

La matière organique sédimentaire en environnement de dépôt marginal. Exemple de la plaine deltaïque hypersaline du Ladinien de la bordure est du Massif central*

Bernard COURTINAT (1)

Sedimentary organic matter in nearshore deposits. Example from the Ladinian hypersaline delta plain in the eastern margin of the Massif Central (France)

Géologie de la France, n° 1, 2000, pp. 35-45, 4 fig., 2 tabl.

Mots-clés : Palynomorphe, Phytoclaste, Palynofaciès, Ladinien, Milieu deltaïque, Milieu hypersalin, Rhône, Vallée de l'Azergues.

Key words: Palynomorphs, Phytoclasts, Palynofacies, Deltaic environment, Hypersaline environment, Ladinian, Rhône France, Azergues valley.

Résumé

Les résidus palynologiques des argilites et grès silteux du Trias de la vallée de l'Azergues (nord-ouest de Lyon) fournissent des sporomorphes qui permettent de dater les faciès argileux noirs, riches en empreintes de halite et gypse de la limite Fassanien-Langobardien (Ladinien inférieur/Ladinien supérieur). Dominées par les grains de pollens *Triadispora aurea*, les associations microfloristiques des argilites noires sont le reflet d'un environnement de dépôt de type plaine deltaïque hypersaline à dominance de marées. Les argilites versicolores sous-jacentes, et celles vertes et lie-de-vin surincombantes sont interprétées comme des dépôts de plaine d'inondation. Outre les sporomorphes, les résidus palynologiques renferment des débris de bois (phytoclastes). Parmi les phytoclastes, les variations des quantités relatives des particules en aiguilles sont utilisées comme marqueur de la variation de la hauteur d'eau prévalante dans les milieux de dépôts considérés. La combinaison des paramètres typiques pris chez les sporomorphes et les phytoclastes permet de définir six types de palynofaciès. Deux

d'entre eux caractérisent à la fois les environnements de plaine deltaïque et de plaine d'inondation et les quatre autres sont restreints à la plaine deltaïque. L'évolution des palynofaciès montre une bonne analogie avec la variation de la hauteur d'eau, telle qu'il est permis de l'apprécier à travers les variations des épaisseurs des unités génétiques sédimentologiques.

Abridged English Version

In the Triassic sediments of the Azergues valley (NW of Lyons, France; Fig. 1) kerogens of the green and reddish shales consist only of woody phytoclasts whereas the black shales and silty sandstones also contain sporomorphs. The sporomorph diversity in the black shales and associated sandstones is moderate (16 species of spores; 19 species of pollen; 1 species of lacustrine algae; 3 species of marine algae), with specimens of the bisaccate genus *Triadispora* (*T. aurea* and *T. suspecta*) being dominant among the spores and pollen associations (Fig. 2). Other types of spores and pollens are nowhere abundant (a few percent). Lacustrine palynomorphs (*Plaesiodyctyon*

mosellanum) and marine palynomorphs (*Cymatiosphaera* and *Michrystridium*) are rare. Abundant small smooth-walled palynomorphs are found locally; they are tentatively attributed to the genus *Leiosphaeridia* (probably a prasinophyte) and considered as marine elements. The simultaneous presence of *Echinitosporites iliacoïdes*, *Heliosaccus dimorphus* and *Ovalipollis pseudoalatus* and the absence of some characteristic palynomorphs, such as polysaccoid pollens, suggest that the black shales are Fassanian-Langobardian in age (Table 1). *Triadispora aurea* is known to be produced by halophytes and thermophytes growing in salinas and coastal sabkhas. Equisetophytic spores (*Calamospora*) and fern spores (*Verrucosporites*) reflect a relative proximity of hygrophytic swamp or marsh vegetation, probably indicative of fresh-water-influenced delta ecosystems.

The dominance of halophytic pollen, the scarcity of hygrophytic spores and the sporadic presence of marine elements reflect a wave-dominated hypersaline delta plain. Palynomorphs are very rare or absent in the green shales, below the black

* Manuscrit déposé le 2 novembre 1999, et accepté le 11 avril 2000.

(1) UFR Sciences de la Terre, Université Claude-Bernard Lyon 1, 43 boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex, France.

shales, and in the overlying reddish shales. When present they consist only of *Triadispora*, facies that are considered to be deposited in a floodplain environment.

Woody phytoclasts are another important group of kerogen constituents in the shales (Fig. 3). The use of the slightly adapted classification of Whitaker (1984) allows the recognition of PM4E (black equidimensional particles; arithmetical mean: 58%) as the dominant class, followed by PM1E (brown equidimensional particles; 16%), PM4T (black lath-shaped particles; 15%), PM2 (yellow to brown woody tissue; 6%), PM1T (brown lath-shaped particles; 5%) and PM3 (yellow to brown cuticle; less than 1%). These different classes constitute the inertinite (73%) and vitrinite (27%) groups. From a morphological point of view, equidimensional phytoclasts (noted E) are more abundant (74%) than the lath-shaped ones (noted T; 26%).

The different phytoclast and sporomorph associations permit the definition of six palynofacies types (Table 2) based on the presence/absence of leiospheres and the relative abundances of PM4T, PM2 and PM3. Two types (palynofacies A and C) characterize deposits from both the wave-dominated hypersaline delta plain and the flood plain; the other four types are exclusive to the wave-dominated type saline delta plain. The palynofacies types and their relative constituent abundances are:

Palynofacies A: no leiospheres; PM4T less than 14%; PM2+PM3 less than 6%. Complementary characteristics: *Triadispora* from 0 to 100%; 0 to 7 spore taxa; 0 to 5 pollen taxa; vitrinite variable.

Palynofacies B: no leiospheres; PM4T less than 14%; PM2+PM3 greater than or equal to 6%. Complementary characteristics: *Triadispora* greater than 94%; 0 to 3 spore taxa; vitrinite from 20 to 35%.

Palynofacies C: no leiospheres; PM4T greater than 14%; PM2+PM3 greater than or equal to 6%. Complementary characteristics: *Triadispora* from 0 to 98%; vitrinite from 25 to 30%.

Palynofacies D: no leiospheres; PM4T greater than 14%; PM2+PM3 less than 6%. Complementary characteristics: *Triadispora* greater than 85%; 6 to

12 spore taxa; 3 to 9 pollen taxa (this type shows the greatest specific diversity of sporomorphs); vitrinite from 28 to 36%.

• *Palynofacies E:* presence of leiospheres; PM4T greater than 14%; PM2+PM3 less than 6%. Complementary characteristics: *Triadispora* from 57 to 88%; PM4E from 70 to 84%; high specific diversity of sporomorphs; vitrinite from 5 to 15%. This type has the greatest abundance of PM4E phytoclasts and the lowest quantity of vitrinite.

Palynofacies F: presence of leiospheres; PM4T greater than 14%; PM2+PM3 greater than or equal to 6%. Complementary characteristics: *Triadispora* from 58 to 82%; specific diversity of sporomorphs variable; vitrinite from 20 to 41%.

Among the parameters used, the lath-shaped particles (PM1T and PM4T) are of particular interest because their relative abundance shows an increase from base to top. This increase is interpreted as indicative of increasing water depth. Consequently, the palynofacies with the lowest proportions of lath-shaped particles (A to D) are interpreted as the most continental deposits and those with the greatest abundance as the least continental deposits. The palynofacies trend thus reflects water depth variation in the delta plain ecosystem, a concept that is supported by the good analogy between the water depth curve established from both the coarsening-up/fining-up cycles of the genetic units and the palynofacies curve (Fig. 4). This demonstrates that the use of woody phytoclasts can be a pertinent tool in palaeoenvironmental reconstruction.

