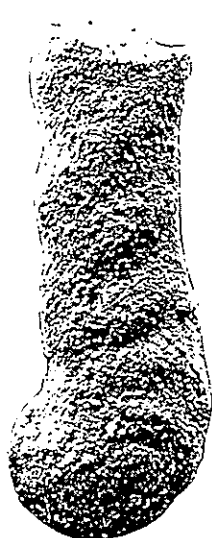
1. Planispiral coiled Forms

Lenticulina sensu-stricto



2. Uncoiling Forms

Morphogenera of Lenticulina sensu-lato



Marginulinopsis



Falsopalmula

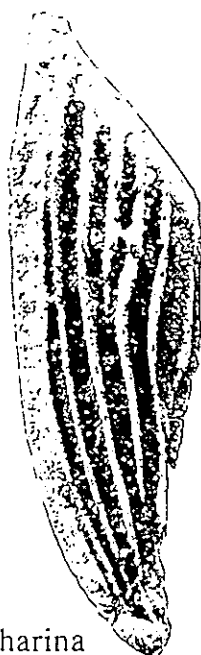


Astacolus



Planularia

3. Rectilinear uniserial Forms



Citharina



Dentalina



Nodosaria

Figure 5 - The various shapes of *Nodosariidae* from the Lower and Middle Toarcian in Quercy.

INCREASE OF THE UNCOILING

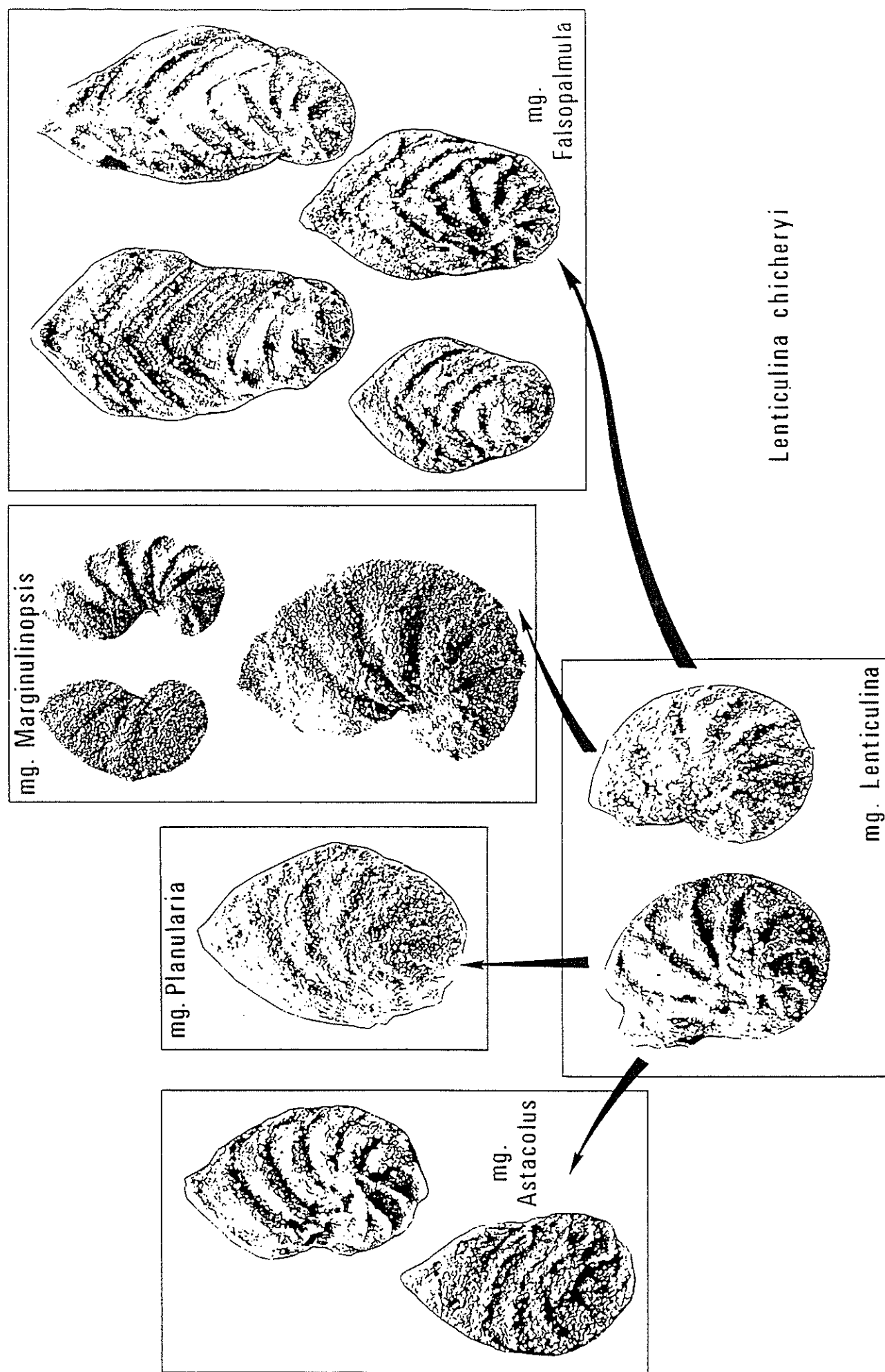


Figure 6 - The species *Lenticulina chicheryi* with its different morphogenera.

Toa2 transgressive and highstand systems tracts. At the Toa3 sequence boundary, the percentage of these shapes suddenly falls, and the coiled *Lenticulina* are almost the only ones in the Toa3 and Toa4 shelf margin wedges, except in the 27 level, on the erosive surface of the Toa4 boundary with, perhaps, a reworked fauna. The Toa4 transgressive systems tract is characterized by another development of straight and uncoiling forms. In the highstand systems tract of the Toa4 sequence, these shapes become progressively less numerous. A second abrupt fall of the straight and uncoiling forms happens at the Toa5 sequence boundary. The sediments of the Toa5 shelf margin wedge contain almost only coiled *Lenticulina*.

Therefore, in this section, a similarity appears between the curve of the ratio of straight and uncoiling *Nodosariidae* and the curve of the sea level changes. The same results were found, with different species and proportions in the Domerian sequences of this region (Cubaynes et al., 1989). Consequently, we can propose the following model, for this series, this basin and this location in the basin :

- Shelf margin wedge : the coiled *Lenticulina* are almost exclusive ;
- Transgressive systems tract : decrease of the proportion of coiled *Lenticulina* ; strong increase of the proportion of *Citharina* and gradual increase of the proportion of the uncoiling *Nodosariidae* ;
- Highstand systems tract : decrease of the proportion of *Citharina*, then of the proportion of the uncoiling *Nodosariidae*.

If we assume that the coiled forms are generalist forms, that the uncoiling *Nodosariidae* are more specialist forms, and that *Citharina* are Foraminifera adapted to deeper waters, it is likely that we have a transition from a type r adaptative strategy tendency in the low sea levels to a type K partial tendency in the high sea levels. The same model was described with Ostracods from these series (Bodergat et al., 1991).

5. THE CHART OF TAXA

Analysis of the taxa was based on the identification of 65 taxa (genera, species, morphogenera) of benthic Foraminifera present in the different samples of the Penne section (fig. 8). Their relative percentages were not taken into consideration because the high proportion of coiled *Lenticulina* would have hidden the information brought by the other forms.

A quick look at the chart (fig. 8) shows a massive arrival of the benthic fauna at the beginning of the Toa2 transgressive systems tract and the colonization of the virgin biotopes after the anoxic episode of the "Schistes Carton" member. Some taxa (*Pseudonodosaria* sp., *Citharina cornucopiae*) have an ephemeral presence. Others (*Lenticulina toarcense* mg. *Lenticulina*, *Citharina longuemari* var. *clathrata*, *Citharina subaequilateralis*) are known in all the levels. Others (*Citharina coliezi*, *Citharina iberica*, *Lenticulina chicheryi* mg. *Falsopalmula*) disappear in a systems tract, then appear again. After that, the appearances of new taxa become increasingly widespread inside the systems tracts and at the systems tract boundaries. Therefore, we have here intricate processes, with :

- i) an ecological control allowing the episodic setting up of specific biotopes and the establishment of adapted ecophenotypes ;
- ii) a biogeographical control that induces the arrival of exogenous fauna ;
- iii) a biological control generating the bioevolution on site of some lineages and sympatric speciations, such as the creating of the species *tenuistriata* from the species *chicheryi* (Cubaynes et al., 1990).

