

Les assemblages de diatomées des niveaux infra-gypseux du Messinien de Méditerranée (Espagne, Sicile, Chypre)

Simona PESTREA

Université de Bucarest, Faculté de Géologie et Géophysique,
1 bd N. Balcescu, Bucarest (Roumanie)
simsaintmartin@yahoo.fr

Marie-Madeleine BLANC-VALLERON
Jean-Marie ROUCHY

Muséum national d'Histoire naturelle,
CNRS, FR 2400, Laboratoire de Géologie,
43 rue Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Pestrea S., Blanc-Valleron M.-M. & Rouchy J.-M. 2002. — Les assemblages de diatomées des niveaux infra-gypseux du Messinien de Méditerranée (Espagne, Sicile, Chypre), in Néraudeau D. & Goubert E. (eds), l'Événement messinien : approches paléobiologiques et paléocéologiques. *Geodiversitas* 24 (3) : 543-583.

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de contribuer, à partir des diatomées, à la caractérisation des changements paléocéanographiques qui ont affecté la Méditerranée à la transition entre les conditions de mer ouverte du Messinien basal et le début de la crise de salinité. Ce marqueur biologique a été choisi car les diatomites sont l'une des composantes sédimentaires dominantes de cet intervalle de temps connu sous le nom de Formation du Tripoli. Une étude détaillée des assemblages de diatomées a donc été réalisée sur trois coupes sélectionnées en fonction de leur représentativité paléogéographique : bassin peu profond à l'extrémité occidentale (Lorca, Espagne), bassin profond comparable aux parties centrales de la Méditerranée et à la transition entre les parties occidentale et orientale (Giblissemi/Falconara, Sicile) et bassin marginal à l'extrémité orientale (Pissouri, Chypre). Malgré cette diversité de situations, les assemblages de diatomées sont caractérisés par de nombreuses espèces communes et par la très large prédominance de l'espèce *Thalassionema nitzschioides* Grunow in Van Heurck, 1881. Les espèces rencontrées dans les trois coupes sont principalement des formes marines, y compris dans les sédiments situés au contact ou en intercalation dans le gypse. Une réduction de la diversité spécifique est observée vers le sommet de la série dans les coupes de Sicile et de Chypre. Le changement le plus important s'observe à Falconara/Giblissemi où des assemblages d'eaux froides d'influence atlantique caractérisent la partie inférieure de la série tandis que les formes d'eaux

MOTS CLÉS

Diatomées,
Messinien,
Méditerranée,
Sicile,
Espagne,
Chypre.

chaudes dominant au-dessus, malgré des récurrences de conditions plus froides. Des variations s'observent également, dans la coupe de Gibliscemi/Falconara, à l'échelle élémentaire de chaque cycle sédimentaire par le passage d'assemblages dominés respectivement par les espèces néritiques océaniques dans la partie inférieure et planctoniques littorales vers le sommet.

ABSTRACT

Messinian diatom assemblages of infra-gypsum diatomites in the Mediterranean (Spain, Sicily, Cyprus).

This study is a contribution to the characterisation of the palaeoceanographic changes that affected the Mediterranean at the transition from the open marine conditions which prevailed at the beginning of the Messinian to the onset of the salinity crisis, using the variations in the diatom assemblages. This biological marker was selected, as the diatomites constitute a dominant sedimentary component of this interval, classically known as Tripoli Formation. A detailed study of the diatom assemblages was carried out on three field sections selected because they represent different palaeogeographical settings: shallow basin located at the westernmost part of the Mediterranean (Lorca, Spain), deep water conditions similar to those of the central areas of the Mediterranean (Gibliscemi/Falconara, Sicily) and a marginal basin of the easternmost Mediterranean (Pissouri, Cyprus). In spite of these palaeogeographical differences, the diatom assemblages display a relative homogeneity and the large predominance of the planktonic species *Thalassionema nitzschioides* Grunow in Van Heurck, 1881. In the three sections, the assemblages were dominated by marine species throughout the sections up to the base of the gypsum and, in some cases, in the sediments intercalated in the lower part of the evaporites themselves. A reduction of the species diversity however was observed towards the top of the succession in Sicily and Cyprus. A major change is observed in the Falconara/Gibliscemi section where the lower part of the section is characterized by typical assemblages of colder conditions whereas assemblages indicative of warmer conditions predominate in its upper part, with some recurrences of colder influences.

KEY WORDS

Diatoms,
Messinian,
Mediterranean,
Sicily,
Spain,
Cyprus.

INTRODUCTION

Les dépôts diatomitiques représentent une des composantes essentielles de la sédimentation messinienne et s'intercalent à plusieurs niveaux dans la succession sédimentaire. Les dépôts les plus développés et les plus étendus, désignés par l'appellation de Formation du Tripoli, sont localisés dans la série préévaporitique. Ils sont présents dans la majeure partie des bassins périméditerranéens (Rouchy 1982, 1988) où ils ont donné lieu à de nombreuses études, en Sicile

(Burckle 1978 ; Monnier 1978 ; Gersonde 1980 ; Gersonde & Schrader 1984 ; Gaudant *et al.* 1996 ; Pierre *et al.* 1997 ; Suc *et al.* 1995 ; Pestrea & Saint Martin 2002), en Espagne (Gersonde 1980 ; Muller & Schrader 1989 ; Jurkschat & Fenner 1997, 1998 ; Rouchy *et al.* 1998), en Algérie (Baudrimont & Degiovanni 1974 ; Gardette 1979 ; Gersonde 1980 ; Gersonde & Schrader 1984 ; Mansour 1991 ; Mansour *et al.* 1995 ; Mansour & Saint Martin 1999 ; Pestrea *et al.* 1999), en Italie (Fourtanier *et al.* 1991), au Maroc et à Chypre (Gardette

1979 ; Pestrea *et al.* 2000), en Crète (Gaudant *et al.* 1997). Ils ont également été rencontrés dans les parties profondes de la Méditerranée (Cita *et al.* 1978 ; Pierre & Rouchy 1990). Bien que plus épisodique, la sédimentation diatomitique a perduré pendant le dépôt du calcaire de base qui marque, en Sicile, les premières manifestations de la crise de salinité messinienne (Rouchy 1982 ; Bellanca & Neri 1986 ; Bellanca *et al.* 2001). Des niveaux diatomitiques s'intercalent également dans les évaporites, dans l'unité des gypses supérieurs de Sicile (Gersonde 1980 ; Rouchy 1982) et dans les séries gypseuses de Chypre et du Piémont en Italie (Gardette 1979 ; Orszag-Sperber *et al.* 1980 ; Rouchy 1982 ; Fourtanier *et al.* 1991). Des diatomites sont encore localement présentes dans les sédiments post-évaporitiques typiques de l'épisode de dessalure fini-messinien (Schrader & Gersonde 1978).

Par leur présence dans les différentes unités sédimentaires messiniennes, les diatomées apparaissent donc potentiellement comme d'excellents marqueurs des changements paléocéanographiques qui sont intervenus en Méditerranée au cours du Messinien, notamment en ce qui concerne les paléotempératures et les paléosalinités.

L'objectif de cette étude est d'utiliser ce potentiel pour caractériser les modifications successives du paléoenvironnement à la transition entre les conditions marines du Tortonien/Messinien inférieur et jusqu'aux premières manifestations de la crise de salinité messinienne. Trois coupes ont été choisies, en fonction de leur représentativité paléogéographique. Elles sont situées respectivement à l'extrémité occidentale (Lorca, Espagne), à la transition entre les parties occidentale et orientale (Giblissemi/Falconara, Sicile) et à l'extrémité orientale (Pissouri, Chypre) de la Méditerranée. Le bassin de Lorca est peu profond et précocement isolé tandis que celui de Giblissemi-Falconara est relativement profond et le plus proche de ce que devaient être les parties profondes de la Méditerranée au Messinien. La continuité des coupes depuis le Tortonien jusqu'à la base des évaporites a conditionné le choix des coupes afin d'obtenir un enregistrement comparable portant sur tout l'intervalle de temps

concerné par la transition marin/hypersalin. Cette étude s'intègre dans une approche plus globale qui a mis en jeu un protocole analytique comparable appliqué à un échantillonnage à haute-résolution (résolution temporelle d'environ 3000 ans) et couplant l'étude des marqueurs biologiques (foraminifères, radiolaires, diatomées) à l'analyse de la pétrographie et des isotopes stables des carbonates. La précision chronologique dont on dispose aujourd'hui autorise des corrélations précises entre ces bassins.

MÉTHODES

Pour chaque échantillon, une quantité d'environ 10 g de sédiment a été attaquée à chaud avec de l'acide chlorhydrique et du peroxyde d'hydrogène. Le détritique grossier a été éliminé par plusieurs décantations successives. Une goutte de suspension bien homogénéisée a été étalée sur la lame qui a été ensuite collée à une lamelle en utilisant une résine NAPHRAX.