Introduction

Le contexte géologique de l'étude

Les faciès grés-argileux du Trias de la région lyonnaise (fig. 1) sont interprétés comme des sédiments de vasières (Courel, 1973). De tels environnements de dépôt sont rencontrés sur toute la bordure orientale du Massif central. Du point de vue sédimentologique, les marqueurs paléoenvironnementaux sont portés par une alternance irrégulière d'argilites silteuses ou gréseuses (versicolores à la base, gris sombre dans la partie intermédiaire et vert et lie-de-vin au sommet) et de petits

bancs silto-gréseux ou grés-dolomitiques. Les structures sédimentaires sont rares ; les bancs de grès renferment des structures de rides de vagues, mais ne présentent pas de structures de rides de courant. L'énergie de dépôt n'a probablement jamais été forte. Les sommets de quelques bancs de grès portent des indices d'une bioturbation. Dans ces mêmes bancs, les pseudomorphoses de sulfate (gypse lamellaire enchevêtré) et d'halite sont nombreuses. Les argilites vertes et lie-de-vin du sommet montrent des reliques de paléosols. Cet ensemble s'intercale entre des bancs de dolomites à sa base et des grès massifs à son sommet, qui de fins deviennent brusquement grossiers et arkosiques. Cette alternance, assez monotone, correspond à l'Ensemble Moyen de Courel (1973). L'auteur date la partie supérieure de l'Ensemble Moyen du Carnien-Norien et rapporte la partie inférieure au Ladinien.

Les buts de l'analyse palynologique

L'analyse palynologique des dépôts de vasières de l'Ensemble Moyen inférieur présente trois intérêts d'ordres divers. Dire que ces faciès de dépôt sont influencés par les apports d'éléments détritiques fins terrigènes et organiques est assez banale mais cela met en exergue le fait que les sédiments qui en résultent peuvent présenter un enregistrement continu des assemblages de spores et grains de pollens ainsi que des débris de bois. Les populations sporopolliniques, à travers leurs plantes émettrices, seront indicatives des conditions édaphiques et climatiques. Les débris de bois (ou phytoclastes) seront des compléments d'informations puisqu'ils se comportent comme des particules détritiques c'est-à-dire que leur distribution résulte de paramètres multiples dont l'hydrodynamisme (Tyson, 1995). Nos analyses en cours mais aussi les travaux de Batten (1973, 1974, 1982), de Gorin (Gorin et Steffen, 1991 ; Steffen et Gorin ; 1993 ; Gorin et Monteil 1990) ou encore de Whitaker (Whitaker, 1984 ; Whitaker *et al.*, 1992) mettent en évidence l'importance de l'abondance de certaines morphologies de phytoclastes dans des environnements de dépôt tant proximaux que distaux ou bien encore comme témoins d'événements particuliers tels des épisodes d'inondation maximale.

L'Ensemble Moyen analysé paraît ne pas avoir subi une influence marine franche (en témoignent les figures sédimentaires et l'absence de traces fossiles d'organismes marins). Il est opportun d'analyser les palynofaciès et, à travers ces derniers les phytoclastes, pour valider en domaine continental les observations réalisées en domaine marin franc par les auteurs précités.

L'Ensemble Moyen du Trias lyonnais, peu épais (un peu plus de 10 m), est monotone en terme d'hydrodynamisme. Les palynofaciès seront-ils, eux aussi, sans variations significatives ? L'atelier que constitue l'Ensemble Moyen semble judicieux, de ce point de vue-là, pour tester le degré de pertinence du palynofaciès à travers ses composants phytoclastiques.

L'utilisation des phytoclastes dans la définition du palynofaciès

Les différentes classes de phytoclastes sont définies par Whitaker (1984) ; cette classification est retenue pour sa connotation plus hydrodynamique que géochimique (vitrinite et inertinite). Du point de vue du langage, Whitaker, en utilisant le terme de palynomacéraux pour désigner les éléments du palynofaciès (dont les phytoclastes) établit un parallèle avec les classifications macérales des charbons, mais en même temps il ordonne sur une échelle de flottabilité croissante les quatre classes de phytoclastes qu'il emploie (PM1 = particules brunes sans structure; PM2 = particules jaunes à brunes correspondant à des restes de tissus de bois; PM3 = particules jaunes à brunes correspondant à des restes cuticulaires ; PM4 = particules noires sans structure). Cette échelle de flottabilité pose de nombreuses questions car elle peut prendre plusieurs significations qui sont en cours d'interprétation. L'abondance relative de chaque classe de phytoclastes correspond à un palynofaciès qui se place sur un axe de dépôt entre deux pôles, comme l'axe pôle marin-pôle continental, distal-proximal, ouvert-restreint ou hauteur d'eau épaisse-réduite (correspondant à la notion d'espace disponible). Cela peut être une combinaison croisée de plusieurs axes environnementaux, par exemple une combinaison de l'axe proximal-distal et de l'axe espace disponible.