6. FAUNA PROFILE ANALYSIS

6.1. Statistical methods (Bonnet et al., 1991)

The presence-absence table of 65 taxa in the 38 sampling levels was studied by Multiple Factorial Analysis of Correspondences (MAC) after double binary coding (for each taxon : 1 presence point and 1 absence point). From the sample scores on the factorial axes,

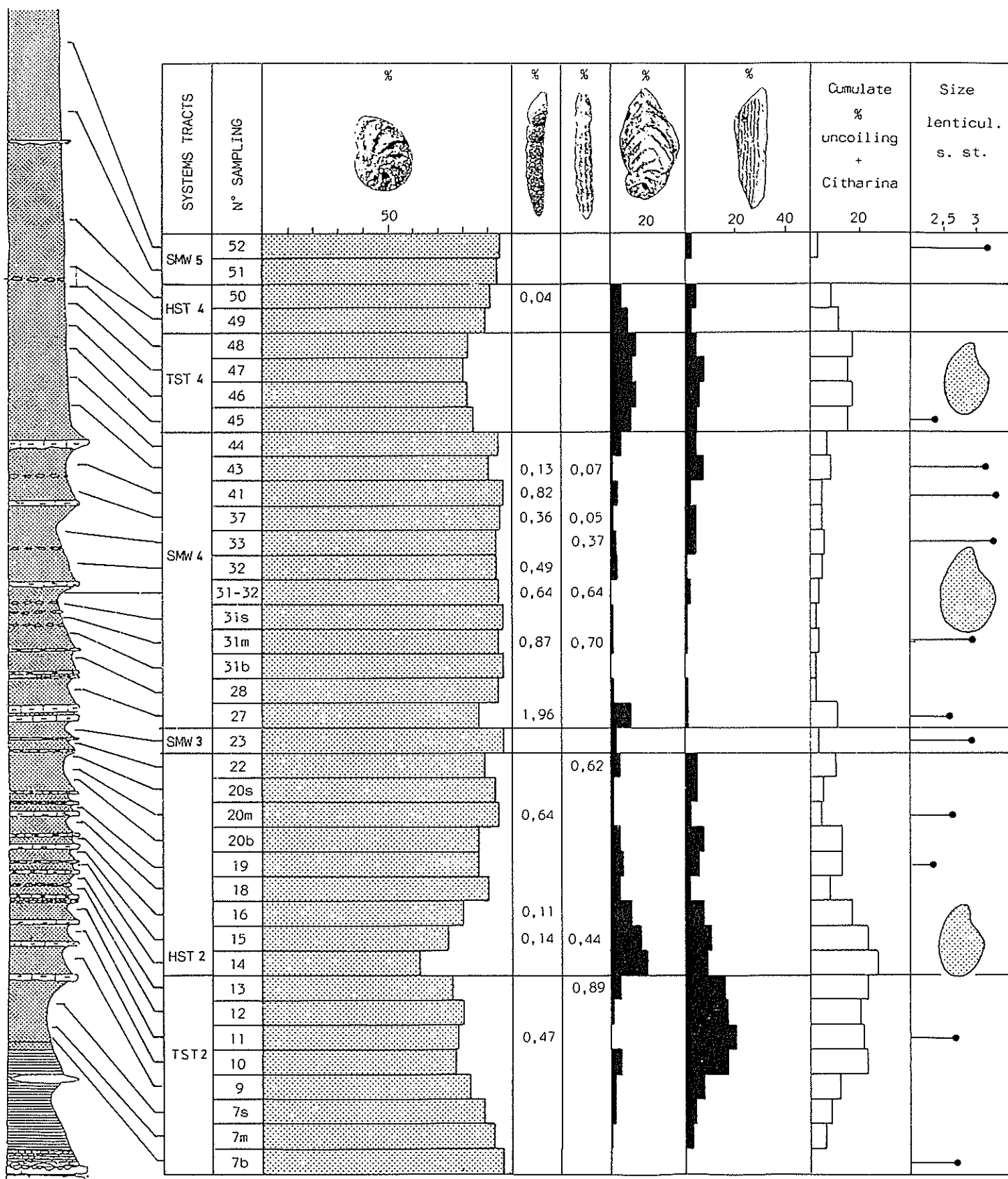


Figure 7 - Distribution and percentages of the main forms of benthic Foraminifera in the Penne section.

automatic clustering was applied using a hierarchical method (second order moment or ward's criterion) and a non-hierarchical method (grouping around mobile centres, using Diday's "Nuées dynamiques" method, with conservation of the strong shapes). The initial distribution of all the deposits into sedimentary series, established from sedimentological criteria and the geometry of the deposits, was processed by Multivariate Discriminant Analysis (MDA) using the scores of the sample on the first factorial axes of the MAC. The main purpose of the MDA was to check the persistence of the initial distribution when sedimentological information was replaced by that supplied by the qualitative composition of the biocenosis of the Foraminifera. It allowed the detection of badly classified elements and thus the proposal of new limits for groups of samples considered as systems tracts.

6.2. Results

Multiple Factorial Analysis of Correspondences of the chart (fig. 9) clearly shows three groups corresponding to the different systems tracts previously determined by sedimentological and geometrical data : group "A" with the sampling levels of the Toa 2 transgressive and highstand systems tracts ; group "B" with the sampling levels of the three shelf margin wedge systems tracts (Toa 3, Toa 4, Toa 5) ; group "C" with the sampling levels of the Toa 4 transgressive and highstand systems tracts. These three groups are also well distinguished by the two methods of automatic clustering with, as data, the first five axes of the Factorial Analysis of Correspondences (fig. 10).

The use of some additional indicators (macrofauna, ornamentation of *Citharina*, other microfauna) and the relative position of the samples allowed the factors to be interpreted : the first axis F1, coincident with a gradient of biotic capacity that could integrate the temperature (ornamentation of *Citharina* and specific diversity of microfauna increasing from the left - SMW - to the right-Toa2 TST and HST), is complex. F1 integrates many ecological and temporal components. The second axis F2 which opposes the three shelf margin wedges to the Toa4 transgressive and highstand systems tracts (with the Toa2 transgressive and highstand systems tracts in an intermediate location) seems linked with the depth.

Discriminant analysis based on the first axes of the MAC (same data as for the automatic clustering) gave the results summarized in table I.

All the discriminant analyses present the following common characteristics :

1 : the first two functions (discriminant axes 1 and 2) have highly significant ($P < 10^{-4}$) discriminant values. The others have almost zero discriminant value.

2 : of the variables used as data in the discriminant analyses, only the first two (factorial axes F1 and F2 of the MAC) contribute significantly to discrimination of the groups.

Therefore, in this section, the foraminiferal assemblages allow the separation of successive systems tracts, particularly the systems tracts of low sea level (SMW) which are very homogeneous from those of high sea level (TST and HST). On the outer shelf, like in the Gresigne area, the samples of the transgressive systems tract are mixed with the samples of the next highstand systems tract.

