

LE PASSAGE LIAS-DOGGER DANS LE QUERCY ET LES GRANDS CAUSSES

**GENERALITES
LIVRET-GUIDE D'EXCURSION**

Carine LEZIN, Richard CISZAK

avec la collaboration de

Jacques REY

Laboratoire de Dynamique des Bassins sédimentaires
Université Paul Sabatier - Toulouse III

LISTE DES PARTICIPANTS

M. ABDELSADOK	<i>Oran</i>
J. ANDSBJERG	<i>Copenhagen</i>
J. CANEROT	<i>Toulouse</i>
A. CHARRIERE	<i>Toulouse</i>
R. CISZAK	<i>Toulouse</i>
M. COBIANCHI	<i>Pavia</i>
S. CRESTA	<i>Roma</i>
L.V. DUARTE	<i>Coimbra</i>
C. DURLET	<i>Paris</i>
S. ELMI	<i>Lyon</i>
M. FLOQUET	<i>Marseille</i>
R. FRANCO	<i>Coimbra</i>
J.P. GELY	<i>MNHN Paris</i>
P.C. de GRACIANSKY	<i>Ecole des Mines Paris</i>
N. GUERRERO	<i>Toulouse</i>
F. GUILLOCHEAU	<i>Rennes</i>
A. JACQUET	<i>Mende</i>
Th. JACQUIN	<i>Orsay</i>
F. LENOIR	<i>Toulouse</i>
C. LEZIN	<i>Toulouse</i>
A. MAILLARD-LENOIR	<i>Toulouse</i>
L. METODIEV	<i>Sofia</i>
P. NEIGE	<i>Dijon</i>
J.H. NIELSEN	<i>Copenhagen</i>
F. ODONNE	<i>Toulouse</i>
M.F. PERRET	<i>Toulouse</i>
V. PICOTTI	<i>Bologna</i>
J. REY	<i>Toulouse</i>
C. ROBIN	<i>Paris</i>
R. ROCHA	<i>Coimbra</i>
C. RUGET	<i>Lyon</i>
A. RUGET	<i>Lyon</i>
L. RULLEAU	<i>Lyon</i>
J. THIERRY	<i>Dijon</i>
D. VASLET	<i>BRGM Orléans</i>

GENERALITES

This is a detailed geological map of the Montfaucon area. The map uses various shades of gray and patterns to represent different geological units. Key features include:

- Geological Units:** Labeled with codes such as 'GORGON', 'MONTFAUCON', and 'GORGON'. Other units are marked with 'p', 'm', 'q', 'g', 'c', 's', 't', 'u', 'v', 'w', 'x', 'y', 'z', 'aa', 'ab', 'ac', 'ad', 'ae', 'af', 'ag', 'ah', 'ai', 'aj', 'ak', 'al', 'am', 'an', 'ao', 'ap', 'aq', 'ar', 'as', 'at', 'au', 'av', 'aw', 'ax', 'ay', 'az', 'ba', 'bb', 'bc', 'bd', 'be', 'bf', 'bg', 'bh', 'bi', 'bj', 'bk', 'bl', 'bm', 'bn', 'bo', 'bp', 'bq', 'br', 'bs', 'bt', 'bu', 'bv', 'bw', 'bx', 'by', 'bz', 'ca', 'cb', 'cc', 'cd', 'ce', 'cf', 'cg', 'ch', 'ci', 'cj', 'ck', 'cl', 'cm', 'cn', 'co', 'cp', 'cq', 'cr', 'cs', 'ct', 'cu', 'cv', 'cw', 'cx', 'cy', 'cz', 'da', 'db', 'dc', 'dd', 'de', 'df', 'dg', 'dh', 'di', 'dj', 'dk', 'dl', 'dm', 'dn', 'do', 'dp', 'dq', 'dr', 'ds', 'dt', 'du', 'dv', 'dw', 'dx', 'dy', 'dz', 'ea', 'eb', 'ec', 'ed', 'ee', 'ef', 'eg', 'eh', 'ei', 'ej', 'ek', 'el', 'em', 'en', 'eo', 'ep', 'eq', 'er', 'es', 'et', 'eu', 'ev', 'ew', 'ex', 'ey', 'ez', 'fa', 'fb', 'fc', 'fd', 'fe', 'ff', 'fg', 'fh', 'fi', 'fj', 'fk', 'fl', 'fm', 'fn', 'fo', 'fp', 'fq', 'fr', 'fs', 'ft', 'fu', 'fv', 'fw', 'fx', 'fy', 'fz', 'ga', 'gb', 'gc', 'gd', 'ge', 'gf', 'gg', 'gh', 'gi', 'gj', 'gk', 'gl', 'gm', 'gn', 'go', 'gp', 'gq', 'gr', 'gs', 'gt', 'gu', 'gv', 'gw', 'gx', 'gy', 'gz', 'ha', 'hb', 'hc', 'hd', 'he', 'hf', 'hg', 'hh', 'hi', 'hj', 'hk', 'hl', 'hm', 'hn', 'ho', 'hp', 'hq', 'hr', 'hs', 'ht', 'hu', 'hv', 'hw', 'hx', 'hy', 'hz', 'ia', 'ib', 'ic', 'id', 'ie', 'if', 'ig', 'ih', 'ii', 'ij', 'ik', 'il', 'im', 'in', 'io', 'ip', 'iq', 'ir', 'is', 'it', 'iu', 'iv', 'iw', 'ix', 'iy', 'iz', 'ja', 'jb', 'jc', 'jd', 'je', 'jf', 'jg', 'jh', 'ji', 'jj', 'jk', 'jl', 'jm', 'jn', 'jo', 'jp', 'jq', 'jr', 'js', 'jt', 'ju', 'jv', 'jw', 'jx', 'jy', 'jz', 'ka', 'kb', 'kc', 'kd', 'ke', 'kf', 'kg', 'kh', 'ki', 'kj', 'kk', 'kl', 'km', 'kn', 'ko', 'kp', 'kq', 'kr', 'ks', 'kt', 'ku', 'kv', 'kw', 'kx', 'ky', 'kz', 'la', 'lb', 'lc', 'ld', 'le', 'lf', 'lg', 'lh', 'li', 'lj', 'lk', 'll', 'lm', 'ln', 'lo', 'lp', 'lq', 'lr', 'ls', 'lt', 'lu', 'lv', 'lw', 'lx', 'ly', 'lz', 'ma', 'mb', 'mc', 'md', 'me', 'mf', 'mg', 'mh', 'mi', 'mj', 'mk', 'ml', 'mn', 'mo', 'mp', 'mq', 'mr', 'ms', 'mt', 'mu', 'mv', 'mw', 'mx', 'my', 'mz', 'na', 'nb', 'nc', 'nd', 'ne', 'nf', 'ng', 'nh', 'ni', 'nj', 'nk', 'nl', 'nm', 'nn', 'no', 'np', 'nq', 'nr', 'ns', 'nt', 'nu', 'nv', 'nw', 'nx', 'ny', 'nz', 'oa', 'ob', 'oc', 'od', 'oe', 'of', 'og', 'oh', 'oi', 'oj', 'ok', 'ol', 'om', 'on', 'oo', 'op', 'oq', 'or', 'os', 'ot', 'ou', 'ov', 'ow', 'ox', 'oy', 'oz', 'pa', 'pb', 'pc', 'pd', 'pe', 'pf', 'pg', 'ph', 'pi', 'pj', 'pk', 'pl', 'pm', 'pn', 'po', 'pp', 'pq', 'pr', 'ps', 'pt', 'pu', 'pv', 'pw', 'px', 'py', 'pz', 'qa', 'qb', 'qc', 'qd', 'qe', 'qf', 'qg', 'qh', 'qi', 'qj', 'qk', 'ql', 'qm', 'qn', 'qo', 'qp', 'qq', 'qr', 'qs', 'qt', 'qu', 'qv', 'qw', 'qx', 'qy', 'qz', 'ra', 'rb', 'rc', 'rd', 're', 'rf', 'rg', 'rh', 'ri', 'rj', 'rk', 'rl', 'rm', 'rn', 'ro', 'rp', 'rq', 'rr', 'rs', 'rt', 'ru', 'rv', 'rw', 'rx', 'ry', 'rz', 'sa', 'sb', 'sc', 'sd', 'se', 'sf', 'sg', 'sh', 'si', 'sj', 'sk', 'sl', 'sm', 'sn', 'so', 'sp', 'sq', 'sr', 'ss', 'st', 'su', 'sv', 'sw', 'sx', 'sy', 'sz', 'ta', 'tb', 'tc', 'td', 'te', 'tf', 'tg', 'th', 'ti', 'tj', 'tk', 'tl', 'tm', 'tn', 'to', 'tp', 'tq', 'tr', 'ts', 'tt', 'tu', 'tv', 'tw', 'tx', 'ty', 'tz', 'ua', 'ub', 'uc', 'ud', 'ue', 'uf', 'ug', 'uh', 'ui', 'uj', 'uk', 'ul', 'um', 'un', 'uo', 'up', 'uq', 'ur', 'us', 'ut', 'uu', 'uv', 'uw', 'ux', 'uy', 'uz', 'va', 'vb', 'vc', 'vd', 've', 'vf', 'vg', 'vh', 'vi', 'vj', 'vk', 'vl', 'vm', 'vn', 'vo', 'vp', 'vq', 'vr', 'vs', 'vt', 'vu', 'vv', 'vw', 'vx', 'vy', 'vz', 'wa', 'wb', 'wc', 'wd', 'we', 'wf', 'wg', 'wh', 'wi', 'wj', 'wk', 'wl', 'wm', 'wn', 'wo', 'wp', 'wq', 'wr', 'ws', 'wt', 'wu', 'wv', 'ww', 'wx', 'wy', 'wz', 'xa', 'xb', 'xc', 'xd', 'xe', 'xf', 'xg', 'xh', 'xi', 'xj', 'xk', 'xl', 'xm', 'xn', 'xo', 'xp', 'xq', 'xr', 'xs', 'xt', 'xu', 'xv', 'xw', 'xx', 'xy', 'xz', 'ya', 'yb', 'yc', 'yd', 'ye', 'yf', 'yg', 'yh', 'yi', 'yj', 'yk', 'yl', 'ym', 'yn', 'yo', 'yp', 'yq', 'yr', 'ys', 'yt', 'yu', 'yv', 'yw', 'yx', 'yy', 'yz', 'za', 'zb', 'zc', 'zd', 'ze', 'zf', 'zg', 'zh', 'zi', 'zj', 'zk', 'zl', 'zm', 'zn', 'zo', 'zp', 'zq', 'zr', 'zs', 'zt', 'zu', 'zv', 'zw', 'zx', 'zy', 'zz'.
- Topographic Features:** Contour lines indicating elevation, with labels such as '1000', '1200', '1400', '1600', '1800', '2000', '2200', '2400', '2600', '2800', '3000', '3200', '3400', '3600', '3800', '4000', '4200', '4400', '4600', '4800', '5000', '5200', '5400', '5600', '5800', '6000', '6200', '6400', '6600', '6800', '7000', '7200', '7400', '7600', '7800', '8000', '8200', '8400', '8600', '8800', '9000', '9200', '9400', '9600', '9800', '10000'.
- Infrastructure:** A network of roads and a river system (GORGON) are shown.
- Geological Features:** Fault lines and other geological structures are indicated by dashed and solid lines.



Le but de ces deux jours d'excursion est de présenter l'évolution de deux bassins limitrophes au passage Lias-Dogger.

Il s'agit de la partie nord-orientale du Bassin Aquitain à influences Atlantiques, appelée « bassin du Quercy », et du bassin des Grands-Causse à influences téthysiennes. Ces deux domaines sont séparés par le seuil de Villefranche-de-Rouergue où affleure actuellement le socle hercynien.

Chaque bassin sera décrit séparément (fig.1).

*** La première journée (18 mars 2000)** sera consacrée à une analyse détaillée de la série datée du Toarcien supérieur et de l'Aalénien sur 5 sites répartis dans le bassin quercynois.

Il serait illusoire de vouloir présenter en une journée un inventaire exhaustif de l'ensemble du remplissage sédimentaire au passage Lias-Dogger du Nord de l'Aquitaine mais, néanmoins, nous nous proposons de montrer en quelques points d'arrêts, des affleurements significatifs illustrant :

- l'évolution stratigraphique dans le temps et dans l'espace : variations faciologiques, interprétation paléoenvironnementale, calage biochronologique, interprétation en terme de séquences de dépôts et corrélations ;
- les principales étapes de l'évolution paléogéographique ;
- les facteurs de contrôle de la sédimentation.

*** La seconde journée (19 mars 2000)**

Les Grands Causse constituent un des nombreux secteurs des plates-formes nord-ouest péri-téthysiennes, quasiment à l'articulation avec le domaine atlantique. Au Jurassique moyen, la sédimentation s'y effectue en contexte tectonique extensif entre deux seuils mobiles, le "Seuil de Villefranche-de-Rouergue", à l'Ouest, et le "Seuil des Cévennes", au Sud-Est. L'activité diachrone de ces seuils crée sur leurs bords, des subsidences différentielles et des lacunes de sédimentation. Le Dogger caussenard a toutefois conservé quelques témoins de lignes isochrones autorisant des corrélations intra-régionales ; telles les concentrations d'ammonites à l'Aalénien, lorsque la paléobathymétrie, décroissant depuis le Toarcien moyen, garde une valeur encore élevée, ou de Brachiopodes lorsque la paléobathymétrie croît à nouveau au Bathonien moyen, après le maximum de régression au Bathonien inférieur.

Cette excursion dans les Grands Causse nous fait découvrir la nature et les modalités de la sédimentation dans l'intervalle Aalénien-Bajocien, sur un substratum toarcien en phase de structuration. Elle débutera sur les gradins orientaux du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue" qui forment le "Déroit de Rodez", où il ne subsiste que les dépôts des inondations marines géographiquement les plus étendues. Elle se déplacera ensuite vers l'Est, en direction de l'axe du Graben des Grands Causse où la série se complète progressivement.

Au terme de ces deux journées d'excursion, on s'attachera à dégager les principales différences et similitudes dans l'évolution de ces deux bassins au cours de l'Aalénien.

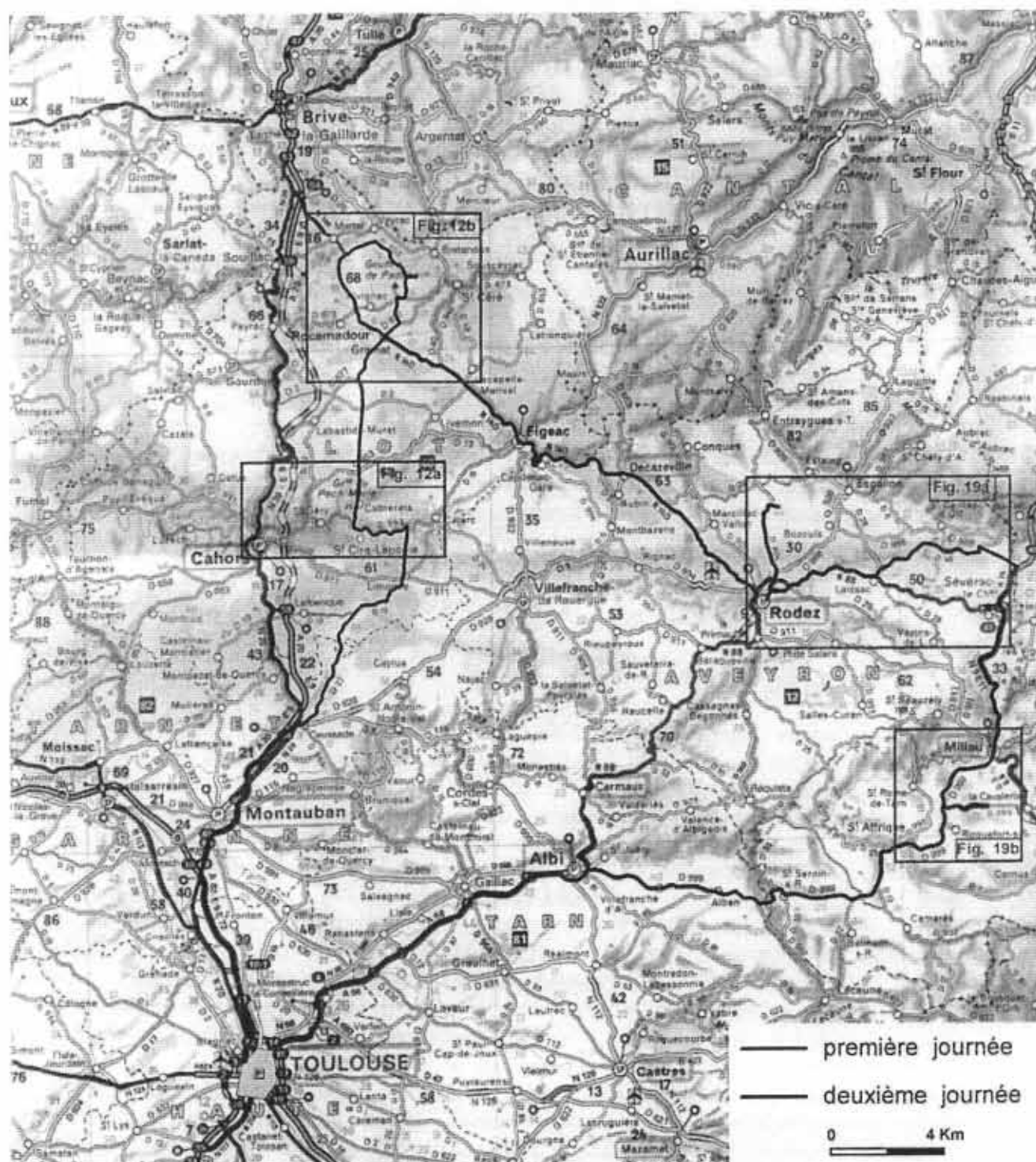


Fig. 1 : Itinéraire de l'excursion

Le Toarcien supérieur – Aalénien dans le Quercy

Par Carine LEZIN

BRIVE-LA-GAILLARDE

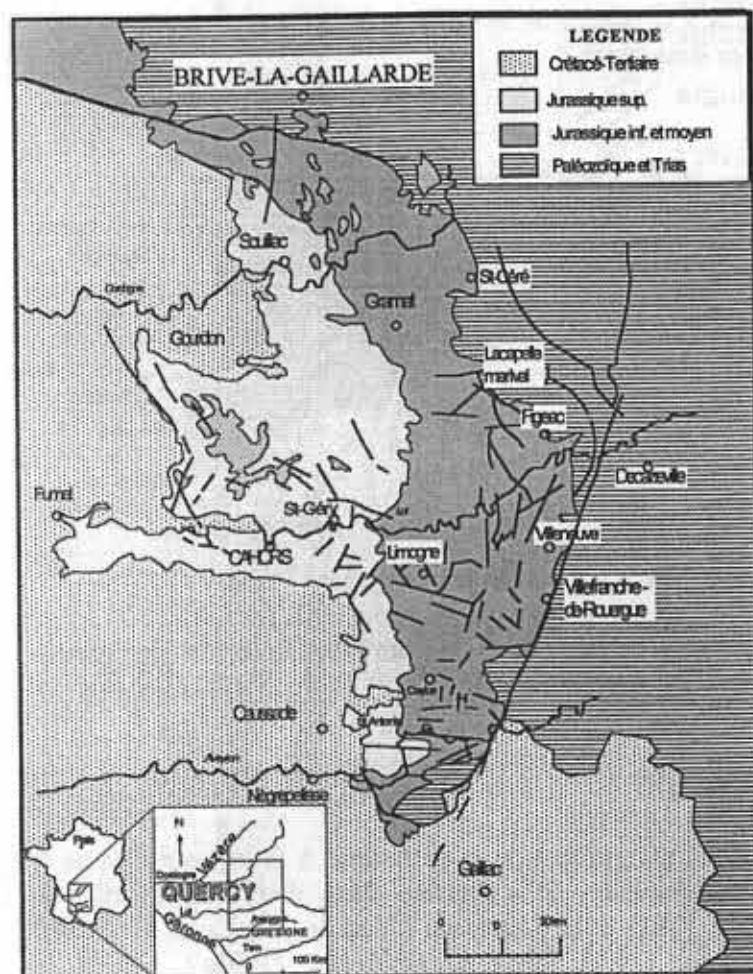
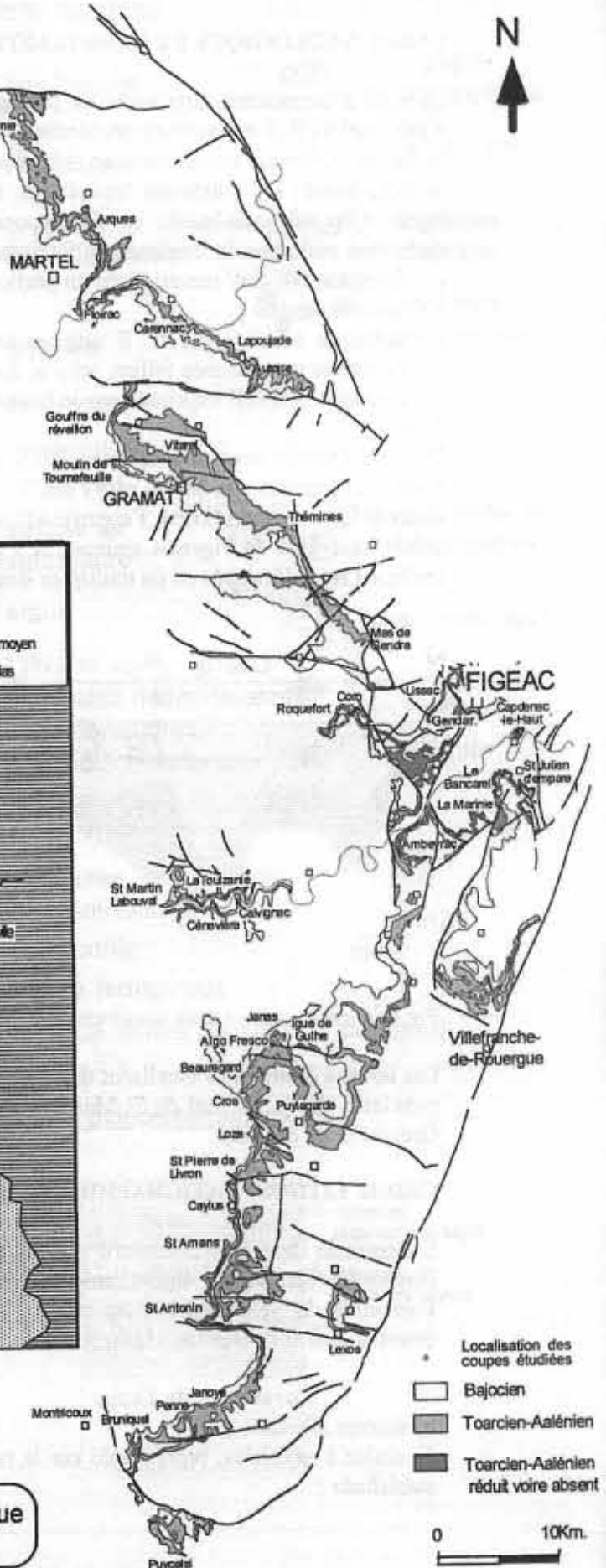


Fig.2 : Cadre géographique, géologique et structural



CADRE GEOLOGIQUE ET MORPHO-STRUCTURAL

La série à dominante carbonatée du passage Lias-Dogger affleure suivant une bande étroite d'orientation N-S en bordure occidentale du bassin quercynois (fig.2). Durant cette période, ce bassin de forme triangulaire se subdivise en 2 sous-bassins (un sous-bassin méridional et un sous-bassin septentrional) séparés par le haut-fond de Figeac-Capdenac (Quercy central, fig.3). Chaque sous-bassin se décompose lui-même en plusieurs blocs délimités par 3 directions majeures de fracturation d'origine hercyniennes :

- direction NE-SW matérialisée en particulier par la faille de Villefranche-de-Rouergue, en limite orientale ;
- direction N100 à N110° E empruntée notamment par le tracé des grandes rivières et exprimée par diverses failles, telle la faille de Padirac ;
- direction NW-SE exprimée par le linéament Ouest-quercynois et par la faille d'Argentat.

Dans le Quercy septentrional, ces blocs basculés, tels les blocs de Martel et de Gramat, s'abaissent vers le sud-est ou vers l'est.

Dans le Quercy méridional, l'approfondissement se réalise en direction du sud et du sud-est. Sur le haut-fond de Figeac-Capdenac et à proximité de la faille de Villefranche-de-Rouergue, les blocs sont découpés en de multiples sous-blocs.

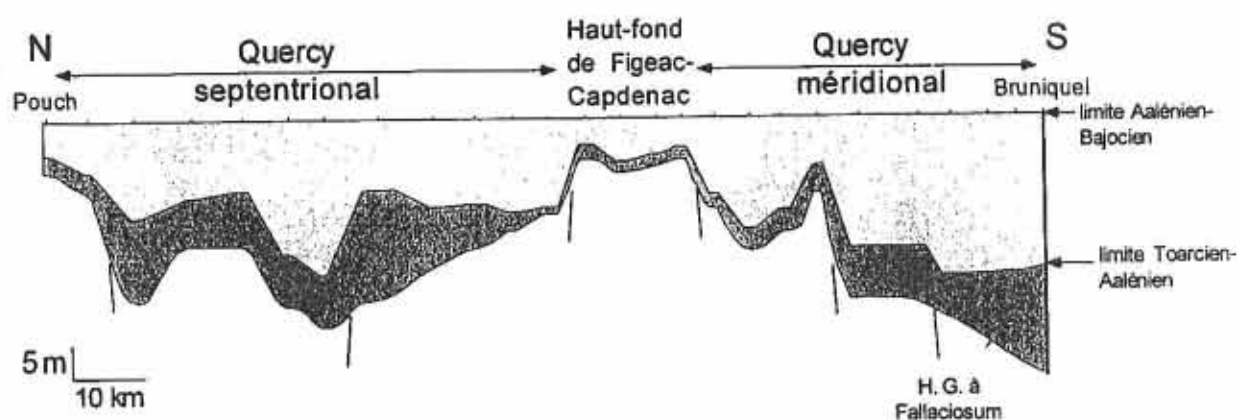


Fig.3 : structuration en deux sous-bassins du bassin quercynois au passage Lias-Dogger.

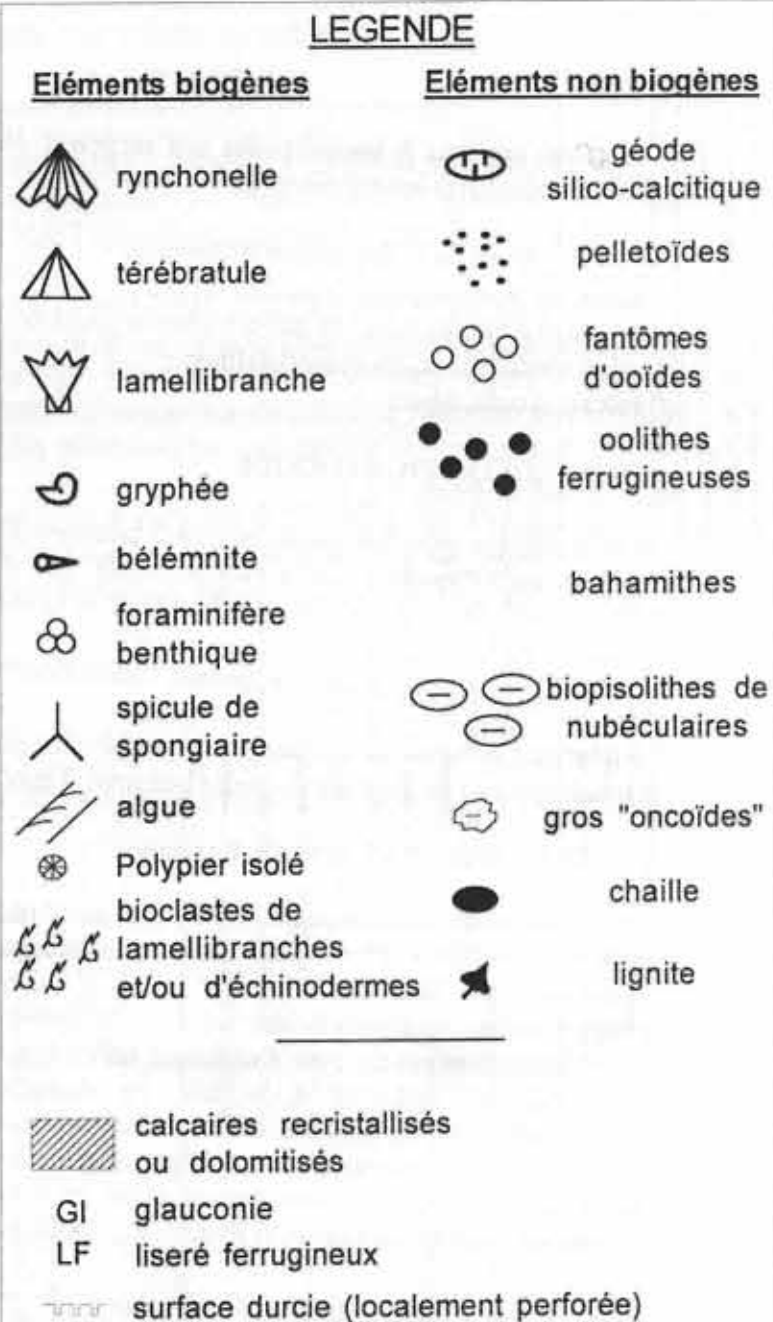
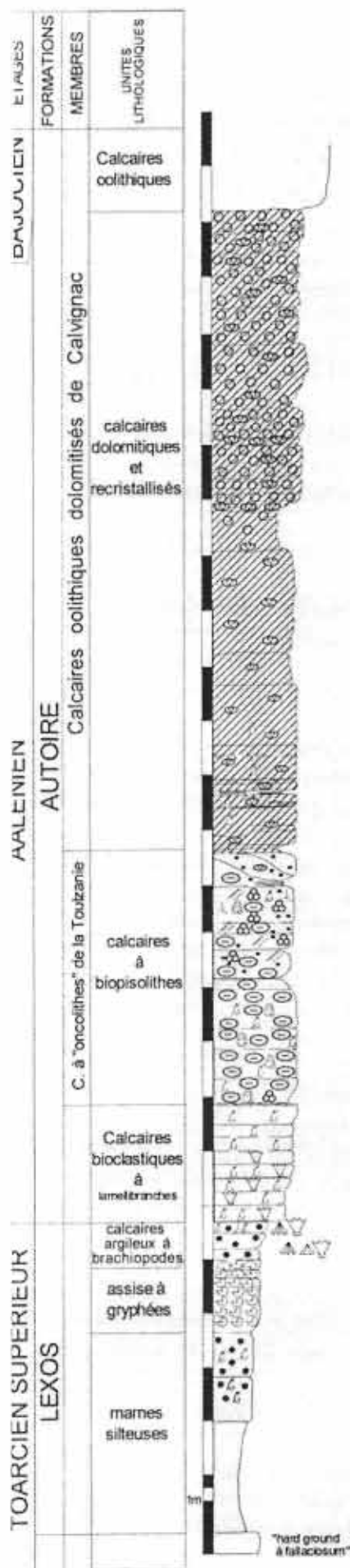
Les coupes étudiées se localisent dans le Quercy central (limite nord du Causse de Limogne, à proximité de l'anticlinal de St Martin Labouval) et dans le Quercy septentrional (Causses de Gramat et de Martel).

CADRE LITHOSTRATIGRAPHIQUE (fig.4)

L'intervalle de temps considéré s'étend du sommet de la sous-zone à fallaciosum (zone à Bonarelli) jusqu'à la limite aaléno-bajocienne. Il s'exprime dans deux formations : la Formation de Lexos (Cubaynes et al., 1981) et la Formation d'Autoire (Delfaud, 1969) qui peuvent être elles-mêmes décomposées en 7 unités lithostratigraphiques. Il s'agit :

Formation de Lexos

- a) marnes silteuses ;
- b) assise à gryphées, représentée sur la majorité des coupes par une lumachelle à *Gryphaea sublobata* ;



Interprétation paléoenvironnementale

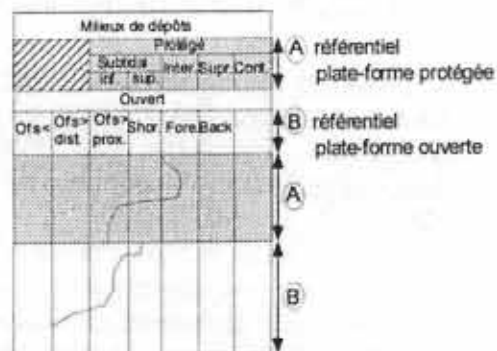


Fig.4 : Cadre lithostratigraphique et légende

c) calcaires argileux à brachiopodes qui associent *Homoeorhynchia cynocephala*, *Zeilleria lycetti* et *Lobothyris haresfieldensis* ;

Base de la formation d'Autoire

- d) calcaires bioclastiques à lamellibranches ;
- e) calcaires à biopisolithes de nubéculaires équivalent des calcaires à « oncolithes » ;
- f) calcaires dolomitiques et recristallisés ;
- g) calcaires oolithiques.

CADRE BIOSTRATIGRAPHIQUE

La série étudiée a pu être subdivisée en 5 biozones fondées, à l'exception de la dernière, sur les faunes d'ammonites. Cette échelle locale fait référence au cadre biochronologique de référence redéfini par Elmi *et al.* (Toarcien) et Contini *et al.* (Aalénien) dans le mémoire n° 17 d'Elf (1997).

Les faunes de brachiopodes ont permis l'identification de la zone à Murchisonae (Aalénien moyen).

Le tableau I présente la distribution des différents marqueurs biochronologiques (ammonites et brachiopodes) en fonction du cadre biozonal (Fauré *et al.*, 2000 ; modifié).

FACIES ET ASSOCIATIONS DE FACIES

Les variations de l'espace disponible se traduisent par des variations des paléoenvironnements et donc des faciès. Dans des bassins à sédimentation peu contrastée tel que le bassin quercynois au Toarcien supérieur et à l'Aalénien, une des grandes difficultés est d'individualiser les divers faciès.

Cette différenciation ne peut s'effectuer qu'en tenant compte d'un maximum de caractères descriptifs qui intègrent à la fois les données de terrains (macrofaune, structures sédimentaires) et les données de microfaciès (éléments biogènes et non-biogènes, texture, maturité des bioclastes). Seul un traitement quantitatif de ces données permet de considérer simultanément tous ces caractères et donc de distinguer les faciès. La démarche de cette analyse est exposée en annexe (Lézin *et al.*, 2000). Elle a permis de distinguer 25 faciès.