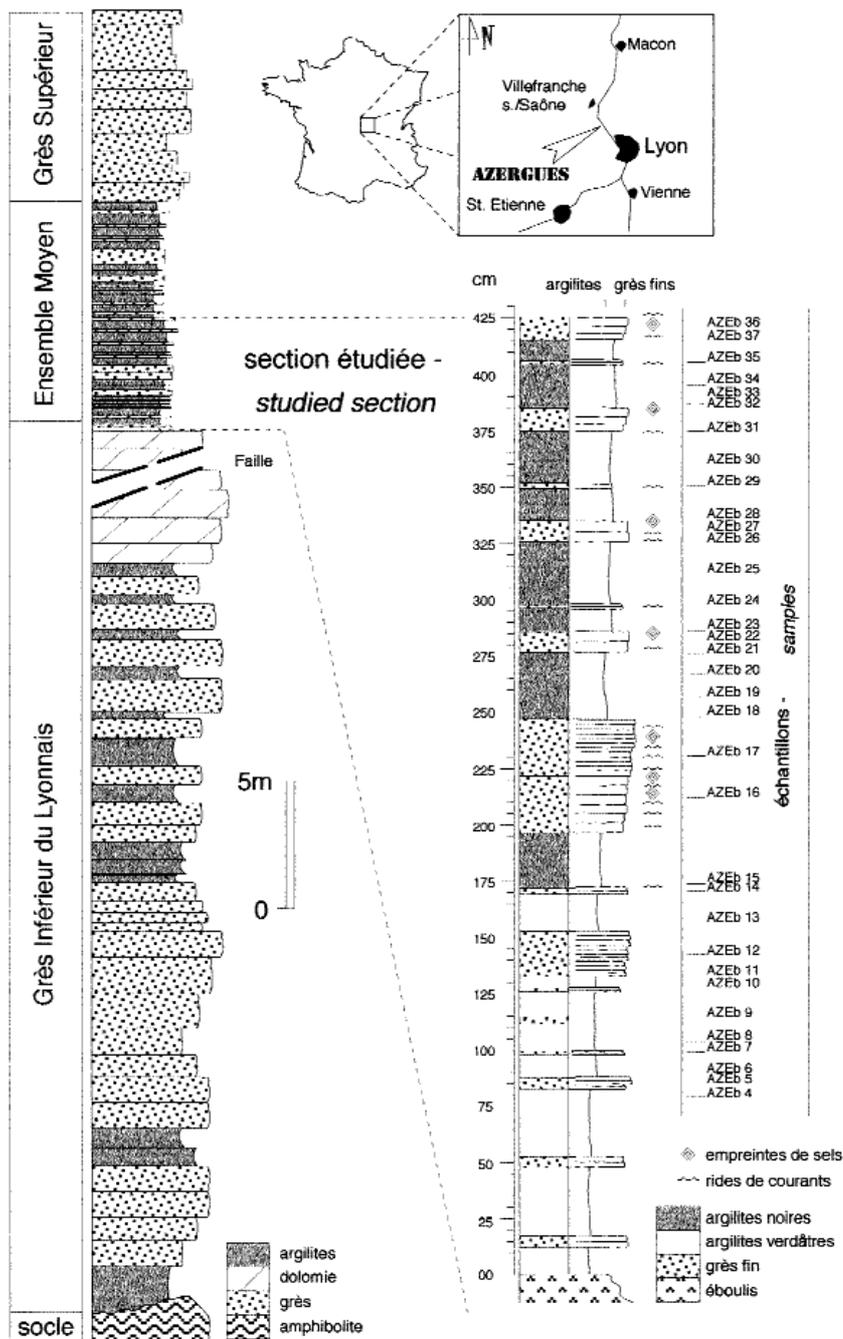


Fig. 1.- Colonne stratigraphique du secteur analysé et position des échantillons étudiés.

Fig. 1.- Stratigraphic log of the studied area and location of the studied samples.

Résultats palynologiques

Les échantillons ont été traités de manière standard (HCl, HF) mais le traitement est arrêté avant oxydation par l'acide nitrique. Les résidus sont filtrés manuellement à 10 µm pour éliminer les fines particules représentées principalement par de l'inertodétrinite (issue de feux et transportée par les plumes thermiques). Aucune méthode faisant appel aux ultrasons n'a été

utilisée. Avant le montage entre lame et lamelle, les résidus sont récupérés par centrifugation dans du chlorure de zinc (d = 2,06).

Les échantillons de la base et du sommet de l'Ensemble Moyen (argilites silteuses et vertes à couleur lie-de-vin) se sont révélés stériles. Toutes les argilites silteuses ne sont pas stériles ; celles qui sont en contact avec les argilites silteuses

noires, sur un mètre, ont délivré des résidus riches en phytoclastes mais pauvres en palynomorphes.

Inventaire en sporomorphes

Les sporomorphes (spores et grains de pollen) sont dominants par rapport aux formes aquatiques. Les spores sont représentées par 16 espèces, les grains de pollen par 19 espèces soit un total de 35 taxons. Les formes aquatiques sont très peu diversifiées ; une seule forme d'algue lacustre et trois espèces d'algues marines.

Anteturma Sporites H. Potonié 1893

Turma **Triletes** Reinsch emend. Dettmann 1963

Calamospora keuperiana Mädlér 1964

Carnisporites ? telephorus (Pautsch) Mädlér 1964

Kraeuselisporites cuspidus Balme 1963

Lapposporites lapposus Visscher 1966

Deltoidospora tenuis (Leschik) Mädlér 1964

Palaeosporangisporis europaeus E. Schulz 1965

Perotrilites minor (Mädlér) Antonescu et Taugourdeau-Lantz 1973

Retusotriletes mesozoicus Klaus 1960

Uvaesporites gadensis Praehauser-Enzenberg 1970

Verrucosisporites remyanus (Mädlér) Adloff et Doubinger 1969

Turma **Monoletes** Ibrahim 1933

Aratrisporites pilosus (Leschik) Mädlér

Aratrisporites saturni (Thiergart) Mädlér 1964

Aratrisporites sp. A Taugourdeau 1973

Aratrisporites tenuispinosus Playford 1965

Echinitosporites iliacoïdes Schulz et Krutzsch 1961

Turma **Hilates** Dettmann 1963

Apiculatasporites plicatus Visscher 1966

Anteturma Pollenites R. Potonié 1931

Turma **Protosaccites** Scheuring 1974

Ovalipollis lepidus Scheuring 1970

Ovalipollis pseudoalatus (Thiergart)

Schuurman 1976

Illinites chitonoides Klaus 1964

Lunatisporites acutus Leschik 1955

complexe *Triadispora aurea* Scheuring 1970

Triadispora suspecta Scheuring 1970

Striatoabietites ayugii Visscher 1966

Turma **Saccites** Erdtman 1947

Alisporites ind.

Cucullispora cuneata Scheuring 1970

Ellipsovelatisporites rugosus Scheuring 1970

Heliosaccus dimorphus Mädlér 1964

Jugasporites antonescui Taugourdeau-Lantz 1983

Podosporites amicus Scheuring 1970

Protodiploxypinus gracilis Scheuring 1970

Vitreisporites pallidus (Reissinger) Nilsson 1958

Turma **Plicates** (Naumova) Potonié 1958

Cycadopites coxii Visscher 1966

Retisulcites perforatus (Mädlér) Scheuring 1970

Turma **Kryptaperturates** Potonié 1966

Haberkornia gudati Scheuring 1978

Duplicisporites tenebrosus (Scheuring) Scheuring 1978

Algues diverses

Classe **Prasinophyceae**

Cymatiosphaera ind.

? *Leiosphaeridia* ind.

Acritarches

Michrystidium sp.

Algue d'eau douce

Plaesiodyctyon mosellanum Wille 1970.

Les palynomacéraux caractéristiques

Le palynofaciès est l'image de synthèse de l'ensemble des palynomacéraux du kérogène. Dans l'exemple traité, les palynomacéraux sont les spores et grains de pollen, quelques éléments à affinité

aquatique d'eau douce ou marine (ce point sera abordé dans le paragraphe Interprétations - Discussions [b - le milieu de dépôt]) et des phytoclastes.

Les palynomorphes

Un élément est dominant (fig. 2) ; il s'agit du groupe des *Triadispora*, grains de pollen à deux ballonnets, exceptionnellement 1 ou 3 ballonnets et dont le corps central porte une marque trilète vestigiale non fonctionnelle. Cet élément représente de 57 à 100 % de la population des palynomorphes (moyenne 85 %). Lorsqu'on rapporte sa représentation aux seuls sporomorphes, ce groupe ne descend pas en dessous de 69 % avec une moyenne de 90 %.

Le groupe *Triadispora* est représenté par le complexe *T. aurea* et l'espèce *T. suspecta*. Le complexe rassemble une forme dominante (*T. aurea*) et des espèces accessoires (*T. boelchii* Scheuring 1970, *T. bella* Scheuring 1978, *T. sulcata* Scheuring 1978, *T. ventriosa* Scheuring 1978, *T. stabilis* Scheuring 1970 emend. Scheuring 1978) mais morphologiquement proches de la forme éponyme du complexe. Les autres espèces de spores et de grains de pollen ne sont jamais fortement abondantes (pas plus de quelques pourcents). Ensemble, les spores ne dépassent pas 10 % de la population en palynomorphes. Parmi les éléments aquatiques, l'algue lacustre *Plaesiodyctyon mosellanum* est rare. Les spécimens attribués à *Cymatiosphaera* et *Michrystidium* sont, eux aussi, rares. Seuls les ? *Leiosphaeridia* sont, par épisodes, abondantes puisqu'elles peuvent atteindre 32 % de la population des palynomorphes. Ainsi, les résidus obtenus sont, du point de vue des palynomorphes, écrasés par les *Triadispora* et en quelques occasions par les *Triadispora* et les ? *Leiosphaeridia*. Ces deux groupes d'éléments sont deux attracteurs forts qui définissent une fraction palynomorphique à *Triadispora* (sous entendre à *Triadispora* et sans ? *Leiosphaeridia*) et une fraction à ? *Leiosphaeridia* (sous-entendu à *Triadispora* et à ? *Leiosphaeridia*).