7. STUDIES OF THE FIRST FACTORIAL AXIS F1 OF THE M.A.C.

7.1. Methods

The F1 axis of the Multiple Analysis of Correspondences represents, by definition, a synthetic variable summarizing the taxonomic, ecological and temporal variations of the biocenosis. It is therefore of great value in describing the alterations of the ecosystem. We consider here the series of the F1 scores of the deposits as a time-series. Its study involves, in particular (Bonnet et al., 1992) :

- exponential filtering to attenuate random fluctuations ;
- demonstration of the trend by polynomial regression ;
- detection of modifications of the trend by the non-parametric tests of Mann-Kendall-Sneyers (Sneyers, 1975) and Pettitt (1979) ;

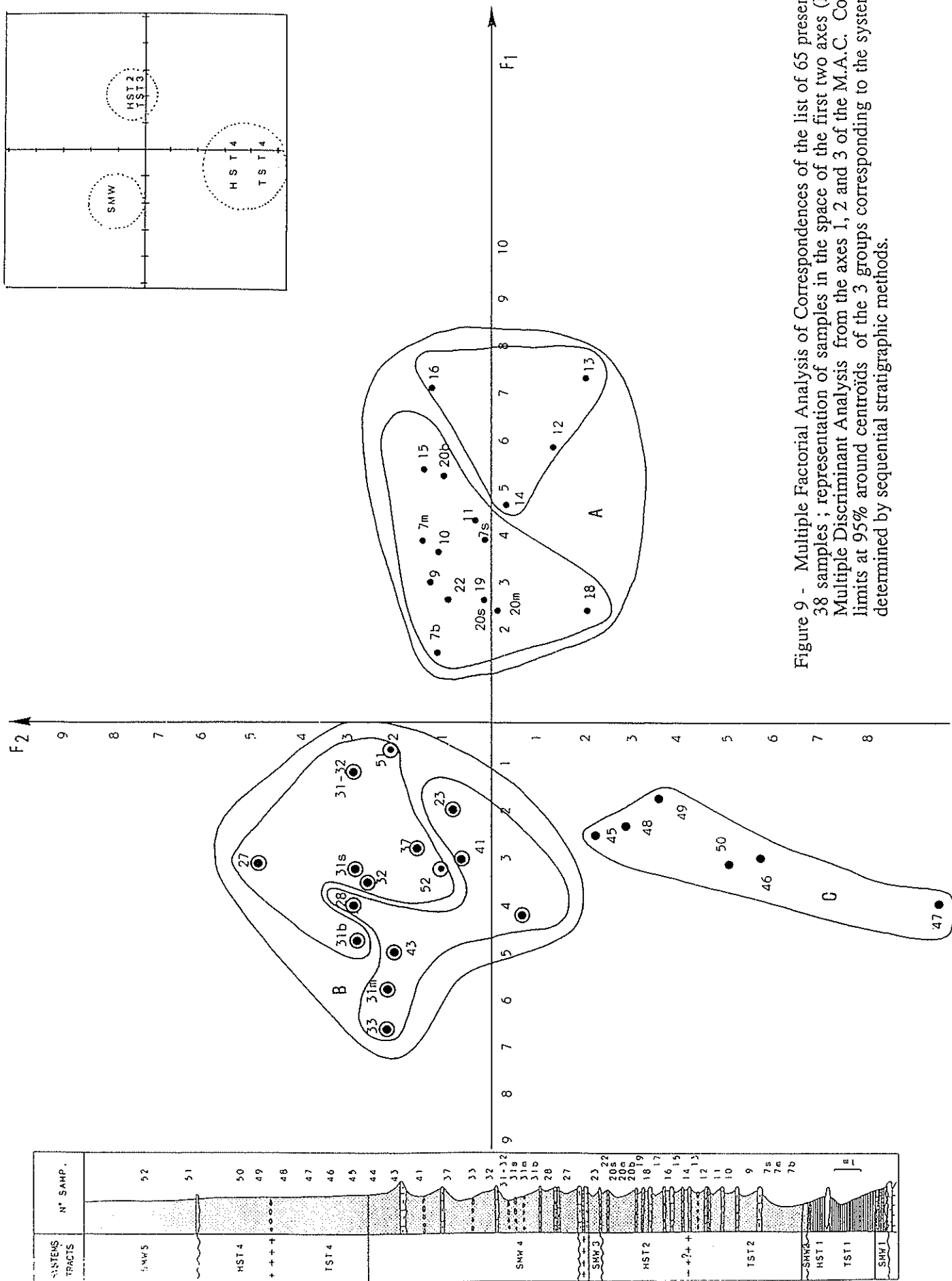


Figure 9 - Multiple Factorial Analysis of Correspondences of the list of 65 present taxa in 38 samples ; representation of samples in the space of the first two axes (F1, F2) ; Multiple Discriminant Analysis from the axes 1, 2 and 3 of the M.A.C. Confidence limits at 95% around centroids of the 3 groups corresponding to the systems tracts determined by sequential stratigraphic methods.

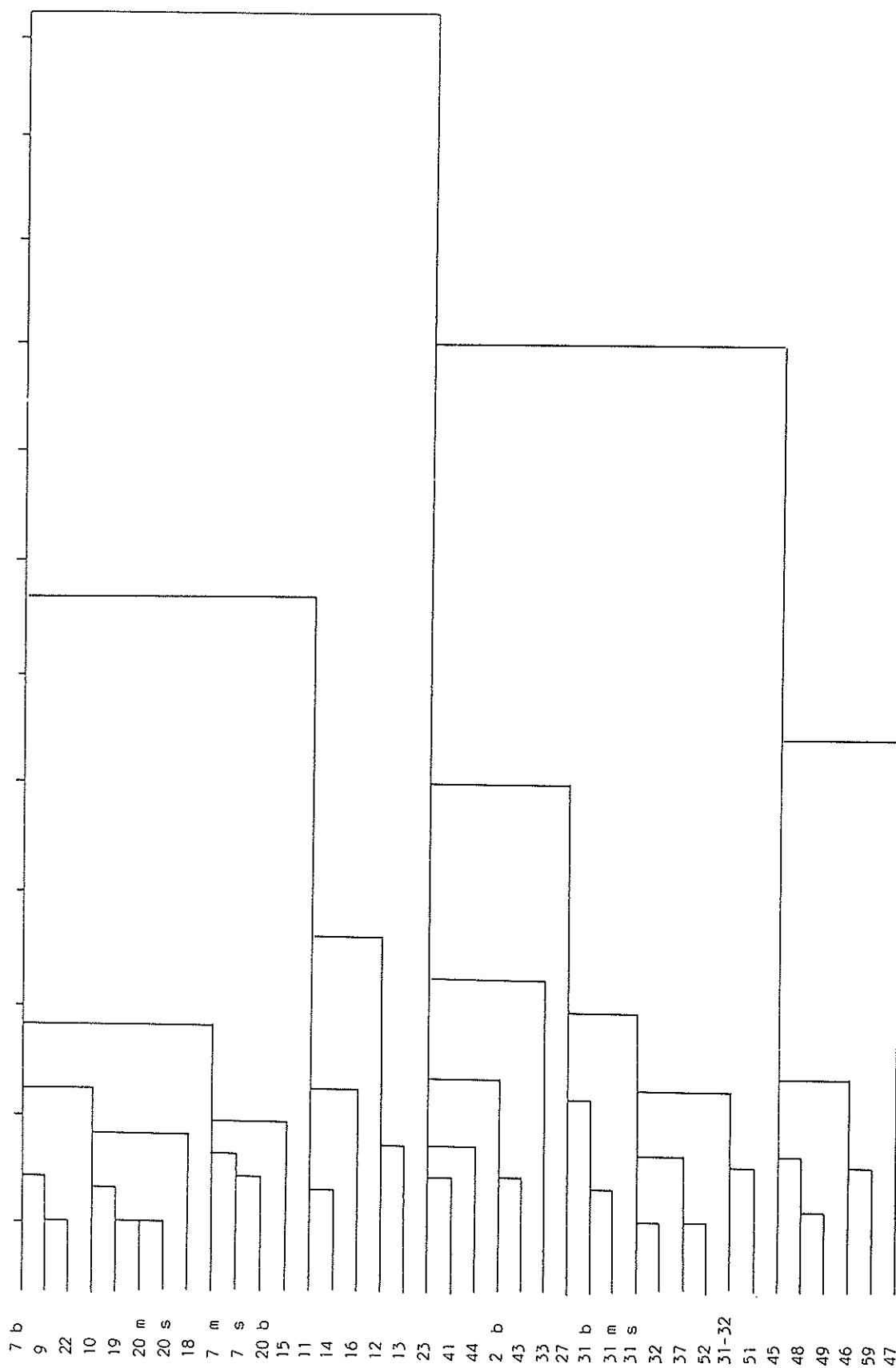


Figure 10 - Hierarchical clustering of the 2 order moment from the first five axes of the M.A.C.