1-Alternance marno-calcaire (faciès 2a) : Ce faciès se compose de niveaux marneux noirâtres à grisâtres, laminés, dont la fraction silteuse est constituée essentiellement par des petits grains de quartz anguleux. Ces marnes alternent avec des passées plus carbonatées. Elles présentent parfois un débit noduleux induit par la compaction différentielle générée par une intense bioturbation et des concentrations bioclastiques. Selon la classification de Folk et de Dunham, le microfaciès correspond à des biomicrites à texture mudstone-wackestone.

2- Calcaires argileux bioclastiques :

Ce faciès relativement noduleux est riche en bioclastes de lamellibranches, d'échinodermes et d'annélides (biomicrite packstone). L'abondance de la macrofaune (brachiopodes et lamellibranches) et l'importance de la bioturbation soulignent une intense activité biologique (2b).

Entre le faciès 2b et 5, on rencontre une grande variété microfaciès. On distingue :

- faciès 2c : packstone à accumulation de spicules de spongiaires ;
- faciès 2d : packstone-grainstone à accumulation de microbiodébris d'échinodermes ;
- faciès 2e : packstone grainstone à accumulation de débris d'échinodermes. L'association de sparite et de micrite au sein de la phase de liaison traduit un vannage incomplet ;

[illegible]

Tableau 1 : Extension verticale des principaux marqueurs biochronologiques du Toarcien supérieur et de l'Aalénien inférieur à moyen du Quercy (d'après Fauré *et al.*, 2000 ; modifié).

- faciès 2f : biosparite grainstone à accumulation de fragments d'échinodermes. Aucune structure sédimentaire n'est visible sur le terrain.

3 - Calcaires à oolites ferrugineuses et à fantômes d'ooïdes :

Cet ensemble se décompose en 2 faciès relativement distincts :

- le premier faciès (3a) correspond à des calcaires plus ou moins argileux à stratifications obliques, riches en grains ferrugineux. La majorité de ces grains correspondent à des oolites. Ce faciès se caractérise par un liant dolomitique et ferrugineux qui lui confère une couleur rougeâtre à l'affleurement.

- le second faciès (3b) correspond à des calcaires argileux de couleur brune qui se composent à la fois d'oolites ferrugineuses et de fantômes d'ooïdes. Ces oolites hétérométriques et hétéromorphes, de type α et γ , sont dispersées dans un liant dolomicrosparitique ou micritique.

4 - Calcaires bioclastiques à extraclasts : Il s'agit de calcaires relativement argileux (4a) à concentration bioclastique variable (wackestone-packstone). Dans certains niveaux le microfaciès présente essentiellement une bioaccumulation (packstone-grainstone) de microfragments usés d'échinodermes (4b). La macrofaune, quant à elle, est peu diversifiée.

5 - Calcaires bioclastiques à macro-H.C.S. (5) : ils se composent d'abondants fragments d'échinodermes usés et fragmentés. Le microfaciès correspond à des biosparites grainstone. La macrofaune y est réduite (présence de gryphées localement) voire absente. Au sein de ce faciès la dolomitisation est intense. Cette dernière peut masquer toutes traces fossiles ce qui induit, au niveau textural, une alternance de dolomicrosparite mudstone et de biosparite grainstone.

Ce faciès, légèrement granoclassé, est exprimé à l'affleurement par des bancs calcaires de forme lenticulaire, de 2 à 3 m. de long et d'une vingtaine de centimètre de hauteur correspondant vraisemblablement à des stratifications mamelonnées de type macro-H.C.S.

6 - Calcarénite à extraclasts et à structures tidales (6) : ces calcarénites se composent d'une bioaccumulation d'entroques associée à d'abondants extraclasts (notamment des galets mous), à de rares oolites ferrugineuses et à quelques fragments de bivalves. La présence de structures sédimentaires telles que des stratifications entrecroisées, des rides 3D à crêtes sinueuses et des stratifications sigmoïdes, en éventails et à contact tangentiel (mégarides) suggérerait l'influence de courants tidaux du domaine subtidal qui serait l'équivalent du shoreface supérieur dans la zonation hydrodynamique.

7 - Calcaires à bioclastes en voie de micritisation : Il s'agit de packstone-grainstone dont le liant microsparitique à sparitique souligne un certain degré d'énergie. Le contenu bioclastique se compose majoritairement de fragments d'échinodermes (entroques) et de quelques fragments de lamellibranches. Certains bioclastes présentent une enveloppe micritique (micritisation par perforation, 7a). Ces calcaires peuvent également contenir des biopisolithes de nubéculaires (faciès 7b).

8 - Calcaires à biopisolithes de nubéculaires au sens strict du terme : Ils sont représentés par des calcaires plus ou moins argileux de couleur gris (biomicrite wackestone-packstone) composés d'abondants biopisolithes gris à rouilles (8b).

Les éléments encroûtés correspondent en grandes majorités à des débris d'échinodermes et de lamellibranches, à des petits gastéropodes et à des foraminifères benthiques (nodosariidés essentiellement). Les allochems associés aux biopisolithes sont très variés (diversité faunique

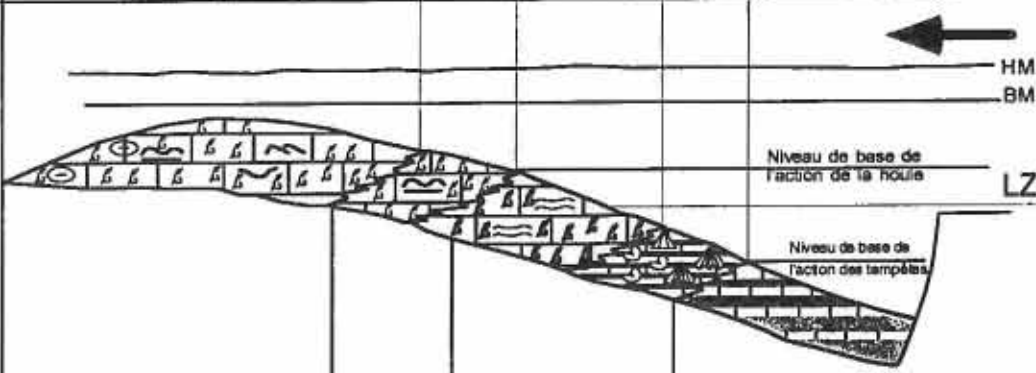
Référentiel hydrodynamique	shoreface			offshore supérieur			offshore inf.
	arrière barre	barre bioclastique		proximal	médian	distal	
faciès	7b	7a	6	5	2e	2d, 7a	2b, 2c
				2f	3a		2a
				4b	4a		3b
	calcaires bioclastiques	calcaires bioclastiques à structures mixtes	Calcaires bioclastiques : H.C.S	Calcaires bioclastiques à tempestites litées	Calcaire argileux soit à condensation de gryphées soit à concentration de brachiopodes	Alternance mame-calcaire Biomicrite mudstone à wackestone	
Profil paléobathymétrique critères de caractérisation							
macrofaune et microfaune					ammonites spicules de spongiaires lamellibranches gastéropodes gryphées brachiopodes annélides Nodosariidés		
Phase de liaison	sparite dolosparite calcite drusique		calcite épitauxique			micrite de décantation	
TEXTURE						wackestone mudstone	
Eléments non biogènes	biopisolithes de nubéculaires			oolithes ferrugineuses extraclasts		glauconie quartz	
Figures sédimentaires	H.C.S.	rides 3D à crêtes sinusoïdales	H.C.S. S.C.S. stratifications obliques planes	tempestite distale			
Autres caractéristiques	bioclastes roulés accumulation de fragments d'échinodermes surfaces durcies		micritisation partielle des bioclastes par perforation		fragments de lamellibranches majoritaires		

Fig.5 : profil de dépôt théorique, plate-forme non barrée
(Toarcien supérieur - Aalénien basal).

relativement élevée). Il s'agit notamment de foraminifères benthiques [tels que *Ophthalmidium* sp., *Planinivoluta* sp., *Glomospira* sp. et des nodosariidés (*Lenticulina* sp. surtout)], de pellesitoïdes, d'algues (*Holosporella* sp.), de spicules de spongiaires (localement), de rares sclérites d'holoturies, et de rares fragments de lamellibranches et d'échinodermes.

9 - Les calcaires à pellesitoïdes :

Deux faciès peuvent être distingués :

- les calcaires à pellesitoïdes et à fragments d'échinodermes (9a)
- les calcaires à pellesitoïdes, à foraminifères benthiques et à spicules de spongiaires (9b).

La différence entre ces deux faciès repose non seulement sur la nature des allochems mais également sur la forme et donc le type de pellesitoïdes qui les composent.

Le premier faciès (9a) correspond à des calcaires argileux ou à des marnes composés de microbioclastes d'échinodermes, d'une population réduite et peu diversifiée (formes ubiquistes) d'ostracodes (valves isolées majoritaires) et nodosariidés et de pellesitoïdes plus ou moins abondants. Ces pellesitoïdes ovoïdes de forme diffuse, irrégulière peuvent être qualifiés de « pellets mous ». Le microfaciès est une biomicrite wackestone à localement packstone.

Le second faciès (9b), quant à lui, se caractérise par des calcaires à abondants foraminifères benthiques (verneuilinoïdés, *Planinivoluta* sp., *Ophthalmidium* sp...) associés souvent à des spicules de spongiaires, à de rares biopisolithes et à d'abondants pellesitoïdes. Ces pellesitoïdes de forme régulière sont durcis. Le microfaciès est une biomicrite ou à une biosparite packstone à grainstone.

Il existe également un faciès intermédiaire qui se compose exclusivement des foraminifères benthiques cités précédemment associés à des spicules de spongiaires et à quelques pellesitoïdes « mous » (faciès 9c).

10 - Calcaires à composition mixte : Ce faciès intermédiaire entre le 8 et le 11 est constitué de pellesitoïdes, de biopisolithes, de bahamithes, de divers foraminifères benthiques et localement de polypiers isolés et de grapestones. La nature du liant varie suivant le niveau (micrite ou sparite) ; toutefois dans la majorité des cas, ces deux types de phase de liaison sont associés, ce qui indique un vannage incomplet des particules fines.

11 - Les calcaires à bahamithes : Ce faciès correspond à un packstone-grainstone à dominante oolithique et à faible diversité faunique. Les allochems sont représentés majoritairement par des oolithes micritisées (désignées sous le terme de bahamithes suivant Purser), par des pellesitoïdes et des biopisolithes à nubéculaires dans certains niveaux. Le liant de cet ensemble est généralement représenté par de la sparite.

12 - Ensemble dolomitisé et recristallisé à géodes silico-calcitiques :

Il apparaît dans 3 niveaux superposés :

- dolomie de base (12a)

Il s'agit d'un faciès totalement dolomitisé (dolomie essentiellement microcristalline). La lithologie de base n'est plus observable. Toutefois quelques « fantômes » de biopisolithes, d'échinodermes et de pellesitoïdes y persistent.

- calcaires recristallisés (12b)

Il s'agit de calcaires jaunes, roses ou orangés totalement recristallisés. La présence d'impuretés et d'inclusions ferrugineuses permet de reconnaître des rhomboédres de dolomie qui témoignent d'une phase de dolomitisation antérieure.

- calcaires recristallisés de couleur rouille à fantômes d'oolithes (12c)

Ce niveau diffère du sous-jacent par la seule présence de calcite macrocristalline et par l'apparition de fantômes d'oolithes (oolithes à remplissage sparitique et/ou fantômes

d'échinodermes roulés) d'abondance croissante en montant dans la série. Au sein de ce faciès on distingue localement du sédiment interne rougeâtre finement lité.

Conclusion : Ces 25 faciès se sont déposés sous des conditions paléoenvironnementales spécifiques. Deux grands domaines paléoenvironnementaux s'individualisent nettement : un domaine de plate forme ouverte (fig.5) et un domaine de plate-forme protégée (fig.6). Les faciès qui caractérisent respectivement chacun des 2 domaines ne se substituent pas latéralement (au sein de la zone d'investigation) mais se remplacent dans le temps. Il est indubitable que cette évolution des environnements au cours du temps est engendrée par un changement dans la morphologie de la plate forme.

DECOUPAGE SEQUENTIEL ET CORRELATIONS

Les séquences génétiques identifiées sur chacune des coupes, contraintes par les données biostratigraphiques et l'identification des discontinuités, ont permis de subdiviser la série du Toarcien supérieur et de l'Aalénien en 7 séquences de dépôt (fig.7).

Séquence S0 : seul le sommet du demi-cycle régressif (HNM) est perceptible sur les affleurements étudiés. Les marnes datées de la zone à Bonarelli passent progressivement à un double banc carbonaté décimétrique à concentration de *Pseudogrammoceras fallaciosum*. Le passage d'une sédimentation d'*offshore* inférieur à une sédimentation d'*offshore* supérieur médian à proximal traduit une diminution de l'espace disponible qui est généralisée sur l'ensemble de la plate forme.

La limite de séquence et la surface de transgression de la séquence sus-jacente sont confondues et représentées par un arrêt de sédimentation (D.8).

Séquence S1 : Cette séquence n'est pas représentée dans son intégralité sur toute la plate forme. Les corrélations biostratigraphiques soulignent l'absence locale soit du demi-cycle transgressif soit du demi-cycle régressif (HNM). Le demi-cycle transgressif est défini par l'apparition brutale d'une sédimentation d'*offshore* inférieur représentée par des marnes silteuses. Le changement de tendance s'opère au sommet de la zone à Dispersum ou à la base de la zone à Pseudoradiosa. La nouvelle tendance régressive s'exprime par le retour à une sédimentation plus proximale. Sur le « haut-fond de La Gironie », au Nord Ouest du Quercy, des calcarénites à entroques et à macro-H.C.S (*shoreface* inférieur) se développent progressivement. Sur une grande partie de la plate forme, les marnes silteuses se substituent progressivement dans le temps à des calcaires argileux (*offshore* supérieur distal) riches en macrofaune diversifiée (ammonites, lamellibranches..) et localement chargés en oolites ferrugineuses.

La limite de séquence et la surface de transgression de la séquence sus-jacente sont confondues et représentées par une surface durcie (D.9) sur la majorité des coupes. Cette discontinuité est datée du sommet de l'horizon à Mactra (sommet de l'assise à gryphées).

Séquence S2 : elle est absente sur le haut-fond de Figeac-Capdenac et sur certains sites, elle n'est que partiellement représentée.

Dès l'horizon à Celtica se développe, sur une grande partie du secteur, une sédimentation d'*offshore* inférieur caractérisée par des dépôts marneux à glauconie (localement) et à faible fraction biodétritique qui atteste d'une nouvelle augmentation de l'espace disponible. Sur le « haut-fond de La Gironie » cette transgression se traduit par un retour à une sédimentation plus distale exprimée par des calcaires argileux bioturbés à abondants lithoclastes et ammonites.

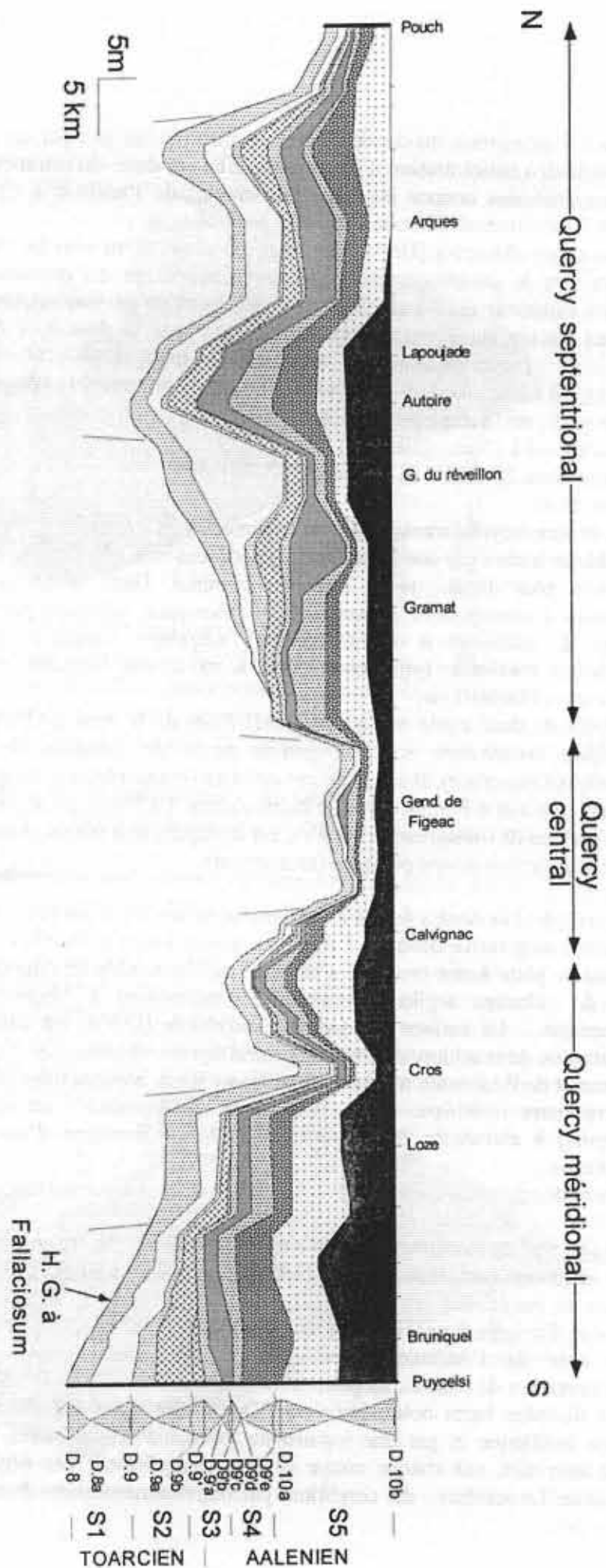


Fig.7 : corrélations stratigraphiques suivant un transect N-S.

La surface d'inondation maximale (D.9a) est matérialisée soit par un liseré ferrugineux, soit par un horizon à concentration d'ammonites. Elle est datée du sommet de l'horizon à Celtica sur la majorité des coupes ou bien, localement, de l'horizon à Crinita (Vittarel) ou de l'horizon à Lugdunensis (Gramat, côte des Mathieux..).

La phase de comblement (HNM) débutant globalement au sein de l'horizon à Lugdunensis s'exprime par le développement sur une grande partie du domaine d'une sédimentation d'*offshore* supérieur distal à médian. Elle se caractérise par des calcaires argileux bioturbés à abondants brachiopodes et lamellibranches.

Séquence S3 : En phase de bas niveau marin (sommet de l'horizon à Buckmani-horizon à Subglabrum), on assiste à une importante extension des lacunes et la sédimentation carbonatée tend à s'homogénéiser. La surface de transgression (D.9'), confondue sur la moitié du secteur avec la limite de séquence (D.9b), est représentée par une surface irrégulière à caractère érosif.

Durant le demi-cycle transgressif, la sédimentation reprend. L'augmentation de l'espace disponible se traduit par une réduction très nette des zones lacunaires et par une sédimentation légèrement plus distale qu'au Toarcien terminal. Dans le secteur de La Gironie, les calcarénites à entroques et à macro-H.C.S (*shoreface* inférieur) passent vers le haut à des calcaires à micro-débris d'échinodermes (*offshore* supérieur proximal). La surface d'inondation maximale (*mfs*) correspond à un niveau bioturbé ou bien à un niveau à concentration bioclastique.

Les dépôts du demi-cycle régressif (HNM) datés de la zone à Opalinum se caractérise par l'apparition progressive, sur une grande partie du domaine, de faciès d'arrière barre bioclastique (*shoreface*). Il s'agit de calcarénites (biosparite) à entroques, à bioclastes en voie de micritisation et à biopisolithes de nubéculaires. La limite de séquence (D.9'b), confondue avec la surface de transgression (D.9'c), est soulignée soit par un changement lithologique net soit par une surface durcie perforée (localement).

Séquence S4 : Les dépôts de bas niveau marin ne semblent pas présents dans le secteur.

La phase transgressive débute à l'Aalénien moyen (zone à Murchisonae). Une sédimentation subtidale de plate forme protégée s'instaure sur l'ensemble du domaine. Elle se traduit par le dépôt de calcaires argileux (biomicrite wackestone) à biopisolithes de nubéculaires, gastéropodes... La surface d'inondation maximale (D.9'd) est soulignée par un niveau à concentration de brachiopodes (soit *Monsardithyris trilineata*, ...)

Au sommet de l'Aalénien moyen l'apparition - sur la bordure orientale du bassin - des dépôts d'arrière barre oolithique et - sur le reste du domaine - de biopelmicrites (packstone grainstone) à abondants foraminifères benthiques témoigne d'une nouvelle évolution en comblement.

La limite de séquence correspond sur certaines coupes à une surface durcie perforée (D.9'e).

Séquence S5 : le bas niveau marin est localement connu. Il correspond au développement d'une sédimentation plus littorale (dolomie microcristalline). La surface de transgression (D.10a) se matérialise par un niveau marneux à filons de gypse ou bien par une croûte calcitique d'origine évaporitique.

A la base de l'Aalénien terminal, la sédimentation couvre l'ensemble du bassin. L'augmentation de l'espace disponible en phase transgressive est attestée par la migration des dépôts d'arrière barre oolithique vers l'Ouest, liée à un accroissement vers le haut de la barrière oolithique et par une importante extension des calcaires à pelleteïdes. Durant ce même intervalle, sur chaque coupe et dans l'empilement des dépôts, la sédimentation est homogène. La constance des conditions paléoenvironnementales dans le temps et la strato-

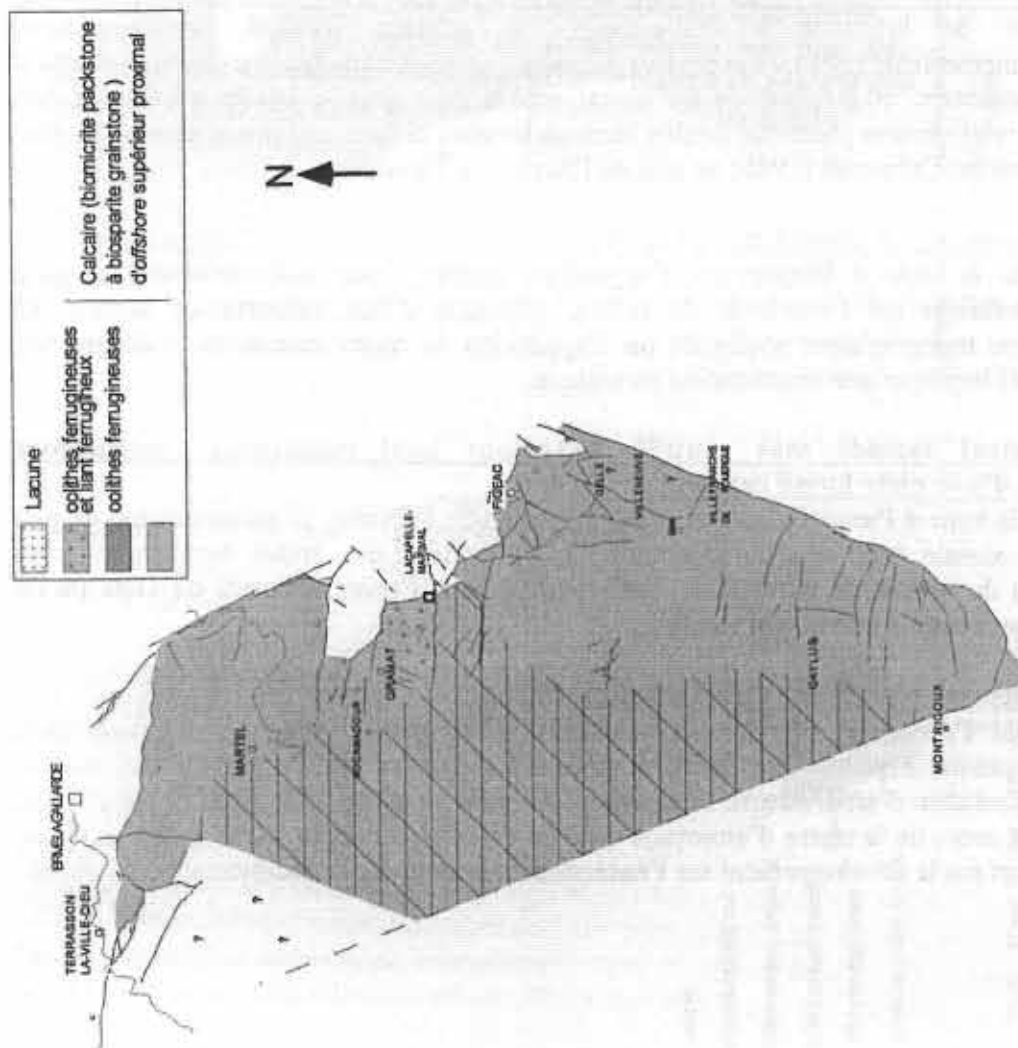


Fig.8a : phase 1, carte paléoenvironnementale. Distribution et évolution des environnements de dépôts sur la plate-forme quercynoise au sommet de la sous-zone à Fallaciosum.

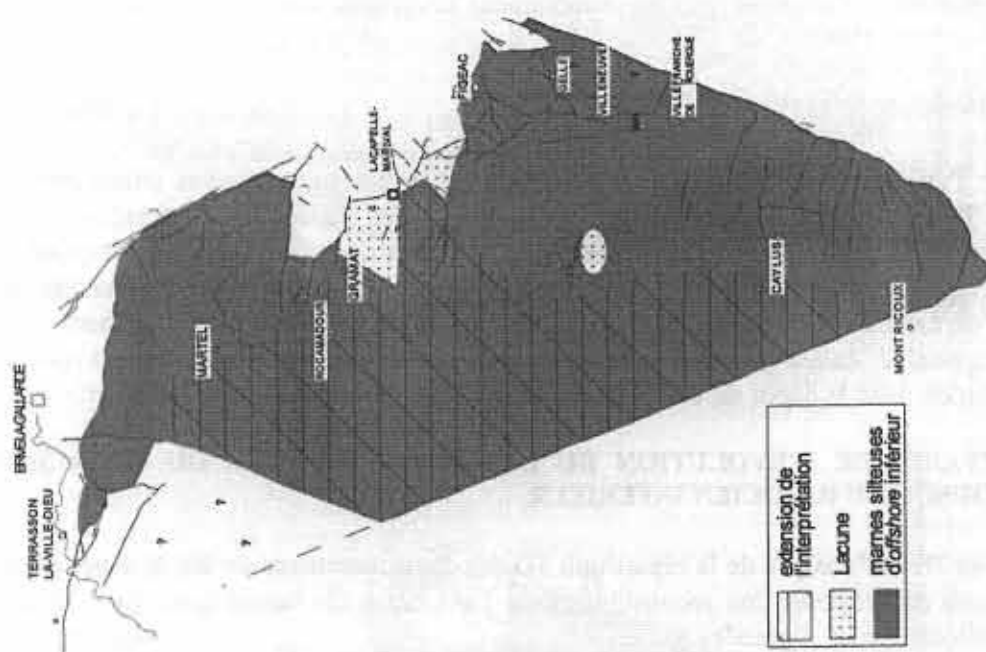


Fig.8b : phase 2, carte paléoenvironnementale. Distribution et évolution des environnements de dépôts sur la plate-forme quercynoise à la base des marnes silteuses (zone à Dispersum).

croissance suggèrent une augmentation de l'espace disponible compensée progressivement par la sédimentation.

La phase de régression s'exprime par un comblement progressif des zones précédemment déprimées et par une absence de sédimentation (alternance sédimentation-érosion) sur les zones hautes (bordure occidentale). Ainsi se développent, en bordure orientale, des calcaires oolithiques dolomitisés et recristallisés secondairement.

Séquence S6 : l'épisode évaporitique et de karstification locale définissent la phase de bas niveau marin. Dans la partie occidentale, l'érosion s'accroît. La limite de séquence et la surface de transgression sont confondues. Cette discontinuité, désignée D.10b, correspond à une surface irrégulière, érosive qui est difficilement perceptible dans la partie occidentale du bassin, du fait du caractère homogène de la sédimentation de part et d'autre de la surface.

La phase transgressive, datant probablement du Bajocien inférieur, s'exprime par une reprise de la sédimentation avec le dépôt de calcaires oolithiques sur l'ensemble du domaine.

GRANDES ETAPES DE L'EVOLUTION DU BASSIN QUERCYNOIS DU TOARCIEEN SUPERIEUR JUSQU'AU BAJOCIEEN INFERIEUR

Les corrélations 2D et l'analyse de la répartition 3D des environnements de dépôt dans tout le secteur, a permis de proposer une reconstitution de l'évolution du bassin quercynois. Cette évolution se décompose en 5 grandes phases :

1-phase de comblement qui conduit à l'installation d'une plate-forme carbonatée (fig.8a)

Au sommet de la zone à Fallaciosum, la relative stabilité des conditions paléoenvironnementales (*offshore* supérieur proximal) se traduisant par une homogénéisation de la sédimentation, et la présence du niveau-repère dans tout le bassin impliquent une topographie relativement plane. Le double banc carbonatée clôture une phase de comblement qui a débuté selon Cubaynes (1986) au sein de l'horizon à Thouarsense.

2- phase d'ennoyage et structuration (fig.8b)

Au cours de la zone à Dispansum, l'apparition brutale d'une sédimentation marneuse d'*offshore* inférieur sur l'ensemble du secteur témoigne d'une transgression marine. La différenciation topographique soulignée par l'apparition de zones lacunaires (sédimentation différentielle) implique une structuration tectonique.

3- comblement saccadé sous contrôle tectonique local impliquant l'instauration progressive d'une plate forme carbonatée (fig.8c)

A partir de la zone à Pseudoradosa et jusqu'à l'Aalénien inférieur, la sédimentation de plus en plus proximale tend à s'homogénéiser. La migration des zones lacunaires (zones d'oscillation du niveau de base) et le diachronisme dans l'enregistrement de D.9a (m.f.s) impliquent un contrôle tectonique local.

4- développement d'une plate forme protégée (fig.8d)

Au cours de l'Aalénien inférieur s'enregistrent les premiers indices d'un changement paléogéographique exprimés par le développement progressif sur l'ensemble du domaine d'une sédimentation d'arrière barre bioclastique. La mise en place de la plate forme protégée s'affirme au cours de la phase d'ennoyage daté de l'Aalénien moyen (zone à Murchisonae). Elle se traduit par le développement sur l'ensemble du secteur d'une sédimentation subtidale.

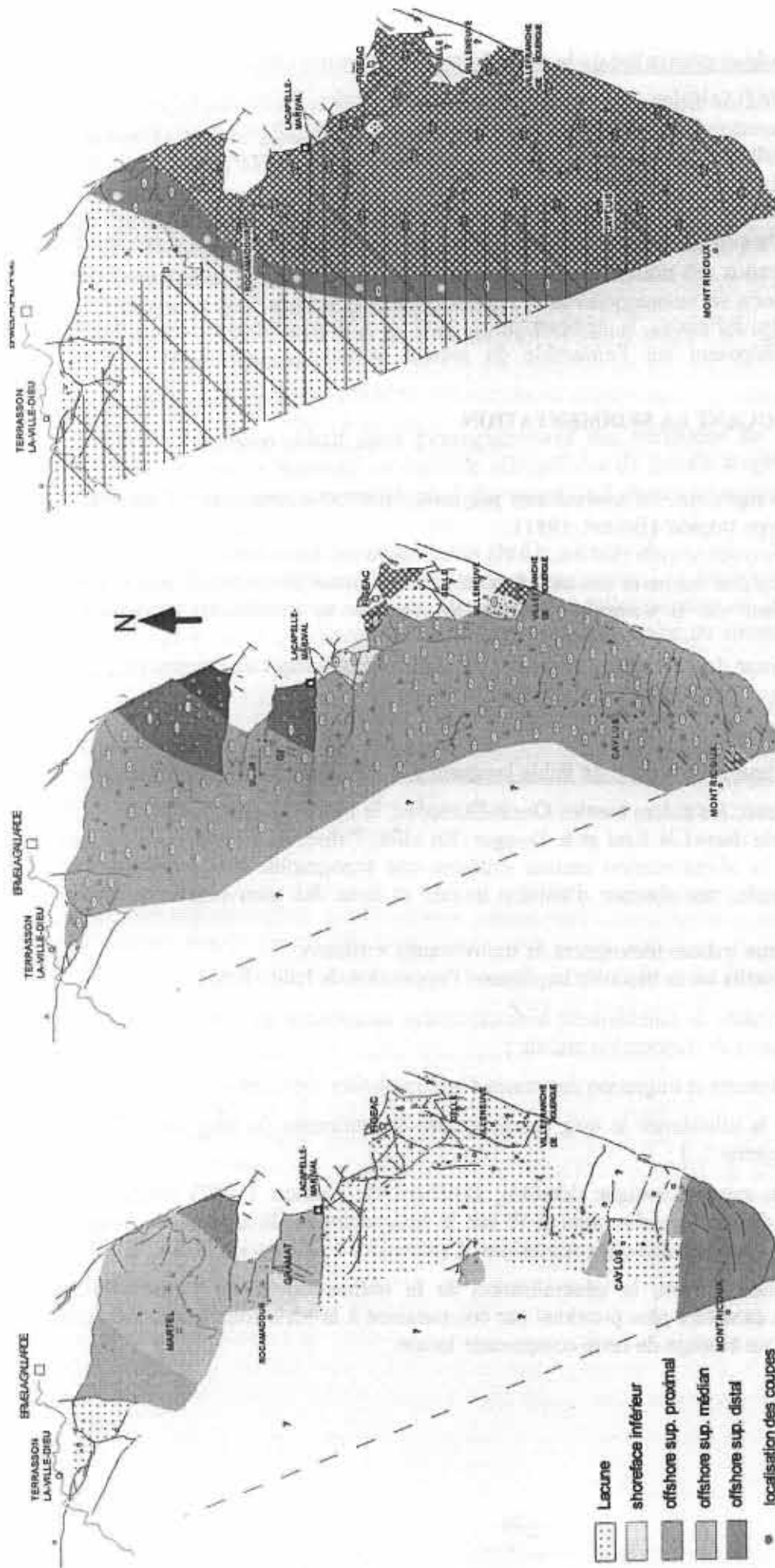


Fig. 3c : phase 3 ; carte paléoenvironnementale.
Distribution et évolution des environnements de dépôts sur la plate-forme quercynoise au cours du sommet de l'horizon à Buckmani et de l'horizon à Subgibbum.