Les phytoclastes

Les quatre classes de Whitaker (PM1, PM2, PM3 et PM4 ; 1984) sont rencontrées (fig. 3) dans les échantillons qui ont été analysés. Les classes PM1 et PM4

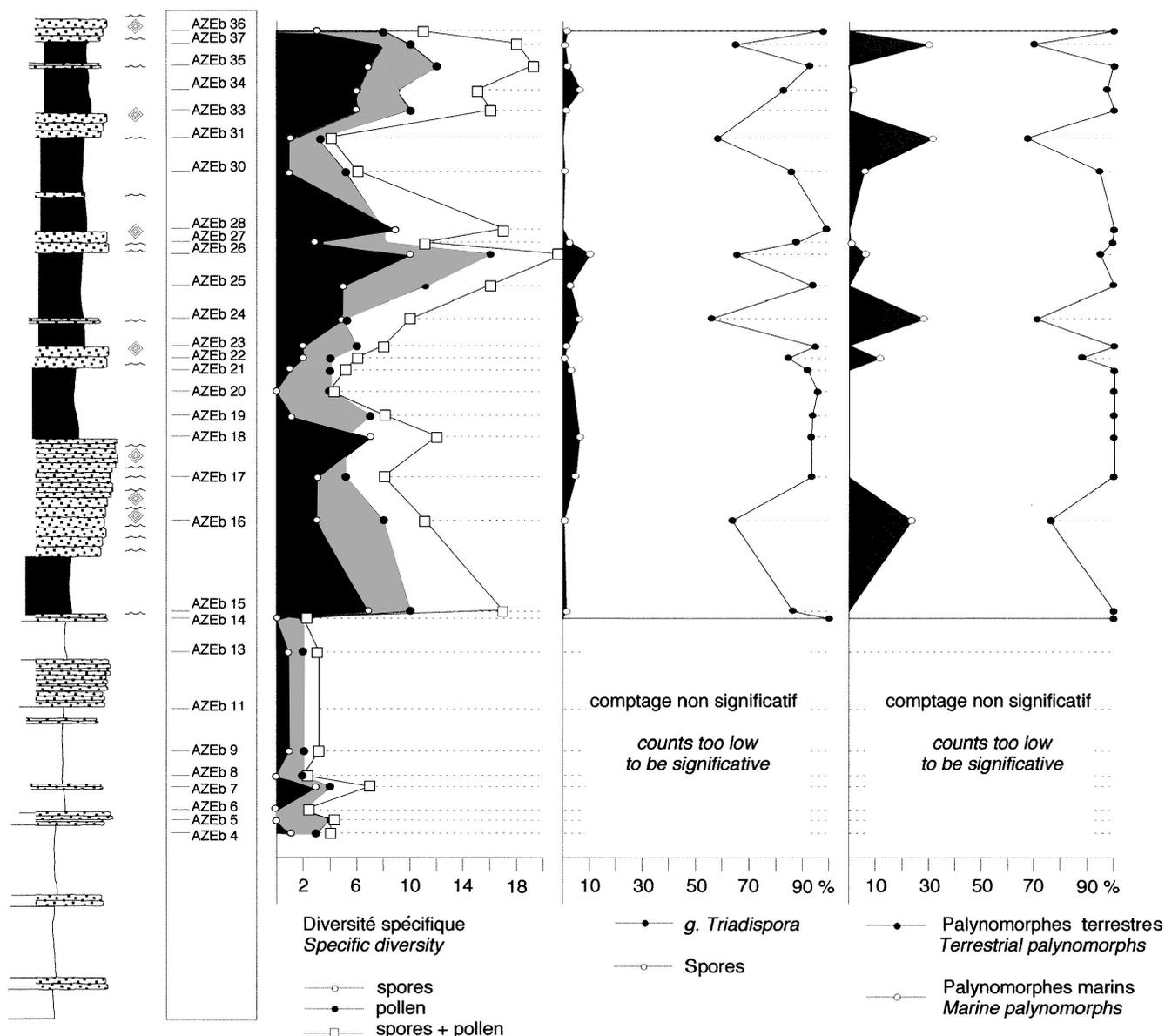


Fig. 2.- Courbe de distribution de quelques paramètres du palynofaciès.

Fig. 2.- Distribution of some palynofacies parameters.

sont les plus abondantes. Elles ont été subdivisées en deux catégories d'après la morphologie des particules. La première catégorie (notée E ; définissant les sous-classes PM1E et PM4E) comprend les particules massives, plus ou moins équidimensionnelles. La seconde catégorie rassemble les particules allongées (notée T ; définissant les sous-classes PM1T et PM4T). Cette subdivision n'est pas appliquée aux classes PM2 et PM3 en raison de leur faible représentation (fig. 3). Les particules PM1T, PM1E, PM2 et PM3 constituent la fraction vitrinite du kérogène tandis que les phytoclastes des types PM4T et PM4E en composent la fraction inertinite.

En terme de fréquences relatives, les PM4E sont les particules les plus abondantes (10 à 84 % ; moyenne 58 %). Puis viennent les PM1E (4 à 67 % ; moyenne 16 %), les PM4T (5 à 27 % ; moyenne 15 %), les PM2 (0 à 21 % ; moyenne 6 %), les PM1T (1 à 16 % ; moyenne 5 %) et enfin les PM3 (de 0 à 2 % ; moyenne inférieure à 1 %). Le groupe dominant correspond à la fraction inertinite (17 à 92 % ; moyenne 73 %). Du point de vue des morphologies, les particules équidimensionnelles (E) sont les plus abondantes (49 à 89 % ; moyenne 74 %). Les particules allongées (T) représentent en moyenne 1/5 des palynomacéraux, mais la variation est non négligeable (de 9 à

32 %). Cette variation est intéressante car ce sont ces particules qui ont été utilisées comme marqueurs de maxima d'inondation pour les auteurs indiqués dans le paragraphe 1b et qui vont être au centre des développements qui vont suivre.

Les classes et sous-classes de phytoclastes présentent des grandes tendances au niveau de leur variation. Chez les PM1, les PM1E et les PM1T sont en moyenne plus abondantes dans la partie inférieure (argilites silteuses versicolores et grès fins) que dans la partie supérieure (argilites noires et grès fins). En revanche, les PM4E et PM4T sont sensiblement plus abondantes dans la partie