- a graphic study of the systematic fluctuations of the series itself and of the series of regression residuals.

7.2. Studies of the F1 series of the Penne section

The study of the F1 - score series of the sampling levels with the chronological arrangement reveals (fig. 11) an expressive curve : the values rise in the Toa2 transgressive systems tract, then they go down in the Toa2 highstand systems tract. The fall is strong at the two (Toa3 and Toa4) sequence boundaries and the values stay low in the Toa3 and Toa4 shelf margin wedge systems tracts. They increase in the Toa4 transgressive systems tract, reach a maximum at about the maximum flooding surface, then decrease, weakly in the Toa4 highstand systems tract and strongly in the next Toa5 shelf margin wedge systems tract. Consequently, the curve of the successive values of F1 presents, in these sequences and in the morphological oppositions between its various parts, large analogies with the model of eustatic curve (Vail et al., 1987), and the F1 axis seems connected with the sea level changes.

The change of the F1 values is greatest during the Toa3 backstepping sequence (major transition at the sampling level 23, Mann-Kindall-Sneyers' and Pettitt's tests). The micropaleontological assemblages are submitted during this latest stage of the transgressive period to a fundamental alteration, perhaps with climatic or biogeographical control or perhaps linked to the double stress generated by the two close falls of sea-level at the two sequence boundaries.

The time-delay method (fig. 12) is a graphic analysis of the trajectory of points with the coordinates : x : values of F1 at the time t ; y : value of F1 at the time t + 1. Two cycles can be distinguished : cycle A corresponding to the Toa2 sequence (during the transgressive period of a second order cycle), and cycle B corresponding to the Toa4 infilling sequence (during the regressive period of a second order cycle), with an abrupt transition at the Toa2 backstepping sequence. This opposition might be interpreted as corresponding to two different states of the biocenosis with a rapid passage from one to the other, in reply to the abrupt transition between two "attractor" ecological states. In cycle A, two breaks point out the bases of parasequences (samples 16, 20 b).

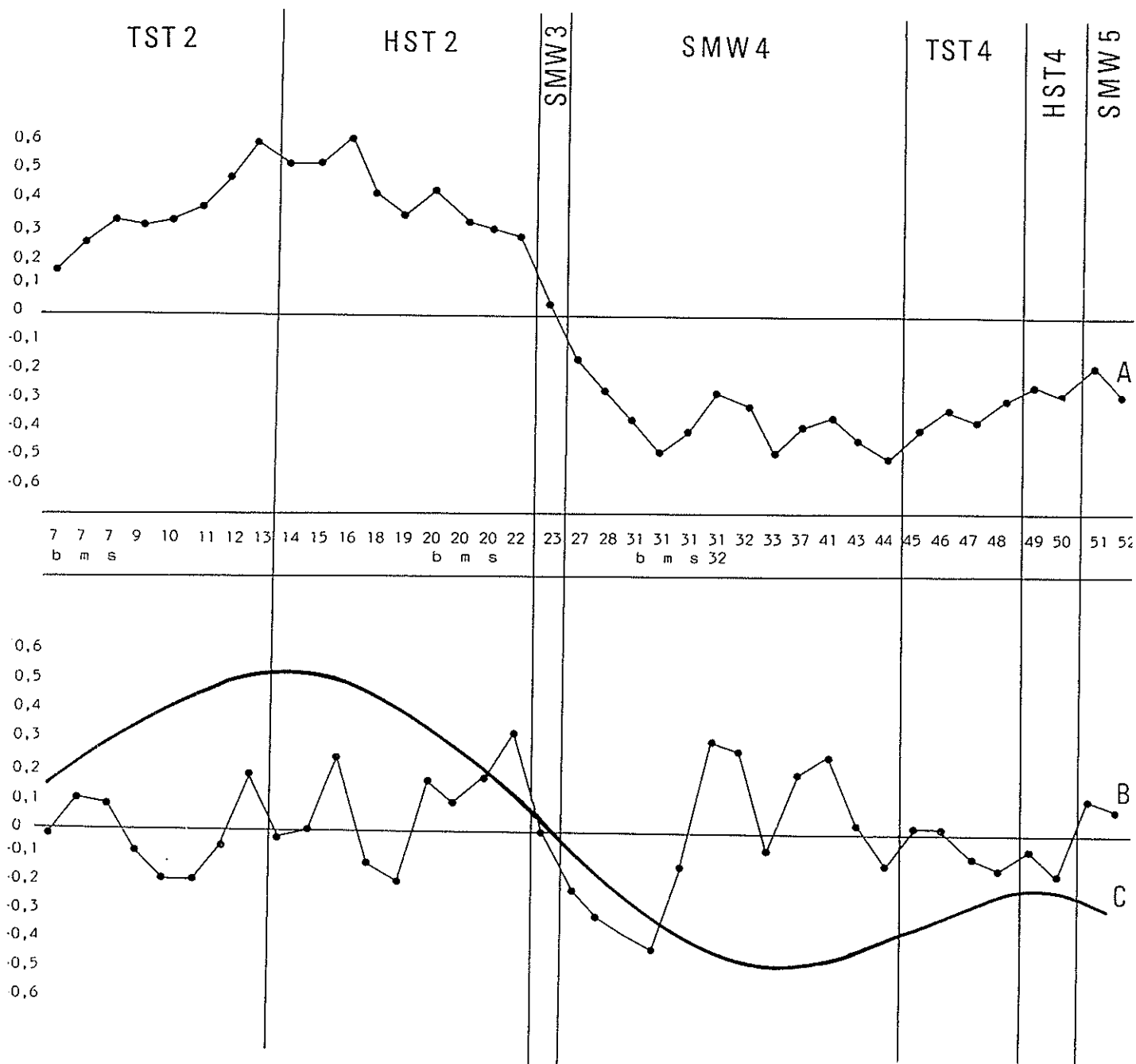
7.3. Comparison of the F1 - score series in the basin

The correlations of sections being controlled by biostratigraphical data (Ammonite distributions), by the characters of unconformities, by the stratal patterns and by the location of the guide layers related to the backstepping sequence Toa 3, we can propose a comparison of the F1 - score series at the basin scale.

The values in the outer part of the basin, in Penne (Gresigne area) and in Cerede (Gramat area) 80 km away (fig. 1, 3), generate similar curves (fig. 13). In these two cases, a major change appears at the two Toa3 and Toa4 sequence boundaries. The contrast between the first and the third sequences is less marked in the Cerede section than in the Penne section (the latter being nearer shoals). A correlation on a smaller scale of the F1 - score curve is not easy to obtain, because of the prograding arrangement of the highstand systems tracts and of the shelf margin wedge systems tract.

The Turenne section, near the northern edge of the basin (fig. 1, 3), seaward of the depositional shoreline break, and the Villefranche-de-Rouergue section, on the eastern edge of the basin (fig. 1, 2), landward of the depositional shoreline break, are shorter, whether because the outcrops only correspond to a part of the Penne succession (Turenne section), or because of a total or partial gap at the shelf margin wedge systems tracts (Villefranche-de-Rouergue section). On the other hand, they are characterized by a thickening of the Toa3 backstepping sequence. The comparison of the F1 - score series of these two sections with the curve of the Penne section shows (fig. 14) :

- similar fluctuations that allow separation of the various systems tracts. The values are always lower in the low sea levels than in the high sea levels ;
- a fundamental alteration at the Toa3 and Toa4 sequence boundaries that marks the reversal of trend (transgressive to regressive) at the second order scale.