L'observation des lames a été réalisée au microscope optique à un grossissement de $\times 1000$.

Pour chaque coupe, l'abondance relative (en pourcentages) des espèces dans un échantillon a été calculée à partir du comptage de 400 individus au moins, en suivant la méthode décrite par Schrader & Gersonde (1978).

Les principales données paléocéologiques et écologiques sont extraites des travaux suivants : Peragallo & Peragallo (1897-1908), Karsten (1907), Hustedt (1930-1966), Hendey (1937, 1951, 1964), Cupp (1943), Jousé (1957), Jousé *et al.* (1971), Barron (1973), Baudrimont & Degiovanni (1974), Maynard (1976), Ricard (1977), Guillard & Kilham (1978), Gardette (1979), Sancetta (1979, 1982), Gersonde (1980), Sancetta & Silvestri (1986), Mansour (1991), Baldauf (1984), Noël (1982, 1984), Barron (1985), Round *et al.* (1990), Sancetta *et al.* (1992), Rincé (1993), Gaudant *et al.* (1996).

L'intérêt des assemblages de diatomées comme indicateurs des variations des paramètres paléocéologiques (paléotempérature, paléosalinité et paléobathymétrie) est d'autant plus grand que la

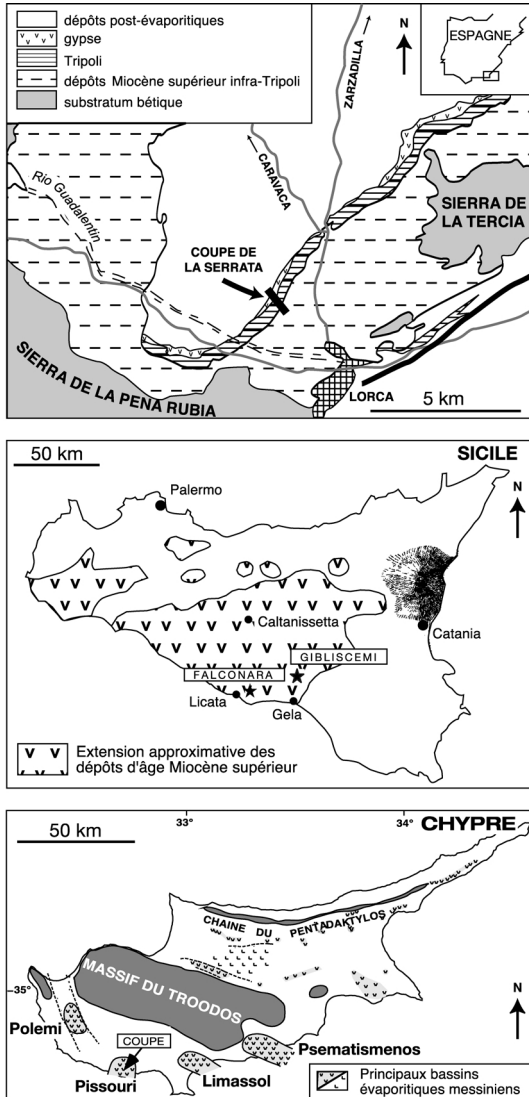


FIG. 1. — Cartes de localisation des bassins de Lorca (Espagne), Falconara-Giblisce (Sicile) et Pissouri (Chypre).

plupart des taxons déterminés dans notre étude se retrouvent dans l'Actuel où leur écologie est connue. À partir des données fournies par les abondances relatives, il est possible de parvenir à une interprétation paléocéologique.

Les diatomées peuvent être planctoniques ou benthiques. Les planctoniques sont holoplanctoniques lorsque la totalité de leur cycle de vie se déroule sans contact avec un substrat ou bien

méropianctoniques lorsque les espèces nécessitent la proximité du rivage pour se reproduire. Dans le milieu marin (Wornard 1969) les formes planctoniques se répartissent dans les domaines océanique et néritique.

Dans cette étude on a employé la terminologie suivante :

- planctoniques océaniques pour les formes holoplanctoniques connues dans le domaine océanique (zone marine dont la bathymétrie excède 200 m) ;
- planctoniques océanique-néritiques pour les formes holoplanctoniques qui sont citées dans le domaine océanique, mais également dans le domaine néritique (« middle neritic » et « outer neritic ») ;
- planctoniques littorales pour les formes planctoniques connues dans la zone néritique interne (« inner neritic » correspondant à la bande côtière) et qui sont également généralement des espèces méropianctoniques ;
- benthiques pour les formes vivant sur le fond.

BASSIN DE LORCA (ESPAGNE) :
COUPE DE LA SERRATA

CADRE GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

Le bassin de Lorca est un des petits bassins marginaux (200 km²) des cordillères bétiques orientales. La formation de ces bassins est associée au fonctionnement d'un système complexe de failles formant un grand couloir de décrochement sénestre qui, sur plus de 250 km entre Almeria et Alicante, compartimente la chaîne bétique (Montenat *et al.* 1987 ; Larouzière *et al.* 1988) (Fig. 1). Le bassin de Lorca lui-même est limité par deux systèmes majeurs de failles orientés NE-SW qui sont demeurées actives pendant la sédimentation néogène jusqu'à aujourd'hui (Montenat *et al.* 1990).

La série sédimentaire de la partie centrale du bassin a fait l'objet de descriptions très détaillées (Geel 1978 ; Rouchy 1982 ; Ortí 1990 ; Montenat *et al.* 1990 ; Benali *et al.* 1995 ; Guillén Mondéjar *et al.* 1995 ; Rouchy *et al.* 1998). Elle débute par des marnes homogènes marines

d'âge Tortonien supérieur à Messinien inférieur mesurant jusqu'à 1300 m d'épaisseur qui sont suivies par la séquence diatomitique ou Tripoli (130 m), puis la formation évaporitique. Celle-ci comporte une unité gypseuse (50 m) recouvrant une unité salifère (200 m) connue seulement en forage. La succession s'achève par des séries continentales. Vers les marges du bassin, cette série passe latéralement à des plates-formes carbonatées intercalées avec des dépôts marneux et conglomératiques. De nombreuses études stratigraphiques donnent un âge messinien à la série du Tripoli (Montenat 1977 ; Geel 1978 ; Rouchy 1982 ; Rouchy *et al.* 1998 ; Dinarès-Turrell *et al.* 1997 ; Playa *et al.* 2000 ; Taberner *et al.* 1998 ; Wrobel & Michalzik 1999 ; Wrobel 2000), bien que d'autres travaux aient proposé un âge Tortonien supérieur (Krijgsman *et al.* 2000).

SÉDIMENTOLOGIE ET PALÉOENVIRONNEMENTS

La coupe de la Serrata a été levée dans la partie centrale du bassin où s'observe la séquence la plus épaisse et la plus complète. La série du Tripoli mesure là 130 m d'épaisseur depuis le premier banc de diatomites préservées, qui a été pris comme limite conventionnelle de la série, jusqu'à la base des évaporites principales. Le dépôt de sédiments diatomitiques a néanmoins débuté dès le Tortonien supérieur, comme l'atteste la présence, sous le Tripoli conventionnel, d'une dizaine de niveaux de cherts dolomitiques correspondant à d'anciennes diatomites affectées par une diagénèse siliceuse (opale CT) et carbonatée qui empêche la détermination des assemblages de diatomées (Rouchy *et al.* 1998).

La succession sédimentaire de la série du Tripoli de Lorca se différencie de celle de nombreux autres bassins messiniens par l'intercalation de huit épisodes gypseux qui, dans la partie centrale du bassin au niveau de la Serrata, ont été remplacés par des carbonates en relation avec des processus de réduction bactérienne des sulfates en présence de sédiments riches en matière organique (Rouchy *et al.* 1998 ; Taberner *et al.* 1998). Ces niveaux gypseux se sont formés pendant des épisodes d'isolement complet du bassin et de dessiccation qui ont interrompu périodi-

quement la sédimentation marine à forte productivité biosiliceuse (Rouchy *et al.* 1998). Dans le bassin de Fortuna, situé plus au Nord, la même succession de cycles diatomites/gypse (Formation Chicamo) s'observe également (Playa *et al.* 2000). Mais l'absence, au sein de la série diatomitique de Lorca, d'un motif cyclique régulier contrôlé par la précession, ne permet pas, malgré un échantillonnage extrêmement serré, d'établir des corrélations à haute-résolution avec les séries des autres bassins, comme ceux de Sicile et Chypre.

ASSEMBLAGES DE DIATOMÉES

Composition de la microflore

La microflore de diatomées analysée dans 39 échantillons a fourni 51 espèces réunies en 31 genres, dont 16 de diatomées centriques et 15 de diatomées pennées. L'inventaire microfloristique ainsi que les abondances relatives des espèces (illustrés *pro-parte* Fig. 2) se retrouvent dans l'Annexe 1.