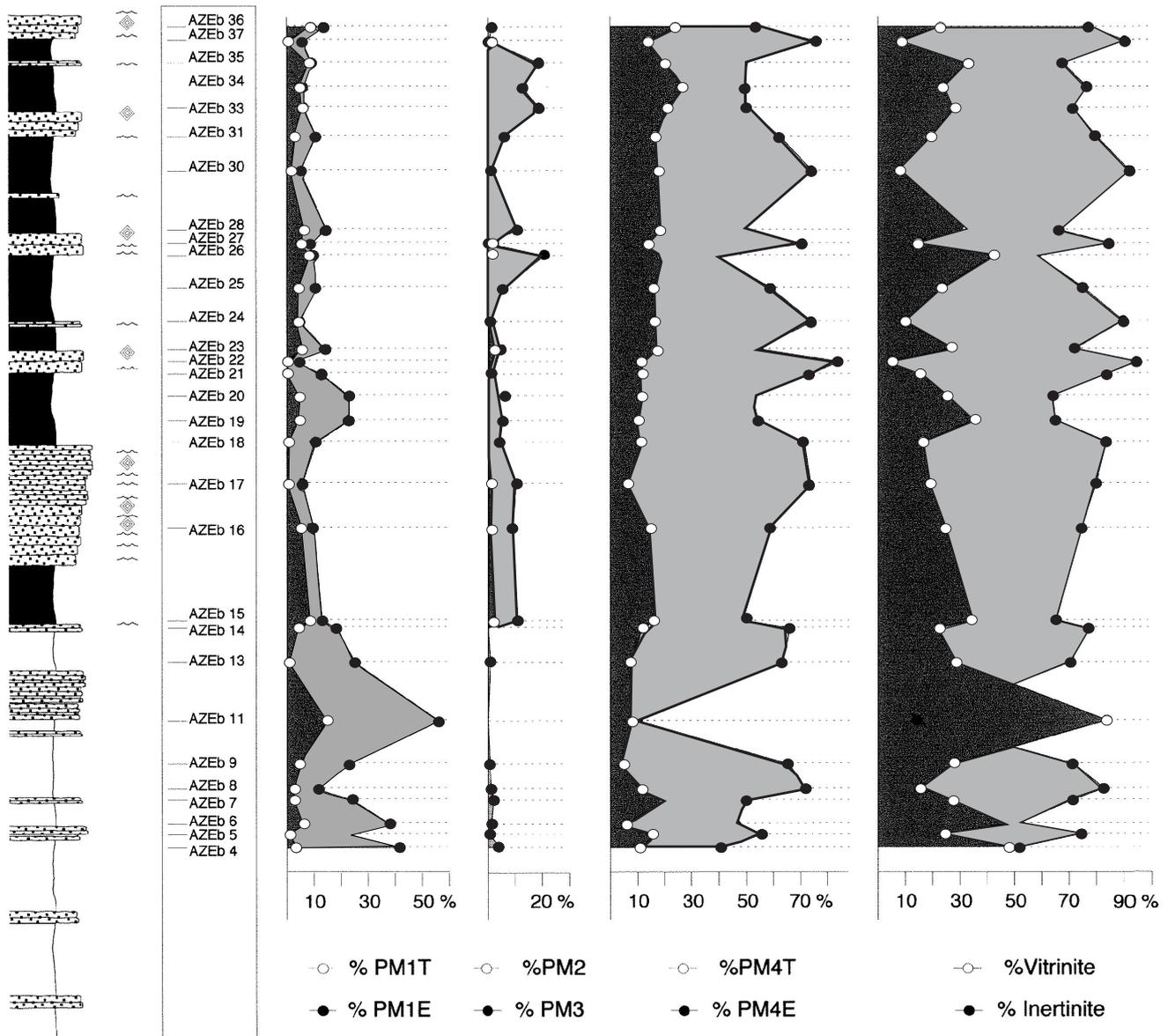


Fig. 3.- Distribution des classes et sous-classes de phytoclastes (pour leur définition se reporter au texte).

Fig. 3.- Distribution of the phytoclast classes and sub-classes (see text for their definition).

supérieure que dans la partie inférieure. De la même manière, et bien que très peu représentées, les PM2 comme les PM3 paraissent augmenter globalement dans la partie supérieure (fig. 3).

Exploitation des données palynologiques

Interprétation stratigraphique

(tabl. 1)

Les assemblages sporopolliniques sont dominés par les formes du groupe *Triadispora* Klaus 1964. Lorsque la popu-

lation des *Triadispora* atteint les plus faibles pourcents (57 %), c'est le résultat d'une augmentation du nombre des paly-nomorphes aquatiques de type ? *Leiospheridia* et non pas d'une élévation de la fréquence d'une ou plusieurs espèces de spores et/ou de grains de pollen. Du point de vue de la diversité spécifique, les assemblages sont modestes (de 2 à 29 espèces de spores et pollens et 0 à 3 espèces d'algues). La diversité spécifique des spores est faible (de 0 à 11 espèces).

Doubinger et Adloff (1977) ont cité des assemblages comparables à ceux de l'Azergues à la limite Ladinien/Carnien dans le bassin de Largentière en Ardèche

(bordure sud-est du Massif central). Adloff *et al.* (1984) décrivent des assemblages riches en *Triadispora* dans des sondages du Jura qu'ils datent du Ladinien. D'autres auteurs, ont signalé une forte proportion de *Triadispora* dans le Ladinien (Scheuring, 1970, 1978 ; Visscher *et al.*, 1993). Cependant, l'abondance des *Triadispora* n'indique pas, à tout coup, un âge Ladinien. En effet, l'Anisien de la région du Languedoc étudiée par Taugourdeau-Lantz (1983) révèle plus de 80 % d'individus appartenant à ce genre.

La présence simultanée des formes attribuées à *Echinitosporites iliacoïdes*,

Leiosphères absentes	PM4T < 14 %	PM2 + PM3 ≤ 6 %	A	attracteurs - parameters																
				échantillons	% PM1T	% PM1E	% PM2	% PM3	% PM2 + PM3	% PM4T	% PM4E	Σ E	Σ T	Vitrinite	Inertinite	N spores	N pollen	N. spores + pollen	% <i>Leiosphaeridia</i>	
without <i>Leiospheres</i>	PM4T ≥ 14 %	PM2 + PM3 ≤ 6 %	A	AZE 11	16	67	0	0	0	8	10	77	23	83	17	0	0	0	0	
				AZE 14	4	18	0	0	0	12	66	84	16	22	78	0	2	2	0	
				AZE 13	2	26	1	0	1	8	63	89	10	29	71	1	2	3	0	
				AZE 9	5	23	1	0	1	5	66	89	10	29	71	1	2	3	0	
				AZE 8	3	11	2	0	2	12	72	83	15	16	64	0	2	2	0	
		AZE 6	7	38	2	0	2	6	46	84	13	47	53	0	2	2	0			
		AZE 21	1	13	2	0	2	12	73	86	13	16	84	1	4	5	0			
		AZE 4	3	41	4	0	4	11	41	82	14	48	52	1	3	4	0			
		AZE 18	2	11	4	0	4	12	71	82	13	17	83	7	5	12	0			
		AZE 19	5	24	6	0	6	11	54	78	16	35	65	1	7	8	0			
Leiosphères présentes	PM4T ≥ 14 %	PM2 + PM3 ≥ 6 %	B	AZE 20	5	23	7	0	7	12	52	75	18	35	65	0	4	4	0	
				AZE 17	2	6	11	1	12	7	73	79	9	20	80	3	5	8	0	
				AZE 5	2	22	1	0	1	17	57	80	19	25	75	0	4	4	0	
				AZE 36	9	12	2	0	2	24	54	66	32	23	77	3	8	11	0	
				AZE 7	3	24	3	0	3	20	50	75	23	30	70	3	4	7	0	
		with <i>Leiospheres</i>	PM2 + PM3 ≥ 6 %	C	AZE 23	6	15	5	2	7	18	54	69	24	28	72	2	6	8	0
					AZE 28	7	15	11	0	11	19	47	62	26	33	67	9	8	17	0
					AZE 15	9	13	12	2	14	17	48	60	26	36	64	7	10	17	0
					AZE 33	6	4	18	0	18	21	50	54	27	28	72	6	10	16	0
					AZE 35	8	6	18	0	18	20	48	54	28	32	68	7	12	19	0
Leiosphères absentes	PM4T < 14 %	PM2 + PM3 ≤ 6 %	D	AZE 22	1	4	0	0	0	15	80	87	12	5	95	2	4	6	12	
				AZE 30	2	5	1	0	1	18	74	79	20	8	92	1	5	6	7	
				AZE 24	4	5	1	0	1	16	74	79	20	10	90	5	5	10	29	
				AZE 37	1	7	0	1	1	14	77	83	15	9	91	8	10	18	30	
				AZE 27	5	8	1	1	2	15	70	79	19	15	85	3	8	11	1	
		with <i>Leiospheres</i>	PM2 + PM3 ≥ 6 %	E	AZE 31	3	11	6	0	6	17	63	74	20	20	80	1	3	4	32
					AZE 25	4	11	7	1	8	17	59	71	21	23	77	5	11	16	1
					AZE 16	6	10	9	1	10	15	59	20	20	26	74	3	8	11	23
					AZE 34	4	7	13	0	13	27	49	56	31	24	76	6	9	15	2
					AZE 26	9	10	21	1	22	19	39	49	28	41	59	10	16	26	6

Tabl. 2.- Clé pour la détermination des palynofaciès.