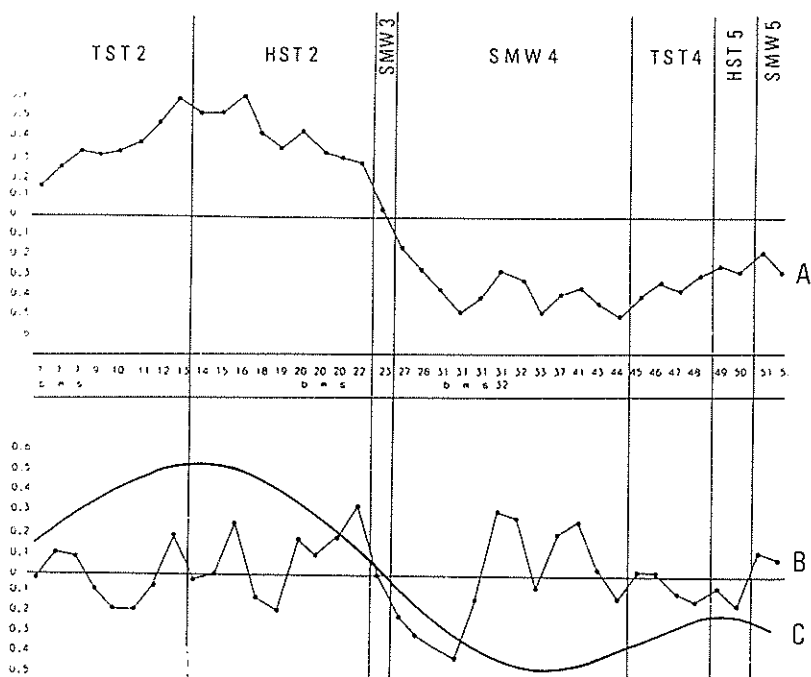
A : Exponential smoothing of F1 series

B : Raw residual

C : Polynomial regression curve-fitting (degree 5)

Figure 11 -F1 score series of the Penne section, with the chronological arrangement. A : exponential smoothing of F1 series ; B : raw residual ; C : polynomial regression curve fitting (degree 5).

PENNE



CEREDE

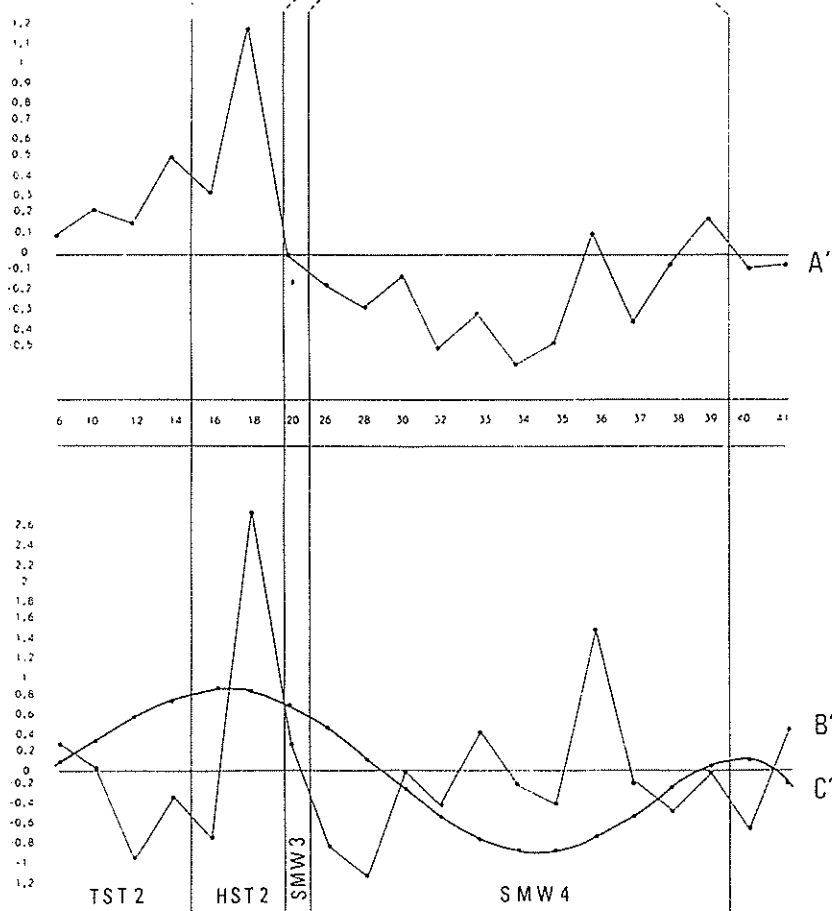


Figure 13 - Comparison of the F1 score series in Penne (Grésigne country, fig. 1) and Cérède (Gramat country, fig. 1). A and A' : exponential smoothing ; B and B' : raw residual of the regression ; C and C' : polynomial regression curve fitting (degree 5).

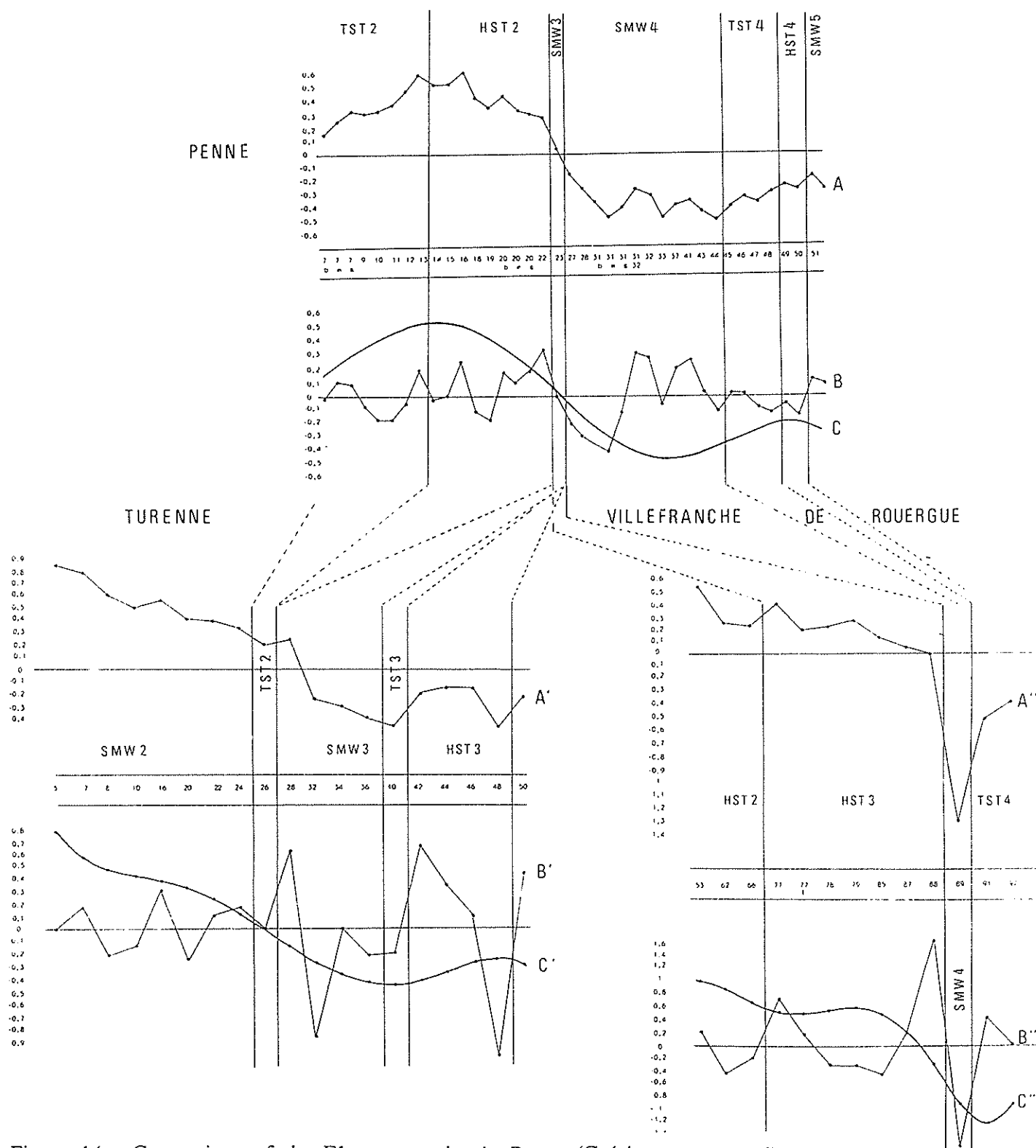


Figure 14 - Comparison of the F1 score series in Penne (Grésigne country, fig. 1), Villefranche-de-Rouergue and Turenne (fig. 1). A, A', A'' : exponential smoothing ; B, B', B'' : raw residual of the regression ; C, C', C'' : polynomial regression curve fitting (degree 5).