Bien que *Thalassionema nitzschioides* Grunow in Van Heurck, 1881 domine la plupart des assemblages, la composition microfloristique varie sensiblement le long de la coupe, surtout en ce qui concerne les espèces sous-dominantes, ce qui a permis de définir plusieurs assemblages types (Annexe 2). À la base de la coupe, les assemblages ne montrent que des variations minimales avec seulement un assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, 1873 (intervalle des échantillons L.94.90-L.94.113) et un assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima* Cleve & Grunow, 1880, *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve, 1903, *Thalassiosira cf. eccentrica*, *Thalassiosira lineata* Jousé, 1968 (intervalle des échantillons L.94.128-L.94.144 et également L.94.156 et L.94.174). À partir de l'échantillon L.94.154 se succèdent ensuite des assemblages variés.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Paralia sulcata* (échantillon L.94.90-L.94.113). Les deux espèces planctoniques dominantes de cet assemblage, *Thalassionema nitzschioides* et *Paralia sulcata*, suggèrent une sédimentation dans un milieu marin côtier.

Thalassionema nitzschioides est une espèce planctonique, cosmopolite qui peut caractériser les milieux océaniques, mais également les zones côtières. *Paralia sulcata* est citée comme espèce planctonique littorale marine et mésoeuryhaline (Gersonde 1980) ; elle peut donc indiquer un milieu littoral de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Selon Abrantes (1988) et Sancetta (1979, 1981), *Paralia sulcata* et *Thalassionema nitzschioides* sont des marqueurs de zones d'upwelling.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima*, *Thalassiosira eccentrica*, *T. cf. eccentrica*, *T. lineata* (échantillon L.94.128-L.94.144). Au sein de cet assemblage, l'espèce dominante *Thalassionema nitzschioides* ainsi que les espèces accompagnatrices *Thalassiothrix longissima*, *Thalassiosira eccentrica*, *Actinocyclus curvatulus* Janisch in A. Schmidt, 1878, *Nitzschia reinholdii* Kanaya in Kanaya & Koizumi, 1970 et *Thalassiosira lineata* sont des formes planctoniques. *Thalassiosira eccentrica* et *Nitzschia reinholdii* sont considérées comme planctoniques océaniques. Cette association indique donc des connexions aisées avec l'océan. Dans le même sens, on note la diminution sévère de *Paralia sulcata*, ainsi que d'autres formes planctoniques littorales.

Assemblage à *Actinopterychus senarius* (échantillon L.94.154). Cet assemblage présente une image différente des autres échantillons analysés. L'espèce planctonique littorale *Actinopterychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843 domine (50 %) accompagnée de *Thalassiosira cf. eccentrica* et de spores de *Chaetoceros*. Ce niveau pourrait témoigner d'une diminution de la tranche d'eau.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, spores de *Chaetoceros* (échantillons L.94.170 ; L.94.198 ; L.94.200 ; L.94.266). Les associations dominées par *Thalassionema nitzschioides* et les spores de *Chaetoceros* sont généralement interprétées comme indicatrices d'une forte productivité qui caractérise les zones d'upwelling (Muller & Schrader 1989 ; Sancetta *et al.* 1992 ; Schuette & Schrader 1981). Fourtanier (dans Gaudant *et*

al. 1996) note que les assemblages constitués de *Thalassionema nitzschioides* (dominante) et les spores de *Chaetoceros* (en sous-dominante) correspondent à un milieu où les effets de l'upwelling côtier sont encore présents.

Assemblage à spores de *Chaetoceros* (échantillons L.94.191 ; L.94.225). Les assemblages dominés par les spores de *Chaetoceros* peuvent être interprétés comme les assemblages à *Thalassionema nitzschioides*, spores de *Chaetoceros*. Mais cet assemblage étant presque monospécifique, il pourrait s'agir de floraisons (blooms) de spores de *Chaetoceros* en liaison avec des milieux caractérisés par une tranche d'eau chaude dont la salinité est inférieure à celle de la mer (Niiler *et al.* 1991 ; Holm-Hansen & Mitchell 1991). Des conditions de stress environnemental et surtout un déficit en azote peuvent également provoquer la formation des spores (Leventer *et al.* 1993). Par ailleurs Sancetta (1992) note qu'une concentration importante de spores de *Chaetoceros* peut exprimer plutôt des phénomènes d'érosion et de transport latéral. Caractérisés par un frustule robuste, les spores de *Chaetoceros* peuvent en effet supporter plusieurs phases de mise en suspension/dépôt et sont donc susceptibles d'être concentrées par ces phénomènes (Leventer & Dunbar 1987 ; Sancetta 1989). Cet assemblage à spores de *Chaetoceros* pourrait donc aussi suggérer des phénomènes de resédimentation.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima* (échantillons L.94.163 ; L.94.210 ; L.94.248 ; L.94.258 ; L.94.279 ; L.94.281). *Thalassionema nitzschioides* domine cet assemblage (32-80 %) accompagnée de *Thalassiothrix longissima*. En ce qui concerne les autres espèces, d'un échantillon à l'autre on peut remarquer quelques différences. Ainsi, *Actinocyclus curvatulus* représente 20,3 % de l'échantillon L.94.279, *Rhizosolenia* sp. constitue 8,6 % des diatomées de l'échantillon L.94.281, tandis que *Actinocyclus curvatulus* et *Actinocyclus ehrenbergii* Ralfs in Pritchard, 1861 correspondent respectivement à 6 et 4 % de l'échantillon L.94.163.

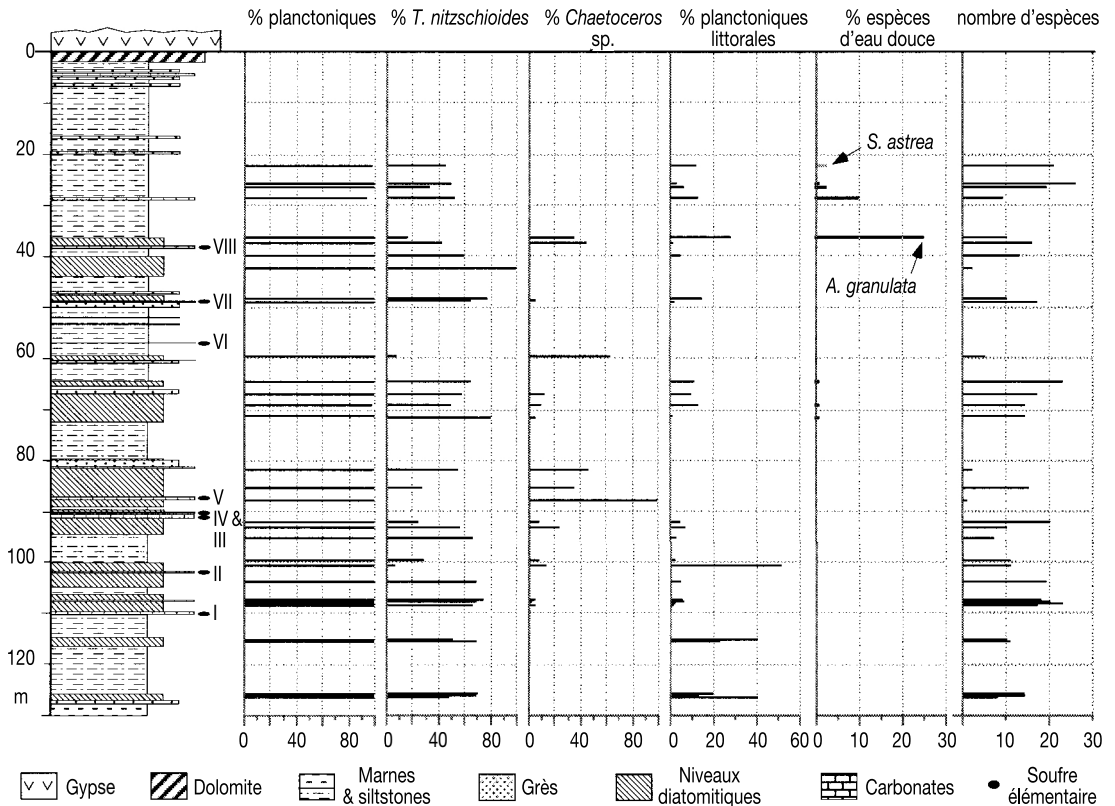


FIG. 3. — Abondance relative des diatomées en fonction du mode de vie dans la coupe de Lorca (Espagne).

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides* (échantillon L.94.255/1). Cet assemblage monospécifique de *Thalassionema nitzschioides* peut correspondre à un « bloom ».