Fig. 4d : phase 4 ; variations environnementales durant l'Aalénien moyen

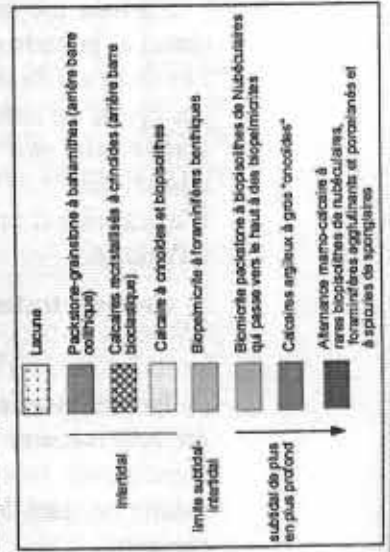


Fig. 3c : phase 3 ; carte paléoenvironnementale.
Distribution et évolution des environnements de dépôts sur la plate-forme quercynoise au cours du sommet de l'horizon à Buckmani et de l'horizon à Subgibbum.

5- comblement saccadé et généralisé de la plate forme quercynoise (fig.8e)

A partir du sommet de l'Aalénien moyen jusqu'à la limite Aalénien-Bajocien, sur la bordure orientale du bassin quercynois, aux faciès subtidaux (distaux) se substituent progressivement dans le temps, des faciès intertidaux et supratidaux. Une phase évaporitique et peut-être une émergence clôture cet épisode (Durllet *et al.* 2 000).

Sur la bordure occidentale, des faciès intertidaux remplacent rapidement des faciès subtidaux (proximaux). La fin du comblement correspond à une longue phase d'alternance d'érosion et de sédimentation.

A partir du Bajocien inférieur, la sédimentation tend à s'homogénéiser. Les calcaires oolithiques, qui se déposent sur l'ensemble du secteur, attestent d'une nouvelle phase d'ennoyage.

FACTEURS CONTROLANT LA SEDIMENTATION

Contrôle climatique

Au Lias moyen et supérieur, les associations palynologiques sont indicatrices d'un climat chaud et humide de type tropical (Boutet, 1981).

Les diverses études palynologiques (Boutet, 1981) effectuées sur l'Aalénien quercynois n'ont pas révélé de modifications majeures des associations par rapport au Toarcien. Elles indiquent simplement une baisse de la diversité. Aucun des travaux ne révèle un changement climatique.

L'apparition d'une phase de sur-salure au sommet de la série impliquerait une légère tendance à l'aridité.

Contrôle tectonique

1 - facteur allocyclique de faible longueur d'onde : contrôle tectonique local

Par comparaison avec les autres bassins Ouest-Européen, le bassin quercynois paraît avoir été relativement stable durant le Lias et le Dogger. En effet, l'absence d'apports détritiques significatifs lors de la sédimentation marine souligne une topographie peu accentuée des reliefs bordant le bassin, une absence d'érosion intense et donc des mouvements verticaux majeurs.

Toutefois, de nombreux indices témoignent de mouvements verticaux :

- structuration en petits blocs basculés impliquant l'apparition de hauts-fonds ;
- successions de phases de comblement bien exprimées notamment au dessus du niveau à Fallaciosum et de phases de dislocation brutale ;
- variations d'épaisseurs et migration des zones d'accumulation sédimentaire ;
- accentuation de la subsidence le long des structures hercyniennes (le long des failles de Villefranche et d'Argentat ...) ;

A partir d'une étude microtectonique détaillée, Boichard et Drullion (1982) montrent un contrôle tectonique distensif de direction E-W sur la sédimentation du Lias et du Dogger. Cette direction s'associe à une direction secondaire d'extension, d'orientation N-S à N30°E.

A partir de l'Aalénien moyen, la généralisation de la sédimentation sur l'ensemble du domaine malgré son caractère plus proximal par comparaison à la série toarcienne, induit un ralentissement voire un blocage de cette composante locale.

2 – Contrôle tectonique de longueur d'onde supérieure au bassin quercynois

Au cours de l'Aalénien, l'isolement du bassin quercynois serait lié à **une phase de surrection**. Cette phase impliquerait, dès l'Aalénien inférieur, la surrection du seuil de Villefranche (à l'Est) et un changement paléogéographique majeur à l'Ouest se traduisant par l'apparition d'une barrière oolithique d'orientation N-S (Carozzi *et al.*, 1972) sur le haut-fond de Castelsarrasin-Montauban.

Cet événement s'exprime, au sein des associations argileuses, par une disparition de la kaolinite durant l'Aalénien inférieur et moyen. La surrection des zones émergées perturbe la pédogenèse et donc atténue considérablement le développement de minéraux pédogénétiques. La réapparition de ce minéral au sommet de l'Aalénien moyen enregistrerait le blocage de cette phase de surrection.

Contrôle eustatique

Le synchronisme relatif dans l'enregistrement des variations de l'espace disponible à l'échelle du Quercy implique un contrôle allocyclique de grande longueur d'onde supérieure au bassin d'Aquitaine. Il se traduit par l'alternance de 5 phases de transgression et 5 phases de régression marines.

Dans le même intervalle la charte de De Graciansky *et al.* (1998), pour les bassins européens, indique 4 cycles de transgression-régression. Les limites des séquences dans le Quercy coïncident plus ou moins exactement avec celles portées sur la charte. La différence majeure porte sur l'existence d'une séquence supplémentaire au sommet du Toarcien (entre Mactra et la base d'Opalinum).

BIBLIOGRAPHIE

- Boutet C. (1981) - Etude palynoplancologique du Trias et du Jurassique inférieur et moyen de Grésigne, Sud Quercy. - *Thèse de 3^{ème} cycle*, Université de Toulouse, 161 p.
- Boichard R. et Drullion G. (1982) - Genèse et évolution diagénétique des formations carbonatées granulaires du Bajocien du Quercy : Evolution de leurs propriétés réservoirs. *Thèse 3^{ème} cycle*, Université de Bordeaux III, 345 p.
- Carozzi A.V., Bouroullec J., Deloffre R. et Rumeau J.L. (1972). Microfaciès du Jurassique d'Aquitaine. *Bull. Cent. Rech. Pau, SNEAP*, vol. sp. n°1, 200 pl., 14 tabl., 594 p.
- Contini D., Elmi S., Mouterde R. et Rioult M. (1997) - Biozonation de l'Aalénien. In biostratigraphie du Jurassique Ouest-Européen et méditerranéen : zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles ; *Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod.*, Mém. 17, 6 fig., 79 tab., 42 pl., 440 p.
- Cubaynes R. (1986) - Le Lias du Quercy méridional. Etude lithologique, biostratigraphie, paléoécologie et sédimentologie. *Strata*, série 2, n°6, 574 p.
- Cubaynes R. et Fauré Ph. (1981) - Première analyse biostratigraphique du Lias supérieur du Sud-Quercy (bordure Nord-Est Aquitaine). *C. R. Acad. Sci. Paris*, (2), 292, 1031-1034.
- De Graciansky P.C., Dardeau G., Dommergues J.L., Durllet C., Marchand D., Dumont Th., Hesselbo S.P., Jacquin Th., Goggin V., Meister Ch., Mouterde R., Rey J. et Vail P.R. (1998) - Ammonite biostratigraphic correlation and Early Jurassic sequence stratigraphy in France : comparisons with some U.K. sections. In Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins, *SEPM Special Publication* n°60, pp.583-622.
- Delfaud J. (1969) - Essai sur la géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurassique et le Crétacé inférieur. *Thèse Doc. Sc. Nat.*, Bordeaux.
- Durllet C., Lézin C., Pélissié Th., Lorenz J., Gely J.P. (2000) - Les indices d'émersion dans les dépôts aaléno-bajociens du pourtour du Massif Central. *Strata*, série 1, vol.10.
- Elmi S., Rulleau L., Gabilly J., Mouterde R. (1997) - Biozonation du Toarcien. In biostratigraphie du Jurassique Ouest-Européen et méditerranéen : zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles ; *Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod.*, Mém. 17, 6 fig., 79 tab., 42 pl., 440 p.
- Fauré Ph., Lézin C., Cubaynes R. (2000) - Le découpage biochronologique du Toarcien supérieur par les ammonites (zones à *Pseudoradosa* et à *Aalensis*) du Sud de la France (Lot, Lozère, Aveyron). *Strata*, série1, vol.10.
- Lézin C., Bonnet L., Rey J., Cubaynes R. et Pélissié Th. (2000) - Contribution de l'analyse quantitative des faciès aux corrélations stratigraphiques, exemple du Toarcien supérieur-Aalénien dans le Quercy (SW France). *Bull. Soc. Géol. France*, t.171, n°1, pp.91-102.
- Maliva R. G. (1987) - Quartz geodes : early diagenetic silicified anhydrite nodules related to dolomitization. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 57, n°6, pp. 1054-1059.

***Les formations carbonatées aaléno-
bajociennes dans le dépôt-axe des
Grands Causses et leurs équivalents
latéraux sur la bordure orientale du
"Seuil de Villefranche-de-Rouergue"
(Causse Comtal, Causse de Sévérac).***

Par Richard CIZAK

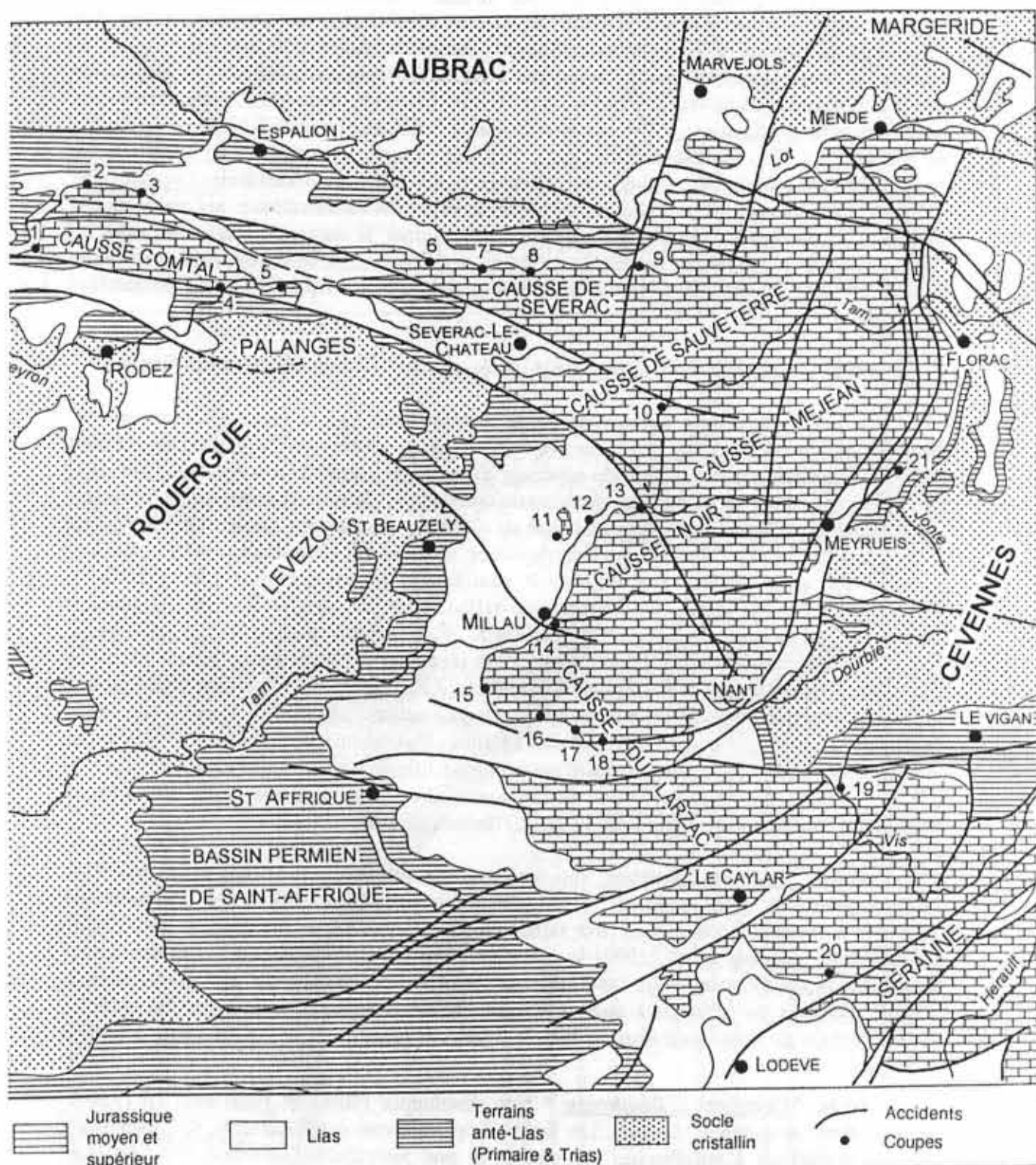


Fig. 9 - Carte géologique simplifiée des Grands Causses et situation des principales coupes étudiées (numéros)

1 : Salles-la-Source, 2 : Muret-le-Château, 3 : Rodelle/La Clamensonnerie, 4 : Gages, 5 : Bertholène, 6 : Lenne, 7 : Lestang, 8 : Campagnac, 9 : La Canourgue, 10 : Les Vignes, 11 : Compeyre, 12 : Rivière sur-Tarn, 13 : Peyreleau, 14 : Millau, 15 : St-Geniez-de-Bertand, 16 : St-Rome-de-Cernon, 17 : Lapanouse-de-Cernon, 18 : La Cavalerie, 19 : Alzon, 20 : St-Pierre-la-Fage.

La série à dominante carbonatée des Grands Causses, dans l'intervalle Toarcien supérieur-Bajocien, est analysée à partir de coupes échelonnées sur un transect (fig. 10) comportant un tronçon W-E, de Salles-la-Source (Causse Comtal) à La Canourgue (Causse de Sévérac) et un tronçon N-S, de La Canourgue à Alzon (bordure sud-cévenole). A l'E, où elle est la plus dilatée (dépot-axe du Graben des Grands Causses), cette série s'articule en cinq unités lithostratigraphiques ; à l'W, elle se réduit sous l'effet de biseaux successifs en direction du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue". Un découpage en termes de stratigraphie séquentielle est proposé. Il se fonde sur l'analyse et l'enchaînement des faciès regroupés en cortèges sédimentaires, et sur la géométrie de ces derniers. Les ammonites et les brachiopodes marquant les intervalles condensés, permettent d'étalonner la succession des séquences de dépot et ainsi de proposer des corrélations avec les séquences et les biochronozones reconnues par ailleurs dans les domaines subméditerranéen et subboréal (Jacquin *et al.* in Hardenbol *et al.*, 1998).

I- Les unités lithostratigraphiques dans le dépot-axe du "Graben des Grands Causses"

La série carbonatée aaléno-bajocienne repose dans tout le secteur étudié sur les **Marnes noires** du Toarcien supérieur (fig. 10). Dans le dépot-axe du graben des Grands Causses, toutes les zones du Toarcien supérieur existaient jusqu'à la z. à Aalensis (Defaut *et al.*, 1990). En effet, sur la bordure occidentale des Grands Causses (Compeyre, Rivière-sur-Tarn, Saint-Geniez-de-Bertrand, Lapanouse de Cernon), les marnes noires, limitées à leur base par une discrète discontinuité ferrugineuse, renferment à quelques mètres de leur sommet, des petits nodules calcaires et de nombreuses ammonites, dont (dét. Ph. Fauré) *Pleydellia buckmani* MAB., *P. lotharingica* (BRANCO), *P. falcifer* MAUB., *P. fluitans* (DUM.), *P. gr. folleata* (BUCK.), *P. leura* BUCK., *P.sp. aff. subcandida* BUCK. qui signent la s.-z. à Lugdunensis (=s.-z. à Fluitans *auct.*). En revanche, à l'W, le terme le plus récent de ces marnes, correspond à la z. à Pseudoradosa, s.-z. à Pseudoradosa (Toarcien supérieur non terminal), représentée par *Dumortieria* sp. gr. *pseudoradosa*, récoltée à Rodelle (fig. 1 et 2) immédiatement sous le contact ravinant des dolomies I bajociennes (Cisak *et al.*, 1996). Ces marnes sont surmontées successivement par les unités lithostratigraphiques suivantes (fig. 2 et 3) qui peuvent être masquées par une dolomitisation accompagnée d'une silicification secondaire sous forme de chailles ou de chert ("faciès à chailles") :

a) les "**Calcaires à miches**" qui désignent une alternance (4 à 6m) de marnes et de marno-calcaires à débit noduleux et à ammonites, remplacée parfois par des calcaires marneux à bancs lumachelliques, très riches en *Rhynchonelloidea ruthenensis* (REYNES) caractérisant (Alméras *et al.*, 1997) la z. à Opalinum (Aalénien inférieur). Les ammonites *Leioceras* (*Cypholeioceras*) gr. *opaliniforme* BUCK. et *Phylloceras* sp. gr. *perplanum* PRINZ récoltées sur la bordure nord du Causse de Sévérac, à La Canourgue (fig. 1 et 2), situent la base de cette unité dans la s.-z. à Opalinum (base de la z. à Opalinum, Aalénien inférieur) ;

b) les "**Calcaires à Zoophycos**" bien développés (100m et plus) vers l'E (Florac, Mende, Nant) et vers le S (Larzac). Les faciès, de plate-forme externe/distale, se caractérisent par des *mudstones* à spicules de Spongiaires et une microfaune benthique (*Planinivoluta carinata*, *Meandrospira* sp. ? et *Agerina martana*). Les *Zoophycos* y sont particulièrement abondants. L'âge Aalénien moyen de ces calcaires, est indiqué par des ammonites de la z. à Murchisonae regroupées en leur sein, au niveau d'une calcarénite bioclastique d'extension régionale (coupe-type de Saint-Rome-de-Cernon). Les "calcaires à *Zoophycos*" s'enrichissent vers leur sommet de débris de crinoïdes ("Calcaire à entroques") (coupe des Vignes, fig. 10). Ils renferment localement de la silice concentrée sous la forme de rognons siliceux ;

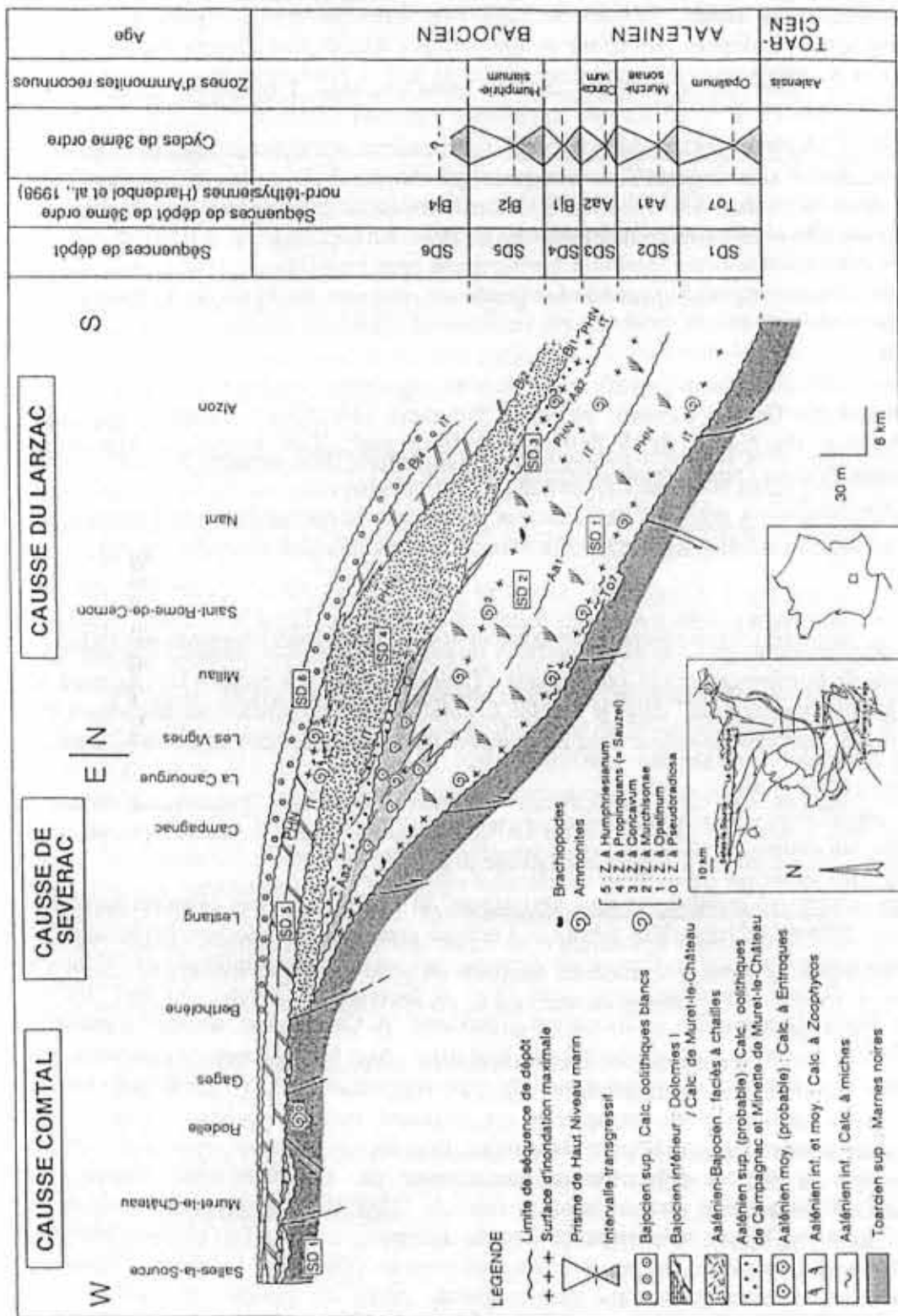


Fig. 10 - Géométrie et enchaînement des séquences de dépôt aaléno-bajociennes dans les Grands Causses (R. Ciszak, B. Peybernès, Ph. Fauré & J. Thierry, "Les événements du passage Lias-Dogger", Résumés, Toulouse 18-21 Mars 2000).

c) les "**Dolomies à chailles**" (30-50m) qui sont des dolomies jaunâtres incluant des accidents siliceux, ou des lits de silice interstratifiés.

d) des **Dolomies brunes** (15-25m) désignées par "**Dolomies I**"; elles s'étendent sur l'ensemble du domaine étudié. Localement, des îlots calcaires ont été préservés de la dolomitisation tels des calcaires *grainstone* oolithiques qui, aux Vignes (Gorges du Tarn), ont livré (Ciszak *et al.*, 1999) une empreinte d'ammonite de la z. à Humphriesianum (sommet du Bajocien inférieur);

e) les "**Calcaires oolithiques blancs**" (d'épaisseur variable 20-50m) à texture *grainstone* montrent une organisation complexe de barres oolithiques et bioclastiques accumulées sous l'influence des tempêtes et des marées, et de dépôts plus fins de milieux protégés. Ces calcaires ont livré des brachiopodes du Bajocien supérieur.

II- Les unités lithostratigraphiques sur les gradins orientaux du Seuil de Villefranche-de-Rouergue

La série aalénienne sous-jacente aux dolomies bajociennes (dolomies I), dilatée dans l'axe du Graben des Grands Causses, se réduit fortement vers l'Ouest où elle occupe les gradins orientaux du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue". Les termes se biseautent successivement d'Est en Ouest, certains disparaissent (fig. 11) :

a) les "**Calcaires à miches**" s'amincissent puis disparaissent à l'Ouest de Lestang (fig. 9 et 10) où les affleurements (2m) renferment encore des brachiopodes (*R. ruthenensis*);

b) les "**Calcaires à Zoophycos**" identifiés par quelques rares représentants de cet ichnogène, se retrouvent réduits à quelques mètres, à Campagnac. Dans le Causse Comtal, ils auraient pour équivalents des calcaires marneux dolomités, micacés, finement laminés et parcourus par de nombreux terriers horizontaux (Thalassinoides). Ce faciès (3m) formant le mur de "l'Oolithe ferrugineuse" dans le Causse Comtal, repose en poches creusées dans les marnes noires du Toarcien supérieur dont il est séparé par une surface ferrugineuse (Ciszak *et al.*, 1996).

Le sommet des "Calcaires à Zoophycos", enrichi en entroques, passe à une véritable "**entroquite**" qui, épaisse de plus de 30m à La Canourgue, se réduit à 15m de puissance à Campagnac, 3 à 4m à Lestang à l'Ouest duquel elle disparaît;

c) les "**Calcaires oolithiques de Campagnac**" (5 à 20m) sont des calcaires bleutés à stratifications obliques de mégarides tidales et à texture *grainstone*, à oolithes, bryozoaires et entroques. Ils occupent dans le Causse de Séverac, un secteur géographiquement limité à Campagnac, à l'Ouest, La Canourgue, vers l'Est, et Séverac-le-Château, au Sud, où ils ravinent de façon spectaculaire, la formation précédente. A Campagnac, ils sont surmontés par des calcaires marneux dont les oolithes et bioclastes, plus fins, forment des laminations obliques dans des structures mammelonnées de type tempestite (H.C.S). Ce dernier terme, limité au sommet par une surface ferrugineuse, est recouvert par des calcaires argileux noirs, micacés, en bancs métriques, renfermant des oôïdes, oncoïdes et entroques regroupés, le plus souvent, au sein de lamines déformées ou interrompues par une bioturbation intense. Ce dernier faciès est comparable en tous points à celui de "l'Oolithe ferrugineuse" formant la *Minette* de Muret-le-Château jadis exploitée comme minerai; il s'agit d'un calcaire marneux (2 à 5m d'épaisseur) recouvert par les dolomies bajociennes (Dolomies I), dont les éléments (oôïdes, oncoïdes et entroques) ainsi qu'une grande partie du ciment, dolomitisé, sont totalement ferruginisés (Ciszak *et al.*, 1996). Enfin aux confins occidentaux du Causse Comtal, à Salles-la-Source (fig. 9), affleurent dans la même position stratigraphique que la

Minette, quelques décimètres d'argiles noires, à ooïdes et oncoïdes, charbonneux pour la plupart, intercalées d'horizons ligniteux ou ferrugineux.

d) les **Dolomies à chailles** s'amincissent et ne font plus que quelques mètres d'épaisseur à Bertholène où elles reposent directement sur les marnes noires toarciennes ; elles n'apparaissent plus au-delà, vers l'Ouest ;

e) les **Dolomies I**, dans le Causse Comtal, reposent soit directement sur les marnes noires toarciennes (Rodelle) ravinées localement jusqu'à la z. à *Pseudoradiosa*, soit sur "l'Oolithe ferrugineuse". Elles renferment à Muret-le-Château mais aussi à Salles-la-Source, des calcaires micritiques à faciès de lagon, riches en Dasycladales (*Sarfatiella dubari*) et Foraminifères benthiques tels *Timidonella sarda* BASSOULLET et FOURCADE et *Callorbis minor* WERNLI et METZGER dont l'association indiquerait le Bajocien supérieur (Bassoullet, 1997). Ils alternent avec des argiles à lituolidés ou charbonneuses, des calcaires oolithiques à texture *grainstone*, ou des calcaires *mudstone* à pellets, oogones de characées, coprolithes de crustacés, *fenestrae*, laminations cryptalgaires et des brèches de dessiccation. Les Dolomies I sont couronnées par une surface de ravinement, localement (Campagnac) à encroûtement ferrugineux, qui représente une discontinuité majeure sous les "Calcaires oolithiques blancs".

f) Les **Calcaires oolithiques blancs** du Bajocien supérieur sont encore présents dans la région de Rodelle sur une épaisseur de 5 à 6m avec des faciès de plage (calcaires coquillers, lignite) et des stratifications en arêtes de poisson (*herring-bone crossbedding*). On ne les retrouve plus à l'Ouest de Salles-la-Source où les "**Calcaires à stipites**" du Bathonien moyen repose directement sur les Dolomies I.

III- Les séquences de dépôt de 3^e ordre et leurs équivalents nord-téthysiens

La série dilatée aaléno-bajocienne occupant le dépôt-axe du Graben des Grands Causses peut être découpée en 6 séquences de dépôt de 3^e ordre (Ciszak *et al.*, 1999), SD1 à SD6 (fig. 10 et 11). Ces séquences sont identifiées soit par leur intervalle transgressif, constitué le plus souvent par des calcaires bioclastiques et/ou oolithiques, de haute énergie, soit par leur intervalle condensé marqué par des concentrations de macrofaunes (ammonites et/ou brachiopodes). Ces repères biostratigraphiques, à valeur d'isochrones, permettent de proposer des corrélations avec les cycles eustatiques de 3^e ordre reconnus dans les domaines subméditerranéen et subboréal de l'Europe occidentale (Jacquin *et al.* in Hardenbol *et al.*, 1998). Sur les gradins orientaux du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue" ne subsistent que quelques séquences de troisième ordre résultant d'inondations de forte amplitude, réduites à leurs seuls intervalles transgressifs et/ou de haut niveau marin.

a) Séquence SD1 (Toarcien terminal à Aalénien inférieur).

LTT correspond aux "calcaires à miches". L'abondance des ammonites (dét. Ph. Fauré) récoltées sur plusieurs coupes, et notamment au Col de Perjuret [au nord de Meyrueis (loc. fig.9)] : *Leioceras* (*Cylicoceras*) *uncinatum* BUCK., *Lytoceras* sp., *Leioceras* gr. *opalinum* (REIN.), *Planammatoceras* sp. aff. *planinsigne* (VACEK), *Ericytes* sp. aff. *fallifax* ARKELL, *Leioceras* (*Cypholeioceras*) gr. *bifidatum* (BUCK), *Breydia alleoni* (DUM.), *Leioceras comptum* (REIN.) et *Tmetoceras scissum* (BEN.), permet de placer le maximum d'inondation de cette séquence dans la s.-z. à *Bifidatum* (sommet de la z. à *Opalinum*). Latéralement vers l'Ouest (Campagnac), en domaine moins profond, l'inondation maximale se marque par les lumachelles à *Rynchonelloidea ruthenensis*. Le prisme de haut niveau marin (PHN) est constitué par la base des calcaires argileux bleutés à *Zoophycos*, généralement strato-croissants.

La séquence apparemment absente vers Gages-Bertholène, pourrait bien réapparaître dans les quelques mètres de calcaires marneux, laminés et bioturbés, qui constituent le substratum de "l'Oolithe ferrugineuse" de Muret-le-Château (SD3). Compte tenu de la datation établie par les ammonites de la zone à Opalinum, la séquence SD1 peut être corrélée avec la séquence To7 de Jacquin *et al.* (1998).

b) Séquence SD2 (Aalénien moyen).

Cette séquence (30m d'épaisseur) est essentiellement constituée par des "Calcaires à *Zoophycos*". L'inondation maximale est datée au sein de la série dilatée, à Saint-Rome-de-Cernon, par des ammonites (dét. Ph. Fauré), telles : *Ludwigia murchisonae* (SOW), *L. (Welchia) cf. crassa* HORN, *Pseudographoceras* sp. de la z. à Murchisonae, s.-z. à Murchisonae (Aalénien moyen), et des brachiopodes (dét. Y. Alméras) avec *Globirhynchia subobsoleta* (DAVIDSON), *Homoeorhynchia ringens* (V. BUCH), *Conarothyris walteri* ALMÉRAS et MOULAN. Dans les gorges de la Vis, en aval d'Alzon (bordure sud cévenole), le maximum d'inondation est aussi remarquablement exprimé au sein des "Calcaires à *Zoophycos*" par un intervalle condensé décimétrique, à lamellibranches et ammonites de la s.-z. à Murchisonae (Ciszak *et al.*, 1999).

Sur la bordure septentrionale du Causse de Séverac, la SD2 est formée par des calcaires argileux à rares *Zoophycos*, mais très riches en encrines ("entroques"). A La Canourgue, l'intervalle transgressif (4m) et le niveau condensé constituent deux séquences métriques (Ciszak *et al.*, 1996), associant des calcaires bioclastiques roux, en dalles, à *Zoophycos*, et des calcaires bioturbés à ammonites, bélemnites et brachiopodes ; le PHN (25m) se développe ensuite avec des calcaires ocre à encrines. A Campagnac (vers l'Est), des calcaires faciologiquement comparable (10m), plus argileux, fortement bioturbés, à algues micritisées, crinoïdes, échinides et bryozoaires résédimentés, strato-décroissants, sont interprétés comme l'intervalle transgressif de cette séquence.

SD2 est corrélée avec la séquence Aa1 de Jacquin *et al.* (1998).

c) Séquence SD3 (Aalénien supérieur). Dans les gorges de la Vis, à Alzon, cette séquence est formée par des calcarénites (4m) oolithiques, bioclastiques, à entroques et bryozoaires dominants. Elle se repère grâce à son intervalle condensé représenté par un interlit marneux riche en ammonites (Brun, 1919, Ciszak *et al.*, 1999) : *Graphoceras concavum* (SOW.), *Graphoceras cornu* BUCK., *Graphoceras decorum* BUCK., *Graphoceras* sp. ind. et *Pseudammatoceras* sp. ind. signant la Z. à Concavum, s.-z. à Concavum (partie inférieure de l'Aalénien supérieur).

En direction du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue", cette séquence est représentée essentiellement par son intervalle transgressif. Il correspond aux "Calcaires oolithiques de Campagnac" complétés des faciès qui leur sont associés : les calcaires marneux à structures résultant de l'action des tempêtes auxquels succèdent encore les calcaires argileux, bioturbés, à ooïdes, oncoïdes et entroques, qui marqueraient l'inondation maximale. Plus vers l'Ouest, ce cortège transgressif, très aminci, disparaît ou pourrait bien être masqué par une dolomitisation secondaire. Il réapparaît au-delà, dans les environs de Gages, puis à Muret-le-Château où il forme "l'Oolithe ferrugineuse". Enfin, aux confins occidentaux des Grands Causses (Salles-la-Source) cet IT ne serait plus représenté que par les argiles à horizons charbonneux et ferrugineux témoins d'une sédimentation discontinue en milieu paralique.