If we only consider the general morphology of the curves (smoothed F1 and polynomial curve fitting, fig. 13 and 14) we can observe in the four studied sections that the segments related to highstand systems tracts and those connected to shelf margin wedge systems tracts are opposite. This contrast is expressed with regard to the highstand systems tracts (except the Toa2 HST at Turenne by an increase followed by a maximum, then at the end of this systems tract, by a swift decrease of the F1 - scores. In the shelf margin wedges, on the contrary, a decrease appears ending in a minimum. The next transgressive systems tract is characterized at the beginning at least, by an increase of the F1 scores.

Subject to more extensive research into other sections and other examples, it seems that the study of the changes of sample values on the F1 axis that summarizes the variations of Foraminiferal assemblages could be used, here, to contribute to the setting up of correlations of events between sections. We would then propose of a new stratigraphic process, called to "Factorial correlations".

8 - THE RENEWAL OF TAXA

This analysis concerns the Penne section. The curve (fig. 15) of the renewal rate between a sampling level and the sample before shows five peaks :

- two peaks (1, 2) are located immediately after a parasequence boundary and a minor flooding surface ;
- one peak (4) follows a transgressive surface ;
- a double peak (3,3') succeeds two sequence boundaries.
- one peak (5) has a similar position, at the lower part of a shelf margin wedge.

Peaks 1, 2 and 4 might be connected to arrivals of exogenous fauna during major or minor transgressions. Peaks 3,3' and 5 might be interpreted as caused by sympatric speciations after disturbances of the biotopes during the sea level falls (exemples : the evolution from *Lenticulina chicheryi* to *Lenticulina tenuistriata*)

Nothing maximum of renewal rate characterize the maximum flooding surfaces.

9 - FACTORIAL DIVERSITY WITHIN SAMPLING LEVELS (F - DIVERSITY)

9.1. Method

In general, in Correspondence Analysis of the taxa-samples matrices, the elements of the two sets are ordered along an ecologically significant gradient (opposing different biotopes) often represented by the first axis F1 -we have already mentioned its importance as a synthetic variable summarizing various aspects of the ecosystem. Owing to the nature of the method itself, F1 give the best reciprocal ordination of the two sets.

The dispersion, on the gradient, of the scores of the samples in which a taxon is present gives an evaluation of the niche breadth of the taxon. Symmetrically, the dispersion of the scores of taxa present in a given sample provides a measure of the faunal and ecological diversity and thus of the complexity of organisation (niche variety etc.) of the sample's biocenosis (notions of habitat functional amplitude or F- amplitude and of within sample factorial diversity or F- diversity ; Chessel et al., 1982).

In the situation considered here, the variations of the community result from two main courses : (i) general evolution of the population with time for a given type of biotope (temporal heterogeneity through sympatric variation, allopatric input, etc). (ii) segregation (spacial or ecological heterogeneity) due to the simultaneous existence of near but different biotopes. There is therefore superposition, on the temporal gradient, of an ecological-type gradient. Thus, a high value of F- amplitude for a taxon could result from its long life-span and or its high ecological amplitude (generalistic taxon, eurybiontic). Symmetrically, a high value of F- diversity for an outcrop could arise from a high proportion, in the community, of panchronic taxa and/or of eurybiontic taxa, or again of taxa from a broad spectrum of ecological niches (heterogeneous thanatocenosis). These two components, temporal and ecological, are closely interwoven and very hard to dissociate. It is true we know very little

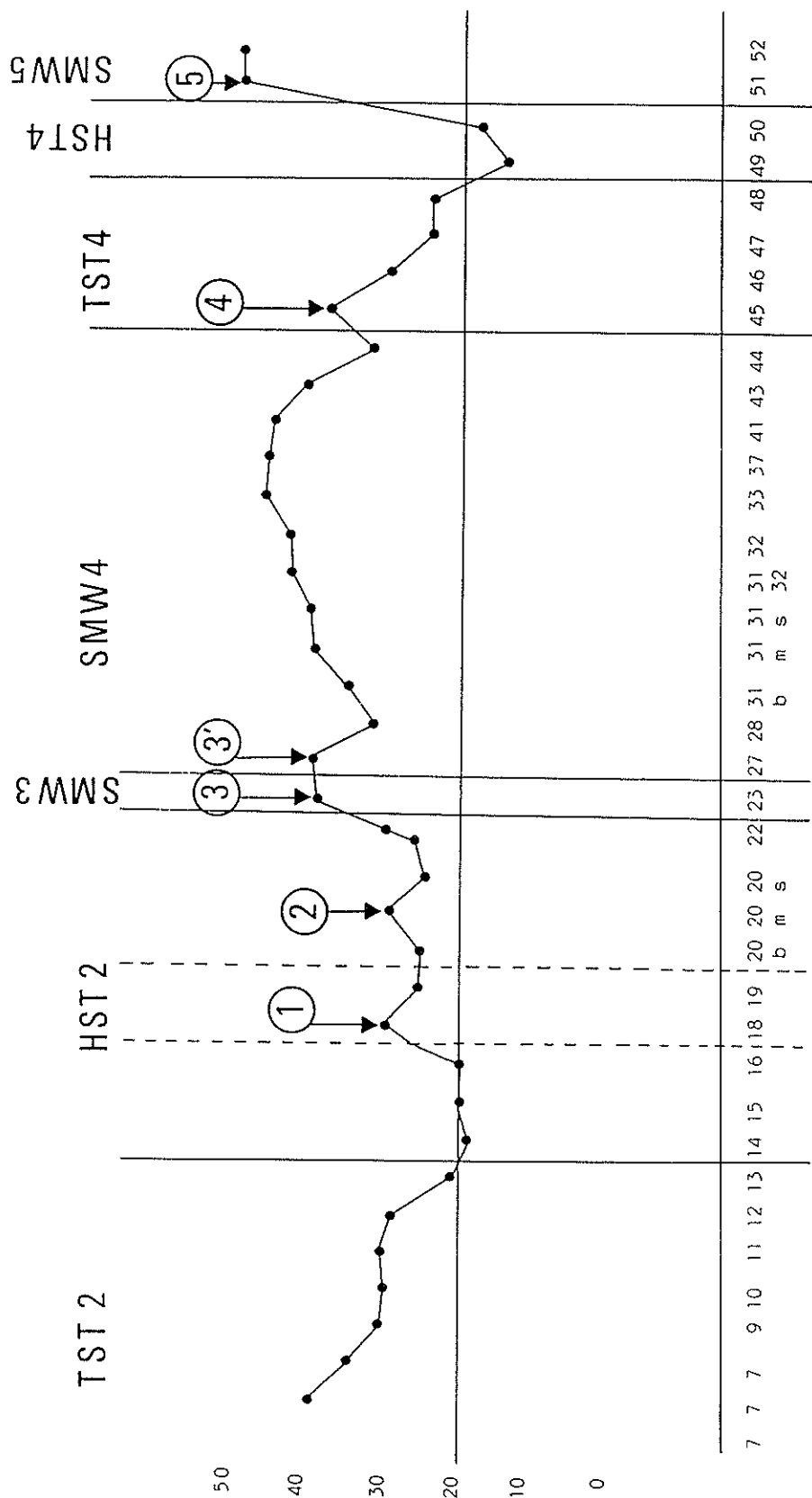


Figure 15 - Curve of the renewal rate of taxa between a sampling level and the samples before, in the Penne section.

about the details of the evolution with time of the biotopes or about the type of biotopes that gave rise to the taxa gathered in a given outcrop.