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima*, *Actinoptynchus senarius* (échantillons L.94.212/1 ; L.94.214 ; L.94.218 ; L.94.250 ; L.94.286). Il y a une participation significative de l'espèce planctonique littorale *Actinoptynchus senarius* (9-13 %), ce qui suggère un milieu influencé par la composante littorale.

Mode de vie

Paléobathymétrie. Dans tous les échantillons analysés, les diatomées planctoniques correspondent à plus de 90 % des spécimens (Fig. 3). Les

espèces les plus abondantes sont *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima* et des spores de *Chaetoceros*. On note la présence des taxons planctoniques océaniques *Asterolampra acutiloba* Forti, 1913, *Hemidiscus cuneiformis* Wallich, 1860, *Nitzschia marina* Grunow in Cleve & Grunow, 1880, *N. reinholdii*, *Thalassiosira eccentrica*, *T. miocenica* Schrader, 1974, *T. symbolophora* Schrader, 1974 qui atteignent des pourcentages significatifs (10-14 %) dans les échantillons L.94.267, L.94.225, L.94.133 et L.94.131. Les formes planctoniques littorales, notamment *Actinoptynchus senarius*, *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus* (Brébisson) Hustedt, 1929, *Paralia sulcata*, *Stictodiscus* sp., ont une contribution plus importante (20-50 %) dans les échantillons L.94.90, L.94.96, L.94.111, L.94.113, L.94.154, L.94.267.

Les diatomées benthiques sont représentées par moins de 10 % des spécimens ; les espèces les plus fréquentes sont *Dimerogramma marinum* (Gregory) Ralfs in Pritchard, 1861, *Diploneis bombus* Ehrenberg, 1844, *D. suborbicularis* (Gregory) Cleve, 1894, *Navicula hennedyi* Wm. Smith, 1856, *Rhabdonema adriaticum* Kutzing, 1844, *Rhaphoneis amphiceros* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1844. Les formes benthiques sont plus abondantes vers le sommet de la série, dans les échantillons L.94.286 (3 %) et L.94.275 (7 %).

Paléosalinité. Les formes marines sont dominantes bien que l'on rencontre également des formes mésoeuryhalines pouvant supporter des salinités inférieures à celle de la mer, ainsi que des espèces d'eau douce. L'espèce mésoeuryhaline *Paralia sulcata* enregistre des pourcentages importants (12-40 %) à la base de la série.

À partir de l'échantillon L.94.210, on note l'apparition en pourcentage significatif de l'espèce d'eau douce *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, 1979 qui atteint 24 % dans l'échantillon L.94.267 et la présence de *Stephanodiscus astrea* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow, 1884 dans l'échantillon L.94.286.

DISCUSSION

La distribution des assemblages de diatomées suggère que le bassin a été soumis à des variations du plan d'eau qui sont enregistrées d'une manière plus ou moins cyclique. Ces variations s'expriment par des fluctuations dans l'abondance relative des espèces planctoniques océaniques, planctoniques néritico-océaniques, planctoniques littorales et benthiques. Ces données sont en accord avec celles obtenues à partir de l'étude des assemblages de foraminifères benthiques et de la composition isotopique des carbonates qui montrent un milieu marin soumis à de fréquentes variations de salinité et à une dilution significative par des apports continentaux (Rouchy *et al.* 1998). L'évolution verticale vers une continentalisation croissante du bassin s'accorde également

avec la présence des formes d'eau douce dans la partie supérieure de la série. Dans ce bassin semi-fermé, la composante biogène la plus importante provenait donc des floraisons de diatomées et, lors des phases d'extrême confinement précédant le dépôt des intercalaires gypseux, d'une production monospécifique de nannoplancton. De fins lits diatomitiques comportant encore des assemblages de diatomées marines persistent dans les 30 m supérieurs de la série précédant l'épisode évaporitique majeur et jusqu'au contact même du gypse, alors que la microfaune marine a complètement disparu. Ceci révèle la capacité des diatomées à marquer les influences marines même brèves dans un environnement restreint à continental.

Jurkschat & Fenner (1997, 1998) décrivent cinq cycles déterminés à partir des variations des assemblages de diatomées. Chaque cycle commence par une forte participation des espèces holoplanctoniques et montre vers le sommet une abondance des formes méroplanctoniques. Cette observation est attribuée à des phases transgressives successives favorables au développement des espèces holoplanctoniques. En fait les données sédimentologiques montrent huit épisodes gypseux ou carbonatés (numérotés I à VIII, voir Fig. 3), intercalés dans les diatomites, qui traduisent des périodes d'isolement du bassin s'accompagnant de phases de dessiccation. Cette alternance a été interprétée comme la réponse de ce bassin semi-fermé aux fluctuations du plan d'eau méditerranéen qui, alternativement, permet le remplissage marin par submersion des seuils et l'isolement complet avec évolution vers les conditions évaporitiques (Rouchy *et al.* 1998 ; Taberner *et al.* 1998). La faible profondeur du bassin ne permet pas d'envisager le fonctionnement de systèmes d'upwelling et la prolifération des diatomées pourrait donc être liée soit à des advections d'eaux fertiles provenant de bassins voisins plus profonds, soit à des apports constants de nutriments terrestres. Les variations dans la composition des assemblages de diatomées reflètent les variations des échanges Méditerranée-Atlantique qui ont transmis leur message dans le bassin semi-isolé de Lorca.

BASSIN DE CALTANISSETTA (SICILE) : COUPE DE FALCONARA-GIBLISCEMI

CADRE GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

Le bassin néogène de Caltanissetta (Fig. 1) qui occupe la majeure partie de la Sicile centrale est surimposé au front des unités charriées de la chaîne sicilienne qui constitue un segment de l'orogène maghrébin (Pedley & Grasso 1993). Le remplissage sédimentaire miocène supérieur qui recouvre les unités charriées est affecté par des déformations compressives et impliqué dans une masse glissée vers le SW, la nappe de Gela (Likorish *et al.* 1999). La déformation synsédimentaire du bassin expliquerait le diachronisme local du début des conditions évaporitiques dans le bassin (Bellanca *et al.* 2001). La coupe de Falconara se situe à moins de 15 km au Nord du front de la nappe. Plusieurs auteurs considèrent que le bassin sicilien serait une mosaïque de sous-bassins marginaux en croissance au front de chevauchements actifs pendant la sédimentation (Butler *et al.* 1995 ; Likorish *et al.* 1999). En fait le bassin de Caltanissetta comporte la succession sédimentaire messinienne la plus épaisse de tous les bassins aujourd'hui émergés et en bien des points comparable à celle des bassins profonds centraux, ce qui a conduit à la considérer comme l'équivalent des bassins profonds (Rouchy 1982 ; Seidenkrantz *et al.* 2000). Cette succession comporte en effet une épaisse formation salifère (800 m) associée à des gypses dits inférieurs, recouverts par des séquences marno-gypseuses de l'unité des gypses supérieurs (300 m). La profondeur de dépôt a été estimée à environ 1000-1300 m au début du Messinien (Sprovieri *et al.* 1996a).

Le bassin centro-sicilien étant le plus proche équivalent des parties centrales de la Méditerranée, la reconstitution des variations des environnements de dépôt pendant la période préévaporitique revêt une importance particulière, puisque les séries équivalentes situées sous le sel des parties profondes de la Méditerranée sont encore inaccessibles.

La coupe de Falconara/Giblisce mi est en fait une coupe composite qui réunit celle de Giblisce mi pour la partie inférieure et celle de Falconara

pour la partie supérieure du Tripoli. La formation du Tripoli est caractérisée par une succession cyclique basée sur la répétition de 46 cycles élémentaires composés, de bas en haut, de marnes homogènes, de laminites rougeâtres et de diatomites blanches. Cette rythmicité répond à un forçage astronomique par la précession fournissant ainsi un cadre chronologique très précis (Bellanca *et al.* 2001 ; Krijgsman *et al.* 1995 ; Sprovieri *et al.* 1996a, b) pour les changements sédimentaires, qui établit notamment que la sédimentation diatomitique continue a débuté autour de 6,95 Ma. Un premier niveau de diatomites est néanmoins présent dans la partie supérieure des marnes tortoniennes. Cette sédimentation diatomitique se poursuit jusqu'à l'intérieur même du calcaire de base où apparaissent les premières manifestations de la crise de salinité messinienne sous la forme d'abondants moules et pseudomorphoses carbonatées de cristaux de gypse et de halite.