Grâce aux ammonites de la z. à Concavum (Aalénien supérieur), cette séquence peut être corrélée avec la séquence Aa2 de même âge (Jacquin *et al.*, 1998).

d) Séquence SD4 (Bajocien inférieur). SD4 est caractérisée par une intense dolomitisation diachrone et une silicification précoce révélée par la présence discontinue de

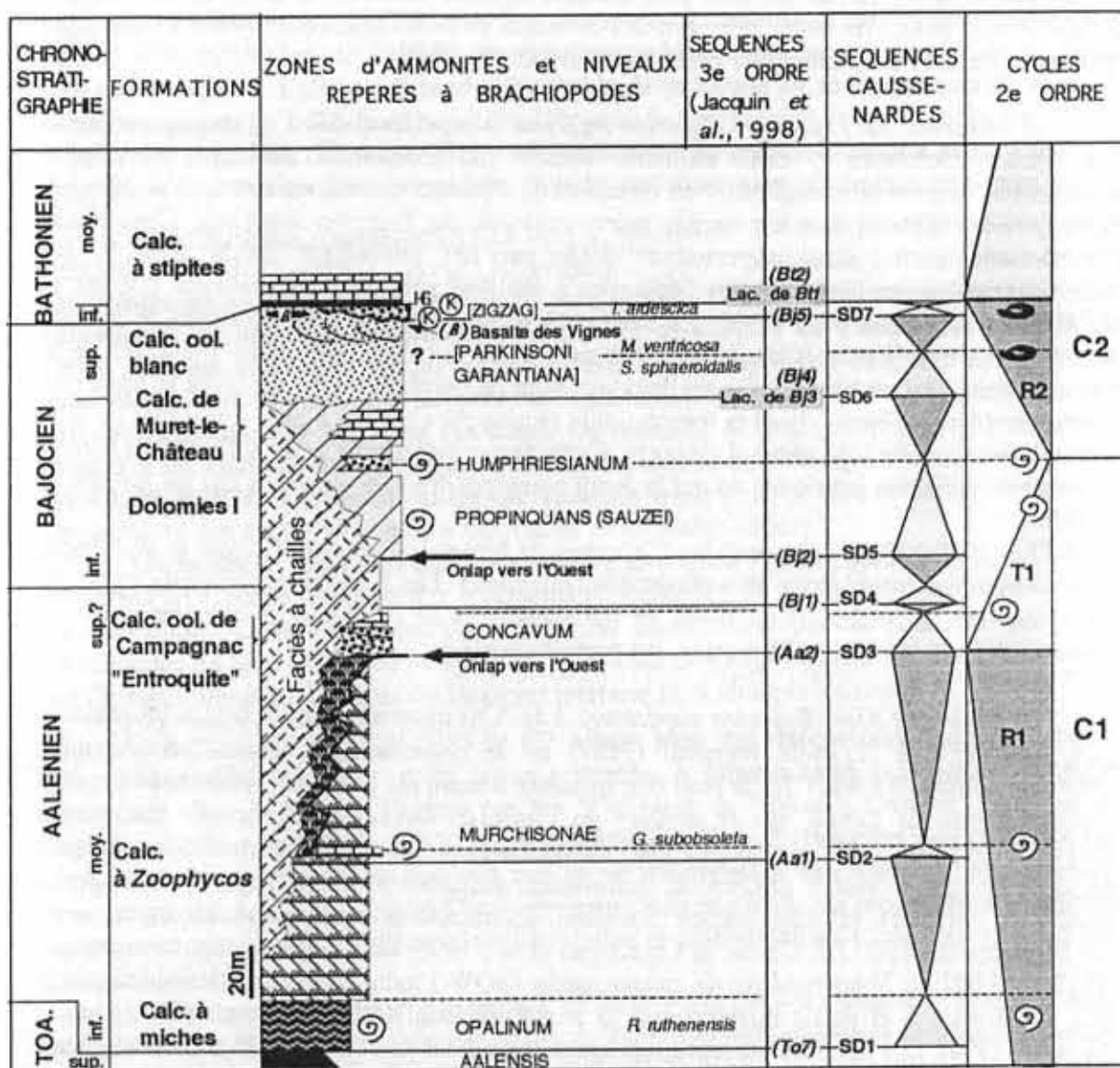


Fig. 11 - Stratigraphie séquentielle de la série aaléno-bajocienne des Grands Causses (Ciszak et al., 1999).

Les séquences de dépôt SD (3e ordre) sont corrélées avec les unités séquentielles de Jacquin et al. (1998) reconnues dans le domaine subméditerranéen. La présence des faunes d'ammonites (zones en lettres majuscules) et/ou de brachiopodes (lettres en italiques) est reportée sur les cycles de faciès régressif (R)-transgressifs (T) de 2e ordre, reconnus pour cette période.

Les brachiopodes sont considérés comme des espèces-indices déterminant des "zones" corrélées avec les zones d'ammonites (entre parenthèses) selon une échelle biozonale établie pour le domaine nord-léthysien (Almérás et al., 1997).

chailles subparallèles à la stratification (Dolomies à chailles). A Campagnac, l'intervalle transgressif y est organisé en paraséquences métriques regroupant des bancs de dolomies jalonnés à la base par des rognons décimétriques siliceux, à oolithes, entroques et spicules de spongiaires, et des bancs de dolomie plus massifs, à petites vacuoles de dissolution. Le PHN de la séquence comporte essentiellement des dolomies en bancs épais et massifs, incluant des rognons siliceux et de nombreuses vacuoles de dissolution.

e) Séquence SD5 (passage Bajocien inférieur à supérieur). Bien qu'en majeure partie dolomitique (Dolomies I) cette séquence traduit une inondation majeure. Les dépôts apparaissent largement transgressifs en direction de l'Ouest, successivement sur les témoins des séquences SD4, SD3 et les marnes noires ravinées, du Toarcien supérieur. Cette phase d'inondation pourrait être indirectement datée par des ammonites de la z. à Sauzei (=Propinquans) recueillies dans des "dolomies à chailles" près de La Canourgue (Defaut *et al.*, 1990 et G. Astruc, com. orale). Le maximum d'inondation de cette séquence se marque dans la coupe des Vignes (Gorges du Tarn) au sein de calcaires oolithiques préservés de la dolomitisation, par un niveau plus argileux qui livre de nombreux gros bivalves et aussi une Ammonite (dét. J. Thierry) dont la morphologie section déprimée et à gros tubercules évoque le *Stephanoceratidae* du genre *Teloceras*. Cette faune indiquerait la z. à Humphriesianum (sommet du Bajocien inférieur), ce qui la ferait correspondre à la séquence Bj2 de Jacquin *et al.* (1998).

Le PHN de SD5 comprend les "Calcaires de Muret-le-Château" (Ciszak *et al.*, 1996), préservés de la dolomitisation au sommet des Dolomies I. Les faciès micritiques de lagon, de zone inter- et supratidale s'organisent en paraséquences de comblement métriques dont la limite supérieure, proche de l'émersion, est parfois karstifiée.

e) Séquence SD6 (Bajocien supérieur). Les "Calcaires oolithiques blancs" forment la SD6. Succédant à l'épisode régressif (PHN) de la séquence précédente, cet ensemble carbonaté complexe traduit dès la base une inondation marquée par la présence de bélemnites (comme à près de Lenne, sur la bordure du Cause de Séverac). L'intervalle transgressif s'organise en paraséquences associant des calcaires argileux de faciès interne et des calcaires de haute énergie à texture *grainstone*, oolithiques, bioturbés et bioclastiques [gastéropodes (nérinées), polypiers, lamellibranches (trichites), foraminifères benthiques]. Ils livrent aussi des brachiopodes (dét. J.P. Garcia in Charcosset *et al.*, 1996) dont *Monsardithyris ventricosa* (HARTMANN) et *Sphaeroidothyris sphaeroidalis* (SOW.) indiquant la moitié supérieure de la z. à Garantiana et partie inférieure de la z. à Parkinsoni (Alméras *et al.* 1997, Elmi et Alméras, 1998). Ces données biostratigraphiques permettent de corréliser SD6 avec la séquence Bj4 de Jacquin *et al.* (1998).

IV- Dynamique sédimentaire au 2^e ordre

Les séquences de dépôt de 3^e ordre dans l'intervalle Aalénien-Bajocien des Grands Causses s'inscrivent dans 2 cycles régressif-transgressifs de 2^e ordre (Jacquin *et al.*, 1992) appelés C1 et C2 (Ciszak *et al.*, 1999 et fig. 11). Elles suivent approximativement les fluctuations eustatiques telles qu'elles sont proposées pour les domaines subboréal et subméditerranéen de l'Europe occidentale (Jacquin *et al.*, 1998).

Le demi-cycle régressif (R1) de C1, regroupe SD1 (=To7)-SD2 (=Aa1). La sédimentation marneuse terrigène de bassin qui prévalait pendant le Toarcien moyen-supérieur jusqu'au dépôt des marnes noires euxiniques, à *Pleydellia*, de la z. à Aalensis, évolue progressivement (tendance bathydécroissante) vers une sédimentation carbonatée de

rampe homoclinale distale avec les "Calcaires à miches" puis les "Calcaires à *Zoophycos*" d'âge Aalénien inférieur (z. à Opalinum) et moyen (z. à Murchisonae). Cette sédimentation devient ensuite plus proximale avec les calcaires à entroques ("Entroquite") progradants en direction du Graben ; le maximum de régression est placé au sommet de ces calcaires. Cette régression correspondant par ailleurs, au maximum de régression au 2^e ordre du "cycle ligure" (Graciansky *et al.*, 1998), est ici vraisemblablement accompagnée d'une phase tectonique majeure. Celle-ci, d'abord responsable de la lacune de sédimentation de la fin de l'Aalénien moyen (z. à Bradfordensis), modèle aussi la topographie du fond marin, permettant à l'Aalénien supérieur (séquence SD3), une inondation de grande extension géographique et donc une sédimentation (bien que réduite et lacunaire) loin en arrière de la plate-forme.

Le demi-cycle transgressif (T1) de C1 correspond à l'ensemble SD3 (=Aa2)-SD4 (=Bj1)-IT de SD5 (=Bj2). Avec la séquence SD3, la tendance s'inverse, devient bathyocroissante et transgressive avec, pour première étape, à l'Aalénien supérieur (probable) l'installation de barres oobioclastiques ("Calcaires oolithiques de Campagnac"), suivis de dépôts littoraux accumulés sur un domaine d'avant-côte (supérieur) soumis à des tempêtes, puis plus argileux (d'avant-côte inférieur) rétrogradants sur une plate-forme homoclinale, très probablement émergée à l'Ouest (lacunes). Ce domaine émergé est pourvoyeur de débris (micas) et de solutions ferrugineuses issues de l'érosion et du lessivage des zones cristallines (socle) ou argileuses (marnes noires du Toarcien supérieur) et creusé de dépressions où s'accumulent des dépôts discontinus lagunaires ou de plaine côtière.

Au-dessus, le dépôt des dolomies noires ("Dolomies I") du Bajocien inférieur résulte d'une nouvelle phase d'inondation spectaculaire masquée par le caractère secondaire de la dolomitisation. Cette ouverture du milieu est matérialisée par la présence ponctuelle d'ammonites de la z. à Propinquans/Sauzei ; elle conduit à l'ennoiement maximal du domaine des Grands Causses au sommet du Bajocien inférieur (z. à Humphriesianum).

Le demi-cycle régressif (R2) de C2 débute avec des dépôts paraliques de domaine inter- à supratidal (lignites) et de lagon (calcaires à foraminifères benthiques) exprimés notamment dans le Causse Comtal par les "Calcaires de Muret-le-Château" (sommet du Bajocien inférieur probable). Les "Calcaires oolithiques blancs" (Bajocien supérieur) qui leur succèdent, enregistrent successivement une phase d'inondation, qui n'atteint pas l'extension paléogéographique des "Dolomies I" sous-jacentes, puis une phase de progradation marquée à leur sommet par des indices d'émersion (dissolution et karstification), [coupe de La Cavalerie (près de Millau)].

La régression maximale, généralisée au secteur des Grands Causses se produit à la fin du Bathonien inférieur accentuée par le jeu de failles synsédimentaires (régression forcée), conduisant localement à la formation de paléosols à la fois sur les dépôts du Bajocien supérieur et du Bathonien inférieur (Ciszak *et al.*, 1999). Certaines de ces failles ont vraisemblablement permis la montée de magmas fluides tels les basaltes des Vignes (Baubron *et al.*, 1978 ; Roux et Senaud, 1981).

V - Conclusion

Cette étude révèle l'ampleur des lacunes sur les gradins orientaux du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue" (fig. 10). Sur le Causse Comtal (région de Muret-le-Château), les dépôts les plus transgressifs correspondent, dans SD1 (=To7), aux marno-calcaires micacés, bioturbés (équivalents probables des "Calcaires à *Zoophycos*"), et dans SD3 (=Aa2), à la *minette* ferrugineuse, équivalent latéral des "Calcaires à oolithes de Campagnac" (*s.l.*), voire des calcaires à *G. concavum* des Gorges de la Vis à Alzon. Ces vestiges d'IT et/ou de PHN s'intercalent sur le "Seuil de Villefranche-de-Rouergue", entre les marnes toarciennes et les

dolomies bajociennes (Dolomies I), lesquelles scellent l'ensemble des paléostructures vers la fin du Bajocien inférieur.

Ce dispositif stratigraphique révèle l'existence de structurations précoces durant l'Aalénien (avec une phase paroxysmale à la fin de l'Aalénien moyen), modifiant la paléogéographie locale en créant ou en rajeunissant jusqu'à l'émersion, les panneaux orientaux du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue" ; l'érosion postérieure de ces derniers aurait alimenté ainsi en fer la *Minette* en aval. Cette structuration, enregistrée à l'échelle du craton ouest-européen : bassin subalpin (Graciansky *et al.*, 1993), bordure vivaro-cévenole (Elmi, 1990), "seuil de Bourgogne" (Durllet *et al.*, 1997) et liée au rifting téthysien (Lemoine et Graciansky, 1988), est responsable de la "discontinuité mi-cimmérienne" (Jacquin *et al.*, 1998) qui affecte les dépôts de l'Aalénien-Bajocien. Ce jeu tectonique extensif semble encore se manifester au cours du Bajocien inférieur (avant l'inondation majeure correspondant au dépôt des Dolomies I), probablement en liaison avec le rifting atlantique (Underhill et Partington, 1993) ; il annonce des mouvements de plus grande ampleur durant le Bathonien, vers la fin duquel les dépôts scelleront des horsts plus méridionaux, tel le "Seuil cévenol" (Charcosset *et al.*, 1996 ; Charcosset, 1998).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alméras Y., Boullier A., Laurin B. (1997). - Zonation du Jurassique français par les Brachiopodes. In : Cariou E et Hantzpergue P. Eds, Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parall es et distribution des Invertébrés et microfossiles. - *Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod.*, m m. 17, 169-195.
- Bassoullet J. P. (1997). - Révision de la répartition stratigraphique au Jurassique des grands Foraminifères de l'Ouest du domaine péri-téthysien (Europe-Afrique du Nord). In : Cariou E. et Hantzpergue P. Eds, Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parall es et distribution des invertébrés et microfossiles. - *Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod.*, m m. 17, 293-304.
- Baubron J.C., Defaut B., Demange J., Maury R.C. (1978). - Une coulée sous-marine d'âge jurassique moyen dans les Causses : le basalte alcalin des Vignes (Massif Central français). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 287, 225-227
- Brun P. de (1919) - Note sur un nouveau gisement de la zone à *Ludwigia concava* dans le Languedoc. *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, 6, 52-53.
- Charcosset P., Ciszak R., Peybernès B., Garcia J.P. (1996). - Modalités séquentielles de la transgression bathonienne sur le "Seuil cévenol" (Grands Causses). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, 419-426.
- Charcosset P. (1998).- Reconstitution d'un segment de la marge ouest-téthysienne au Bathonien dans les Grands Causses et le Bas-Languedoc : analyse séquentielle à divers ordres et dynamique de bassins. *Thèse Univ. Paul Sabatier, Toulouse III, Strata*, 31, 1-311.
- Ciszak R., Peybernès B., Fauré Ph. (1996). - Stratigraphie séquentielle et biochronologie des formations carbonatées aaléno-bajociennes sur la bordure orientale du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue" (Causse Comtal, Causse de Sévérac). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 322, 133-140.
- Ciszak R., Peybernès B., Thierry J., Fauré Ph. (1999). - Synthèse en termes de stratigraphie séquentielle du Dogger et de la base du Malm dans les Grands Causses. *Géol. de la France*, (n 4, à l'impression)
- Defaut B., Burg J. P., Leyreloup F., Romney F., Fuchs Y., Alabouvette B., Lefavrais-Raymond A. (1990). - Carte géologique de la France (1/50000), feuille Sévérac-Le-Château (885). Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières. Notice explicative par Alabouvette B. (coordonateur) *et al.* (1990), 58p.
- Durlet C., Jacquin T., Floquet M. (1997).- Tectonique synsédimentaire distensive dans les calcaies aaléno-bajociens du seuil de Bourgogne (France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 324, 1001-1008.
- Elmi S.(1990).- Les applications géodynamiques de la stratigraphie : l'histoire triasico-jurassique de la marge vivaro-cévenole (France, Sud-Est). *Docum. Lab. Géol. Lyon*, H.S. 9, 93-33

Elmi S., Alméras Y. (1998) - Enregistrement par les Brachiopodes de l'histoire dynamique de la marge occidentale du bassin du Sud-Est (Ardèche, Gard, France). Apports à la zonation du Jurassique moyen en domaine nord-téthysien. *Bull. Soc. géol. France*, 169, n°6, 821-828.

Graciansky P.C. de, Dardeau G., Dumont T., Jacquin T., Marchand D., Mousterde R., Vail P.R. (1993). - Depositional sequence cycles, transgressive-regressive facies cycles, and extensional tectonics : example from the southern Subalpine Jurassic basin, France. *Bull. Soc. géol. France*, 164, 5, 709-718.

Graciansky P.C. de, Jacquin T., Hesselbo (1998).- The Ligurian Cycle : an overview of Lower Jurassic 2nd order transgressive/regressive facies cycles in Western Europe. *in* : Graciansky P.C. de; Hardenbol J., Jacquin T., Vail P.R. Eds., "Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins". *SEPM (Soc. of Sediment. Geol. Edit.), Spec. Publ.*, 60.

Jacquin T., Garcia J. P., Ponsot, C., Thierry J., Vail P. R. (1992). - Séquences de dépôt et cycles régressif/transgressifs en domaine marin carbonaté : exemple du Dogger du Bassin de Paris. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, 353-362.

Jacquin T., Graciansky P.C. de, Vail P.R. coord (1998) : Jurassic séquence chronostratigraphy, chart 6, sequence chronostratigraphy, Tethyan and Boreal *in* Hardenbol J., Thierry J., Martin B., Farley M.B., Jacquin T., Graciansky P.C. de, Vail P.R. (1998). - Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins". *SEPM (Soc. of Sediment. Geol. Edit.), Spec. Publ.*, 60.

Lemoine M., Graciansky P.C. de (1988).- Histoire d'une marge continentale passive : les Alpes occidentales au Mésozoïque. Introduction. *Bull. Soc. géol. France*, (8), IV, 4, 597-600.

Roux J., Senaud G. (1981).- L'anomalie magnétique des Vignes (Gorges du Tarn, Massif Central français). Mise en évidence de l'extension d'un épanchement volcanique jurassique. *Bull. Soc. géol. France*, vol. 7, 28, n°1, 45-50.

Underhill J.R., Partington M.A. (1993). - Use of Genetic Sequence Stratigraphy in Defining and Determining Regional Tectonic central or the "Mid Cimmerian Unconformity" : Implication for North Sea Basin development and the Global Sea-level chart, *in* : P. Weimer and H. Posamentier, Siliciclastic Sequence Stratigraphy. *AAPG Mem.* 58, 449-484.

LIVRET-GUIDE D'EXCURSION

***Le passage Lias-Dogger
dans
le Quercy***

Par Carine LEZIN

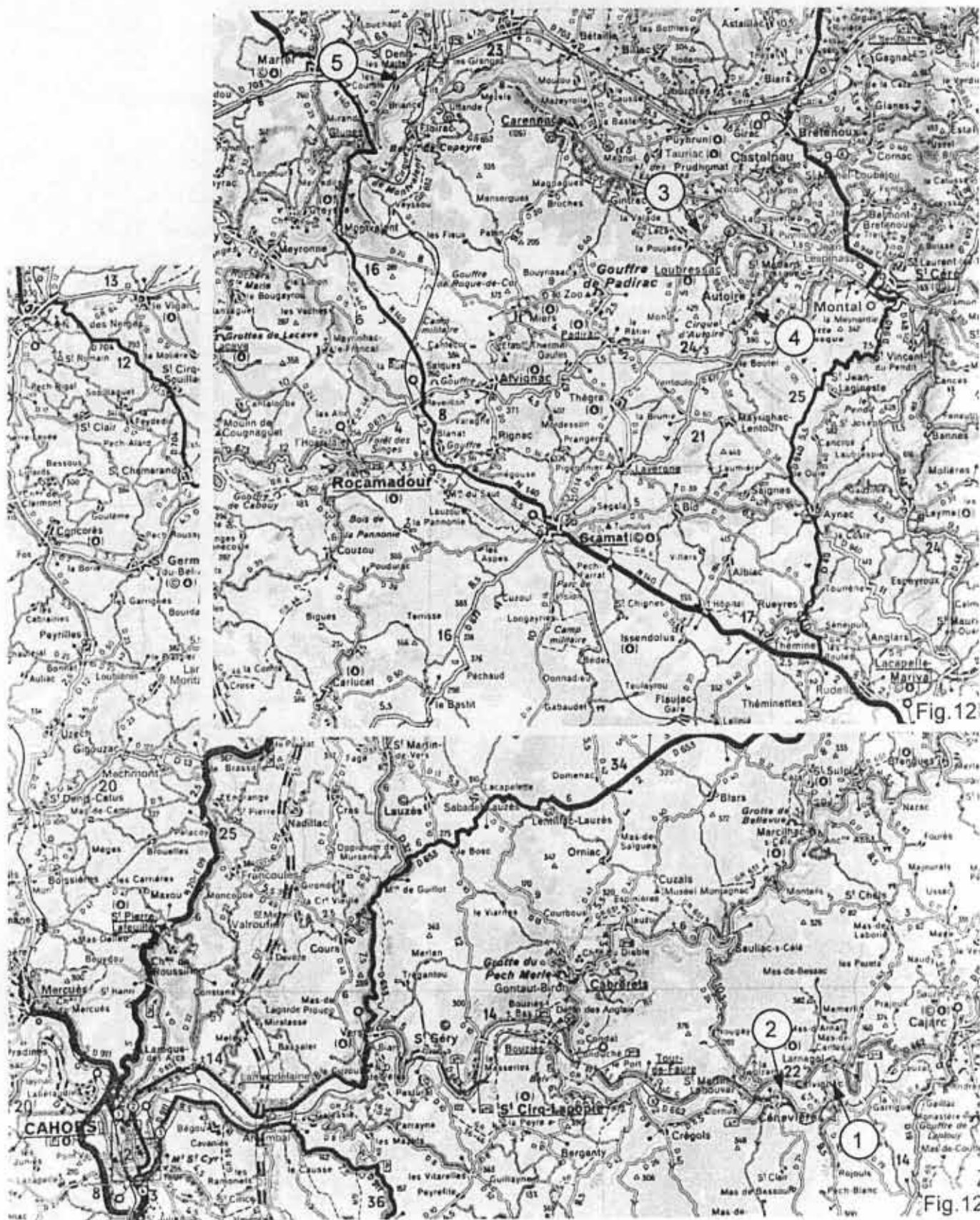


Fig.12 : Localisation des arrêts (première journée).

**Première journée J1
Samedi 18 mars 2000**

THEMES DE LA JOURNEE : Analyse stratigraphique détaillée du Toarcien supérieur et de l'Aalénien dans le bassin quercynois.

ITINERAIRE (fig.12) :

Cinq points d'arrêt sont prévus, deux dans la vallée du Lot et trois dans la vallée de la Dordogne :

1- vallée du Lot, coupe de Calvignac ;

2- vallée du Lot, coupe de Cénevières ;

Repas froid sur la place de Loubressac

3- vallée de la Dordogne, coupe de Lapoujade ;

4- vallée de la Dordogne, coupe d'Autoire ;

5- vallée de la Dordogne, coupe « Les Courtils » ;

Coucher à Rodez (Hôtel Climat de France)

CALVIGNAC

Thème : présentation de la série de passage Lias-Dogger dans la vallée du Lot, faciès, variations paléoenvironnementales et évolution séquentielle

localisation géographique : l'affleurement se situe en rive gauche du Lot, le long du chemin vicinal nommé « la tranchée » qui mène de la D.8 au village de Calvignac.



La série se décompose en 5 grandes unités lithologiques (fig.13) :

- unité 1 : ensemble argilo-carbonaté condensé et réduit daté du Toarcien supérieur. L'évolution des faciès aux diverses échelles indique des environnements oscillant entre l'*offshore* inférieur et l'*offshore* supérieur médian.

L'analyse biostratigraphique montre la présence de deux lacunes :

- La présence de l'assise à gryphées (horizon à Mactra) sur le double banc à Fallaciosum révèle une lacune de sédimentation équivalente à 2 zones d'ammonites (Zone à Dispansum et zone à Pseudoradosa) ;
- Au sommet de l'unité, l'absence de sédiments entre les calcaires bioclastiques aaléniens (zone à Opalinum probable) et le banc centimétrique daté de l'horizon à Lugdunensis suggère le développement d'une lacune équivalente à deux horizons d'ammonites (H. à Buckmani et Subglabrum).

Cette unité se décompose en 4 demi-cycles transgressif-régressifs qui s'intègrent dans 3 séquences de dépôts (S0, S1 et S2 ; sensus Vail *et al.*, 1987). Trois discontinuités majeures clôturent les 3 séquences. La discontinuité D.8 au sommet du banc à Fallaciosum, la discontinuité D.9 qui couronne l'assise à gryphées et la discontinuité D.9' au sommet de l'unité qui matérialise la limite entre le Toarcien et l'Aalénien.

- Unité 2 : calcaires bioclastiques datés de l'Aalénien inférieur (zone à Opalinum).

Cette unité est représentée par deux bancs calcaires. A la base du premier trois faciès distincts alternant avec des arrêts de sédimentation se superposent sur 3 cm. Cette alternance témoignerait d'une brutale augmentation de l'espace disponible (phase transgressive). En montant dans la série, le microfaciès passe d'une bio-accumulation de microdébris d'échinodermes à une accumulation de gros fragments de ce même allochem associés à des biopisolithes de nubéculaires baignant dans un liant sparitique. De la base vers le sommet les conditions paléoenvironnementales passent de l'*offshore* supérieur médian au *shoreface*

(dépôt d'arrière barre bioclastique). Cette unité constitue la séquence de dépôt S3. La limite supérieure de séquence (D.9'b), confondue avec la surface de transgression (D.9'c) de la séquence sus-jacente, est représentée par une surface durcie perforée. L'analyse diagénétique de cette discontinuité révèle son édification en milieu phréatique marin et son façonnement en domaine de *shoreface*.

- **Unité 3 (1,9 m) :** calcaires à biopisolithes de nubéculaires

Il s'agit de calcaires plus ou moins argileux composés de biopisolithes de nubéculaires (domaine subtidal de la plate forme protégée) datés de la zone à Murchisonae (sous-zones à Haugi et à Murchisonae) par la présence de *Monsardithyris trilineata*. Les variations de la concentration en bioclastes non encroûtés et du degré d'usure des éléments figurés, l'évolution de la diversité faunique et la nature du liant (micrite ou sparite) soulignent la proximité de barres bioclastiques et les variations de l'espace disponible.

Cette unité comprend la séquence de dépôt (S4) et le bas niveau de la séquence sus-jacente (S5). La *mfs* de S4 (D.9'd) se matérialise par un liseré de marnes jaunâtres. La limite de séquence correspond à une surface durcie perforée par des lithodomus. Il s'agit d'une surface durcie infratidale façonnée par la houle et lithifiée par de la calcite magnésienne. La surface de transgression de S5 (D.10a) correspond à un niveau marneux centimétrique composé de petits filons de gypse.

- **unité 4 (7,25 m.) :** Calcaires recristallisés et dolomitisés à géodes silico-calcitiques datées probablement de l'Aalénien supérieur.

Cette unité se décompose en 2 ensembles :

* un ensemble inférieur strato-croissant composé de dolomie légèrement calcaires à la base et de calcaires recristallisés au sommet. Cet ensemble se serait déposé à la limite entre les domaines subtidaux et intertidaux. L'uniformité du faciès témoigne d'une relative constance du milieu de sédimentation. Ainsi, l'évolution positive de la stratonomie se traduit par une compensation de l'augmentation de l'espace disponible par élévation du taux de sédimentation ;

* un ensemble supérieur légèrement strato-décroissant, composé de calcaires recristallisés à abondantes petites géodes silico-calcitiques centimétriques et à sédiments internes. En montant dans la série apparaissent, au sein des calcaires recristallisés, d'abondants fantômes d'ooïdes.

Ces géodes silico-calcitiques témoignent d'une diagenèse précoce de type évaporitique supratidal (Durllet *et al.*, 2000) associée à un épisode émersement (sédiment interne).

Cette unité se décompose en une séquence de dépôts (S5). La *mfs* de S5 (D.10a') est soulignée par un petit banc centimétrique à base et à sommet irréguliers. La limite de séquence (D. 10b), confondue avec la surface de transgression de la séquence sus-jacente, correspond à une surface irrégulière (vraisemblablement de karstification). Cette discontinuité est soulignée par un changement lithologique net et elle est confondue avec le front sommital de dolomitisation.

- **unité 5 :** calcaires oolithiques massifs

Il s'agit d'une oobiosparite à accumulation d'oolithes micritisées associées à des fragments d'échinodermes en voie de micritisation par perforation et localement à des pelletoides. L'absence de structures sédimentaires et la micritisation des éléments constitutifs souligneraient des conditions d'arrière barre oolithique.

A retenir essentiellement :

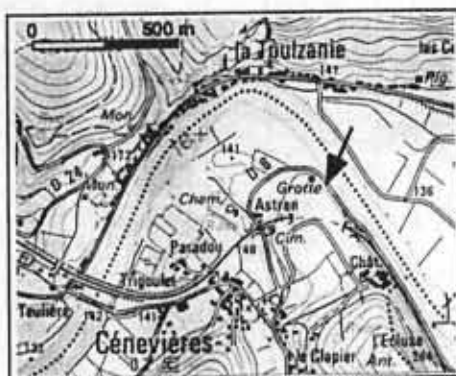
- * la sédimentation lacunaire et condensée du Toarcien supérieur ;
- * le faciès à biopisolithes de nubéculaires ;
- * les surfaces durcies perforées ;
- * le changement de dispositif paléogéographique dans la partie basale de l'Aalénien ;
- * les indices de la diagenèse précoce de type évaporitique dans l'unité 4 ;
- * la discontinuité D.10b qui limite la dolomitisation.

ARRET J1-2

CENEVIERE

Thème : Réduction significative du Toarcien supérieur et passage latéral de faciès au sein de la zone à Murchisonae

Localisation géographique :



Quelques différences avec la coupe de Calvignac sont à souligner (fig.14) :

* Réduction du Toarcien supérieur :

Sur le banc calcaire daté de la sous-zone à Fallaciosum reposent directement des marnes grises lenticulaires à *Pleydellia lugdunensis* [horizon à *Lugdunensis*] (SU3b) qui contiennent d'abondants fragments de lamellibranches et de rares *H. cynocephala*.

La présence de cette ammonite souligne une lacune équivalente à deux zones et une sous-zone d'ammonites (zone à *Dispansum*, zone à *Pseudoradosa* et sous-zone à *Mactra*). Ce niveau lenticulaire, dont l'épaisseur oscille entre 0 et 10 cm, est surmonté par une croûte ferrugineuse d'un vingtain de centimètre d'épaisseur. Des conditions très oxydantes et un taux de sédimentation faible étaient favorables au développement de cette croûte.

La limite entre le Toarcien et l'Aalénien est signalée par une surface d'érosion.

Ces observations révèlent l'alternance de phases de sédimentation, d'érosion et de non dépôt durant le Toarcien supérieur.

* Absence de l'intervalle transgressif de la séquence S3 ;

* Variations latérales de faciès dans l'Aalénien ;

Ces variations latérales se traduisent par l'apparition de calcaires à pelles, à foraminifères benthiques et à spicules de spongiaires au sein du cortège HNM de la séquence S4. La limite de séquence (D.9'e) correspond à un niveau de remaniement. Il se compose d'une accumulation de biopisolithes de nubéculaires fragmentés et de lithoclastes.

* Présence au sein de l'unité 4 de deux horizons à concentration de géodes silico-calcaitiques témoins probable de 2 épisodes évaporitiques.

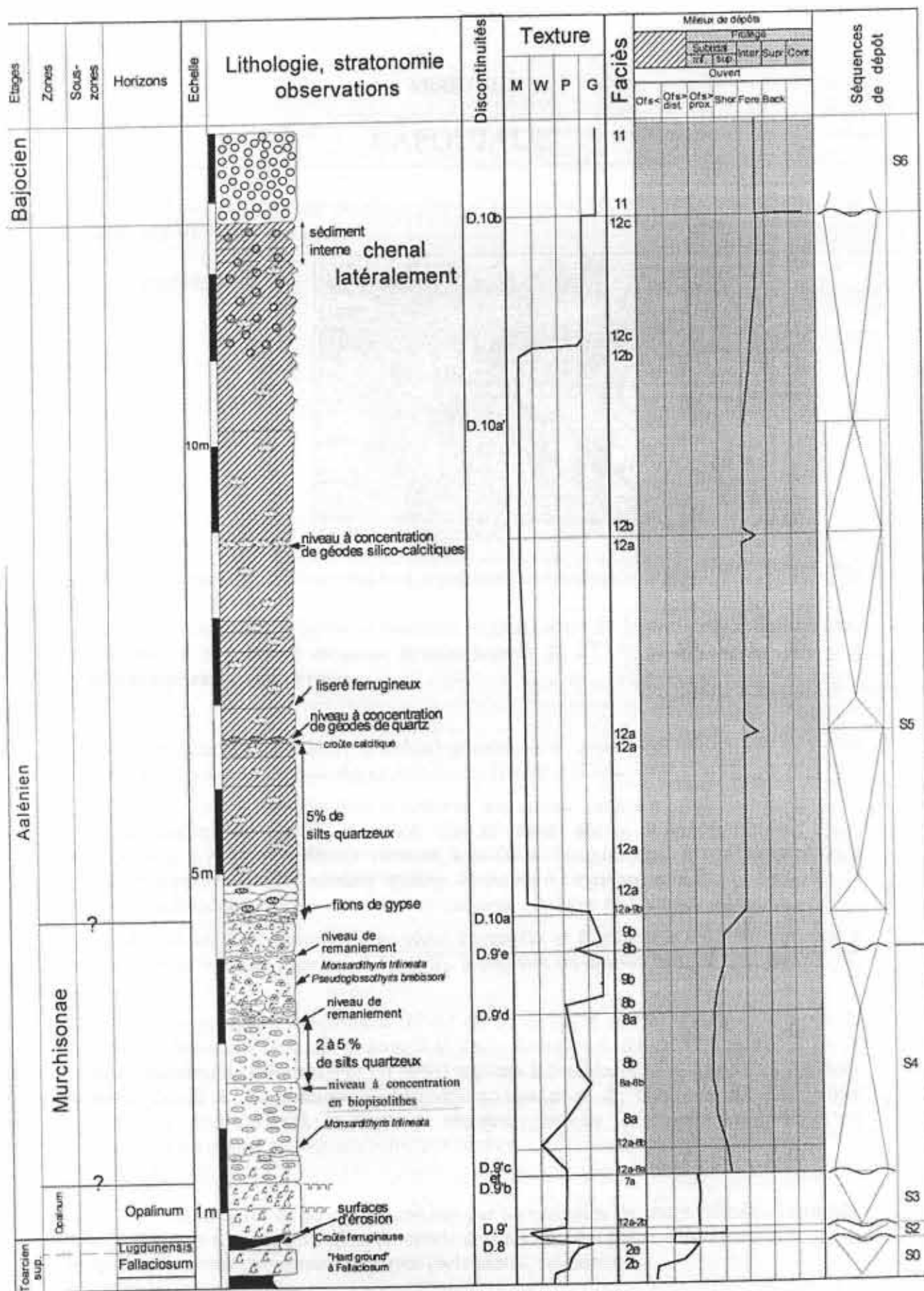
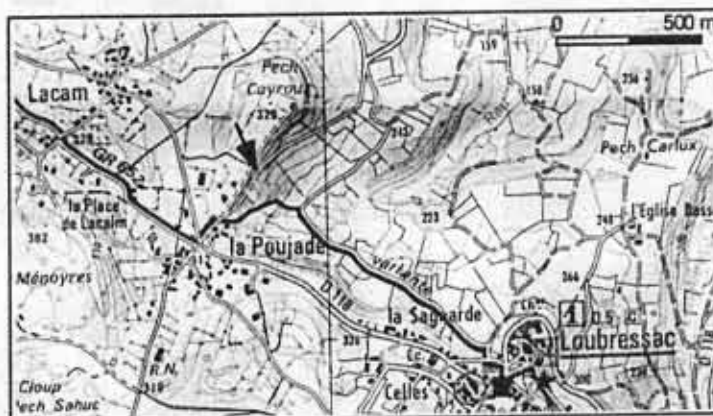


Fig.14 : arrêt J1-2, coupe de cônevière (Lézin, 2000)

LAPOUJADE

Thème : le Toarcien supérieur-Aalénien dans le Causse de Martel ; série plus dilatée, plus complète et plus distale.