Table 2.- Key for palynofacies determination.

Verrucosporites ou *Striatoabieitites*. La végétation serait ainsi représentée presque exclusivement par des halophytes. Cette observation concorde avec les données sédimentologiques et en particulier la présence presque ubiquiste des empreintes d'halite et de gypse. Le fait que les spores et grains de pollen qui accompagnent les *Triadisporea* soient les représentants d'une végétation marécageuse ou d'arrière-pays ne contredit pas l'interprétation puisqu'ils ne sont pas des halophytes. Heunish (1986) a fait des observations similaires dans le Keuper de Franconie (Allemagne). Les assemblages que cet auteur décrit sont presque exclusivement composés de *Triadisporea*, pauvres en spores et sans acritarches (*Micrhystridium*). Selon Heunish, s'appuyant sur les données sédimentologiques, le milieu de dépôt correspond à un domaine marin hypersalin sous faible tranche d'eau. Le milieu de plaine deltaïque de l'Azergues est d'une nature comparable, hypersalin. Dans les inventaires de l'Azergues, si les *Micrhystridium* ne sont pas absents, ils sont rares (quelques unités par échantillons). D'autres palynomorphes aquatiques leur sont associés. Il s'agit notamment des leiosphères. Ces formes lisses et transparentes sont attribuées sans certitude au genre *Leiosphaeridia* en raison

de leurs petites tailles (de l'ordre de 20 µm) tandis que les vraies *Leiosphaeridia*, à affinité de Tasmanacées ont une taille généralement supérieure à 50 µm. Certaines de ces petites sphères applaties, attribuées aux prasinophytes, sont aujourd'hui reconnues dans des milieux de salinité très variée (3 à 133 ‰ ; Wood, 1965 in Tyson, 1995). Chez *Pyramimonas*, les formes d'eaux douces actuelles produisent des phycomata (sphères) de petites tailles et ornementées tandis que les espèces marines génèrent des sphères de grande taille et lisse. Il semble délicat d'interpréter ces leiosphères, avec ces analogues actuels. Pourtant, il existe un argument supplémentaire qui permet d'avancer une interprétation. Il s'agit des formes rares de *Micrhystridium* et/ou de *Cymatiosphaera*, indubitablement d'origine marine, qui, lorsqu'elles sont présentes, sont associées aux leiosphères. Selon cette interprétation, les leiosphères inventoriées, d'origine marine, supportent l'idée d'une plaine deltaïque hypersaline à dominance de marées.

Les argilites versicolores sous-jacentes à l'ensemble des argilites noires et des grès silteux et les argilites verdâtres à lie-de-vin qui surincombent cet ensemble sont stériles en palynomorphes ou bien ne contiennent

que des *Triadisporea*. Ces argilites compte tenu de leurs caractéristiques sédimentologiques (cf. introduction) sont interprétées comme des dépôts de plaine d'inondation.

Les palynofaciès

L'analyse des groupes de palynomacéraux révèle des variations suffisamment marquées pour permettre la définition de six types de palynofaciès. Ces types sont fondés (tabl. 2) sur les critères présence-absence des leiosphères, la proportion de PM4T supérieur ou inférieur à 14% (ce seuil représente la moyenne de la classe) et le pourcentage de PM2+ PM3 supérieur ou inférieur à 6% (moyenne de la classe PM2+PM3). Les principaux éléments de ces palynofaciès sont les suivants (tabl. 2) :

Palynofaciès A : Leiosphères absentes ; proportion de PM4T inférieure à 14 % ; PM2+PM3 inférieure à 6 %. Caractères complémentaires : population de *Triadisporea* variable de 0 à 100 % ; de 0 à 7 taxa de spores ; de 0 à 5 taxa de pollens ; proportion de vitrinite variable.

Palynofaciès B : Leiosphères absentes ; proportion de PM4T inférieure à 14 % ; PM2+PM3 supérieure ou égale à 6 %. Caractères complémentaires : population de *Triadisporea* supérieure à 94 % ; de 0 à 3 taxa de spores ; de 20 à 35 % de vitrinite.

Palynofaciès C : Leiosphères absentes ; proportion de PM4T supérieure à 14 % ; PM2+PM3 supérieure ou égale à 6 %. Caractères complémentaires : population de *Triadisporea* variable de 0 à 98 % ; de 25 à 30 % de vitrinite.

Palynofaciès D : Leiosphères absentes ; proportion de PM4T supérieure à 14 % ; PM2+PM3 inférieure à 6 %. Caractères complémentaires : population de *Triadisporea* supérieure à 85 % ; de 6 à 12 taxa de spores ; de 3 à 9 taxa de pollens (c'est l'un des palynofaciès qui renferme la plus grande diversité spécifique en sporomorphes) ; de 28 à 36 % de vitrinite.

Palynofaciès E : Leiosphères présentes ; proportion de PM4T supérieure à 14 % ; PM2+PM3 inférieure à 6 %. Caractères complémentaires : population de *Triadisporea* comprise entre 57 et 88 % ; c'est le palynofaciès qui renferme la plus grande quantité de PM4E (de 70 à 84 %) et la plus faible quantité de vitrinite (de