ASSEMBLAGES DE DIATOMÉES

Composition de la microflore

Les diatomées ont été examinées dans 64 échantillons répartis dans 37 cycles. Chaque cycle débute par des couches marneuses à microfossiles calcaires suivies par des diatomites qui renferment de nombreux microfossiles siliceux : diatomées, silicoflagellés, ébriédiens et spicules d'éponges. Dans le meilleur des cas, cinq échantillons renfermant des diatomées ont pu être étudiés pour un même cycle (cycle 16, échantillons 115.9 à 115.13), alors que plusieurs cycles ne sont représentés que par un échantillon diatomitique. Cette disparité d'un cycle à l'autre amène à une structure des données assez délicate à analyser dans son ensemble. Deux approches complémentaires sont donc envisagées : la définition d'assemblages types à l'échelle de la coupe et l'étude de l'évolution des assemblages à l'intérieur d'un cycle pour les cas favorables.

Au total 63 espèces de diatomées correspondant à 27 genres (13 de Centriques et 14 de Pennées) ont été déterminées. L'Annexe 3 présente l'inventaire des espèces et leur abondance relative ; la Fig. 4 illustre l'abondance des principales espèces centriques et pennées.

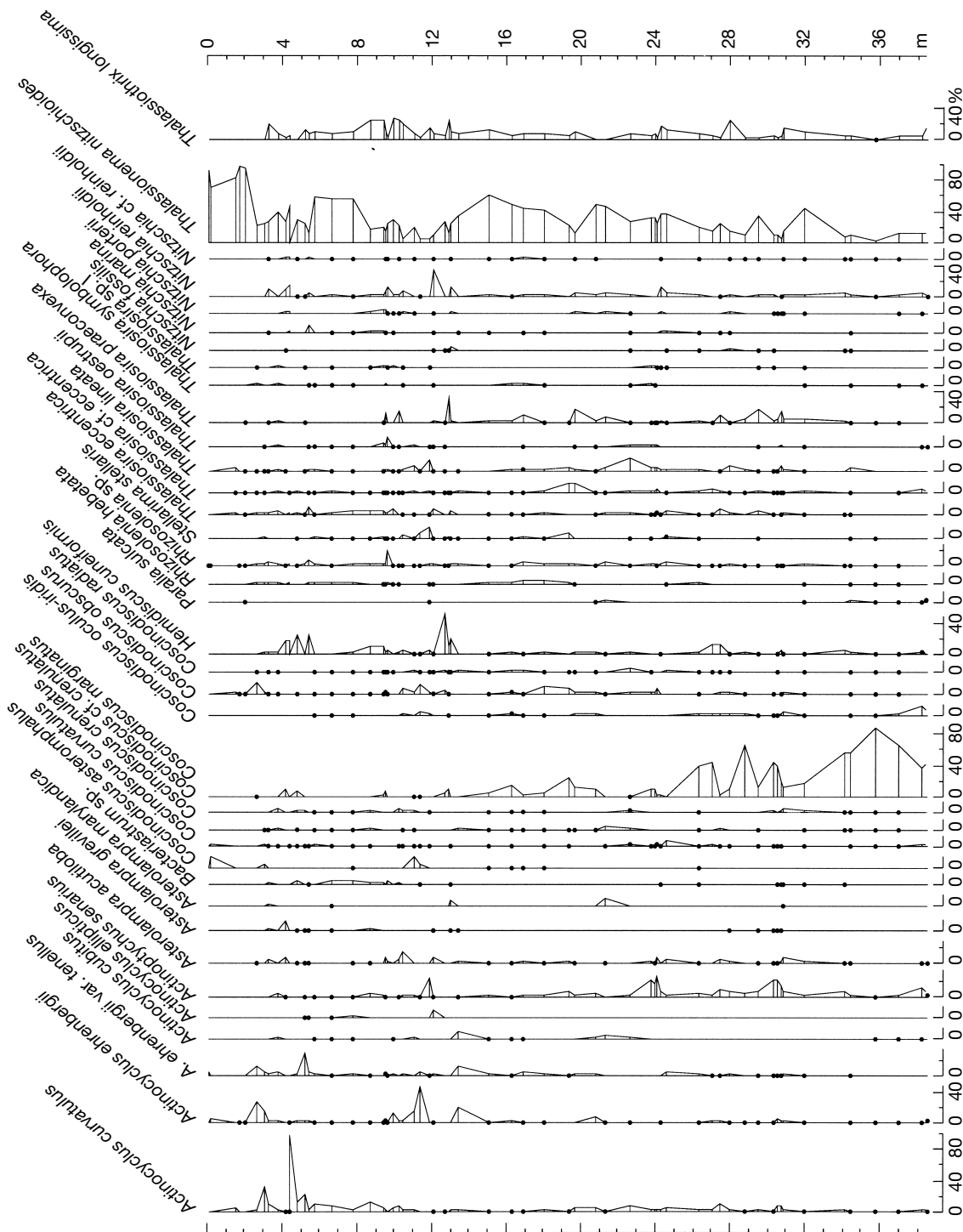


Fig. 4. — Pourcentages des principales espèces de diatomées centriques et pennées représentées dans la coupe de Falconara-Giblicemi (Sicile).

De manière globale, *Thalassionema nitzschioides* est l'espèce dominante avec des pourcentages pouvant atteindre plus de 98 %. Chaque cycle montre cependant des variations au niveau des espèces accompagnatrices.

Assemblage à *Coscinodiscus marginatus*, *Thalassionema nitzschioides*. Cet assemblage caractérise la base de la coupe, du cycle 4 au cycle 15 (échantillons 105.4 à 114.4). L'espèce planctonique océanique-néritique *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg, 1841 peut y atteindre un pourcentage de 88 % (éch. 107.4). D'autres espèces océaniques ou océaniques-néritiques sont également représentées par *Thalassiosira praeconvexa* Burckle, 1972, *T. eccentrica*, *T. lineata*, *Nitzschia reinholdii*. L'espèce planctonique littorale *Actinoptychus senarius* est bien représentée, parfois avec des pourcentages significatifs (13,6-22,8 %) surtout dans le cycle 12.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*. Cet assemblage qui caractérise la partie supérieure de la coupe (cycles 46 et 49 correspondant aux échantillons 140.5 à 140.7, 143.12 et 143.13) renferme quasi-exclusivement (jusqu'à plus de 98 %) des frustules de *Thalassionema nitzschioides* particulièrement bien préservés.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima*. Cet assemblage se retrouve à différents niveaux dans la coupe et caractérise notamment les cycles 16, 21 à 23, 27, 37 à 39, 42 et 43 (échantillons 115.9 à 115.13 ; 119.5 ; 120.4 ; 121.3 ; 122.4 ; 123.3 ; 132.3 ; 133.5, 134.5 ; 137.3 à 137.5). L'espèce *Thalassionema nitzschioides* contribue pour 25 % à 60 % de l'abondance tandis que *Thalassiothrix longissima* demeure avec des pourcentages généralement inférieurs à 10 %. Plusieurs variations en ce qui concerne les espèces sous-dominantes ont été remarquées. Le cycle 16 (échantillons 115.9 à 115.13) est caractérisé par les espèces sous-dominantes *Actinoptychus senarius*, *Asterolampra acutiloba*, *Actinocyclus curvatulus*, *Thalassiosira lineata*, *T. eccentrica*, *Nitzschia porteri* Frenguelli, 1949, *N. reinholdii*. Pour les cycles 20, 21 et 23 on

observe comme espèces sous-dominantes les taxons *Rhizosolenia hebetata* Bailey, 1856 et *Thalassiosira praeconvexa*.

Dans le cycle 27 (éch. 123.3) on note comme espèces accompagnatrices les taxons planctoniques littoraux *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus* et *Actinocyclus cubitus* Hanna & Grant, 1926. Le cycle 37 montre comme espèces sous-dominantes les taxons planctoniques *Hemidiscus cuneiformis*, *Thalassiosira eccentrica*, *Bacteriastrum* sp., tandis que les cycles 38 et 39 contiennent un pourcentage significatif d'*Actinocyclus curvatulus* (8-11 %).

Dans le cycle 43 (éch. 137.5) les formes océaniques-néritiques sont bien représentées en sous-dominantes : *Coscinodiscus crenulatus* Grunow, 1884, *Thalassiosira symbolophora*, *Actinocyclus curvatulus*. Les formes planctoniques littorales sont représentées (12 %) par les espèces *Actinoptychus senarius*, *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus* et *Actinocyclus cubitus*.

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, espèces planctoniques océaniques. Cet assemblage caractérise des échantillons dans divers cycles avec des variations de pourcentages d'espèces accompagnatrices surtout océaniques d'eaux chaudes. On note par exemple *Thalassiosira lineata* (cycle 17, éch. 116.5), *Hemidiscus cuneiformis* (cycle 28 ; cycle 35, éch. 129.6 ; cycle 36, éch. 131.2 ; cycle 40, éch. 135.4 ; cycle 41, éch. 136.5), *Nitzschia reinholdii* (cycle 30, éch. 125.3 ; cycle 35, éch. 129.4 ; cycle 44, éch. 138.5), *Asterolampra acutiloba* (cycle 33, éch. 127.4), *Asterolampra marylandica* Ehrenberg, 1844 (cycle 18, éch. 117.4), *Thalassiosira praeconvexa* (cycle 19, éch. 118.4 ; cycle 34, éch. 128.4).