Localisation géographique :



Le Toarcien supérieur et l'Aalénien sont représentés respectivement par 8,25 m et 21 m de sédiments (fig.15).

Les calcaires bioclastiques (*offshore* supérieur médian) datés de la sous-zone à Fallaciosum, qui clôturent à la fois une séquence de comblement de 2^{ème} et de 3^{ème} ordre (S0), sont surmontés par les unités suivantes :

Unité 1 :

*des marnes silteuses (d'*offshore* inférieur) attestent d'un approfondissement ou bien d'un brutale accentuation de l'espace disponible durant la zone à Dispansum (IT de S1).

*A partir de la zone à Pseudoradiosa et jusqu'au sommet de l'assise à gryphées, une nouvelle phase de comblement (HNM) s'amorce. Elle se traduit par le passage progressif d'une sédimentation d'*offshore* inférieur (marnes à oolithes ferrugineuses) à une sédimentation d'*offshore* supérieur distal (calcaires argileux bioturbés à *Gryphaea sublobata*). La limite de séquence, confondue avec la surface de transgression, est datée de l'horizon à Mactra.

*Les calcaires argileux bioturbés à gryphées remaniées et à glauconie datés de l'horizon à Celtica et de la base de l'horizon à Nov. sp. soulignent un nouvel épisode transgressif (IT, S2).

*Une nouvelle phase de comblement (HNM de S2 et BNM de S3) s'instaure à partir du sommet de l'horizon à Nov. sp. et jusqu'à la limite Toarcien-Aalénien. Elle se traduit par le passage progressif de calcaires plus ou moins argileux à brachiopodes et ammonites (*offshore* supérieur distal) à des calcaires bioturbés à accumulation de biodébris d'échinodermes (*offshore* supérieur médian). La limite de séquence, datée de l'horizon à Lugdunensis est soulignée par un niveau à concentration d'ammonites.

Unité 2 :

- La phase transgressive de S3 est caractérisée par un ensemble de bancs calcaires bioturbés, pluridécimétriques, à accumulation de débris de plus en plus petits d'échinodermes qui se composent de rares organismes pélagiques (bélemnites, ammonites).

- L'intervalle régressif de S3 est souligné par un ensemble de petits bancs carbonatés bioturbés composés de pelleteïdes et de foraminifères benthiques. Cette association exprimerait un changement des conditions paléoenvironnementales (plate-forme protégée).

Unité 3 :

- L'épisode transgressif de S4 daté de la zone à Murchisonae est représenté par une alternance de calcaires beiges et de calcaires argileux grisâtres composés de rares biopisolithes de nubéculaires et de foraminifères benthiques. L'augmentation de l'argilosité et le contenu en éléments biogènes et non biogènes témoignent d'un approfondissement en domaine subtidal (plate forme protégée).

- Le passage des calcaires argileux grisâtres à gros « oncoïdes » strato-décroissants aux calcaires beiges à biopisolithes de nubéculaires et polypiers isolés traduit une nouvelle diminution de l'espace disponible (HNM de S4 et BNM de S5).

Unité 4 :

- l'intervalle transgressif de S5 est soulignée par l'apparition progressive de spicules de spongiaires et la disparition des biopisolithes de nubéculaires dans l'aire de sédimentation. Cette arrivée massive et exclusive est à l'origine de la formation des chailles.

- la nouvelle tendance au comblement (HNM de S5) se traduit par le passage progressif des calcaires à chailles aux sables à pelleteïdes, aux calcaires bioturbés à ooïdes, biopisolithes et polypiers isolés puis aux calcaires recristallisés à ooïdes et géodes silico-calcitiques.

Unité 5 :

L'épisode (BNM de S6) évaporitique (géodes silico-calcitiques) et sub-émersif (sédiment interne) est suivi de l'instauration d'une mégaride oolithique (IT de S6).

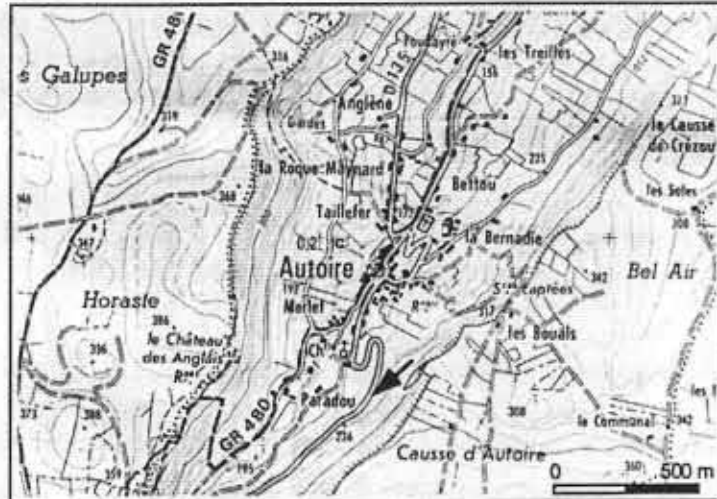
A retenir :

- * sédimentation plus dilatée et plus distale ;
- * l'approfondissement intra-Murchisonae plus marqué ;
- * apparition de nouveaux faciès : calcaires à chailles et calcaires à polypiers isolés.

AUTOIRE

Thème : mégaride oolithique bajocienne, analyse des argiles

Localisation géographique:



* Succession stratigraphique (fig.16)

On retrouve la même succession lithologique et stratigraphique qu'à Lapoujade. Néanmoins, la sédimentation acquiert un caractère plus distal qui se traduit notamment par un approfondissement plus marquée durant la zone à Murchisonae (IT de S4). Il s'exprime sur le terrain par une alternance de marnes et de calcaires.

La discontinuité D.10b qui correspond à une surface irrégulière est surmontée par une mégaride oolithique plurimétrique probablement datée du Bajocien inférieur.

* Evolution des assemblages argileux (Lézin et Deconinck, inédit ; fig.17)

La fraction argileuse de 44 échantillons a fait l'objet d'une analyse. L'échantillonnage se répartit, d'un point de vue temporel, entre l'horizon à Lugdunensis et le Bajocien inférieur. Cette analyse révèle la prédominance de 4 espèces minérales. Il s'agit de l'illite et de la chlorite (minéraux primaires), de l'interstratifié I/S et de la kaolinite (minéral d'origine pédologique).

L'analyse de l'évolution verticale de la concentration de ces 4 minéraux, montre : de faibles variations du pourcentage en interstratifié I/S, illite et chlorite. Les variations les plus significatives sont enregistrées par la kaolinite. Au cours du Toarcien supérieur sa concentration tend à décroître (45 à 5 %), elle se stabilise durant l'Aalénien (environ 5%). A l'Aalénien moyen, la kaolinite disparaît. Cette même espèce minérale réapparaît significativement à l'Aalénien terminal.

Interprétation : en l'absence de changements climatiques majeurs (ainsi que le suggère l'étude des associations palynologiques), la disparition de la kaolinite serait liée à un événement orogénique impliquant la surrection de seuils (môle de Castelsarrasin-Montauban et seuil de Villefranche-de-Rouergue) qui engendre l'isolement du bassin quercynois et s'accompagne de l'arrêt de la pédogenèse sur les terres émergées du socle hercynien.

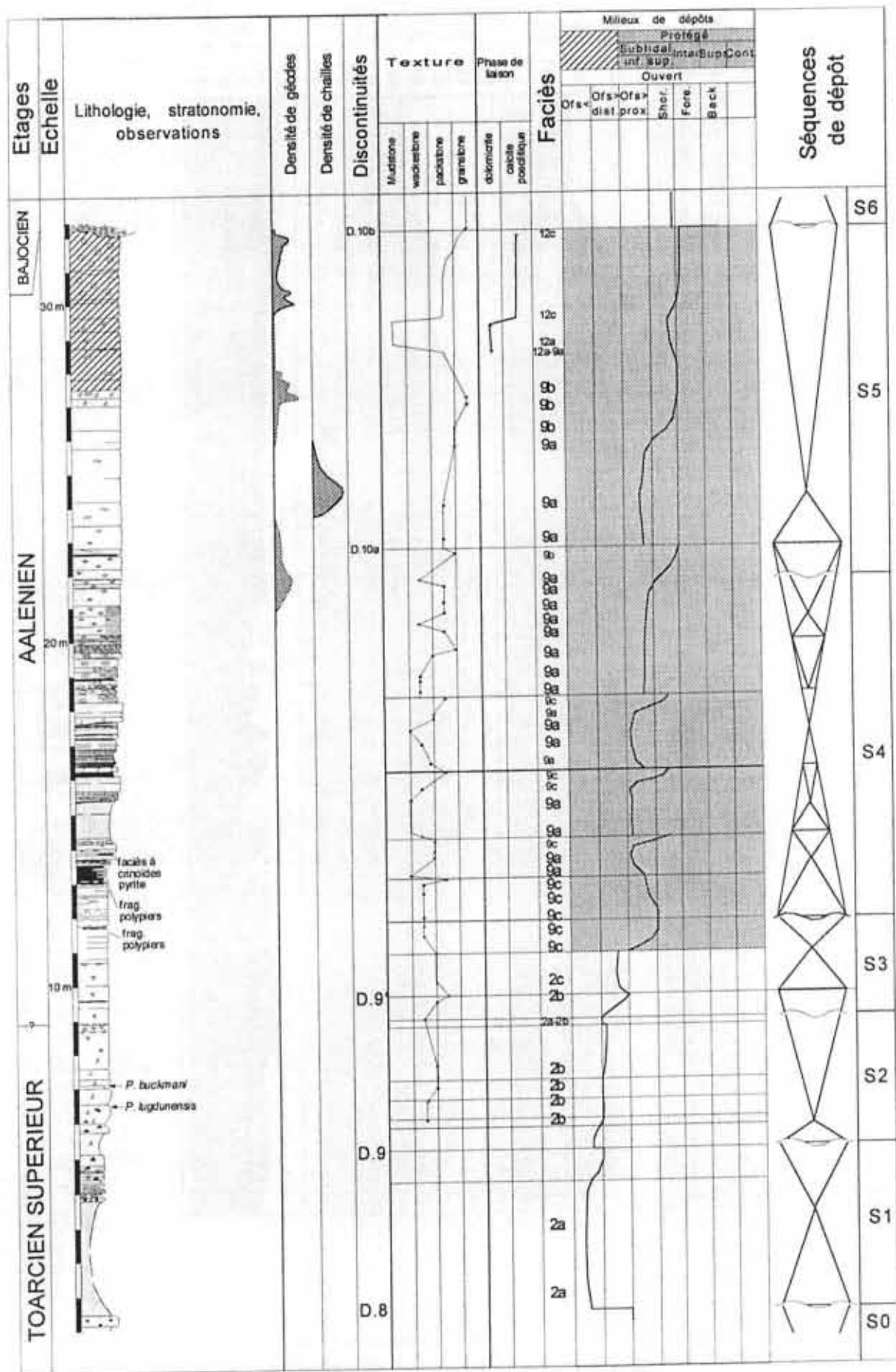


Fig.16 : arrêt J1-4, coupe d'Autoire (Lézin, 2000)

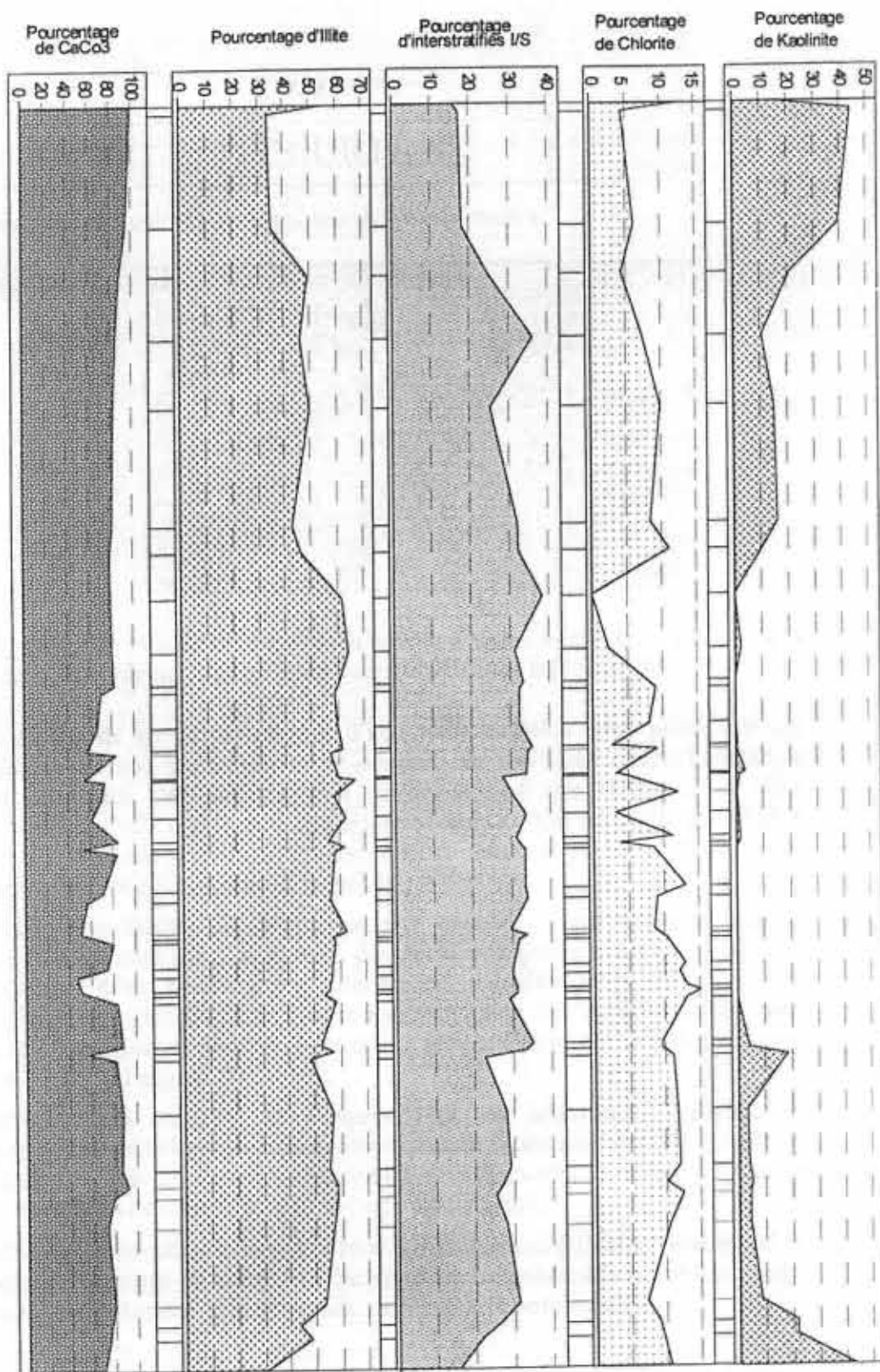
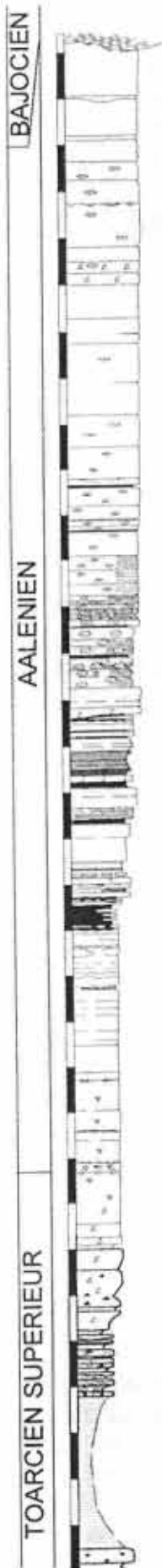
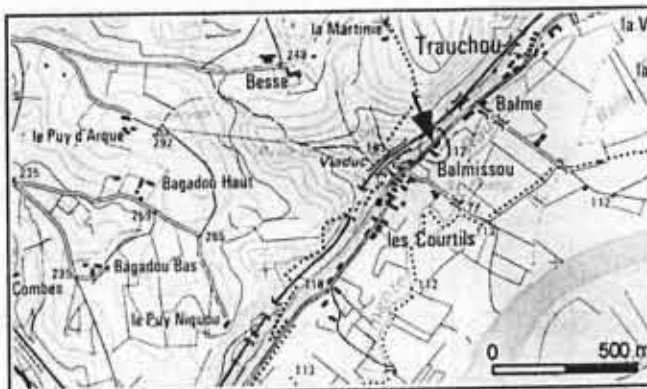


Fig. 17 : Evolution des concentrations des espèces minérales sur la coupe d'Autoire (Lézin, 2000)

LES COURTILS

Thème : la série à dominante calcaire du haut-fond de « La Gironie ».

Localisation géographique :



* succession stratigraphique : La série s'étend de la base de l'assise à gryphées (sommet de la zone à *Pseudoradosa* probablement) jusqu'au calcaires oolithiques bajociens (fig.18).

Dans ce secteur on assiste au développement d'une **sédimentation plus proximale** qui s'exprime notamment par une sédimentation en domaine de *shoreface* durant l'horizon à Mactra (assise à gryphées). Des calcarénites à entroques avec une alternance de rides sinueuses 3D et de macro-HCS contiennent des gryphées éparses. Cet intervalle constitue le sommet de l'intervalle régressif (HNM) de S1. La limite de séquence (D.9), confondue avec la surface de transgression de S2, correspond à une surface durcie.

L'approfondissement post-Mactra est beaucoup plus marqué. Il est souligné par un changement de faciès important avec l'apparition des calcaires argileux bioturbés à gryphées remaniées à la base, rares brachiopodes, bélemnites, lamellibranches et abondantes ammonites. La *mfs* (D.9a) correspond à un niveau à concentration de *Pleydellia lugdunensis*. Son âge est plus récent par comparaison avec les autres secteurs, prouvant un enregistrement diachrone de cette surface à l'échelle du Quercy.

La phase régressive de la séquence S3 s'exprime par une alternance d'épisodes de sédimentation (augmentation de l'espace disponible, dépôts de faciès subtidaux) et d'épisodes d'arrêt de sédimentation (absence d'espace disponible) qui engendrent le développement de surfaces durcies en domaine de *shoreface* (arrière-barre bioclastique).

La phase de comblement datée du sommet de la zone à Murchisonae (HNM de S4 et BNM de S5) se caractérise par le passage de calcaires à biopisolithes de nubéculaires (subtidal) à des calcaires à bahamithes et polypiers isolés (intertidal, arrière-barre oolithique).

Au-dessus, la succession de calcaires à bahamithes et de sables à pelleteïdes traduirait un éloignement de la barrière oolithique au cours d'une phase d'augmentation de l'espace disponible (IT de S5).

D'après la distribution des géodes sur la coupe « les Courtils », la D.10b se positionnerait au toit des sables à pelleteïdes. L'intervalle régressif de S6 ne serait pas enregistré. Les calcaires à bahamithes sus-jacents appartiendraient à l'IT de S6 daté probablement du Bajocien inférieur.

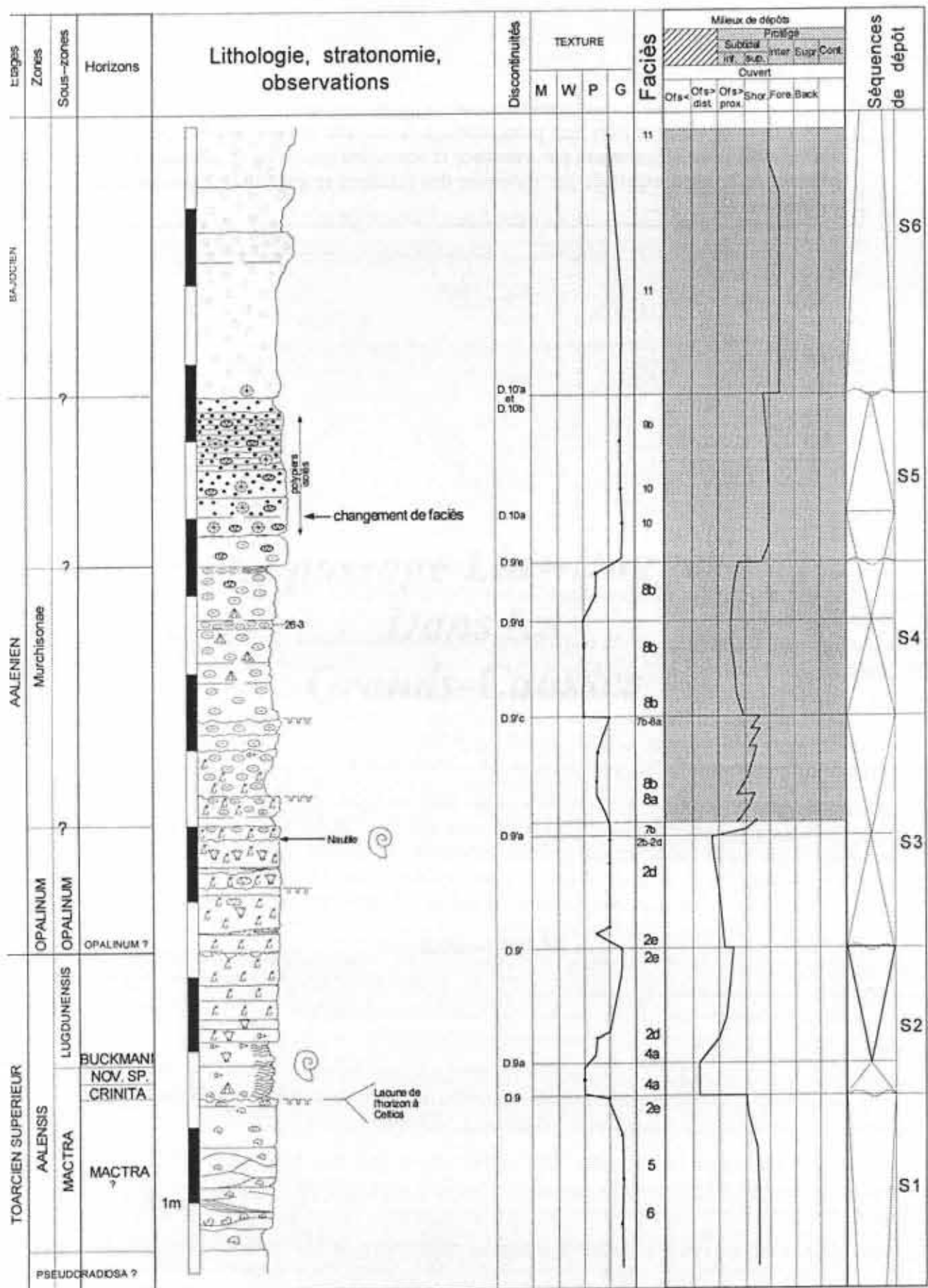


Fig.18 : arrêt J1-5, coupe "Les Courtils" (Lézin, 2000)

Ainsi, cette coupe diffère des précédentes à la fois par le caractère proximal de la sédimentation mais également par l'absence d'homogénéisation de la sédimentation au sommet de la série exprimée par l'absence des calcaires recristallisés à géodes silico-calcitiques.

***Le passage Lias-Dogger
Dans les
Grands-Causses***

Par Richard CIZAK



Fig. 19b

Fig. 19 : Localisation des arrêts (deuxième journée).

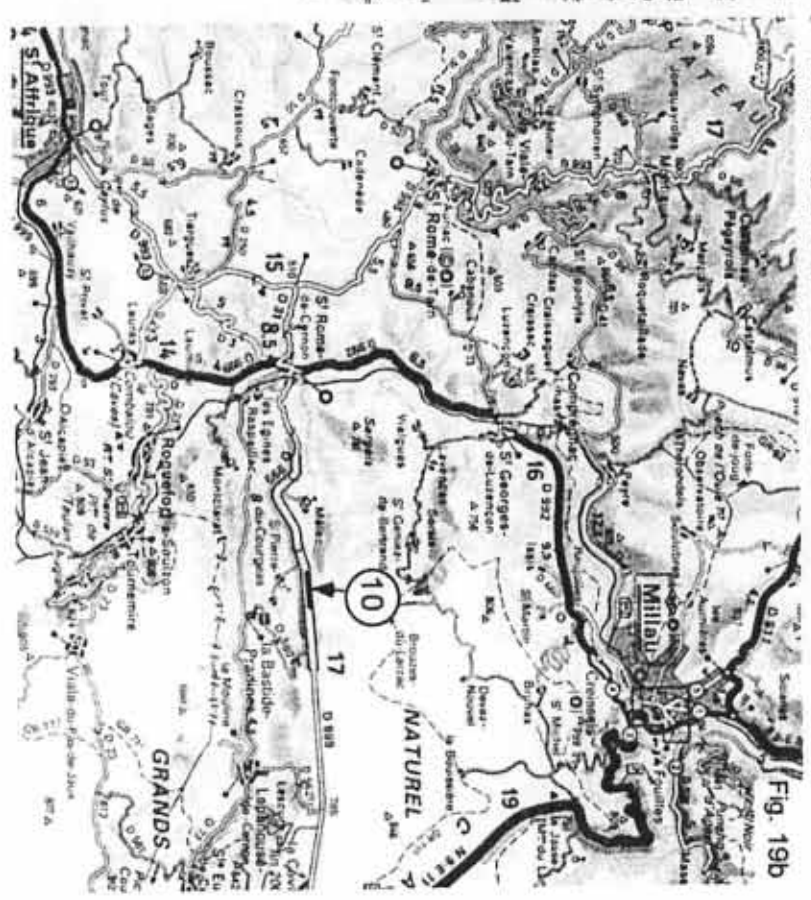


Fig. 19a

Seconde journée J2
Dimanche 19 mars 2000

THEMES DE LA JOURNEE : Intervalle Toarcien supérieur-Bajocien supérieur dans le détroit de Rodez et les Grands-Causse. Analyse biostratigraphique, faciologique et stratigraphie séquentielle.

ITINERAIRE (fig.19) :

Départ 8h. : Cinq points d'arrêt sont prévus :

6 et 7 – Muret-le-Château ;

8 - Rodelle ;

9 - Campagnac

Repas froid à Campagnac

10 – Saint-Rome-de-Cernon ;

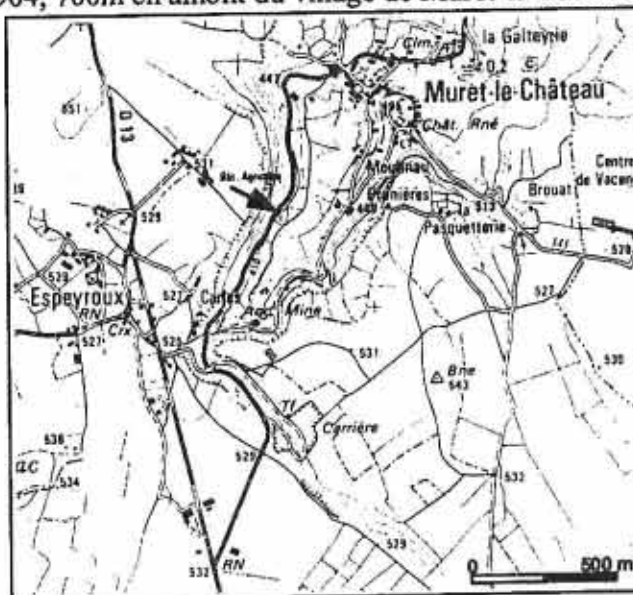
16h30 : visite des caves de Roquefort

Retour Toulouse 20h.

MURET-LE-CHÂTEAU

Objet étudié : "Oolithe ferrugineuse" ou *Minette* de Muret-le-Château (fig. 20)

Localisation : route départementale D904, 700m en amont du village de Muret-le-Château
[Feuille Espalion à 1/50000 (n° 860)]



Généralités

L' "Oolithe ferrugineuse" ou *Minette* de Muret-le-Château n'affleure que sur une dizaine de kilomètres sur la bordure nord du Causse de Lanhac (partie occidentale du Causse Comtal) entre les localités de Salles-la-Source et Rodelle (loc. fig 9) à Solsac, Mondalazac, Ferrals (champignonnière), Muret-le-Château (fig. 21) et plus au Sud, mine de Lagarde près de Cadayrac.

Elle constitue, sous le Causse de Lanhac, des amas kilométriques et d'épaisseur variable (entre 2 et 5m).

Sa teneur en Fer varie d'un point à un autre du Causse. Elle a été exploitée pour l'alimentation des Hauts Fourneaux de Decazeville entre 1820/1830 à 1930

Le minerai forme une seule couche, ou se répartit localement en 2 couches d'épaisseur variable (entre 50cm et 2m50) séparées par un intervalle d'argilites rouges d'épaisseur variant entre 0 et 2m. Ces argilites rouges renferment (mine de Ferrals) essentiellement des oncoïdes, ooïdes, oolithes ferrugineuses et des petits Gastéropodes ferrugineux.

- Le mur de la *Minette* est constitué de calcaires marneux dolomités, d'épaisseur relativement constante (2 à 3m), jaunâtres, micacés, à fines lamines soulignées par de la matière organique, totalement bioturbés.
- La *Minette* est un calcaire marneux à texture microsparitique, plus ou moins riche en oxyde de fer (d'où sa couleur rouge violacé), à stratifications planes et localement (Ferrals) obliques.
- Le contact avec le toit se fait par l'intermédiaire d'une argile pélitique noire et d'encroûtements ferrugineux ou pyriteux (1cm à Ferrals).
- Le toit est formé par les Dolomies I, bajociennes ; à Lagarde (Cadayrac) et à Ferrals (fig.21), les premiers bancs correspondent à une dolosparite bioclastique (0m 80) à petits Pectens (*Praemussium pumilum*) et entroques.

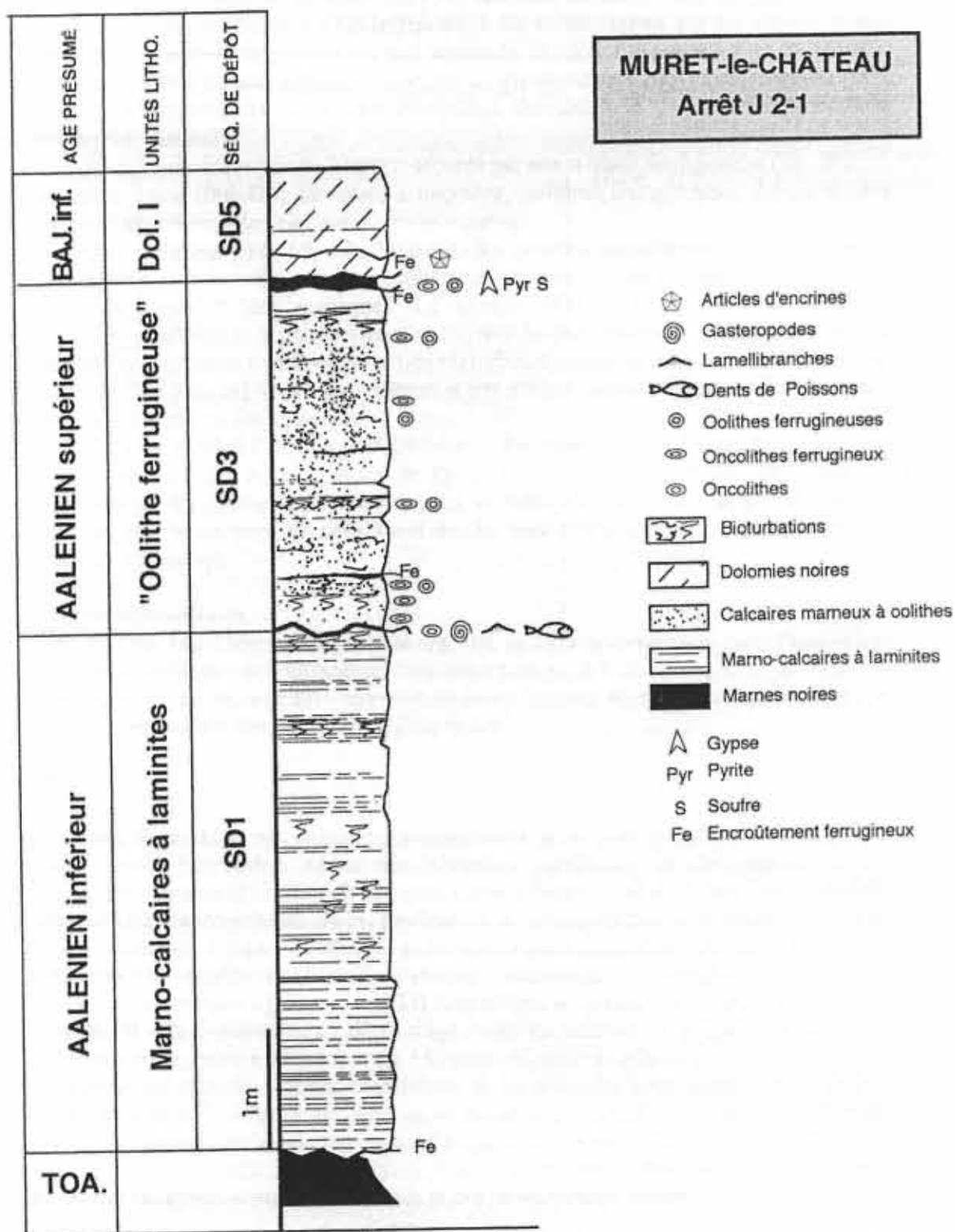


Fig. 20 : Oolithe ferrugineuse (*Minette*) de Muret-le-Château

la Minette à Muret-le-Château :

- le mur (3m) : calcaires marneux micacés, finement laminés, bioturbés, parcourus par de nombreux terriers horizontaux (Thalassinoides). Ce terme repose sur les marnes noires toarciennes par l'intermédiaire d'une surface ravinante oxydée. Le contact avec la *Minette*, ravinant, correspond à un joint argileux contenant de très nombreux petits Gastéropodes (sans columelles), ferruginisés, des petits Lamellibranches, des dents de Poisson et des oncoïdes blanchâtres (phosphatés?).