From a rather restricted point of view, it would be reasonable to consider that in a series deposited by a stable ecosystem, the first component predominates. It would also be possible to evaluate the importance of the second component by only keeping, in the analysis matrix, long-lived taxa.

We shall only study here the F-diversity of the outcrops, measured by the conditional variance of the F1 scores of the MAC for the species recorded in each of them (fig. 16).

9.2. Factorial diversity in Penne's section

F- diversity changes over time in successive waves often coinciding with upsurges in the renewal rate. In the Toa2 sequence two low amplitude waves in the transgressive systems tract are followed by a high amplitude wave in the highstand systems tract. A rapid increase in the values occurs at the Toa3 and Toa4 sequence boundaries. The values become stabilized at the start of the Toa4 shelf margin wedge systems tract, then rise again at the end of the systems tract. They reach a peak just before the Toa4 transgressive surface then, after a plateau in the Toa4 transgressive and highstand systems tracts, start a rapid decrease at the Toa5 shelf margin wedge systems tract. The whole series is affected by a linear trend up to the Toa5 sequence boundary.

If, in the MAC series, we only take into account long-lived taxa (recorded both in one of the first 6 levels and in one of the last 6) in order to attenuate the time factor effect, we obtain a graph of similar appearance except for the first peak which is no longer present. It can therefore be thought that the fluctuations are indicative rather of fauna modifications of the ecosystem (not excluding the reappearance of certain taxa) than of the general evolution of the community by relaying of taxa over time.

9.3. Comparison of F- diversity within the basin

The same type of analysis, carried out in the Gramat area (Cérède section, fig. 16) enabled a comparison to be made of the F- diversity of two relatively remote sites of the basin. In both cases we can note :

- very low values at the start of the series, corresponding to the setting up of a pioneer population with a limited number of species in biotopes not yet diversified following the anoxic period.

- fluctuations, correlated or not to the waves of fauna renewal, related to disturbances of the ecosystem. Each fluctuation presents a peak (rapid flourishing of the biocenosis) often coinciding with an Ammonite subzone limit, followed by deflation or stagnation. The fluctuations are situated in the vicinity of the parasequence boundaries, transgressive surfaces or sequence boundaries. The modifications of the environment bring about a diversification of the biotopes. The new niches then become available and are colonized by taxa of various origins and with various ecological optima; After this "youthful explosion", the biocenosis becomes stable (confinement), specializes and ages.

- lower sea levels can impoverish the variety of ecological niches and lead to a predominance of populations with opportunistic tendencies.

- more contrasting variations at Penne, (near shoals) where the balance is broken several times by new disturbances which reactivate the ecosystem thus allowing the biocenosis to increase the over all complexity of its organisation, than at Cérède where a low-amplitude climax is reached during the deposition of the Toa4 shelf margin wedge systems tract. The increase in F- diversity by successive patterns observed at Penne bring to mind the model proposed by Odum (1969) for the progressive structuration (e.g. complexification and diversification of the niches) of biocenosis in general.

So, the analysis of F- diversity also constitutes an important element in the description of paleo-ecosystems and can contribute to the establishment of correlations on the scale of the basin.

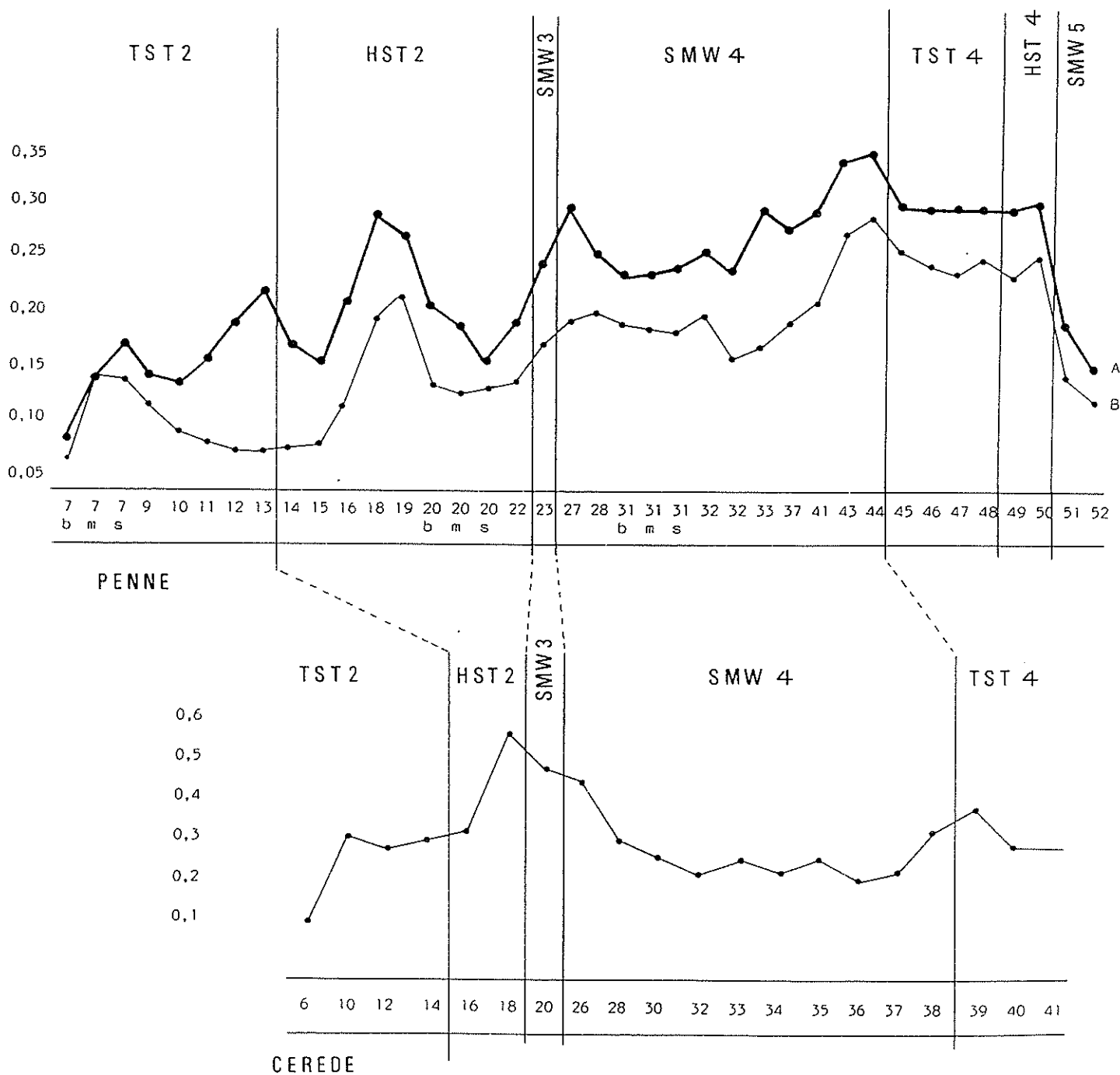


Figure 16 - Curves of the F1 diversity of sampling levels in the Penne section (A : all the taxa B : long-lived taxa) and in the Cérède section (all the taxa), with an exponential smoothing.