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*, *Actinocyclus curvatulus*. Dans cet assemblage (cycle 40, éch. 135.6 ; cycle 44, éch. 138.6) l'espèce océanique-néritique froide *Actinocyclus curvatulus* est relativement abondante (respectivement 23 et 32 %).

Assemblage à *Actinocyclus curvatulus*. Cet assemblage (cycle 41, éch. 136.6) est presque

monospécifique (98 % de taxon planctonique *Actinocyclus curvatulus*). On peut sans doute l'interpréter comme un « bloom » saisonnier de l'espèce.

Assemblage à *Actinocyclus ehrenbergii*, *Coscinodiscus asteromphalus*. Cet assemblage, observé dans le cycle 31 (éch. 126.4 et 126.5), indique le caractère dominant des espèces *Thalassionema nitzschioides*, *Actinocyclus ehrenbergii* et *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg, 1844. On remarque que les formes sous-dominantes sont représentées par les espèces *Stellarima stellaris* (Roper) Hasle & Sims, 1986 et *Coscinodiscus obscurus* Schmidt, 1878 au sein de l'échantillon 126.4, et par l'espèce *Thalassiosira lineata* dans l'échantillon 126.5.

Variation des assemblages à l'intérieur des cycles

Des variations significatives des assemblages de diatomées sont observables dans quelques cycles, notamment les cycles 12, 16, 18, 30 et 40. Dans ces cycles, les assemblages sont globalement dominés par *Thalassionema nitzschioides*-*Thalassiothrix longissima* en pourcentages variables généralement inférieurs à 50 %. On remarque cependant que les premiers échantillons diatomitiques contiennent surtout des espèces néritiques-océaniques et océaniques, telles que *Thalassiosira praeconvexa*, *Nitzschia reinholdii*, *Thalassiosira eccentrica*, *Hemidiscus cuneiformis*, etc., tandis que les derniers échantillons du cycle montrent une augmentation des formes planctoniques littorales représentées par *Actinopterychus senarius* et *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus*.

Mode de vie

Paléobathymétrie (Fig. 5). Les formes planctoniques (océaniques, néritico-océaniques ou littorales) sont dominantes par rapport aux formes benthiques (0-5 %).

Les formes océaniques telles que *Asterolampra acutiloba*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Thalassiosira praeconvexa*, *T. miocenica*, *T. eccentrica*, *T. oestrupii* (Ostenfeld) Hasle, 1972, *Nitzschia reinholdii* ainsi que les formes néritico-océaniques

Actinocyclus curvatulus, *Coscinodiscus marginatus*, *C. radiatus* Ehrenberg, 1839, *Thalassiosira lineata*, *Thalassionema nitzschioides* prédominent tout au long de la coupe (80-90 %).

Les formes planctoniques littorales représentées principalement par *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus*, *Actinocyclus cubitus*, *Actinopterychus senarius* montrent des pourcentages plus significatifs (20-30 %) dans les échantillons situés dans la partie supérieure de chaque niveau diatomitique. Le cycle 14 (échantillons 113.4 à 113.6) fait exception à cette observation, montrant un pourcentage significatif d'espèces planctoniques littorales dès le premier échantillon de diatomite.

Les espèces benthiques sont présentes de manière sporadique et toujours en pourcentage négligeable (0-5 %). Ce fait, lié au mauvais état de préservation, suggère leur caractère allochtone. Le pourcentage le plus significatif (4,7 %) a été rencontré vers le sommet de la coupe dans l'échantillon 143.12 (cycle 49). Les taxons benthiques rencontrés appartiennent aux genres *Amphora* Ehrenberg, 1840, *Cocconeis* Ehrenberg, 1838, *Diploneis* Ehrenberg, 1844, *Dimerogramma* Ralfs in Pritchard, 1861, *Grammatophora* Ehrenberg, 1839, *Mastogloia* Thwaites in Wm. Smith, 1856, *Navicula* Bory, 1822, *Rhaphoneis* Ehrenberg, 1844, *Rhabdonema* Kutzing, 1844.

Paléotempératures. Les associations de diatomées de Giblecemi-Falconara renferment des espèces de différentes exigences climatiques, si l'on se réfère aux assemblages proposés par Jousé *et al.* (1971), Sancetta & Silvestri (1986), Barron (1992) et Sancetta (1992) :

– espèces d'eaux froides ou tempérées froides attribuées au complexe nordique boréal : *Actinocyclus curvatulus*, *Coscinodiscus marginatus*, *Thalassiothrix longissima* ;

– espèces d'eaux chaudes inféodées aux complexes subtropical et tropical : *Actinocyclus ellipticus* Grunow in Van Heurck, 1883, *Asterolampra acutiloba*, *A. grevillei* (Wallich) Greville, 1860, *A. marylandica*, *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, 1839, *Hemidiscus cuneiformis*, *Nitzschia reinholdii*, *N. marina*, *Stellarima stellaris*, *Thalassiosira convexa* Muchina, 1965, *T. eccentrica*, *T. lineata*,

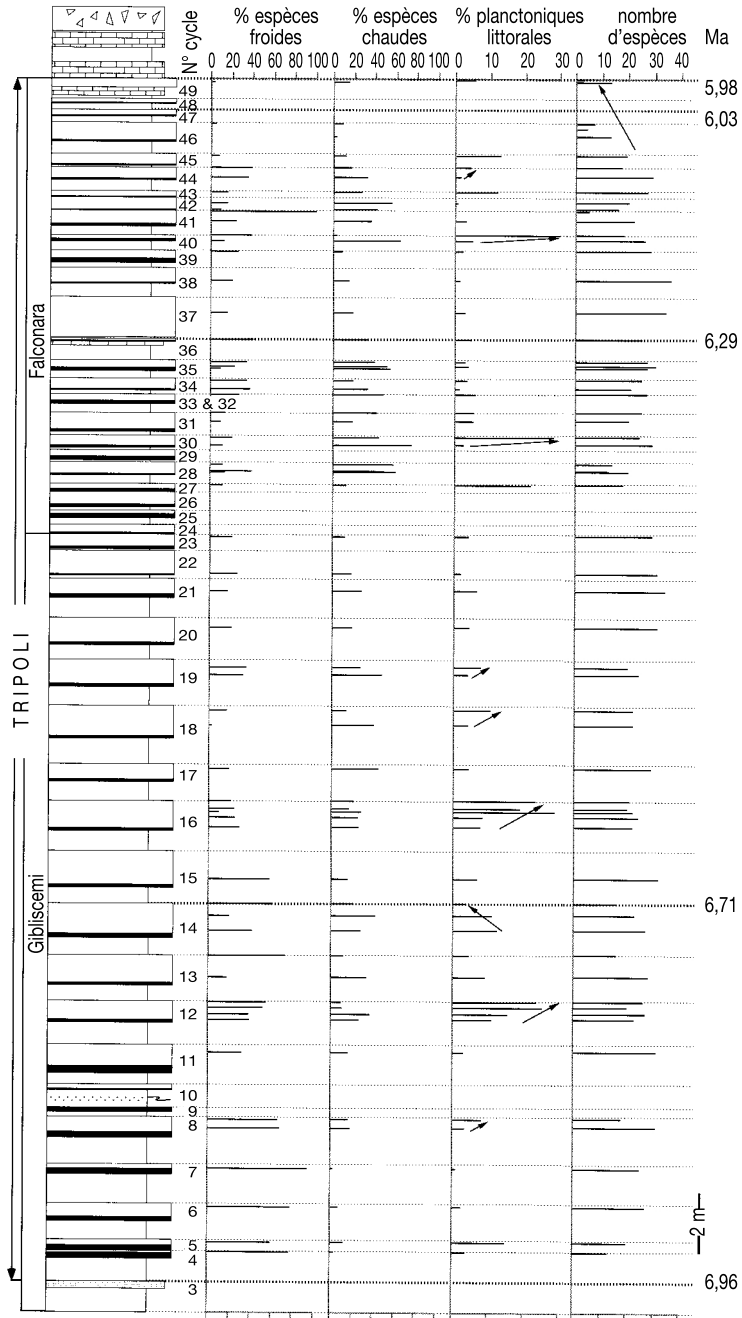


Fig. 5. — Abondance relative des diatomées en fonction du mode de vie et de la température des eaux dans la coupe de Falconara-Giblisce mi (Sicile). Dans la coupe lithologique les niveaux marneux sont en retrait par rapport aux niveaux laminés (en blanc les diatomites blanches, en noir les faciès laminés roses plus ou moins diatomitiques).