- la Minette est découpée en 2 termes séparés par une surface ferrugineuse (fig. 20):

- un ensemble basal (0m 80), bioturbé, à oncoïdes, oolithes ferrugineuses devenant plus nombreuses et associées à des bioclastes vers le sommet,

- un ensemble supérieur (1m 50) très bioturbé, les oolithes remplissant ou soulignant la bioturbation. Ce sont des oolithes ferrugineuses généralement creuses (ooïdes) associées à des oncoïdes ferrugineux et des entroques. Le ciment dolomicrosparitique est lui-même minéralisé. Les oncoïdes et les ooïdes nombreux vers la base deviennent plus rares vers la partie supérieure plus riche en entroques et très bioturbée. Le contact avec le toit s'effectue par l'intermédiaire d'un joint argileux noir renfermant des critaux authigènes de soufre, de pyrite, de gypse, entre 2 surfaces ferrugineuses

- Le toit est constitué par un premier banc dolomitique rosâtre à ocre, remaniant des oolites ferrugineuses, des petits cristaux de Pyrite et des entroques. Il est raviné par les Dolomies bajociennes (Dolomies I) sus-jacentes, et donc n'est pas toujours présent sur les autres coupes. Les bancs suivants constituent des biseaux stratigraphiques successifs vers le Nord (dispositif en onlap).

Signification sédimentaire

Dans le dispositif séquentiel proposé (fig 10), la *Minette* apparaît comme l'équivalent des "Calcaires oolithiques de Campagnac" considéré comme l'IT de la séquence de dépôt de 3^e ordre SD3, au-dessus des calcaires marneux finement laminés sous-jacents représentant très probablement l'équivalent des "Calcaires à *Zoophycos*".

Conclusion

Par son biofaciès et ses structures sédimentaires la *Minette* de Muret-le-Château est interprétée comme l'équivalent latéral des "Calcaires oolithiques de Campagnac", et les calcaires marneux finement laminés de son mur, comme l'équivalent de la base des "Calcaires à *Zoophycos*" (mais à ichnofaciès moins profond : z. à *Cruziana*). Sur la bordure occidentale du Causse de Lanhas, à Salles-la-Source, la *Minette* a pour équivalent quelques décimètres d'argiles noires à ooïdes et oncoïdes surtout charbonneux, intercalées de surfaces ferrugineuses et d'horizons ligniteux (fig. 21) Ces termes se présentent comme des vestiges d'IT ou/et de PHN de 2 séquences de dépôt d'âge Aalénien inférieur (z. à Opalinum) pour les calcaires marneux, et Aalénien supérieur (z. à Concavum) pour la *Minette*.

La présence entre les marnes toarciennes et les dolomies bajociennes, des calcaires marneux laminés et de la *Minette* met aussi en évidence l'existence d'une structuration à la fin du Toarcien, et pendant l'Aalénien, rajeunissant les gradins orientaux du seuil de Villefranche-de-Rouergue et provoquant leur émergence. Ceux-ci essentiellement formés de marnes toarciennes ont été lessivés, encroûtés, érodés et ont probablement alimenté la minette en Fer, en aval.

ARRET J2-2

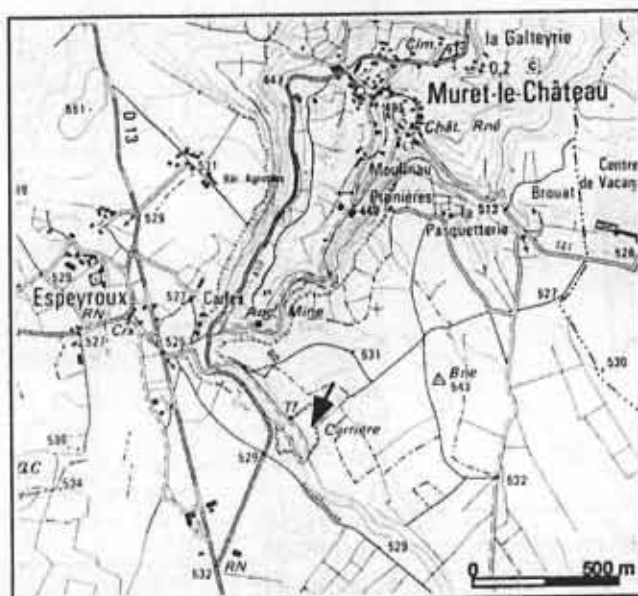
CARRIERE DE MURET-LE-CHÂTEAU

Objet étudié : Calcaires de Muret-le-château (Bajocien inférieur) (fig. 22)

Stratigraphie séquentielle , au 4e ordre

Principaux affleurements : Salles-la Source (village et gare), Solsac (Bouche Roland), Muret-le-Château (carrière)

Localisation : Carrière au Sud de Muret-le-Château proche de D 904



Stratigraphie

Ces calcaires présentent un grand intérêt bio et chronostratigraphique,

- Position stratigraphique :

Les "Calcaires de Muret-le-Château" sont préservés de la dolomitisation au sommet des Dolomies I. Celles-ci sont datées de la z. à Humphriesianum (Bajocien inférieur) aux Vignes (Vallée du Tarn).

- limite inférieure difficile à placer à cause de la dolomitisation, ou localement nette (section annexe à la carrière de Muret).

- limite supérieure : discontinuité majeure sous les "Calcaires oolithiques blancs" (ici "Calcaires à Nérinées") du Bajocien supérieur datés par des Brachiopodes dans le Causse du Larzac.

- Lithologie

Calcaires beiges à grains fins, à passées graveleuses ou oolithiques, admettant de minces joints marneux à débris charbonneux ou à Lituolidés. Ce sont des faciès de lagon et de zone intertidale à supratidale.

- Analyse microscopique

Matrice : micrite (texture *mudstone* et *wackstone*) ou sparite (*grainstone*) ;

Biophase : *Timidonella sarda*, *Callorbis minor*, *Mesoendothyra croatica*, *Planinivoluta*

MURET-le-CHÂTEAU
Arrêt J 2-2

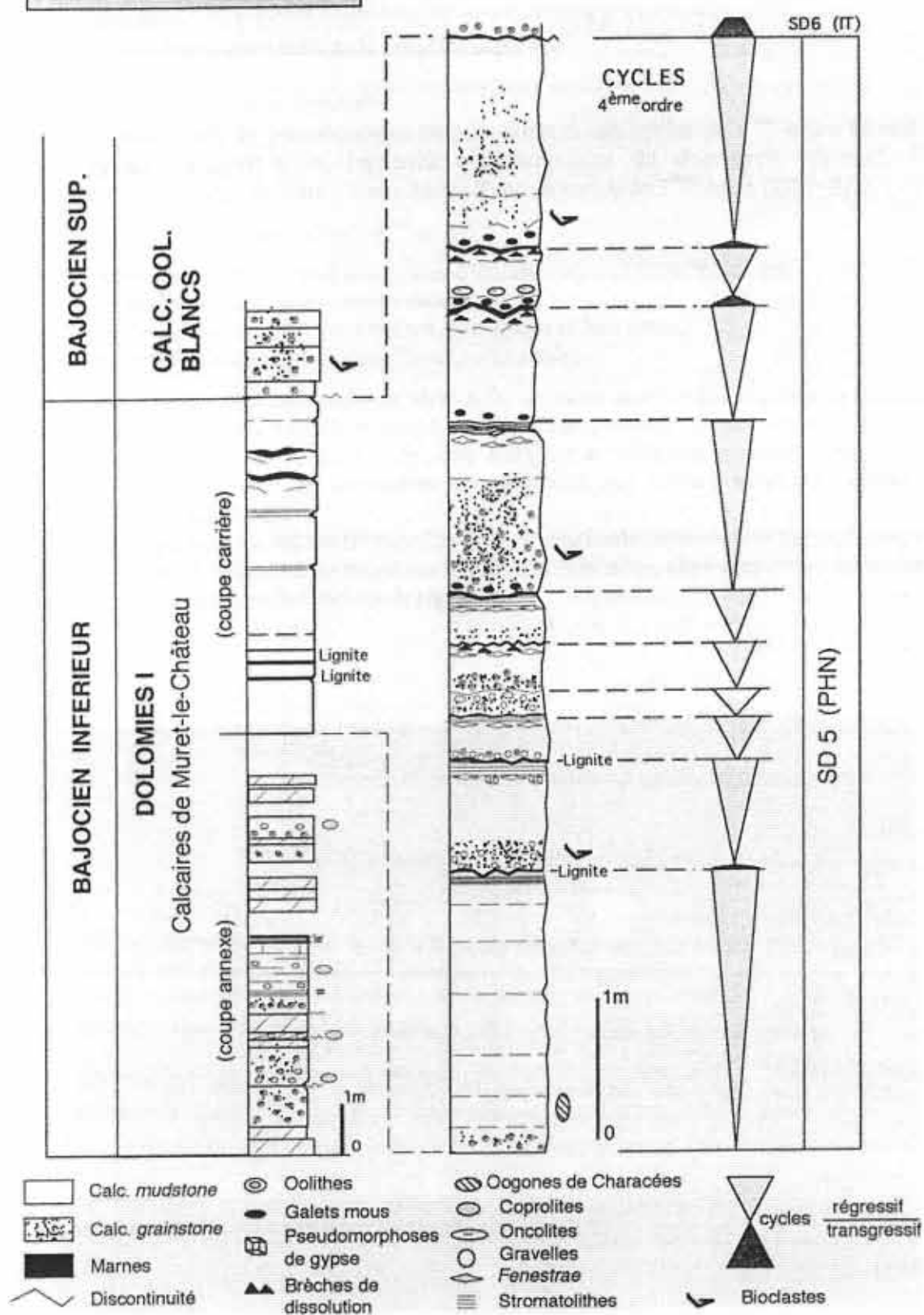


Fig. 22 : Coupe des "Calcaires de Muret-le-Château"

carinata, Ostracodes, Coprolites de Crustacés, Lenticulines, Stromatolithes, *Sarfatiella dubari*, oogones de Characées et bioclastes divers (Brachiopodes, Lamellibranches, Gastéropodes).

Cette association indique le Bajocien supérieur.

- Stratigraphie séquentielle

Empilement de paraséquences correspondant à des cycles de 4^{ème} ordre formés des demi-cycles transgressifs et régressifs ou uniquement du demi-cycle régressif. Elles constituent le cortège de Haut Niveau Marin d'une séquence de 3^{ème} ordre (SD5=Bj2).

Organisation d'une paraséquence (4^{ème} ordre) :

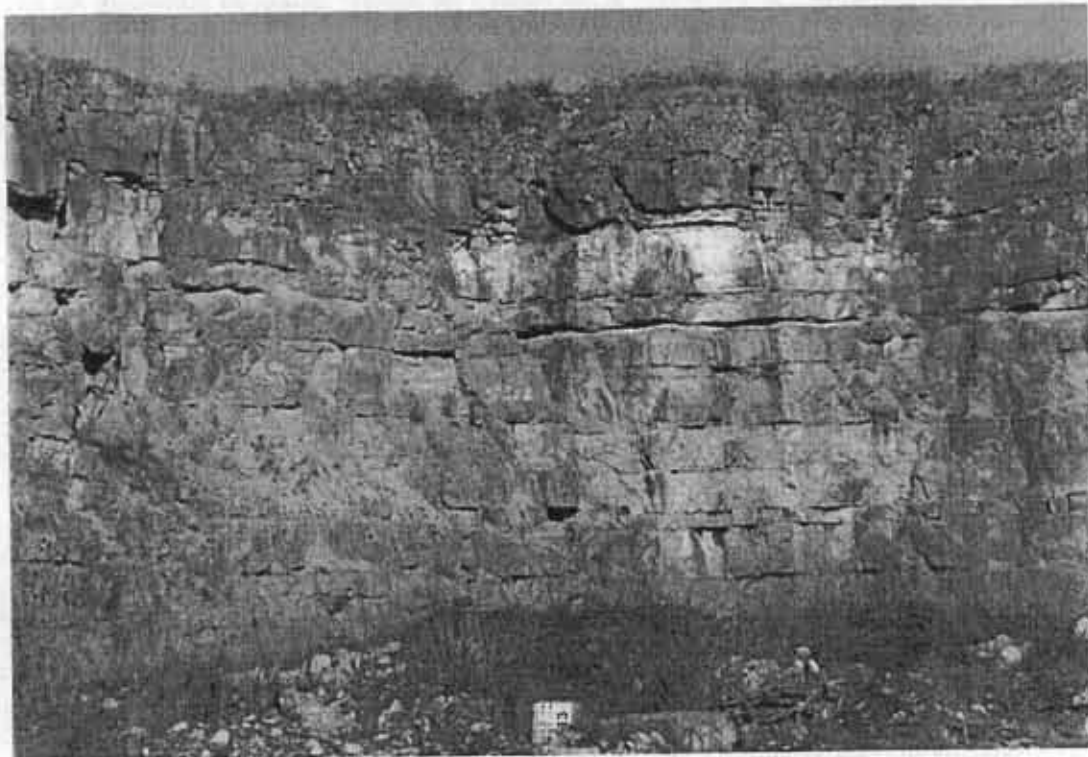
a) les demi-cycles transgressifs (ou phases d'inondation) sont matérialisés par :

- un joint argileux avec traces charbonneuses,
- une passée calcaire *grainstone* à oolites, pelletoides et bioclastes,
- ou des marnes bleues à Lituolidés (*Timidonella sarda*)

b) les demi-cycles régressifs correspondent à des calcaires *mudstone* à oogones de Characées, coprolites de crustacés, oncolithes, pseudomorphoses de gypses, ou *fenestrae* etc.

Ils s'achèvent avec des micrites à lamines d'origine cryptalgale (stromatolithes) et pour certains par des brèches de dissolution qui précèdent une surface irrégulière d'émersion, assimilée à un paléolapiaz.

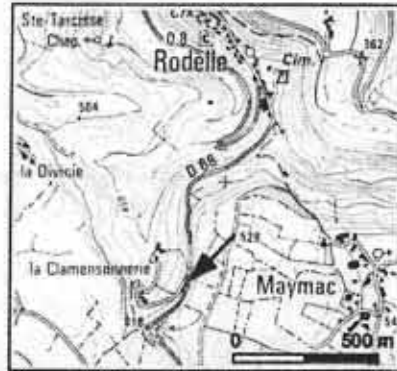
Certaines séquences ne présentent pas d'inondation maximale nette mais le passage progressif d'un grainstone à oolites à un mudstone à indices d'émersion ; elles sont considérées comme uniquement formées par le demi-cycle régressif.



RODELLE

Objet étudié : Contact entre les marnes noires du Toarcien et les Dolomies I.

Localisation : sur la Départementale D68 à l'embranchement avec la route menant à la ferme de la Clamensonnerie



Cet affleurement montre le caractère transgressif des Dolomies I sur des panneaux générés par une structuration pendant l'Aalénien, et conduits ici à l'émersion.

Les marnes toarciennes sont ici datées par une Ammonite : *Dumortieria* sp. gr. *pseudoradiosa* caractérisant la s.z. à *Pseudoradiosa* de la z. à *Pseudoradiosa* (Toarcien supérieur non terminal).

Les dolomies sus-jacentes (Dolomies I) du Bajocien inférieur reposent sur les marnes selon un dispositif en onlap visible au dessus de la ferme de la Clamensonnerie. Le contact entre les deux formations correspond à une surface de ravinement soulignée par une croûte ferrugineuse épaisse qui coïncide avec une lacune du Toarcien terminal (z. à *Aalensis*), de tout l'Aalénien, voire de l'extrême base du Bajocien.

CAMPAGNAC

Objet étudié : terrains Aalénien - Bajocien sur la coupe de Campagnac (Fig. 23)

Intérêt stratigraphique : cet affleurement montre la série complétée des termes d'âge Aalénien, à l'articulation avec le dépôt-axe du Graben des Grands Causses :

- les termes inférieurs sont les équivalents latéraux, moins profonds et moins épais, des "Calcaires à *Zoophycos*" de la série dilatée plus orientale ;
- les termes supérieurs ("Calcaires oolithiques de Campagnac") sont les équivalents latéraux de la "Minette de Muret-le-Château".

Localisation : 3 km au Sud de Campagnac le long de la départementale D37. Carte géologique à 1/50000 de Sévérac -le-Château (885)



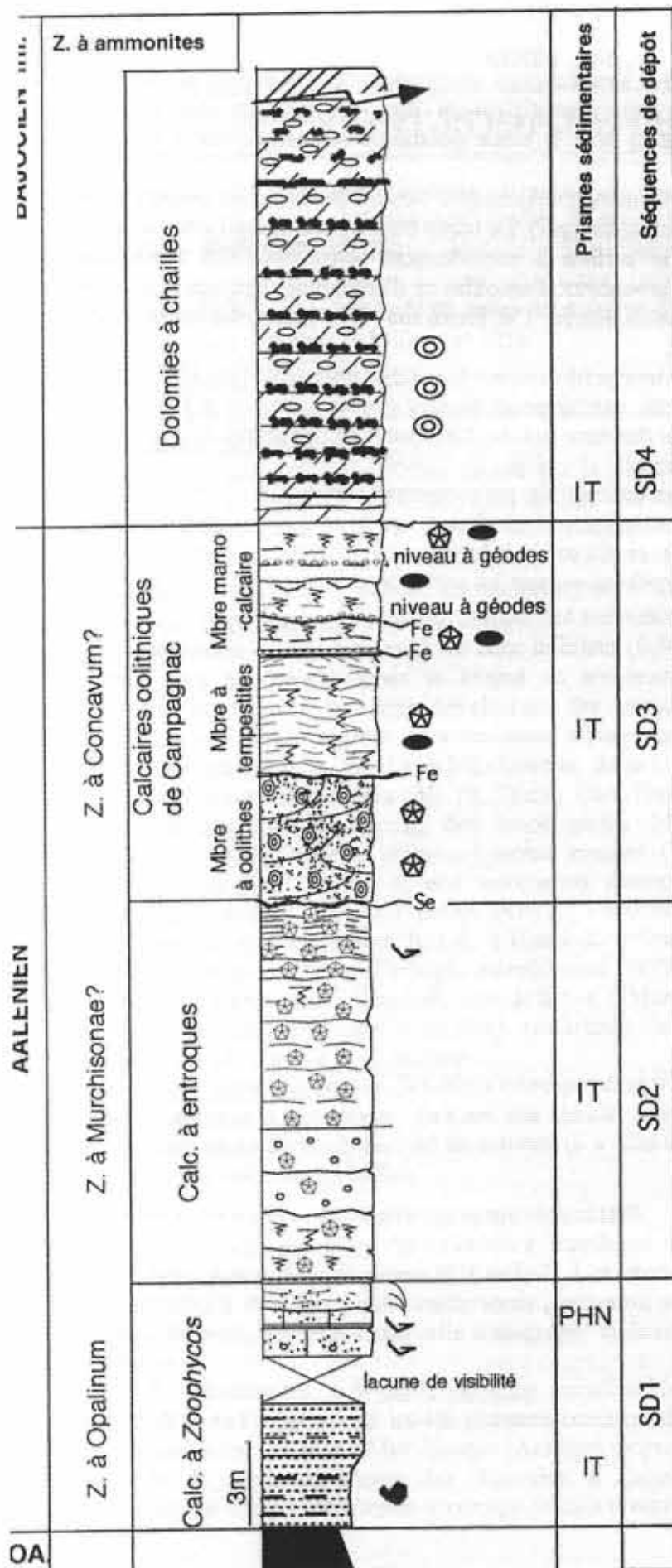
Stratigraphie séquentielle:

1- marnes et calcaires marneux (4-5m) à bancs lumachelliques à *Rhynchonelloidea ruthenensis* et *Belemnites* (zone à *Opalinum*), formant l'IT de SD1 (=To7);

2 - Calcaires *grainstone* à rares *Zoophycos*, réduits à quelques mètres (PHN probable de SD1),

3 - Calcaires marneux bleutés, bioturbés, stratodécroissants, très riches en débris d'articles d'Encrines ("Calcaires à entroques"), formant un ensemble de 8 à 10m d'épaisseur. Ils sont interprétés comme l'IT de SD2 (=Aa1) ; ils représentent l'équivalent des "Calcaires à *Zoophycos*" datés de la z. à *Murchisonae* (Aalénien moyen) ;

4 - Calcaires oolithiques, à stratifications obliques arquées de mégarides tidales (4m). Ce sont les "Calcaires oolithiques de Campagnac", bleutés, à texture *wackestone* à *grainstone*, bioclastiques très riches en entroques et à *Lenticulines*, Algues, Nubéculaires, Bryozoaires, Brachiopodes, Echinides, Serpules, Gastéropodes etc. Le contact est ravinant avec le terme précédent ;



CAMPAGNAC
Arrêt J 2-4



Fig. 23 : coupe de Campagnac

5 - Calcaires marneux (4m) à stratifications mammelonnées de dépôts de tempêtes (HCS). Les éléments représentés sont essentiellement des entroques et des oncoïdes soulignant les laminations. Le contact avec le terme oolithique se marque par une croûte ferrugineuse ;

6 - Calcaires marneux (4m) formant globalement 2 bancs séparés par un joint souligné par des figures sédimentaires (figures de charge?). Le bancs inférieur (2m) repose sur le terme précédent par l'intermédiaire d'une surface à encroûtement ferrugineux. Ils renferment essentiellement de petits débris charbonneux d'oncoïdes et d'entroques regroupées en fines lamines perturbées par une bioturbation intense. **Ces faciès sont très comparables à ceux de la "Minette de Muret-le-château".**

L'ensemble des termes 4, 5 et 6 est interprétés comme le cortège transgressif de SD3 (=Aa2), et l'équivalent des calcaires graveleux, oolithiques et bioclastiques à entroques et Bryozoaires des gorges de la Vis au Sud d'Alzon (bordure sud des Cévennes) datés par des Ammonites de la z. à Concavum (Aalénien supérieur) ;

7 - Les bancs qui suivent sont dolomitisés, mais montrent encore à la patine, des débris de Crinoïdes. Ils forment la base des **Dolomies à chailles** qui se développent au-dessus, sur 25 à 30m d'épaisseur, et dont les accidents siliceux (à la base des bancs) sont riches en oolites et bioclastes. Ces dolomies sont interprétées comme les cortèges sédimentaires d'une séquence de dépôt SD4

SAINT-ROME-DE-CERNON

Objet étudié : Base (Aalénien inférieur et moyen) de la série dilatée du Dogger des Grands Causses : les "Calcaires à *Zoophycos*" étudiés ici au niveau de l'intervalle condensé de la séquence de dépôt SD2 (=Aa1)

Localisation : Route nationale N.99 entre Saint-Rome-de-Cernon et La Cavalerie (Sud de Millau) / feuille à 1/50000 de Millau (n° 935)

Description de la coupe (fig. 24)

Le bas-côté de la route n'expose que des "Calcaires à *Zoophycos*" que nous subdiviserons en 3 parties :

- une partie inférieure (20m) formée par la succession monotone de bancs calcaires argileux assez calibrés. Le microfaciès est le plus souvent celui d'un dépôt de plate-forme distale, très souvent bioturbé, à spicules de Spongiaires et formes naines de foraminifères benthiques. Ces calcaires sont affectés par une silicification diffuse quelquefois exprimée par des chailles. La présence de résidus charbonneux (vitrinite) n'est pas rare.

- une partie moyenne (4 à 5m) comportant successivement (Ciszak *et al.*, 1999) :

- des calcarénites en bancs massifs ; le banc inférieur (0,50m) renferme des chailles, ceux du sommet sont très bioclastiques et livrent de nombreux Brachiopodes, Lamellibranches (trigones), Bryozoaires, Gastéropodes ainsi que des Ammonites ;

- deux interlits centimétriques plus marneux, séparés par un banc calcaire (0,10m). Des espèces des deux s.-z., à Haugi et à Murchisonae, de la z. à Murchisonae (Aalénien moyen), superposées, y ont été récoltées (dét. Ph. Fauré). Dans l'interlit marne-calcaire inférieur et les bancs calcaires qui l'encadrent, des brachiopodes (dét. Y. Alméras) [*Globirhynchia subobsoleta* (DAVIDSON), *Homoeorhynchia ringens* (V. BUCH), *Conarothyris walteri* ALMÉRAS et MOULAN)] et une association d'ammonites, dont *Staufenia* gr. *sinon* (BAYLE), *Ludwigia* (*Welchia*) *haugi* DOUV., *Ancolloceras* gr. *opalinoïdes* MAYER et *Pseudographoceras* sp. signent la s.-z. à Haugi (z. à *Opalinoïdes auct.*). L'interlit marneux supérieur (0,40m), renferme *Ludwigia murchisonae* (SOW), *L. (Welchia)* cf. *crassa* HORN, *Pseudographoceras* sp. et *G. subobsoleta* de la s.-z. à Murchisonae ;

- un banc de calcaire à chailles (0,30m), renfermant de rares ammonites et de nombreux brachiopodes (*H. ringens* et *C. walteri*).

- une partie supérieure (15-20m) correspondant à l'empilement de bancs calibrés de calcaires argileux à *Zoophycos*, incluant des chailles vers la base et des petites géodes de calcite donnant un aspect moucheté au sommet (8 à 10m d'épaisseur). La limite supérieure se situe sous des dolomies à chailles.

Interprétation en termes de stratigraphie séquentielle

1- La partie inférieure des calcaires à *Zoophycos* est interprétée comme le Prisme de Haut Niveau marin de la séquence SD1 (=To7). Les alternances marnes et calcaires marneux à lumachelles à *Rynchonelloidea ruthenensis*, présentes sous les calcaires, mais non-visibles en bord de route, forment l'intervalle transgressif et l'inondation maximale datés de la z. à *Opalinum*.

2- Les calcaires de la partie moyenne constitue l'intervalle transgressif (s.z. à Haugi) de la SD2 (=Aa1) ; le second interlit marneux correspond au maximum d'inondation dans la s.z. à Murchisonae de la z. à Murchisonae (Aalénien moyen) ;

3- La partie supérieure des "Calcaires à *Zoophycos*" à chailles plus ou moins fréquentes, est considérée comme le cortège de haut niveau marin de cette séquence SD2.

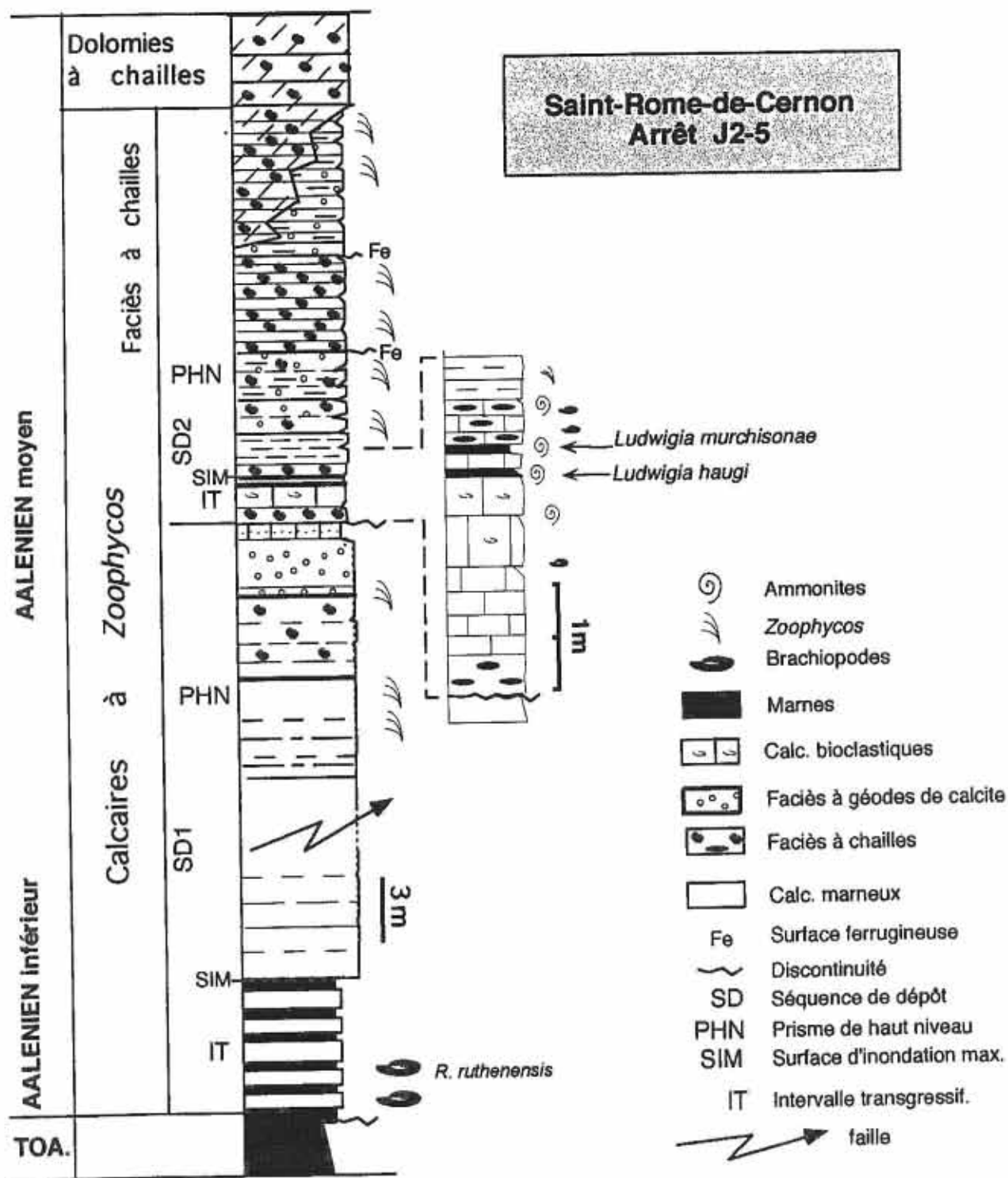


Fig. 24 : Coupe de Saint-Rome-de-Cernon

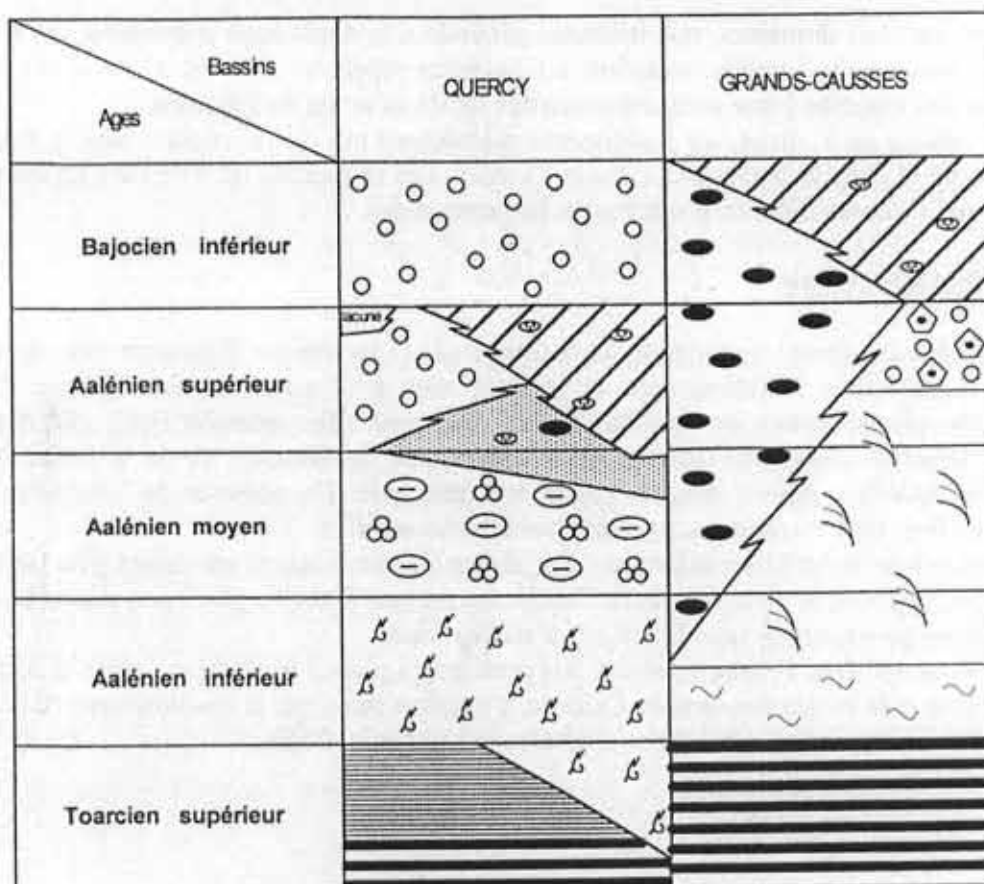
CONCLUSIONS

COMPARAISON ENTRE LE QUERCY ET LES GRANDS-CAUSSES

La comparaison des séries sédimentaires de l'intervalle Toarcien supérieur – Bajocien permet de relever les similitudes et les différences suivantes entre le Quercy et les Grands-Causse de l'Aveyron.

Faciès et paléoenvironnements

* Les faciès témoignent d'environnements plus distaux dans les Grands-Causse que dans le Quercy durant le Toarcien et l'intégralité de l'Aalénien ;



LEGENDE

- | | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

Fig. 25 : Corrélations stratigraphiques et répartition des faciès dans les formations datées du Toarcien supérieur-Aalénien-Bajocien inférieur le long d'un transect Quercy - Grands Causse.

* Contrairement au sous-bassin quercynois où la sédimentation enregistre un isolement progressif au début de l'Aalénien, le bassin des Grands-Causse ne témoigne d'aucun changement paléogéographique. Cette différenciation traduit une réduction des communications entre les domaines atlantiques et téthysiens et donc un rôle accru du seuil de Villefranche-de-Rouergue. La relative fermeture du sous-bassin quercynois est argumentée par le changement des associations de kystes de dinoflagellés qui sont d'affinité mixte (boréale et téthysienne) au Toarcien, et uniquement boréales à partir de l'Aalénien inférieur (Bucefalo *et al.*, 1997).