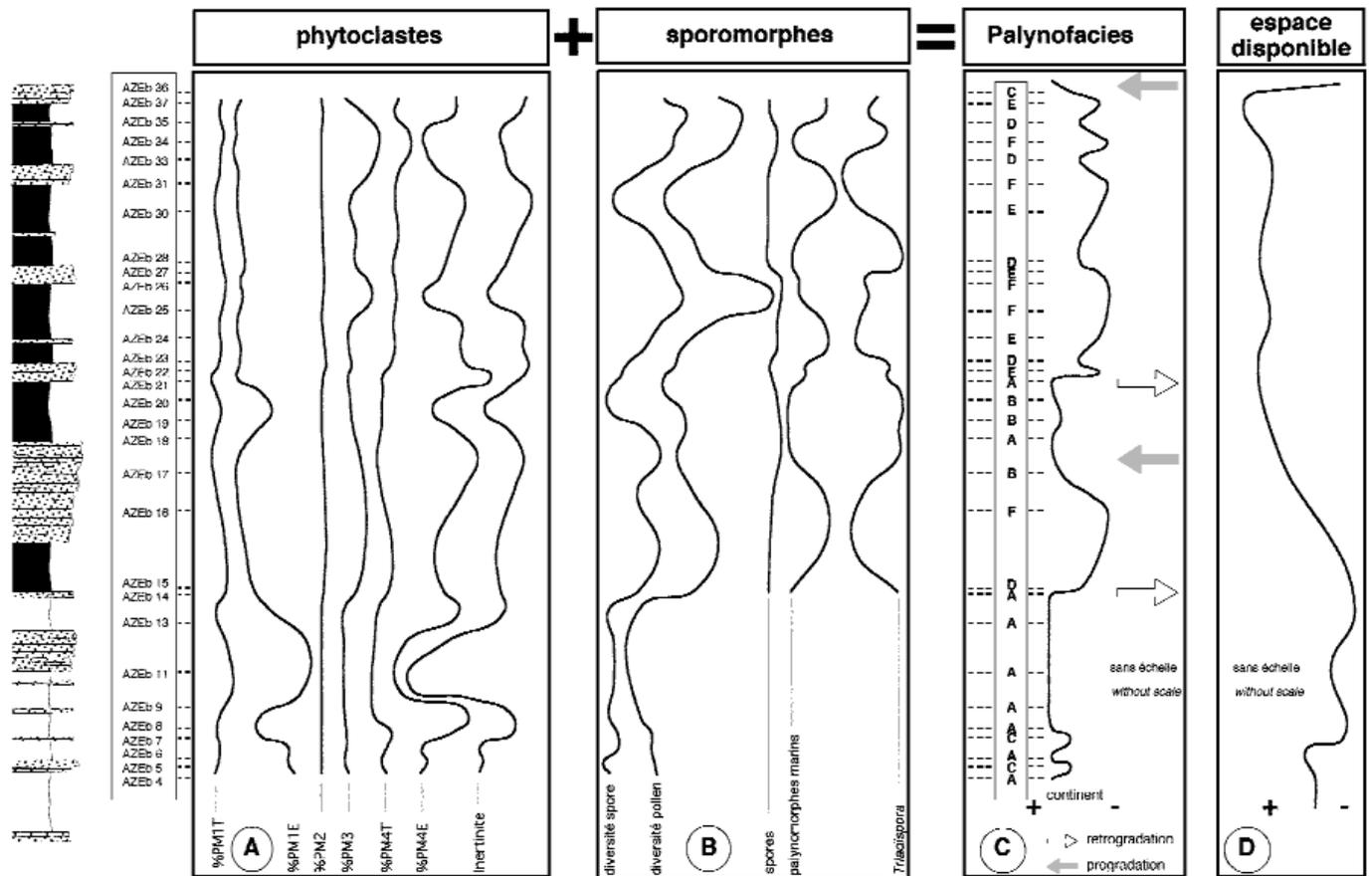


Fig. 4.- Comparisons des paramètres du palynofaciès et sédimentologiques. L'espace disponible est interprété d'après les variations d'épaisseurs des lithologies (la colonne stratigraphique indiquée est schématique).

Fig. 4.- Comparison of the palynofacies and sedimentological parameters. The accommodation potential is inferred from lithological thickness (the stratigraphic log indicated on the left part of the figure is diagrammatic).

5 à 15 %). La diversité spécifique des sporomorphes est élevée ; de 5 à 15 % de vitrinite.

Palynofaciès F : Leiosphères présentes ; proportion de PM4T supérieure à 14 % ; PM2+PM3 supérieure ou égale à 6 %. Caractères complémentaires : population de *Triadispora* comprise entre 58 et 82 % ; la diversité spécifique peut être élevée ; de 20 à 41 % de vitrinite.

Parmi les palynofaciès analysés, les particules PM4E sont les plus abondantes. Ce sont des particules équidimensionnelles qui, dans l'exemple étudié, ne sont pas de grandes tailles (moyenne de l'ordre de 40 µm). Les proportions des particules allongées PM1T et PM4T, bien que moins abondantes que les particules équidimensionnelles, augmentent vers le haut de la série. L'abondance de ces particules en aiguille a des significations multiples ; en régime de faible énergie (cas de l'exemple discuté) les particules

en aiguille augmentent vers le large (Whitaker *et al.*, 1992 ; Van Waveren, 1989). Appliquée à un environ deltaïque, l'augmentation des particules en aiguille traduit une augmentation de la hauteur d'eau maintenue suffisamment longtemps pour permettre leur dépôt compte tenu du fait que ces particules sont celles qui peuvent rester le plus longtemps en suspension. Ainsi, plus la hauteur d'eau est importante plus la quantité de particules en aiguille sédimentée est importante. Selon cette remarque, les palynofaciès qui renferment le moins de particules en aiguilles traduiraient les environnements les plus continentaux (palynofaciès A, B, C et D). Les palynofaciès enrichis en particules en aiguille correspondraient aux milieux les moins continentaux (palynofaciès E et F). A titre d'hypothèse, les palynofaciès A à F sont utilisés comme marqueurs d'espace disponible (fig. 4). La courbe obtenue (fig. 4C) présente des maxima et minima qui seraient le reflet des variations de l'espace disponible

(comparer la courbe 4C à la courbe 4D établie d'après les variations d'épaisseur des faciès lithologiques). La première augmentation d'espace disponible est localisée dans l'échantillon AZE 14 et correspond au changement de couleur des argilites qui de verdâtres deviennent noires. Avec ce changement de couleur, apparaissent les premières rides de vagues. La hauteur d'eau (l'espace disponible) diminue alors jusqu'à un minimum relatif localisé dans l'échantillon AZE 18 correspondant à l'apparition des premières traces de halite et de gypse. Une nouvelle augmentation relative de l'espace disponible est repérée dans l'échantillon AZE 21. Cette montée en eau se poursuit par saccades jusque dans l'échantillon AZE 34. A partir de ce niveau, la hauteur d'eau relative diminue, mais elle demeure suffisamment importante pour permettre le dépôt des argilites noires. Au-delà de l'échantillon AZE 36, elle devient insuffisante pour permettre leur dépôt et ce sont les argilites lie-de-vin qui sédimentent.

Bien que les deux courbes 4C et 4D soient sans échelle, on peut observer que la courbe extrapolée des palynofaciès, selon l'interprétation qui en est faite, présente une tendance analogue à celle qui est extrapolée des faciès sédimentaires. Les variations relatives de la courbe des palynofaciès apportent des indications aussi franches que celles des faciès sédimentaires.

Conclusions

Les kérogènes des argilites verdâtres et lie-de-vin ne renferment que des débris de bois tandis que les alternances d'argilites noires et de grès, silteux du Trias de l'Azergues délivrent des sporomorphes et des phytoclastes. Les argilites noires et les grès silteux associées présentent une diversité modérée en sporomorphes (16 espèces de spores, 19 espèces de grains de pollen, une espèce d'algue lacustre et trois espèces d'algues marines). Le groupe des *Triadispora*, grains de pollen à deux ballonnets, est l'élément majoritaire dans les assemblages. Ce groupe est principalement représenté par la forme *T. aurea*. Les autres sporomorphes ne sont jamais fortement abondants (quelques pourcents). Les formes aquatiques d'eau douce (*Plaesiodyctyon mosellanum*) ou marine (*Cymatiosphaera* et *Michrystridium*) sont très rares. Par épisodiques, des formes sphériques lisses de petites tailles, rapportées avec doute au genre *Leiosphaeridia* sont abondantes ; elles sont considérées comme étant d'origine marine.

La présence concomitante de *Echinitorites iliacoïdes*, *Heliosaccus dimorphus*

et *Ovalipollis pseudoalatus* et l'absence de quelques éléments caractéristiques comme les pollens polysaccoides, argumentent pour un âge limite Fassanien-Langobardien.