CONCLUSIONS

These studies of benthic Foraminifera from the Toarcian in Quercy show that the micropaleontological assemblages are influenced by sea level changes. Various statistical analyses prove connections between Foraminiferal benthic biocenosis, systems tracts, unconformities and sequence boundaries. Of course, they concern preliminary results about a single area and a single stage. The results will give a true value when the data are multiplied by other examples, concerning other fossils, different series and various paleogeographical backgrounds. However, even now it appears that :

i) micropaleontological assemblages can be good indicators of systems tracts and unconformities, especially within deposits with a homogeneous lithology.

ii) the study of the variations of a synthetic process summarizing various aspects of the ecosystem and of the benthic Foraminifera biocenosis (F1 axis of a Multiple Analysis of Correspondences, F- diversity, etc) can make a complementary tool for correlations, on the basin scale.

iii) the remarks about the evolution, structuration and destructuration of the biocenosis may grow richer by a connected study of the benthic fauna and of the sea level changes.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to P.R. VAIL for its criticisms, fruitful discussions and suggestions which considerably improved this work.

REFERENCES CITED

Bodergat, A.M., Cubaynes, R., Courtinat, B. et Ruget, C., 1991, Stratégies adaptatives K, r et A dans l'évolution des Ostracodes du Toarcien quercynois (France) : C.R. Acad. sci. Paris, t. 312, ser. II, p. 1177-1182.

Bonnet, L., Cubaynes, R., Qajoun, A., Rey, J. et Ruget, C., 1991, Analyse statistique des biocénoses de Foraminifères dans les cortèges sédimentaires du Toarcien du Quercy : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 313, ser. II, p. 1587-1593.

Bonnet, L., Cubaynes, R., Rey, J. et Ruget, C., 1992, Cycles et rythmes dans les biocénoses de Foraminifères du Toarcien du Quercy. Relation avec les cycles eustatiques et les changements climatiques : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 314, ser. II, p. 77-83.

Chessel D., Lebreton, J.D. et Prodon, R., 1982, Mesures symétriques d'amplitude d'habitat et de diversité intra-échantillon dans un tableau espèces-relevés : cas d'un gradient simple : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 295, ser. III, p. 83-88.

Cubaynes R., 1986, Le Lias du Quercy méridional. Etude lithologique, biostratigraphique, paléoécologique et sédimentologique : Strata, ser. II, vol. 6, 574p.

Cubaynes, R., Ruget, C. et Rey J., 1989, Essai de caractérisation des prismes de dépôt d'origine eustatique par les associations de Foraminifères benthiques : exemple du Lias moyen et supérieur de la bordure est du Bassin Aquitain : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 308, ser. II, p. 1517-1522.

Cubaynes, R., Rey, J. et Ruget, C., 1990, Renouvellement des espèces de Foraminifères benthiques et variations globales du niveau des mers. Exemples du Lias du Quercy et de l'Eocène des Corbières: Revue de Micropaléontologie, vol. 33, n° 3-4, p. 233-240.

- Jacquín, Th., García, J.P., Ponsot, C., Thierry, J. et Vail, P.R., 1992, Séquences de dépôt et cycles régressifs/transgressifs en domaine marin carbonaté : exemple du Dogger du Bassin de Paris : C.R. Acad. Sci. Paris, t. 315, ser. II, p. 353-362.
- Kidwell, S.M., 1991, Condensed deposits in siliciclastic sequences : Expected and observed features, *in* Einsele G., Ricken W. and Seilacher A., ed., *Cycles and events in Stratigraphy*, Springer-Verlag, p. 682-695.
- Odum, E.P., 1969, The strategy of ecosystem development : *Science*, 164, p. 262-270.
- Pettitt, A.N., 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.*, 28, p. 126-135.
- Rioult M., Dugue, O., Jan du Chene, R., Ponsot, C.M., Fily, G., Moron, J.M. et Vail, P.R., 1991, Outcrop sequence stratigraphy of the Anglo-Paris Basin, middle to upper Jurassic : *Bull Centre Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, vol. 15, n° 1, p. 101-194.
- Ruget, C., 1985, Les Foraminifères (Nodosariidés) du Lias de l'Europe occidentale : *Doc. Lab. Géol. Lyon*, n° 94, 273 p.
- Sarg, J.F., 1988, Carbonate sequence stratigraphy, in "Sea level changes : an integrated approach", *Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, publ. sp., n° 2, p. 155-181.
- Sneyers, R., 1975, Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Note technique n° 143, O.M.M., 415, Genève.
- Vail, P.R., Colin, J.P., Jan du Chene, R., Kuchly, J., Mediavilla, F. et Trifilieff, V., 1987, La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris, *Bull. Soc. Geol. France*, (8), t. III, n° 7, p. 1301-1321.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S. and Hardenbol, J., 1988, An overview of the Fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions, in "Sea level changes : an integrated approach", *Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, publ. sp. n° 2, p. 39-45.

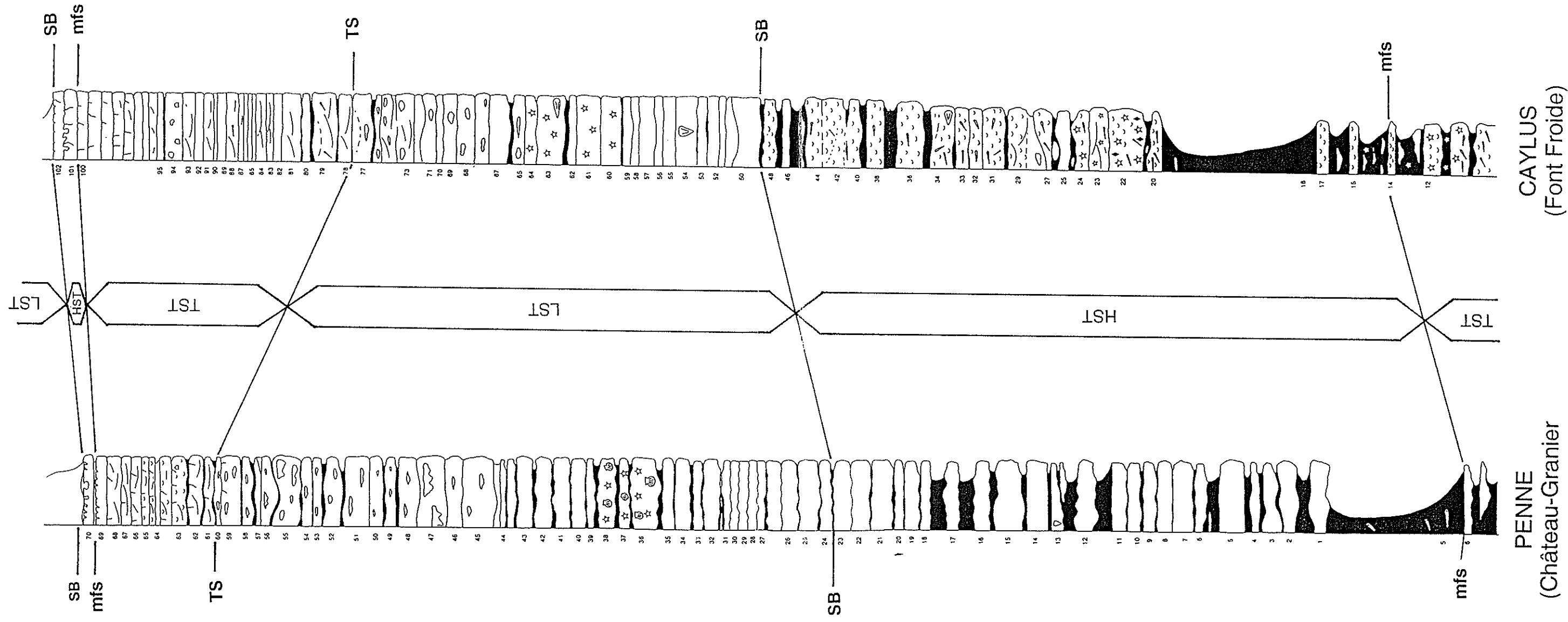


Fig. 11 -