Evolution séquentielle

Dans les deux domaines, une tendance générale à la diminution d'épaisseur de la tranche d'eau s'observe du Toarcien supérieur à l'Aalénien supérieur. Elle est suivie d'une nouvelle mise en eau associée à une uniformisation des faciès au cours du Bajocien.

A l'échelle du 3^e ordre, les 3 séquences aaléniennes ont été reconnues dans le sous-bassin du Quercy et dans le bassin des Grands-Causse. Les séquences du Toarcien supérieur et du Bajocien, en cours d'étude, n'ont pas pu être comparées.

Evolution structurale

Dans le sous-bassin quercynois, la première phase tectonique distensive date de la limite entre la sous-zone à Fallaciosum et la sous-zone à Dispansum (discontinuité D.8). La deuxième phase, isolant ce sous-bassin, est diachrone (discontinuité D.9') : elle date de la limite Toarcien – Aalénien dans la partie centrale et méridionale, et de la limite Aalénien inférieur-Aalénien moyen dans la partie septentrionale. Du sommet de l'Aalénien moyen jusqu'au Bajocien, ce domaine présente une relative stabilité.

Dans le bassin des Grands-Causse, les phases de structuration paraissent plus tardives. La première, majeure, se situe à la fin de l'Aalénien moyen. Une (ou plusieurs) phase de moindre importance pourraient se manifester jusqu'au Bajocien.

Ce décalage dans l'enregistrement des principales phases tectoniques entre le sous-bassin quercynois et le bassin des Grands-Causse, s'exprime aussi par le diachronisme de la mise en place des faciès protégés du « Haut-fond Occitan » (Lézin, 2000).

ANNEXE

Contribution de l'analyse quantitative des faciès aux corrélations stratigraphiques, exemple du Toarcien supérieur-Aalénien dans le Quercy (SW France)

CARINE LEZIN¹, LOUIS BONNET², JACQUES REY¹, RENÉ CUBAYNES¹ et THIERRY PELISSIE¹

Contribution de l'analyse quantitative des faciès aux corrélations stratigraphiques, exemple du Toarcien supérieur-Aalénien dans le Quercy (SW France)

CARINE LEZIN¹, LOUIS BONNET², JACQUES REY¹, RENÉ CUBAYNES¹ et THIERRY PELISSIÉ¹

Mots clés. – Analyse multidimensionnelle, Toarcien supérieur – Aalénien, Faciès, Paléoenvironnements, Séquences génétiques, Corrélations stratigraphiques.

Résumé. – Les auteurs se proposent d'exposer les aspects méthodologiques et les résultats d'une analyse statistique des faciès de 4 coupes du passage Lias – Dogger dans le Quercy. Les variables prises en compte concernent à la fois le microfaciès (contenu biogène, non biogène et la texture) et les données de terrain (macrofaune, figures sédimentaires). Une Analyse des Correspondances Multiple suivie d'une classification automatique et appliquée au tableau des valeurs des variables dans les niveaux de prélèvement des quatre coupes permet de regrouper les niveaux dont les faciès sont proches et caractéristiques d'un environnement de dépôt particulier. L'interprétation des projections des variables et des échantillons sur les axes factoriels montre que l'axe 1 peut être considéré comme un gradient plate forme externe – plate forme interne, que l'axe 2 est corrélé à la diversité faunique et l'axe 4 à l'hydrodynamisme. L'axe 3, quant à lui, n'a pas pu être interprété. La distribution des valeurs des niveaux de prélèvement sur l'axe 1 est, dans notre interprétation, en relation avec les tendances transgressives et régressives. 13 demi-cycles transgressifs et régressifs ont été définis : 6 au Toarcien supérieur et 7 à l'Aalénien. Ce découpage séquentiel a permis de corréler les diverses coupes, facilitant ainsi la reconstitution de la géométrie des dépôts.

Contribution of statistical analysis of facies to stratigraphic correlations. Example from the Upper Toarcian and Aalenian in the Quercy area (SW France)

Key words. – Multidimensional analysis, Upper Toarcian – Aalenian, Facies, Palaeoenvironments, Genetic sequences, Stratigraphic correlations.

Abstract. – We aim at showing the results of a statistical analysis of sedimentary facies in four Upper Toarcian – Aalenian cross-sections, located in the Quercy area (NW Bassin aquitain). In a Multiple Analysis of Correspondences (MAC), different characters of both microfacies and macrofacies have been studied. An automatic clustering was applied in order to group the samples characteristic of the same palaeoenvironment. The first axis, of the MAC would be linked to the internal-external polarity of the platform, the second axis to the faunal diversity and the fourth one to the hydrodynamics. No interpretation can be given for the third axis. The FI – score series of the samples with chronological arrangement is linked with transgressive – regressive tendencies. A regression occurs from the Upper Toarcian until the Aalenian – Bajocian limit. Moreover, six transgressive – regressive half-cycles have been considered as belonging to the Upper Toarcian and seven to the Aalenian.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

This paper aims at giving a statistical analysis of sedimentary facies. Four sections of outcrops from the Upper Toarcian and the Aalenian series located in the eastern part of the Aquitaine ("Causses de Quercy") have been studied.

The variables take into account the data collected in the field (palaeontologic contents and sedimentary structures) as well as the ones collected in thin-sections (biological and non-biological elements, and texture). Twenty to thirty variables have been identified. These variables are either given as a percentage or as binary values (presence or absence). Thus, a table (variables × sample levels) including the data of the four outcrops, was the object of a Multiple Analysis of Correspondences (MAC) [Benzecri *et al.*, 1973 ; Saporta, 1990].

That MAC projects the variables and the samples into the factorial space according to their coordinates on the different axes. The MAC, plus an automatic clustering [Diday *et al.*, 1983] allows us to distinguish 4 sample groups with the first four axes as data. These four groups correspond to three well-characterized environments (groups I, II, IV) : – restricted nearshore environment (group I) marked by peloids, oncoids... ; – intermediate environment with higher hydrodynamics (group II) ; – open marine environments (group IV).

Each group is subdivided into several subgroups which define minor palaeoenvironmental units. For example, in the group I (restricted nearshore environment), the subgroup D associates the sampling levels of the subtidal zone.

The distribution of samples and variables on the factorial axes of MCA, allows us to explain three out of the four axes. The first axis might be linked to the internal-external polarity of the platform, the second axis to the faunal diversity and the fourth one to hydrodynamics. Because the first axis shows an internal-external gradient of the platform, the graph of the values along this FI axis with its stratigraphical arrangement should show the transgressive-regressive evolutions. The comparison of the FI-score series of the four sections shows the same general trend. A major regression appears from the Upper Toarcian to the Aalenian-Bajocian boundary [Pélissié, 1982 ; Lézin *et al.*, 1997]. A major palaeoenvironmental change occurred during the Aalenian period. This event corresponds to a transition from an external platform environment to an internal platform environment. After having studied minor variations on the graph compared with the unconformities, we can propose a sequential division. The Upper Toarcian series, accurately dated, have been subdivided into six transgressive-regressive half cycles. The same trends can be seen during the same chronological interval on most of the outcrops, except for the Gironic section, that is located on a shoal. In this last outcrop, the sedimentary record may be perturbed by the autocyclicity process of carbonate production.

¹ Dynamique des bassins sédimentaires, Université Paul-Sabatier, 39, allée Jules-Guesde, 31062 Toulouse cedex (France).

² Groupe de Biologie Quantitative, UMR 5552, Ecologie Terrestre, Université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex.

Manuscrit déposé le 23 octobre 1998 ; accepté après révision le 16 juin 1999.

So, the distribution of the sample coordinates in a chronological order shows the changes in the accommodation, in spite of the minor differences linked to the local situation. That is why, the same process was used to interpret the bad-dated Aalenian series. Seven half-cycles have been identified.

This new method, using objective data, is a means to identify the different palaeoenvironments, because of the main factors controlling the sedimentation; plus, it makes the stratigraphic correlations in the condensed and homogeneous carbonate series better and easier.

INTRODUCTION

Des travaux antérieurs démontrent qu'une analyse statistique de données paléontologiques (foraminifères, ostracodes) peut être utilisée pour identifier des discontinuités majeures et des séquences aux diverses échelles [Rey *et al.*, 1994; Cubaynes *et al.*, 1995; Bonnet *et al.*, 1999]. La nécessité de travailler sur des formes dégagées contraint cette démarche à n'être applicable qu'aux séries marneuses. Il était donc intéressant de rechercher pour le même objectif une démarche similaire adaptée aux faciès calcaires lithologiquement peu contrastés. Nous avons retenu plusieurs successions stratigraphiques et traité dans une analyse statistique les principales données du lithofaciès et du biofaciès nécessaires pour établir un découpage séquentiel cohérent [Homewood *et al.*, 1992].

Nous présentons ici les aspects méthodologiques de cette approche, illustrés par l'étude de quatre coupes datées du Toarcien supérieur et de l'Aalénien, dans le Quercy, au nord ouest du Bassin aquitain.

CADRE GÉOLOGIQUE

Au Lias, la région quercynoise (fig. 1) est occupée par un bassin triangulaire d'orientation générale nord-sud, compris entre les haut-fonds de Castelsarrasin - Montauban, à l'ouest, et le seuil de Villefranche-de-Rouergue, à l'est [Cubaynes, 1986]. Ce bassin se décompose en deux sous-bassins séparés par le haut-fond de Figeac-Capdenac d'orientation E-W. Des accidents de direction NNE-SSW, NW-SE et E-W subdivisent chacun d'eux en plusieurs blocs.

Nous retenons dans cette étude trois coupes situées dans le sous-bassin septentrional (coupes de La Gironie, de Lapoujade et de Thémines) et une caractéristique du sous-bassin méridional (coupe de Saint-Pierre-de-Livron). La coupe de La Gironie plus distale que les autres présente la particularité de se localiser au niveau d'un haut fond d'orientation N-S.

En ce qui concerne les environnements sédimentaires, une sédimentation de plus en plus carbonatée en domaine de plate-forme externe et en milieux infralittoraux (St-Pierre-de-Livron, Thémines et Lapoujade) à médiolittoraux (La Gironie) s'instaure au Toarcien supérieur. Elle laisse place progressivement, au cours de l'Aalénien, à une sédimentation de plate-forme protégée.

MÉTHODOLOGIE

Les 4 coupes précitées ont été retenues parce qu'elles présentent un calage chronostratigraphique précis, une succession relativement continue et parce qu'elles sont situées dans des environnements différents. Le caractère relativement condensé des séries a nécessité un pas de prélèvement serré (de l'ordre du centimètre), hormis dans les niveaux dolomitiques où il a été variable à cause de l'homogénéité relative de la lithologie. L'analyse quantitative des faciès nous a amené à utiliser des variables faciologiques (données de terrain) et des variables microfaciologiques (analyse de plaques minces). Plusieurs dizaines de variables (de 20 à

30 selon les coupes), qualifiées de descripteurs, ont ainsi été définies. Nous avons pris en compte :

- contenu macropaléontologique (gryphées, ammonites, brachiopodes);
- contenu micropaléontologique (foraminifères benthiques [nodosariidés, *Planitrochammina* sp., *Ophthalmodiscus* sp., verneuilinoïdés], gastéropodes, dentales, dasycladales);
- éléments biogènes (bioclastes de lamellibranches, d'échinodermes, de brachiopodes) et non biogènes (biopelolithes de nubéculaires, peltoïdes, bahamithes - ou oolithes de type 1 d'après Strasser [1986] -, oolithes ferrugineuses, fantômes d'oolithes, silts quartzux, glauconie, géodes de calcite et géodes de quartz);
- figures sédimentaires (stratifications obliques, rides asymétriques...);
- texture (micrite, sparite et dolomie).

Les données de microfaciès ont été quantifiées sous forme de pourcentages à l'aide d'une charte visuelle. En ce qui concerne les variables faciologiques, seule leur absence et leur présence ont été considérées. Un tableau (tab. I) croisant les unités statistiques (niveaux de prélèvements) et les variables (descripteurs binaires et effectifs) et regroupant les informations des quatre coupes, a fait l'objet d'une Analyse des Correspondances Multiple (ACM); [Benzecri *et al.*, 1973; Saporta, 1990].

Le choix de l'ACM est justifié pour les raisons suivantes :

- elle permet de considérer à la fois des données binaires et quantitatives qui peuvent être « éclatées » en classes;
- elle offre la possibilité de projeter simultanément des descripteurs et des unités statistiques;
- elle permet la mise en évidence de liaisons non linéaires entre variables et entre variables et axes factoriels.

RÉSULTATS

Le résultat de l'ACM permet de projeter dans l'espace factoriel aussi bien les variables (fig. 2, 3) que les niveaux de prélèvement en fonction de leurs coordonnées sur les différents axes (tab. II, fig. 4 et 5). L'interprétation de cette analyse se réalise en plusieurs étapes :

- identification des divers groupes de faciès au moyen d'une classification hiérarchique des niveaux de prélèvement, chaque groupe étant rattaché à un environnement distinct;
- interprétation des axes factoriels argumentée par la répartition sur chacun des axes, d'une part des variables et d'autre part des divers groupes de faciès préalablement identifiés;
- analyse chronologique des diagrammes des valeurs (scores) des unités statistiques (niveaux de prélèvement) sur les divers axes.

Analyse des Correspondances Multiple et classification hiérarchique

La classification hiérarchique [Diday *et al.*, 1983], utilisée comme critère d'agrégation le moment d'ordre 2 et comme données les 4 premiers axes de l'ACM. Elle permet d'ider

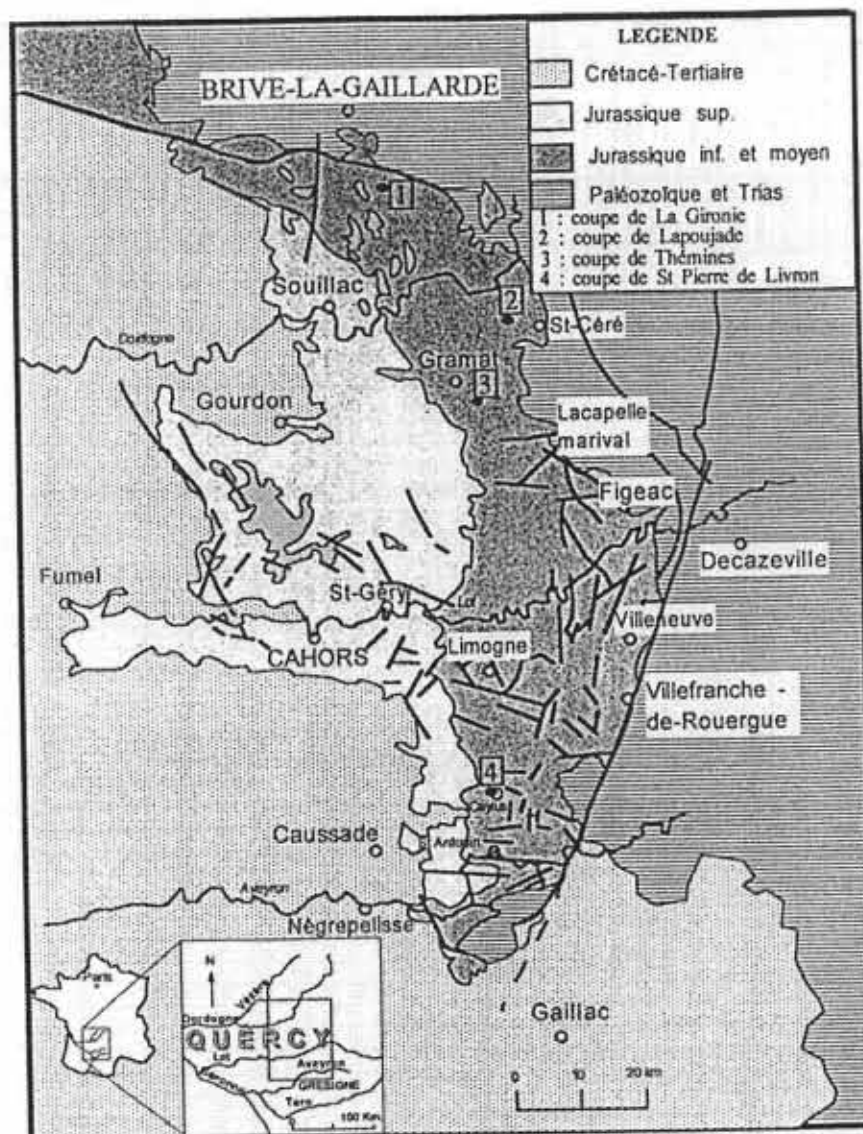


FIG. 1. - Cadre géographique et géologique de la région étudiée.

FIG. 1. - Location map of the studied area.

tifier quatre groupes de niveaux de prélèvement, chacun subdivisé en plusieurs sous-groupes. Ces groupes associent les échantillons appartenant au même domaine de sédimentation. Ils permettent de distinguer les paléoenvironnements suivants (tab. II) :

- domaines de plate-forme interne (groupe I) légèrement confinés, proximaux, caractérisés par des bahamithes [Purser, 1983], des pelitoïdes, des biopisolithes, des verneuilinoïdes, des dasycladales (*Holosporella* sp.) et une texture micritique à localement sparitique ;
- domaines de plate-forme externe (groupe IV), ouverts, distaux, caractérisés par des ammonites, des gryphées, des brachiopodes, des oolites ferrugineuses et une texture micritique ;

- domaines intermédiaires de haute énergie (groupe II) caractérisés (G et H) par une texture sparitique et par l'abondance en bioclastes, essentiellement des fragments d'échinodermes.

Le groupe III, quant à lui, associe les niveaux qui ont subi une importante dolomitisation secondaire aux niveaux à faible diversité faunique ; il n'est pas interprétable en termes de paléoenvironnement.

Chaque sous-groupe comprend des niveaux de prélèvement possédant des caractéristiques faciologiques très proches (tab. II) et permet d'identifier les divers milieux d'un même domaine sédimentaire. Par exemple, dans le groupe I, le sous-groupe D présente des indices faciologiques (biomicrite wackestone à packstone, dasycladales, pelitoïdes,

TABLE 1. – Tableau (niveaux de prélèvement $\times$ descripteurs binaires et effectifs) synthétisant les données de la coupe de Lapoujade.
TABLE 1. – Table (samples $\times$ variables) grouping data of Lapoujade cross-section.

Echantillon/Variation	Éléments non biogènes										Éléments biogènes										Texture	
	Pelletolites	Biopisolithes	Bahamites	Oolithes fer ou phosph.	Fantômes d'oolites	Silts quartzites	Glaucosites (PA)	Glaucosites (PA)	Glaucosites (PA)	Glaucosites (PA)	Bioclastes	Foraminifères	Matunite	Macrofaune	Brachiopodes	Micrite (1), dolomite (3)	Stratifications obliques					
L41b	0	0	0	0	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
L40b	0	1	0	0	15	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0					
L39b	10	0	0	0	7	1	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0					
L38b	10	2	1	0	0	1	0	0	5	2	0	3	0	0	2	2	3					
L37b	10	2	1	0	0	1	0	0	2	2	0	2	0	1	10	2	3					
L36c	30	3	2	0	0	1	0	0	3	2	1	0	0	2	2	1	2					
L36b	30	6	2	0	0	1	0	0	2	3	0	2	0	0	0	1	1					
L35b	35	0	0	0	0	1	0	0	2	3	1	0	0	0	1	0	0					
L34b	28	0	0	0	0	2	0	0	2	8	0	0	0	0	2	1	0					
L31b	10	3	0	0	2	0	0	0	3	4	0	0	0	0	3	0	0					
L29b	15	0	0	0	0	2	0	0	7	7	1	0	0	0	2	2	0					
L27b	25	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	1	10	1	0					
L26b	15	10	0	0	0	5	0	0	2	3	1	0	0	0	2	1	0					
L25b	15	0	0	0	0	5	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0					
L24b	10	2	0	0	0	5	0	0	6	8	0	0	0	0	2	2	0					
L22b	10	3	0	0	0	3	0	0	3	3	2	3	0	1	15	2	2					
L21b	20	2	0	0	0	10	0	0	2	5	2	0	1	0	1	2	1					
L19b	10	1	0	0	0	10	0	0	2	7	1	0	0	1	2	2	2					
L18b	15	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0	0	0	0	2	10	2					
L15b	7	0	0	0	0	1	0	0	2	5	0	0	0	2	7	2	2					
L14b	3	1	0	0	0	1	0	0	2	7	1	0	1	2	10	2	2					
L13b	5	1	0	0	0	1	0	0	2	7	1	0	0	1	3	2	1					
L11b	0	0	0	0	0	2	0	0	3	30	1	0	0	0	2	0	0					
L09b	0	0	0	0	0	2	0	0	2	30	0	0	0	0	0	0	0					
L08b	1	0	0	0	0	2	0	0	5	20	2	0	0	0	1	0	0					
L07b	0	0	0	0	0	2	0	0	7	30	1	0	0	0	1	2	0					
L04b	0	0	0	0	0	2	0	0	7	15	2	0	0	0	2	0	0					
L02b	0	0	0	0	0	1	0	0	3	30	0	0	1	0	0	1	0					
L28a	0	0	0	0	0	1	0	0	3	20	2	0	0	0	1	0	1					
L26a	0	0	0	0	0	1	0	0	5	30	2	0	0	0	1	0	0					
L24a	0	0	0	0	0	1	0	0	15	30	0	0	0	0	1	2	0					
L21a	0	0	0	0	0	1	1	0	15	20	0	1	0	0	2	0	1					
L20a	0	0	0	1	0	1	0	0	5	7	0	1	0	0	1	0	0					
L18a	0	0	0	0	0	1	0	0	15	5	1	1	1	0	0	1	0					
L16a	0	0	0	0	0	1	0	0	10	15	2	0	2	0	0	1	0					
L14a	0	0	0	2	0	2	1	0	10	2	1	0	0	1	0	1	0					
L13a	0	0	0	0	0	2	1	0	7	3	2	1	0	0	1	1	0					
L12a	0	0	0	1	0	1	1	0	10	2	0	1	0	0	1	0	1					
L10a	0	0	0	2	0	7	0	0	5	2	1	0	0	0	1	0	0					
L07a	0	0	0	1	0	2	1	0	7	7	0	0	0	0	1	0	0					
L05a	0	0	0	2	0	1	1	0	15	5	0	0	0	0	1	0	0					
L03a	0	0	0	0	0	2	1	0	7	3	1	1	0	0	1	1	0					

biopisolithes) qui indiquent le milieu de plate-forme interne subtidal.

Interprétation des axes factoriels

Distribution des variables

L'interprétation des axes factoriels (facteurs) est basée principalement :

- sur la position relative, dans l'espace factoriel, des points représentant les descripteurs (caractères, classes de variables) et les unités statistiques (niveaux de prélèvement);
- sur l'identification des variables apportant une forte contribution à la formation des axes (C) et présentant avec ceux-ci une corrélation élevée. L'intensité de cette liaison (linéaire ou non) est mesurée par le rapport d'inertie R^2

(équivalent à un coefficient de détermination) et l'hypothèse nulle $R^2 = 0$ (indépendance entre variable et facteur) est testée par la probabilité P_F de dépassement de la valeur de la statistique F de Fisher-Snedecor. Pour toutes les variables citées, la probabilité P_F est inférieure à 0,01 (corrélation hautement significative);

- sur l'existence d'oppositions majeures entre éléments projetés dans l'espace factoriel.

Les interprétations proposées sont les suivantes.

- **Axe 1.** – Deux associations paléontologiques s'opposent très nettement (fig. 2, 3). La première, à coordonnées négatives, inclut les biopisolithes ($C = 10,1\%$; $R^2 = 0,58$), les pelletolites (9,2; 0,53), les foraminifères benthiques tel que les verneulinoidés (10,8; 0,62), *Planolites* sp. (10,7; 0,62) et *Ophthalmodium* sp. (8,3; 0,48), les bala mites (7; 0,4), les spicules de spongiaires (4,7; 0,27), le

TABLE II. - Mise en évidence de groupes et de sous-groupes de faciès au moyen de la classification hiérarchique des unités statistiques et caractéristiques faciologiques de chacune de ces associations.

S51 signifie que l'échantillon considéré a été prélevé dans le banc S1 de la coupe de la Gironie. Les lettres S, L et T correspondent respectivement aux coupes de Saint-Pierre-de-Livron, de Lapoujade et de Thémines. Sur les coupes de Lapoujade et de Saint-Pierre-de-Livron ont été dissociés par une lettre en minuscule, les échantillons datés du Toarcien supérieur (a, exemple : S06a) et les échantillons datés de l'Aalénien (b et c, exemple : S06b).

TABLE II. - Groups and subgroups of sampling levels defined by a hierarchical clustering and faciological characteristics of each association.

Groupes	Sous-groupes	Niveaux de prélèvement	Caractéristiques faciologiques	Milieux de dépôts
I	A	G51, G50, G49, G48, G47, G45	bioparite granulaire à abondantes bahamites et quelques biopisolithes	Plate forme interne
	B	G46, G44, G43, G42, G41, G40, L38b, L37b, L36c, L36b, S32b	biomonte à bioparite pockstone à grain fin - abondants biopisolithes et rares bahamites	
	C	L27b, L21b, L19b, L18b, L15b, L14b, L13b, S21b, S18b, T44, T43, T39, T29	biopelmonte à abondants foraminifères composés localement de spirales de spongiaires et de biopisolithes	
	D	L22b, S31b, S25b, S24b, S22b, T33	biomonte wackestone à packstone composée d'abondantes dactylocladées et/ou spirales de spongiaires et/ou vermiculorés, de quelques pelliclades et biopisolithes	
II	E	G39, G37, L29b, L07b, L02b, L28a, L24a, S12b, S10b, S08b, S06b, T41, T27	packstone-grainstone accumulation de microbiofossiles en cours de micritisation	Domaine intermédiaire
	F	L35b, L34b, L31b, L26b, L25b, L24b, S15b, T42, T31	biopelmonte riche en quartz localement et pauvre en bioclastes et en foraminifères	
	G	G38, G33, G32, G31, G30, G29, G28, G27, G25, G23, G22, G19, G18, G17, G15, G12, G04, L11b, L08b, L26a, T26	bioparite granulaire à condensation de fragments d'échinodermes	
	H	G26, G24, G16, G14, G13, G11, G10, G09, G06, G05, L04b	bioparite granulaire : concentration d'échinodermes et structures amalgamées	
III	I	G36, G35, G34, G03, G02, G01, L09b, S39b, S38b, S37b, S34b, T37	Niveaux dolomitisés ou à faible diversité faunique	Pas interprétable en terme d'environnement de dépôts
	J	L41b, L40b, L39b, S49b, T47, T46, T45	T45, S49b, L40b et L41b : doloparite à fantômes d'oides	
IV	K	G21, G20, G07, L21a, L20a, L18a, L16a, L13a, L05a, L03a, S20a, S18a, S06a, S04a, T22, T19	biomonte pack-grainstone à acmonites et composée localement d'oolithes ferrugineuses	Plate forme
	L	L14a, L12a, L10a, L07a, S16a, S13a, S11a, S07a, T24, T17, T15, T13, T12, T10, T09, T07, T05, T02	biomonte wackestone-packstone à abondantes ammonites	Externe

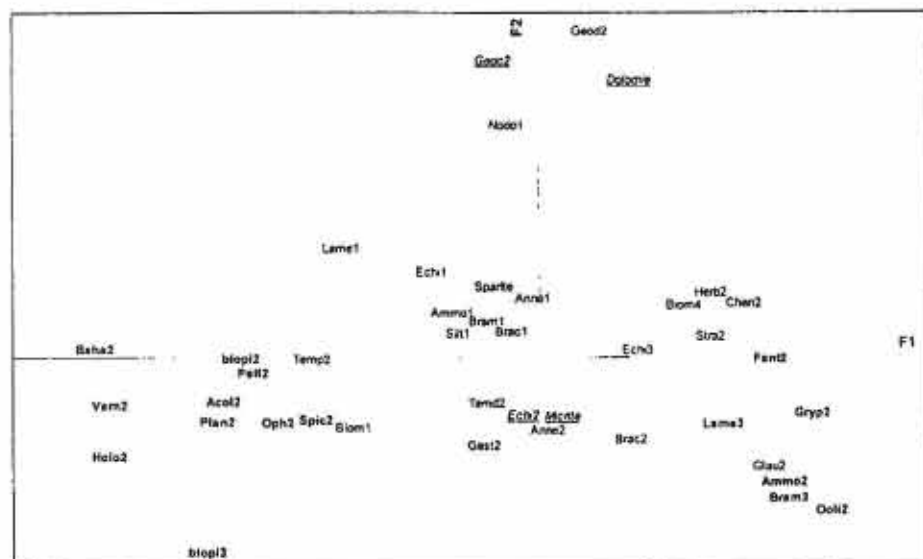


FIG. 2. - Projection des variables sur le plan principal (axes F1 et F2).

Pour plus de clarté, certaines classes de variables peu représentatives n'ont pas été figurées.

Acol : Dentales; Ammo : ammonites; Anne : annélides; Baha : bahamites; Biof : bioclastes frais; Biom : bioclastes matures; Biopi : biopisolithes; Brac : bioclastes de brachiopodes; Bram : brachiopodes (macrofaune); Chen : hummocky cross stratification; Echi : échinodermes; Fant : fantômes d'oolithes; Geoc : géodes de calcite; Geod : géodes de quartz; Gast : gastéropodes; Glau : glauconie; Gryp : gryphées; Herb : herringbone; Holo : *Holosporella* sp.; Lame : lamellibranches; Nodo : nodosariidés; Ooli : oolites ferrugineuses; Ophi : *Ophiuridium* sp.; Pell : pelliclades; Plan : *Planitrochites* sp.; ride : rides asymétriques; silt : Silt quartzueux; Spic : spicules de spongiaires; Stra : stratifications obliques; Tempd : figures de tempêtes distales; Temp : figures de tempêtes proximales; Texture : micrite, sparite et dolomie; Vern : vermiculorés. Chaque variable est accompagnée d'un indice : classe 1, absence; classe 2 présence dans le cas d'un descripteur binaire ou densité moyenne; classe 3 et 4, abondance.

Les classes des variables « en caractères gras » sont celles qui contribuent le plus à la formation de l'axe 1. Les classes des variables soulignées et dont les caractères sont en italiques sont celles qui apportent une forte contribution à la formation de l'axe 2.

FIG. 2. - Representation of variables in the space of the first two axes (F1, F2).

Each variable followed by a number gives the class of that variable : class 1 : absence; class 2 : presence or the average density; class 3 and 4 : abundance.

The classes of variables in bold type are those that contribute most to the formation of the first axis. The classes of variables that have been underlined and whose words are in italics are those that contribute most to the formation of axis 2.

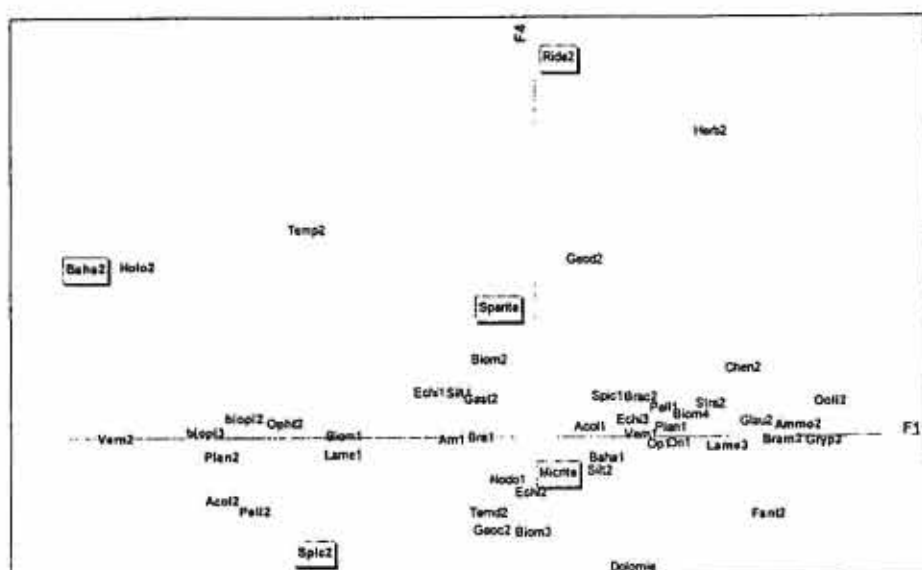


FIG. 3. – Projection des variables sur le plan des axes F1 et F4.

Les classes des variables encadrées sont celles qui apportent la plus forte contribution à la formation de l'axe 4.

FIG. 3. – Representation of variables in the space of the axes F1 and F4.

The classes of variables that have been outlined in black are those that contribute most to the formation of axis 4.

dentales (3,8; 0,22) et les dasycladales (*Holosporella* sp.) (3,2; 0,19). La seconde association, à coordonnées positives, se compose des ammonites (5,0; 0,29), des lamellibranches (5,3; 0,31), des gryphées (2,4; 0,14), des fantômes d'oolithes (2,0; 0,11), des oolithes ferrugineuses (2,4; 0,14) et des brachiopodes (3,8; 0,22).

La première association est caractéristique de milieux peu profonds (zone photique) ce qu'indique la présence de dasycladales et de biopisolithes, et à hydrodynamisme faible de plate-forme protégée (présence de foraminifères limicoles tels que les verneulinoidés [Septfontaine, 1977]).

La seconde association, avec des gryphées, brachiopodes et ammonites, est typique de milieux ouverts, plus ou moins profonds et à hydrodynamisme variable (faible pour les gryphées et les brachiopodes, et fort pour les oolithes ferrugineuses) de plate-forme externe.

– **Axe 2.** – Selon cet axe (fig. 2), les nodosariidés et la micrite (valeurs négatives), s'opposent très nettement à la dolomie et aux géodes de calcite. Sur le même axe, la plupart des variables (points représentatifs des présences) se regroupent dans les valeurs négatives.

L'influence de la dolomitisation secondaire sur l'axe F2 est telle qu'elle efface, dans certains niveaux, la majorité des descripteurs. Ceci explique l'opposition observée entre la dolomie et la plupart des autres variables. Cependant, un gradient de diversité faunique apparaît dans les niveaux qui ne sont pas affectés par la dolomitisation. Les peuplements les plus variés possèdent les coordonnées négatives les plus fortes.

– **Axe 3.** – Il oppose la dolomie, les ammonites, les brachiopodes, la micrite, les fantômes d'oolithes, les oolithes ferrugineuses, les gastéropodes et les géodes silico-calcitiques (coordonnées négatives), aux H.C.S., échinodermes, lamellibranches, nodosariidés et à la sparite (coordonnées positives).

Nous ne pouvons pas proposer une interprétation de cet axe car nous n'avons pas pu mettre en évidence de relations entre les diverses variables associées.