L'abondance des *Triadispora*, pollens émis par des plantes halophytes et thermophiles, la rareté des spores d'Equisétales ou de Ptéridophytes et la présence épisodiques des leiosphères étayent l'hypothèse d'une plaine deltaïque hypersaline à dominance de marées. Du point de vue lithologique, ces dépôts sont représentés par des argilites noires. Les argilites versicolores et vertes et lie-de-vin qui encadrent les argilites noires sont interprétées comme des dépôts de plaine d'inondation, grâce aux observations sédimentologiques.

Les palynomorphes sont accompagnés d'abondants débris de végétaux (phytoclastes). L'utilisation de la classification améliorée de Whitaker (1984) conduit à reconnaître une sous-classe abondante, les particules noires équidimensionnelles (moyenne de 58 %) puis les particules brunes équidimensionnelles (moyenne 16 %), les PM4T (moyenne 15 %), les particules issues de tissus (moyenne 6 %), particules brunes allongées (moyenne 5 %) et enfin les restes de cuticules (moyenne inférieure à 1 %). Du point de vue des morphologies, les particules équidimensionnelles (E) sont plus abondantes (moyenne 74 %) que les particules en aiguille (particule T ; moyenne 26 %). Les principales caractéristiques observées au sein des phytoclastes et des sporomorphes permettent de définir six palynofaciès fondés sur la présence ou l'absence des leios-

phères, les proportions des PM4T et de l'ensemble PM2 + PM3.

Les échantillons issus de l'environnement de dépôt de type plaine d'inondation délivrent deux types de palynofaciès. Chez le premier les Leiosphères sont absentes, les proportions de PM4T et de PM2+PM3 sont faibles. Chez le second, les Leiosphères sont présentes, les proportions de PM4T sont fortes tandis que celles de PM2+PM3 sont faibles. Les échantillons correspondant aux dépôts de plaine deltaïque hypersaline ont délivré les six types décrits, incluant les deux rencontrés précédemment.

Parmi les paramètres du palynofaciès, les particules en aiguilles (PM1T et PM4T) ont un intérêt particulier compte tenu du fait qu'elles augmentent en moyenne, de la base vers le sommet de la série. L'accroissement des particules en aiguille est supposé traduire une élévation de la hauteur d'eau. Selon cette hypothèse, les palynofaciès qui renferment le moins de particules en aiguilles traduisent les environnements les plus continentaux et ceux qui en ont le plus les milieux les moins continentaux. A travers l'évolution des palynofaciès, est exprimée la variation de la hauteur d'eau dans la plaine deltaïque. Cette variation présente une bonne analogie avec la courbe de l'espace disponible établie à partir des variations d'épaisseur des unités génétiques sédimentologiques. Cette analogie montre que l'analyse de la distribution des classes de particules de bois (phytoclastes) dans le kérogène est un outil pertinent pour apprécier la variation de la hauteur d'eau dans des milieux peu profonds.

Références

- Adloff M.C., Appia C., Doubinger J., Lienhardt M.J. (1984) - Zonations palynostratigraphiques dans les séries triasiques traversées par des sondages dans le Jura et le Bas-Dauphiné. *Géologie de la France*, n° 1-2, 3-21.
- Batten D.J. (1973) - Use of palynologic assemblage-types in Wealden correlation. *Palaeontology*, **16**, 1-40.
- Batten D.J. (1974) - Wealden palaeoecology from the distribution of plant fossils. *Proc. Geol. Assoc.*, **85**, 433-458.
- Batten D.J. (1982) - Palynofacies, palaeoenvironments and petroleum. *J. Micropalaeontology*, **1**, 107-114.
- Brugman W.A., Van Bergen P.F., Kerp J.H.F. (1994) - A quantitative approach to Triassic palynology, the Lettenkeuper of the Germanic Basin as an example. In: A. Traverse (Ed.): *Sedimentation of Organic Particles*; Cambridge (Cambridge University Press).
- Courel L. (1973) - Modalités de la transgression mésozoïque Trias et Rhétien de la bordure nord et est du Massif central français. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, **118**, 1-150.
- Doubinger J., Adloff M.C. (1977) - Etudes palynologiques dans le Trias de la bordure sud-est du Massif central (Bassin de Largentière, Ardèche). *Sci. Géol.*, **39**, 59-74.
- Gorin G., Monteil E. (1990) - Preliminary note on the organic facies, thermal maturity, and dinoflagellate cysts of the Upper Maastrichtian Wang Formation in the northern Subalpine Massifs (western Alps, France). *Eclogae Geol. Helv.*, **83**, 265-285.

- Gorin G., Steffen D. (1991) - Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates, example of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **85**, 303-320.
- Grauvogel-Stamm L. (1978) - La flore du grès à Voltzia (Buntsandstein supérieur) des Vosges du Nord (France). Morphologie, anatomie, interprétations phylogénique et paléogéographique. *Sci. Géol.*, **50**, 1-225.
- Heunisch C. (1986) - Palynologie des Unteren Keupers in Franken, Süddeutschland. *Palaeontographica*, **200**, 1-6, 33-110.
- Scheuring B.W. (1970) - Palynologische un palynostratigraphische Untersuchungen des Keupers im Bölchentunnel (Solothurner Jura). *Schweiz. Paläontol. Abh.*, **88**, 1-119.
- Scheuring B.W. (1978) - Mikroflora aus den Meridekalken des Mte. San Giorgio (Kanton Tessin). *Schweiz. Paläontol. Abh.*, **100**, 1-205.
- Steffen D., Gorin G. (1993) - Palynofacies of the Upper Tithonian-Berriasian deep-sea carbonates in the Vocontian Rough (SE France). *Bull. Centre Rech., Elf Exploration Prod.*, **17**, (1), 235-247.
- Taugourdeau-Lantz J. (1983) - Associations palynologiques définies dans le Trias languedocien (France) : interprétation stratigraphique. *Cahiers Micropaléontologie*, **3**, 5-20.
- Taugourdeau-Lantz J. (1984) - Les associations palynologiques du Trias languedocien dans leur cadre européen : influence du milieu (sols de végétation - milieu sédimentaire). *Géologie de la France*, n° 1-2, 23-28.
- Tyson R.V. (1995) - Sedimentary Organic Matter. Chapman & Hall (Ed.), Londres, 1-615.
- Van Der Eem J.G.L.A. (1983) - Aspects of Middle and Late Triassic Palynology. 6. Palynological investigations in the Ladinian and Lower Karnian of the Western Dolomites, Italy. *Rev. Palaeobotany, Palynology*, **39**, 189-300.
- Van Waveren (1989) - Pattern analysis of organic component abundances from deltaic and open marine deposits: palynofacies distribution (East Java, Indonesia). *Netherl. J. Sea Research*, **23**, 441-447.
- Visscher H., Brugman W.A., Van Houte M. (1994) - Chronostratigraphical and Sequence Stratigraphical Interpretation of the palynomorph Record from the Muschelkalk of the Obernsees Well, South Germany. In: H. Hagdom & A. Seilacher (Coord.): Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991; Goldschneck-Verlag Werner K. Weidert, Stuttgart, Korb, 145-152
- Visscher H., Brugman W.A. (1981) - Ranges of selected palynomorphs in the Alpine Triassic of Europe. *Rev. Palaeobotany, Palynology*, **34**, 115-128.
- Whitaker M.F. (1984) - The usage of palynostratigraphy and palynofacies in definition of Troll Field geology. 6th Offshore Northern Seas Conference and Exhibition, Stavanger 1984, Paper G6.
- Whitaker M.F., Giles M.R., Cannon J.C. (1992) - Palynological review of the Brent Group, UK sector, north sea. In: Morton A.C., Haszeldine R.S., Giles M.R. and Brown S. (eds), 1992, Geology of the Brent Group. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **61**, 169-202.