T. miocenica, *T. oestrupii*, *T. praeconvexa*, *T. symbolophora* ;

– espèces cosmopolites : *Actinocyclus ehrenbergii*, *A. ehrenbergii* var. *tenellus*, *Actinoptychus senarius*, *Psammodiscus nitidus* (Gregory) Round & Mann, 1980, *Coscinodiscus obscurus*, *Thalassionema nitzschioides*.

Les variations de paléotempérature sont illustrées par les fréquences relatives des diatomées d'eaux froides et d'eaux chaudes (Fig. 5). En général, on peut observer le mélange des taxons, avec certaines différences exprimées le long de la coupe. On remarque ainsi que les cycles 4 à 15 situés à la base de la série sont caractérisés par une forte participation des formes froides, notamment *Coscinodiscus marginatus* (36-56 %). Les taxons d'eaux chaudes sont largement représentés (40-70 %) à partir du cycle 18, à l'exception de l'échantillon 136.6 (cycle 41) marqué par l'abondance (90 %) de l'espèce d'eau froide *Actinocyclus curvatus*.

Paléosalinité. La microflore de diatomées est principalement constituée par des espèces marines. Certaines espèces sont mésoeuryhalines et peuvent supporter une salinité inférieure à celle de l'eau de mer ; il s'agit de *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus* et *Paralia sulcata*.

DISCUSSION

D'une manière générale, les associations de diatomées observées à Falconara sont très semblables à celles décrites par Gersonde (1980) dans les coupes de Falconara, Monte Giammoia et Capodarso et également par Fourtanier *in* Gaudant *et al.* (1996) dans la coupe de Masseria il Salto. Les formes océaniques-néritiques et océaniques dominent sur les formes planctoniques littorales. En général, les formes rencontrées sont caractérisées par une large distribution géographique parfois avec une tendance au cosmopolitisme. Ces données traduisent un environnement marin indiqué également par la composition des autres marqueurs biologiques et de la géochimie isotopique des carbonates (Pierre *et al.* 1997 ; Blanc-Valleron *et al.* 2002).

Vers le sommet de la coupe, on remarque une réduction de la diversité spécifique, néanmoins

moins forte pour les diatomées que pour les autres microorganismes puisque les diatomées persistent dans les étapes terminales de cette évolution et, localement dans le calcaire de base lui-même, alors que tous les autres marqueurs de milieu marin ont disparu.

L'évolution des assemblages de diatomées le long de la coupe se fait néanmoins en plusieurs étapes majeures. Les espèces d'eaux froides (*Coscinodiscus marginatus* et *Thalassiothrix longissima*) prédominent dans la partie inférieure de la série jusqu'au premier palier de restriction daté à 6,71 Ma, en accord avec les variations des assemblages des autres microfossiles, traduisant ainsi de larges échanges avec l'Atlantique. À partir de ce palier, les espèces d'eaux chaudes commencent à prendre plus d'importance par rapport aux espèces planctoniques froides. En s'élevant dans la série, les assemblages montrent progressivement une réduction de la diversité. À l'exception de quelques récurrences de formes froides, les étapes suivantes se marquent par un accroissement de la proportion des formes indicatrices d'eaux chaudes dominées dans la partie terminale de la série par des espèces comme *Coscinodiscus asteromphalus*, *Thalassiosira eccentrica*, *T. lineata*, *Nitzschia reinholdii*. À l'intérieur de chaque cycle, les assemblages de diatomées évoluent depuis un pôle océanique vers un pôle plus littoral. Parallèlement, les cycles sont souvent marqués par une décroissance verticale du nombre d'espèces d'eaux chaudes au profit des espèces d'eaux froides et littorales.

Dans presque tous les échantillons les assemblages de diatomées sont dominés par l'espèce *Thalassionema nitzschioides* qui est classiquement considérée comme un indicateur d'upwelling (Baudrimont & Degiovani 1974 ; Schrader & Gersonde 1978 ; Abbott 1980 ; Schuette & Schrader 1981 ; Mansour *et al.* 1995). Néanmoins nous avons vu que *Thalassionema nitzschioides* était la forme dominante dans le bassin de Lorca où la productivité biosiliceuse n'était pas sous le contrôle de remontées d'eaux profondes ainsi que dans les échantillons situés au contact ou à l'intérieur des unités gypseuses. Il semblerait donc plutôt qu'il s'agisse d'une espèce cosmopolite

capable de s'adapter à des conditions de milieu très différentes.

Néanmoins, l'étude de la coupe de Falconara-Giblissemi montre que les diatomées constituent d'excellents traceurs des changements paléocéanographiques qui se manifestent dans le bassin avant l'instauration des conditions évaporitiques.

BASSIN DE PISSOURI (CHYPRE) : COUPE DE PISSOURI-AUTOROUTE

CADRE GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

Les bassins néogènes de Chypre (Fig. 1) sont localisés à la périphérie du massif volcanique du Troodos qui est un fragment de croûte océanique ancienne. Succédant à une sédimentation crayeuse et marno-calcaire déposée depuis le Crétacé terminal dans un environnement profond (formations Lefkara et Pakhna *pro-parte*), les dépôts messiniens marquent un changement majeur de l'environnement sédimentaire. En effet, des bassins d'extension plus réduite et peu profonds s'individualisent alors progressivement en remplacement du domaine profond antérieur. Plusieurs bassins sont localisés sur la bordure sud du massif du Troodos ; de l'Ouest vers l'Est il s'agit des bassins de Polemi, Pissouri, Limassol et Psematismenos. Un bassin plus grand et moins bien connu, le bassin de la Mesaoria, est présent au Nord du massif. Au Messinien, ces bassins voient le développement de plates-formes carbonatées déjà apparues localement dès le Miocène moyen et dans leurs parties centrales, l'individualisation de dépôts comportant des intercalations de sédiments diatomitiques précédant le dépôt des gypses messiniens. Dans plusieurs bassins (Polemi, Pissouri, Psematismenos) des laminites microbiennes apparaissent sous les gypses marquant ainsi un changement important qui prélude au développement des conditions évaporitiques (Orszag-Sperber *et al.* 1980 ; Rouchy & Monty 1981 ; Rouchy 1982). La séquence évaporitique épaisse d'environ 130 m comporte deux unités gypseuses et, localement (Mesaoria), une unité halitique. Cette séquence est recouverte par une série rapportée à l'épisode du Lago-Mare composée de sédiments

lacustres alternant avec des conglomérats et des paléosols, précédant les dépôts de mer ouverte du Pliocène basal (Rouchy *et al.* 1980, 2001 ; Orszag-Sperber *et al.* 1989, 2000).

La coupe choisie pour l'étude se situe le long de l'autoroute Limassol-Paphos à 1 km environ à l'Ouest de la sortie Pissouri. Elle montre sur une épaisseur de 55 m une série continue allant du Tortonien supérieur à la base des gypses inférieurs caractérisée par un motif cyclique déterminé par l'alternance régulière de calcaires indurés formant relief et de marnes homogènes dans la partie inférieure ou de sédiments laminés plus ou moins biosiliceux dans la partie supérieure. La limite Tortonien/Messinien a été identifiée à 42 m sous la base des gypses (Krijgsman *et al.* 2002) et 44 cycles ont pu être définis. Comme dans le bassin de Caltanissetta, la cyclicité de 22 ka est donc sous contrôle astronomique de la précession, permettant des corrélations précises entre ces différents bassins. Plusieurs changements sédimentaires apparaissent dans la série :

- 1) l'existence d'un horizon slumpé de 3,5 m d'épaisseur entre les cycles 3 et 4 ;
- 2) l'intercalation de deux intervalles à matière organique, respectivement entre les cycles 4 à 8 et 22 à 24 ; et
- 3) plusieurs intercalations de laminites stromatolithiques riches en célestite qui marquent la transition avec le gypse. Ces niveaux stromatolithiques présentent un développement beaucoup plus important dans le bassin de Psematismenos où ils montrent des indices de dessiccation.

Les diatomites apparaissent tardivement par rapport à d'autres coupes messiniennes puisqu'elles ne sont réellement présentes de manière significative qu'à partir du cycle 18 alors que la section de Falconara-Giblissemi comporte 49 cycles marnes/diatomites. Une autre différence est la rareté des diatomites pures et l'extrême abondance des spicules de spongiaires qui représentent parfois la majeure partie de la composante biosiliceuse du sédiment.

ASSEMBLAGES DE DIATOMÉES

Caractéristiques générales

La microflore de diatomées est bien représentée dans les échantillons 11, 16, 17, 22, 27, 36, 43,

45, 50, 52, 55, 56, 60, 73, 82. Quatre-vingt-dix espèces appartenant à 41 genres de diatomées ont été déterminées, dont 19 appartiennent au groupe des Centriques et 22 au groupe des Pennées.