– **Axe 4.** – La texture et les figures sédimentaires contribuent le plus à la formation de F4 (fig. 3). Sur cet axe la micrite, les spicules de spongiaires et les bioclastes matures s'opposent très significativement aux rides asymétriques, aux bahamithes et à la sparite. L'axe 4 correspond vraisemblablement à un gradient d'énergie.

Distribution des niveaux de prélèvement sur les différents axes factoriels

La projection sur les 3 axes des divers sous-groupes de faciès obtenus par la classification hiérarchique (tab. II) et qui ont été préalablement interprétés en termes de paléoenvironnements, est représentée dans un diagramme bidimensionnel (fig. 4 et 5). L'étendue de leur distribution sur chacun des axes peut être synthétisée (fig. 6). L'interprétation, établie ci-dessus, des axes factoriels 1, 2 et 4 est confirmée par l'examen de cette répartition.

Par exemple, le faciès caractéristique du sous-groupe L correspond à une biomicrite wackestone à packstone à forte diversité faunique (tab. II) et à ammonites abondantes. Par comparaison avec les autres groupements appartenant à des environnements de plate-forme ouverte (E, G, H, K), l'analyse de faciès permet de considérer que ce sous-groupe présente les caractéristiques du milieu le moins énergétique et le plus profond. Effectivement, la position des unités statistiques de ce sous-groupe sur l'axe 1 signale le milieu le plus externe, sur l'axe 2 un milieu à forte diversité faunique et sur l'axe 4, un milieu à hydrodynamisme relativement faible. Le même raisonnement peut être appliqué aux autres sous-groupes. Ceci conforte la validité de l'interprétation des divers axes.

Ainsi, l'axe 1 serait lié au gradient plate forme externe – plate forme interne, l'axe 2 à la diversité faunique et l'axe 4 à l'hydrodynamisme.

Diagrammes des coordonnées factorielles des unités statistiques

L'axe 1 exprimant la polarité interne-externe de la plate forme, la distribution des valeurs des unités statistiques sur

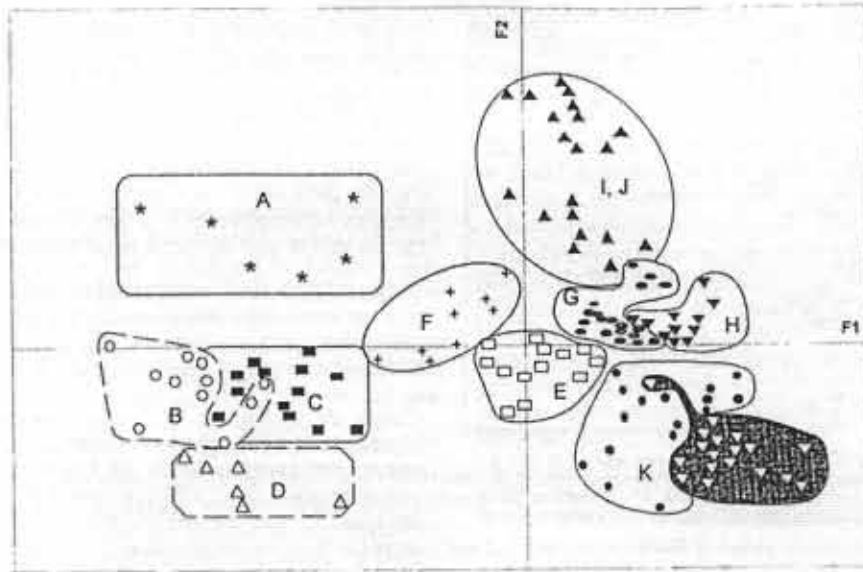


FIG. 4. - Projection des niveaux de prélèvement sur le plan des axes F1 et F2.

A, B, C... : Sous-groupes déterminés par la classification du moment d'ordre 2.

FIG. 4. - Representation of samples in the space of the first two axes F1 and F2.

A, B, C... : Subgroups determined by a hierarchical clustering of the second order moment with the first 4 axes of the MAC, as data.

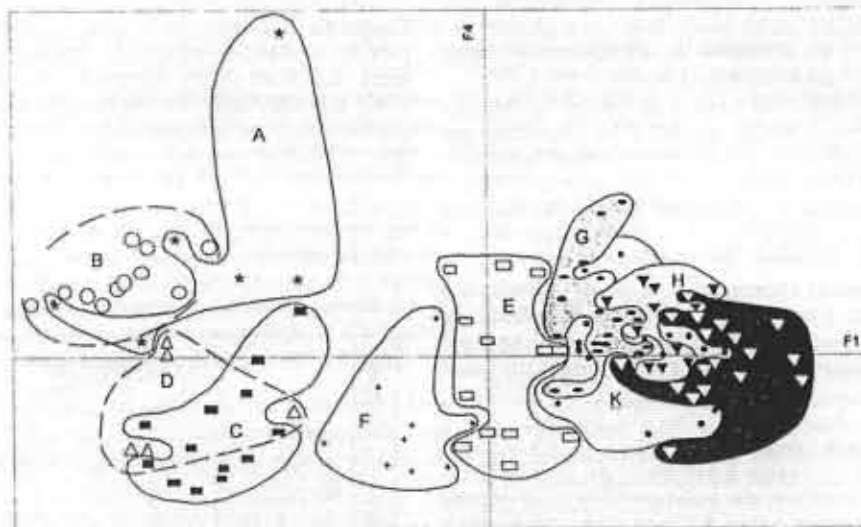


FIG. 5. - Projection des niveaux de prélèvement sur le plan des axes F1 et F4.

A, B, C... : Sous-groupes déterminés par la classification du moment d'ordre 2. Les sous-groupes I et J et les niveaux de prélèvement représentatifs n'ont pas été reportés sur cette figure. Chaque symbole (+, ...) représente un niveau de prélèvement. Les numéros d'échantillons composant chaque sous-groupe sont indiqués dans le tableau I.

FIG. 5. - Representation of samples in the space of axis F1 and F4.

A, B, C... : Subgroups defined by a hierarchical clustering of second order moment with the first 4 axis of the MAC, as data. Each symbol represents sampling level. The samples number included in each subgroup are given in the table I.

cet axe devrait montrer les tendances transgressives et régressives aux divers ordres qui se succèdent au cours du temps.

La succession des coordonnées des échantillons d'une coupe, sur l'axe 1, dans l'ordre chronologique s'exprime sous forme de diagramme. La comparaison des 4 diagrammes, correspondant aux 4 coupes, montre une évolution comparable d'une coupe à l'autre. Une tendance régressive majeure se manifeste à partir du Toarcien supérieur jusqu'à la limite entre l'Aalénien et le Bajocien comme cela avait

été précédemment signalée par Pélissier [1982] et Lézin *et al.* [1997]. Un changement environnemental majeur, correspondant au passage de milieux de plate-forme externe à des milieux internes se produit au cours de l'Aalénien. Ce phénomène se traduit, sur les quatre diagrammes, par une évolution dans le temps des coordonnées des niveaux de prélèvement des valeurs positives vers des valeurs négatives.

Les changements de tendances mineurs permettent, eux, de proposer un découpage séquentiel qui peut être renforcé

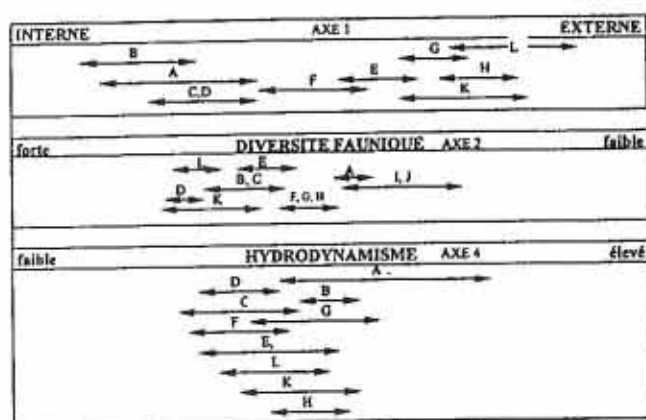


FIG. 6. – Répartition des sous-groupes d'unités statistiques (niveaux de prélèvement) le long des axes 1, 2 et 4. Les lettres A à L désignent les sous-groupes de niveaux de prélèvement définis dans le tableau II.

FIG. 6. – Distribution of subgroups of sampling levels on the axes 1, 2 and 4.

par un retour aux données de terrain qui n'ont pas été prises en compte dans le traitement statistique (caractéristiques des discontinuités, stratonomie...). Les tendances s'expriment, de la manière suivante : la valeur croît lors des phases transgressives, le maximum d'inondation étant matérialisé par un pic positif (valeur maximale). Lors des phases régressives, elle décroît ; les surfaces de transgressions sont ainsi caractérisées par des pics négatifs.

L'application de ce raisonnement à la coupe de Lapoujade, nous a conduit à distinguer, pour le Toarcien supérieur bien daté et permettant des corrélations biostratigraphiques rigoureuses, six demi-cycles transgressifs ou régressifs (fig. 8). Ces derniers présentent les caractéristiques suivantes.

– **Le premier demi-cycle**, transgressif, daté de l'horizon à *Pseudoradiosa* annonce l'arrivée des premières gryphées (de petite taille). Le maximum d'inondation est souligné par un niveau à concentration en gryphées surmontant un liseré argileux marron.

– **Le second demi-cycle**, régressif, est daté de l'horizon à *Mactra*. Il correspond à l'assise à gryphées de grande taille. La limite supérieure (surface de transgression) correspond à un niveau de marnes argileuses à faune remaniée et fragmentée qui renferme localement du lignite.

– **Le troisième demi-cycle**, transgressif, est daté de l'horizon à *Celtica*. Il se caractérise par une apparition très significative de brachiopodes (*Homoeorhynchia cynocephala* et *Zeilleria (Z.) lycetti*). Ces calcaires légèrement plus argileux que précédemment montrent une forte abondance en ammonites. Le sommet est souligné par un liseré argileux ferrugineux et, localement, par la présence de lignite.

– **Le quatrième demi-cycle**, régressif, est daté de l'horizon à *Crinita*. Ces calcaires associent quelques brachiopodes et lamellibranches.

– **Le cinquième demi-cycle**, transgressif, est daté de l'horizon à *Lugdunense* et de la base de l'horizon à *Buckmani*. Il débute par un niveau de marnes argileuses ferrugineuses à concentration d'ammonites qui est surmonté par des calcaires argileux pauvres en brachiopodes et en lamellibranches.

ches mais très riches en ammonites. Le sommet est souligné par un petit niveau de marnes ferrugineuses.

– **Le sixième demi-cycle**, régressif, est daté de l'horizon à *Buckmani*. Ces calcaires bioclastiques grainstone se caractérisent par la présence de terriers parallèles à la stratification indiquant un faible taux de sédimentation. Le sommet correspondant à la limite entre Toarcien et Aalénien est surmonté par des calcaires argileux noduleux.

La validité de l'interprétation et le potentiel de corrélation peuvent être argumentés par la comparaison avec le diagramme des valeurs sur F1 des unités statistiques des trois autres coupes étudiées (fig. 7).

Coupe de Thémis. – les mêmes cycles transgressifs et régressifs qu'à Lapoujade sont identifiables ; toutefois la phase transgressive datée de l'horizon à *Celtica* ne s'individualise pas. Deux explications pourraient être proposées : ou bien le taux de sédimentation augmente durant cet intervalle (baisse progressive de la concentration en brachiopodes) engendrant une diminution locale de l'espace disponible en phase transgressive ; ou bien le manque d'échantillon dans la partie sommitale de l'horizon n'a pas permis d'enregistrer totalement l'évolution du milieu. Effectivement, les caractères faciologiques du dernier niveau (marnes argileuses à condensation en ammonites et en croûtes ferrugineuses) signalent bien un approfondissement.

Coupe de St-Pierre-de-Livron. – La série montre les mêmes pics et tendances, calés sur les mêmes horizons d'ammonites. Le demi-cycle régressif daté de l'horizon à *Crinita* n'est pas exprimé dans le diagramme. Il n'est en effet représenté que par un seul banc qui n'a pas été pris en compte dans l'analyse statistique.

Coupe de La Gironie. – Cette coupe est plus distale que les autres ; mais elle se localise au niveau d'un haut fond (faciès de haute énergie). Cette position est à l'origine des

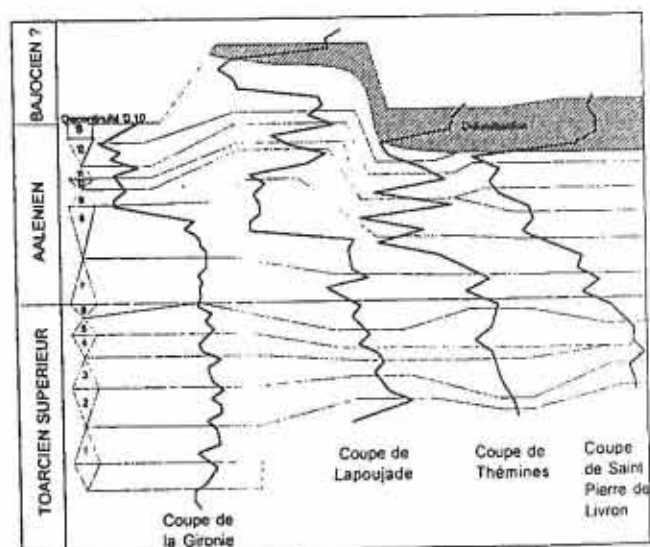


FIG. 7. – Diagrammes des coordonnées des unités statistiques de chacune des coupes, sur l'axe 1 de l'Analyse des Correspondances Multiple et proposition d'un découpage séquentiel.

FIG. 7. – Graphs showing the evolution of the level sampling coordinate of La Gironie, Lapoujade, Thémis and St Pierre de Livron's cross-sections on the first axis and sequential evolution.

perturbations dans l'enregistrement sédimentaire (lacune de sédimentation et/ou d'érosion, processus autocyclique de production carbonatée). La tendance générale régressive au Toarcien supérieur ne s'observe pas. Les pics positifs et négatifs sont plus nombreux et certains sont opposés par rapport à ceux des autres coupes.

Malgré les différences observées, liées aux aléas de l'échantillonnage et au contexte local, on peut considérer que le graphique des valeurs des unités statistiques sur l'axe 1 reproduit assez fidèlement les variations de l'espace disponible et – si le taux de sédimentation est faible et régulier – les tendances transgressives et régressives.

Ce raisonnement, appliqué au Toarcien supérieur bien daté, peut être étendu à l'Aalénien composé de dépôts mal datés et difficiles à corréler. Sept demi-cycles ont été distingués (fig. 7, 8 et 9) :

– *Le septième demi-cycle*, transgressif, est daté de l'horizon à Opalinum. Sa surface basale est soulignée soit par un niveau de marnes sableuses ferrugineuses (La Gironie), soit par une surface érosive (St-Pierre-de-Livron). À La Gironie, l'homogénéité du faciès semble liée à un taux de sédimentation élevé. À Thémis, les biosparites grainstone passent vers le haut à des biomicrites packstone qui soulignent un léger approfondissement.

La surface sommitale, identifiée dans le diagramme sur l'axe 1 et dans toutes les coupes, par un pic positif, se matérialise par un niveau de remaniement surmonté par un liseré argileux (St-Pierre-de-Livron) ou par une surface érosive de faible amplitude (Lapoujade).

– *Le huitième demi-cycle*, régressif, correspond à des calcaires bioclastiques à accumulation de fragments d'échinodermes (La Gironie, Lapoujade). Le sommet de ce niveau est souligné par un changement faciologique significatif sur les 4 coupes et sur les graphes par un pic négatif. Ce changement, signalé par l'apparition des premiers biopisolithes associés localement à des pellectoïdes, correspond au passage d'une sédimentation en domaine externe (ou rampe non barrée) à une sédimentation en domaine interne (ou à communication réduite avec la mer ouverte). Il s'exprime sur les 4 diagrammes par une forte décroissance des valeurs.

– *Le neuvième demi-cycle*, transgressif, se manifeste dans une alternance marnes-calcaires (Thémis, Lapoujade) par une augmentation de la fraction argileuse qui souligne un approfondissement en milieu subtidal. Cette phase transgressive, bien marquée sur ces deux premières coupes, est par contre moins accentuée à Saint-Pierre-de-Livron et à La Gironie. Le maximum d'approfondissement est marqué par un liseré ferrugineux à Thémis, un changement brutal de faciès (Lapoujade). À La Gironie, il est défini par la présence de brachiopodes qui soulignent des influences externes ponctuelles.

– *Le dixième demi-cycle*, régressif, est représenté sur la coupe de Lapoujade par un banc centimétrique dans lequel apparaissent les premiers gros oncoïdes, et sur la coupe de St Pierre de Livron par l'arrivée des niveaux à condensation en biopisolithes. Ce demi-cycle est absent à Thémis. La surface sommitale, s'exprimant par un pic négatif sur les diagrammes de Lapoujade et de St-Pierre-de-Livron, est matérialisée par des marnes argileuses marron.

– *Le onzième demi-cycle*, transgressif, débute par des marnes grises à gros oncoïdes (Lapoujade) et se termine par des calcaires bioclastiques grainstones plus distaux (Lapoujade et Thémis). À St-Pierre-de-Livron, la phase trans-

gressive est soulignée par des faciès relativement homogènes correspondant à des marnes brunes à condensation en biopisolithes et comprenant d'abondants liserés ferrugineux. À La Gironie, cette phase est représentée par un faciès de très haute énergie (tempestites) dans lequel apparaissent les premières bahamithes. La surface sommitale s'exprime par un liseré ferrugineux à St Pierre de Livron et par un liseré argileux à Thémis.

– *Le douzième demi-cycle*, régressif, montre des faciès homogènes : soit des biopelmicrites packstones composées localement de bahamithes (St-Pierre-de-Livron); soit des biosparites grainstone composées des mêmes éléments, de biopisolithes, de foraminifères benthiques et de rares graptolites (La Gironie). La surface sommitale est matérialisée par un changement de faciès à Lapoujade et par un joint marneux ferrugineux à Thémis et à St-Pierre-de-Livron où ce dernier est surmonté par des calcaires dolomitiques noduleux. Sur cette dernière coupe, la discontinuité est confondue avec le front de dolomitisation.

– *Le treizième demi-cycle*, intègre à la fois des faciès de haute énergie (biosparite à bahamithes et biopelsparite) et des faciès dolomitiques (St-Pierre-de-Livron). Ces deux faciès sont associés à Lapoujade et à Thémis. La coupe de La Gironie montre une évolution transgressive. Toutefois, du fait de la dolomitisation aucune comparaison n'est possible avec les autres coupes où certains indices (géodes de quartz, surfaces de karstification) plaideraient plutôt en faveur d'une évolution de type régressif. La discontinuité supérieure séparant l'Aalénien du Bajocien [D.10; Péliissié, 1982] est suivie de la mise en place des calcaires oolithiques. À La Gironie, les séries bajociennes se distingueraient vraisemblablement des niveaux sous-jacents par la disparition des biopisolithes et un changement significatif de la stratonomie (bancs centimétriques). À Lapoujade, la D.10 correspond à une surface érosive et karstifiée. Elle n'est pas exprimée dans le traitement statistique en raison de la forte dolomitisation des couches qui l'encadrent.

CONCLUSIONS

Les unités lithostratigraphiques qui composent le Toarcien supérieur et l'Aalénien présentent de faibles variations de faciès et souvent une mauvaise préservation des structures sédimentaires. Le caractère condensé de la série ne permet pas de bien analyser les variations de la stratonomie, critère qui permettrait d'apprécier la vitesse de création de l'espace disponible. Cette condensation et cette homogénéité dans le faciès nous ont conduit à baser notre découpage séquentiel non seulement sur l'identification des structures de dépôts mais surtout sur l'évolution de la texture, de la maturité des bioclastes et sur les variations du contenu en éléments biogènes et non biogènes, pour en déduire l'évolution de l'hydrodynamisme et des milieux de dépôts. Nous avons procédé à une analyse statistique afin que toutes les variables d'un niveau de prélèvement soient effectivement prises en compte et que l'objectivité des interprétations soit assurée. Ainsi, peuvent être identifiés les changements mineurs de l'environnement à partir de variations d'un ou de plusieurs caractères du faciès.

La méthode statistique mise en œuvre (Analyse des Correspondances Multiple) est identique à celle utilisée pour l'étude des populations d'ostracodes et de foraminifères du Lias dans des séries homogènes marneuses. Mais, dans notre cas, elle s'applique à des faciès essentiellement indurés (forte proportion en carbonate) et utilise des critères descriptifs totalement différents (caractères du biofaciès et du lithofaciès, et non de taxons).

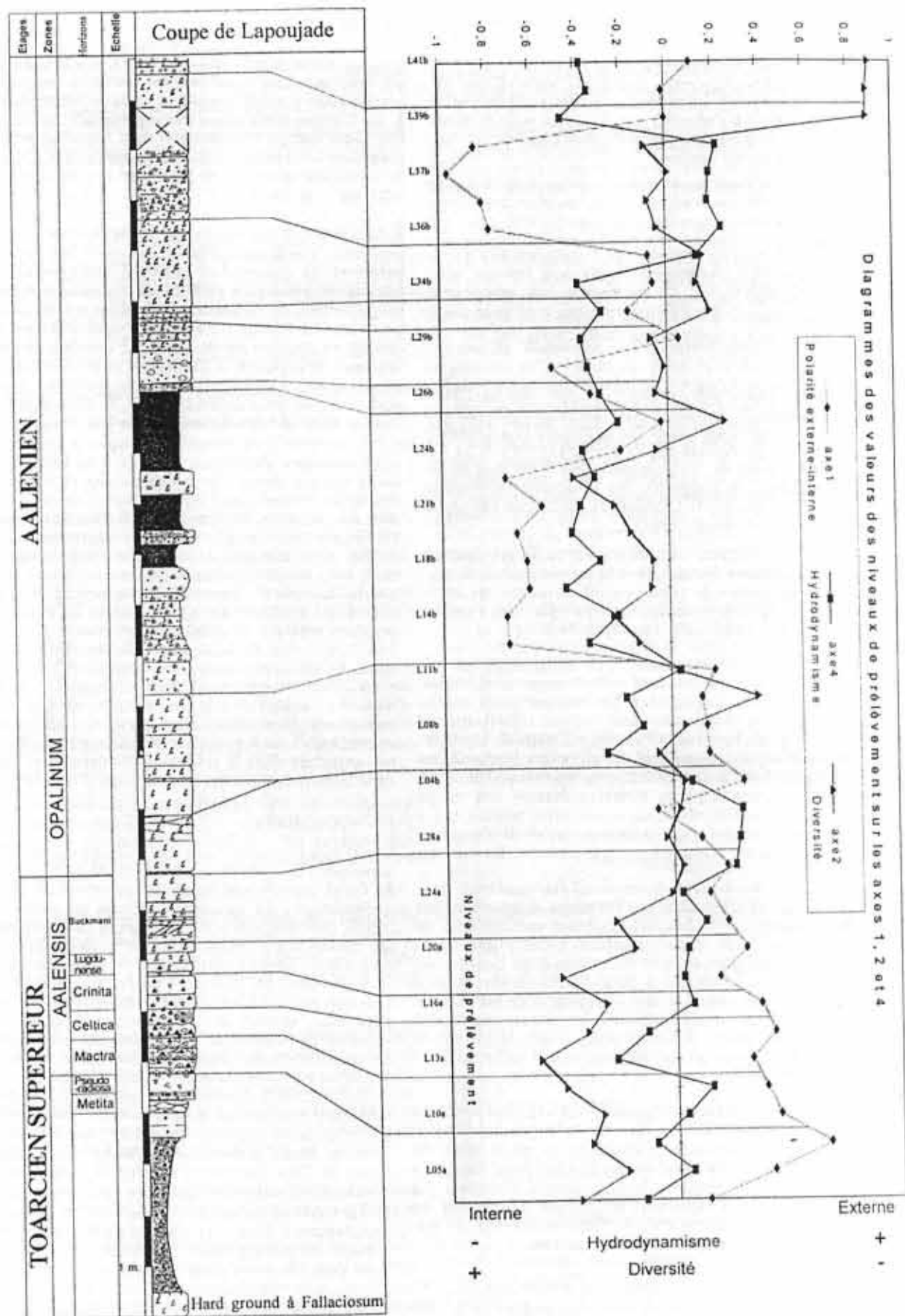


FIG. 8. - Diagrammes des coordonnées des niveaux de prélèvement de la coupe de Lapoujade sur les axes 1, 2 et 4 de l'ACM. Les lignes horizontales indiquent les discontinuités identifiées sur le terrain.

FIG. 8. - Graphs showing the evolution of the level sampling coordinates of Lapoujade's cross-section on the axes 1, 2 and 4. The horizontal lines indicate the discontinuities.

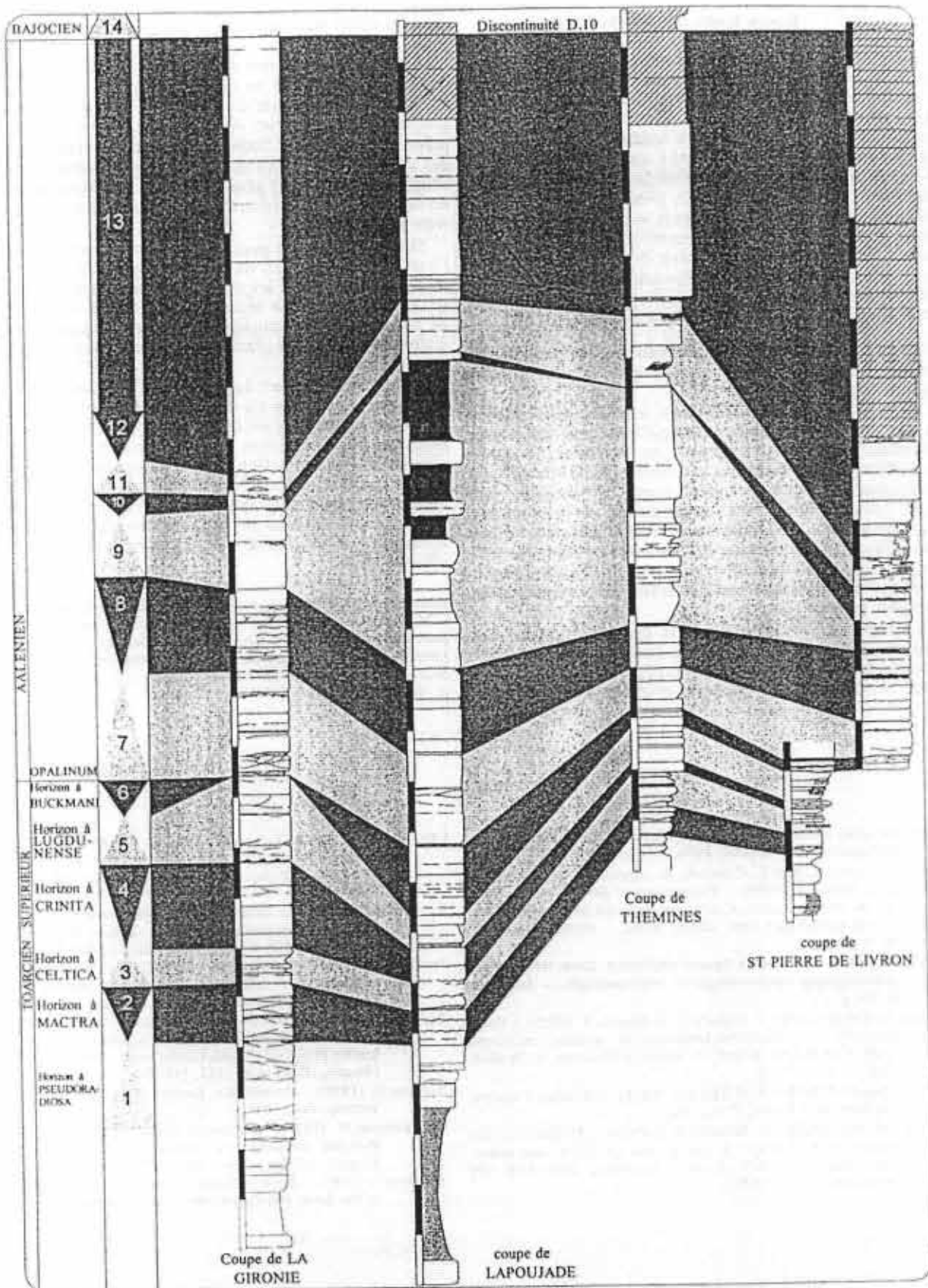


Fig. 9 - Découpage en séquences élémentaires et corrélations.

Fig. 9 - Sequential interpretation and correlations of sections.

Cette analyse appliquée à des coupes du Toarcien supérieur et de l'Aalénien dans le bassin d'Aquitaine a permis : (a) d'identifier divers groupes et sous-groupes de niveaux de prélèvement, chacun à faciès similaire et caractéristique d'un environnement de dépôt donné; (b) de confirmer le passage, plus ou moins progressif, d'une sédimentation de plate-forme externe (infralittoral à médiolittoral) au Toarcien supérieur et à l'Aalénien basal à une sédimentation de plate-forme interne (subtidal à intertidal) à l'Aalénien; (c) de confirmer la tendance régressive générale; (d) de mettre en évidence l'influence des processus autocycliques de production carbonatée sur l'enregistrement sédimentaire (La Gironde); (e) d'identifier dans la série du Toarcien supérieur 6 demi-cycles transgressifs et régressifs, et dans la série aalénienne 7 demi-cycles; enfin, (f) de proposer un schéma de corrélation entre les quatre coupes étudiées.

Son application et les interprétations des résultats se heurtent à un certain nombre de difficultés d'ordre méthodologique et géologique.

D'un point de vue méthodologique, le choix des variables et du pas de prélèvement des échantillons peut influencer les résultats. Pour ce qui concerne les variables, le maximum d'éléments d'observation disponibles doit être pris en considération; cependant certains types de variables, par exemple celles relatives aux discontinuités, ne peuvent pas être intégrées dans la même analyse. Par ailleurs, le pas d'échantillonnage des niveaux de prélèvement doit être suffisamment serré pour que tous les horizons biostratigraphiques et les petites variations du milieu de sédimentation soient bien pris en compte.

D'un point de vue géologique, le problème majeur que nous avons rencontré porte sur les phénomènes diagénétiques secondaires (dolomitisation) masquant la texture et le contenu d'origine. Pour pouvoir appréhender ce phéno-

mène, il serait indispensable d'intégrer les informations sur la diagenèse.

Si la comparaison des diagrammes telle qu'elle a été exposée peut constituer un outil de corrélation entre coupes, on ne peut se dispenser d'intégrer les données biostratigraphiques dans l'analyse. Ainsi, le calage biochronologique précis des dépôts du Toarcien supérieur permet-il d'établir des corrélations fiables et de prouver la pertinence du découpage en séquences génétiques. Par contre, en ce qui concerne les niveaux aaléniens mal datés, la part d'hypothèse reste importante.

Si cette démarche permet de retrouver les variations de l'espace disponible et, dans la mesure où le taux de sédimentation est faible, les tendances transgressives et régressives à l'échelle de la région, elle a aussi révélé l'existence de processus autocycliques locaux qui s'expriment par une distorsion entre les tendances générales observées et les tendances locales.

Malgré ces réserves, la méthode d'analyse statistique de faciès peut constituer un outil complémentaire pour l'interprétation séquentielle de séries à lithologie relativement homogène. Elle contribue à la définition rigoureuse des milieux de sédimentation, aide à l'interprétation des principaux facteurs contrôlant la répartition des faciès, précise les corrélations stratigraphiques à l'échelle du bassin et facilite la reconstitution de la géométrie des dépôts et de la dynamique sédimentaire dans des séries à faible taux de sédimentation.

Remerciements. – Les résultats de l'Analyse des Correspondances Multipliées et les figures concernant les variations des coordonnées des niveaux de prélèvement des coupes de La Gironde, de Thémis et de St-Pierre-de-Livron sur les 3 axes factoriels sont disponibles auprès des auteurs. Nous tenons à exprimer nos remerciements à MM. P.C. de Graciansky et A. Schaaf pour leurs judicieuses remarques.

Références

- BENZECRI J.P. *et al.* (1973). – L'analyse des données. T. II : l'analyse des correspondances. – Dunod, Paris, 619 p.
- BONNET L., ANDREU B., REY J., CUBAYNES R., RUGET C., N'ZABA MAKU O. & BRUNEL F. (1999). – Fluctuations of environmental factors as seen by means of statistical analyses in micropaleontological assemblages from Liassic series. – *Micropaleontology*, 45, 4.
- CUBAYNES R. (1986). – Le Lias du Quercy méridional. Etude lithologique, biostratigraphie, paléocologie et sédimentologie. – *Strata*, 2, 6, 574 p.
- CUBAYNES R., RUGET C., REY J., BONNET L. & BRUNEL F. (1995). – Communautés de foraminifères benthiques et variations du niveau marin dans le Lias moyen du bassin d'Aquitaine. – *Geobios*, M.S. 18, 101-111.
- DIDAY E., LEMAIRE J., POUGET P. & TESTU F. (1983). – Eléments d'analyse des données. – Dunod, Paris, 462 p.
- HOMEWOOD P., GUILLOCHEAU F., ESCHARD R. & CROSS T.A. (1992). – Corrélation haute résolution et stratigraphie génétique : une démarche intégrée. – *Bull. Centres Recherche Expl.-Prod. Elf Aquitaine*, 16, 2, 357-381.
- LEZIN C., CUBAYNES R., FAURE PH., PELISSIE TH. & REY J. (1997). – Le Toarcien supérieur-Aalénien dans la région de Villefranche-de-Rouergue (Sud-Ouest de la France). Biostratigraphie et évolution sédimentaire. – *Géol. France*, 4, 3-14.
- PELISSIE TH. (1982). – Le causse jurassique de Limogne-en-Quercy : stratigraphie, sédimentologie, structure. – Thèse de 3^e cycle, 281 p. – Livre en dépôt à l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- PURSER B.H. (1983). – Sédimentation et diagenèse des carbonates néolithiques récents. – Edition Technip, Paris et Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison, tome 1, 366 p.
- REY J., BONNET L., CUBAYNES R., QAJOUN A. & RUGET C. (1994). – Sequence stratigraphy and biological signals : statistical studies of benthic foraminifera from Liassic series. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 111, 149-171.
- SAPORTA G. (1990). – Probabilités. Analyse des données et statistique. – Technip, Paris, 493 p.
- SEPTFONTAINE M. (1977). – Niveaux à foraminifères dans le Dogger de Préalpes médianes du chablais occidental (Haute-Savoie France). – *Eclogae Geol. Helv.*, 599-625.
- STRASSER A. (1986). – Ooids in Purbeck limestones (lowermost Cretaceous of the Swiss and French Jura). – *Sedimentology*, 33, 711-727.