Les échantillons 2, 3, 3bis, 3ter, 9, 11bis, 12, 18, 21, 23, 26, 28, 29, 30, 31, 37, 41, 41bis, 42, 47, 58, 62, 63, 65, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 83, 86, 88, 89, 93, 94, 95, 97 sont essentiellement constitués de spicules d'éponges ; les diatomées et silicoflagellés montrent une très faible diversité et des pourcentages négligeables.

Les silicoflagellés représentés par *Dictyocha fibula* Ehrenberg, 1854, *Dictyocha navicula* Ehrenberg, 1854, *Distephanus speculum* Ehrenberg, 1854, *Distephanus crux* Ehrenberg, 1854 sont fréquents dans les échantillons riches en diatomées ; par contre, ils sont absents dans les échantillons dominés par les spicules d'éponges.

Les spicules d'éponges sont parfois très abondants, par exemple dans les échantillons 9, 11bis, 17, 41bis, 62, 63, 75, 77, 89. Ils montrent différents stades de croissance. Plusieurs formes ont été identifiées : *Acanthostyle* sp., *Oxea* sp., *Halicorna* sp., *Calthrops* sp., *Geodia* sp., *Tethya* sp., *Amphiaster* sp., *Cliona* sp. On remarque le faible pourcentage de spicules de grande taille dans les niveaux dominés par les diatomées et les silicoflagellés.

Composition de la microflore

L'analyse de la microflore de diatomées a mis en évidence 90 espèces représentant 41 genres. L'Annexe 4 présente l'inventaire microfloristique et l'abondance relative (en pourcentage) des espèces déterminées ; la Fig. 6 illustre l'abondance des principales espèces centriques et pennées.

Thalassionema nitzschioides et *Rhizosolenia* cf. *hebetata* dominent la plupart des assemblages avec des pourcentages compris entre 40 et 80 %, avec cependant quelques différences selon les niveaux. Ce sont les espèces sous-dominantes qui permettent de distinguer plusieurs assemblages types (Annexe 5).

Assemblage à *Rhizosolenia*, *Thalassionema nitzschioides*. Les échantillons 50, 52, 55, 56,

60 sont dominés par *Rhizosolenia* accompagnés par des espèces dont le pourcentage varie souvent d'un échantillon à l'autre. Ainsi, dans l'échantillon 50, *Thalassionema nitzschioides* et *Thalassiothrix longissima* sont les principales espèces sous-dominantes, accompagnées par *Coscinodiscus asteromphalus* et *Thalassiosira eccentrica*. Dans les échantillons 52, 55 et 60, les spores de *Chaetoceros* constituent le taxon sous-dominant. Dans l'échantillon 56, on remarque le pourcentage significatif des espèces planctoniques océaniques *Thalassiosira miocenica* et *T. praecconvexa*.

Dans les échantillons 43 à 45, *Thalassionema nitzschioides* et *Rhizosolenia* dominent accompagnées par les espèces planctoniques océaniques d'eau chaude *Hemidiscus cuneiformis*, *Nitzschia reinholdii*, *Thalassiosira symbolophora* ou bien par le taxon d'eau froide *Thalassiothrix longissima* (échantillon 43).

Assemblage à *Thalassionema nitzschioides*. Dans l'échantillon 21, on remarque un assemblage monospécifique qui pourrait être interprété comme un bloom.

Assemblage à spicules, *Coscinodiscus* sp. Observé dans l'échantillon 41bis, cet assemblage est caractérisé par la dominance des spicules d'éponges accompagnés par *Coscinodiscus* sp. 1 Gardette in Gardette, 1979 et également par plusieurs espèces du genre *Grammatophora* (*G. angulosa* Ehrenberg, 1840, *G. oceanica* Ehrenberg, 1840, *G. undulata* Ehrenberg, 1840). Il est plus difficile d'interpréter le message écologique de l'association, car on ne connaît pas exactement l'écologie de l'espèce *Coscinodiscus* sp. 1. Selon Gardette (1979), cette espèce est très semblable (formes affines) à *Coscinodiscus crenulatus* Grunow et à *Coscinodiscus curvatulus* var. *minor* (Ehrenberg) Grunow, 1884 qui sont des « espèces pélagiques dans les eaux tempérées ». Si on prend en compte cette observation et la présence des espèces holoplanktoniques *Thalassiosira convexa* (10 %), *Nitzschia reinholdii* (10 %) et *Actinocyclus curvatulus* (10 %), cet assemblage correspond à un milieu en relation avec la mer ouverte.

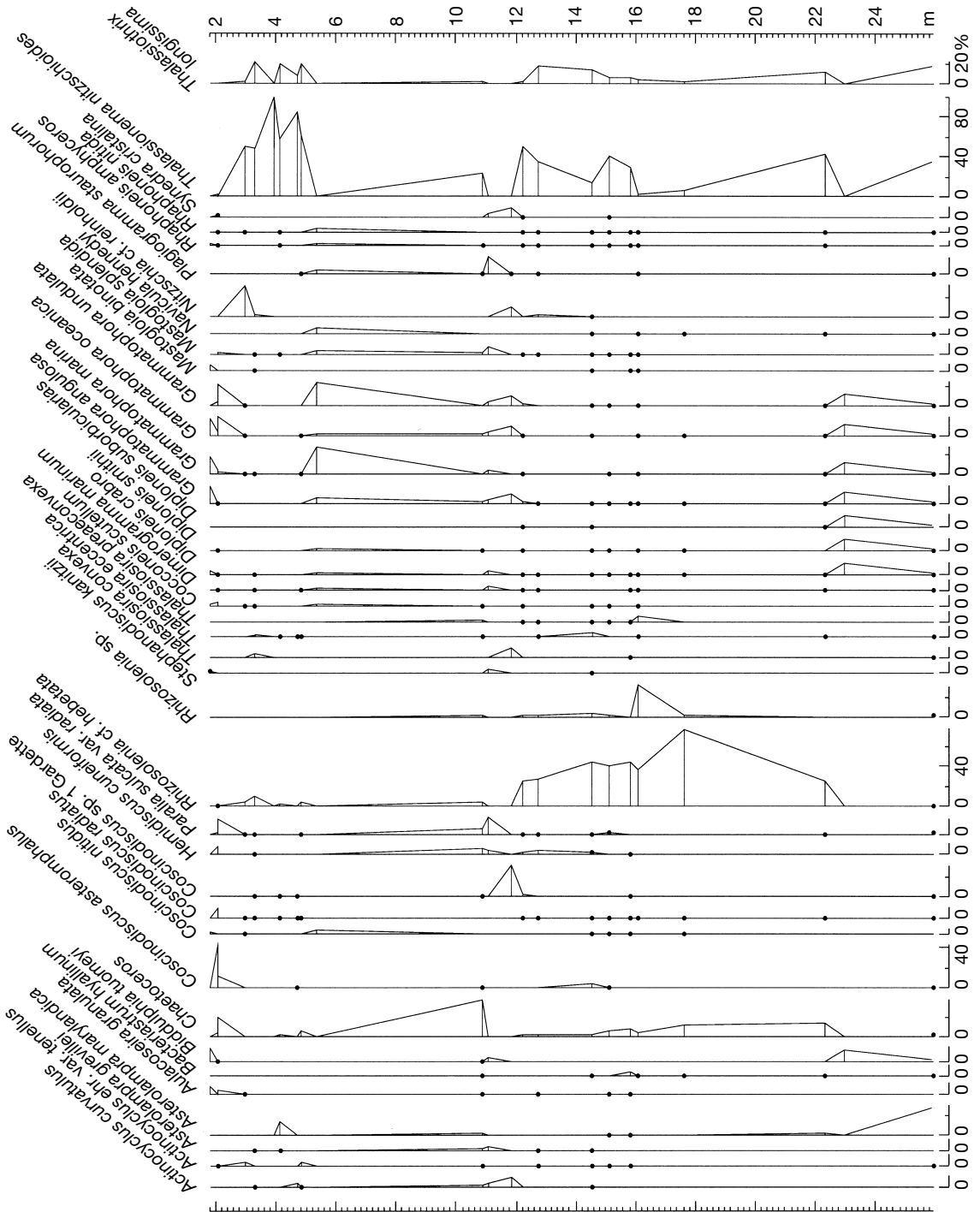


FIG. 6. — Pourcentages des principales espèces de diatomées centriques et pennées représentées dans la coupe de Pissouri (Chypre).

Assemblage à spicules d'éponges, *Grammatophora undulata*, *G. oceanica*, *G. marina*, *G. angulosa*. Observé dans les échantillons 9, 11bis, 29, 37 et 75, cet assemblage est dominé par les spicules d'éponges et par les formes benthiques *Grammatophora undulata*, *G. marina* (Lyngbye) Kutzing, 1844, *G. oceanica*, *G. angulosa*. On remarque également la diversité des taxons benthiques appartenant aux genres *Biddulphia* Gray, 1821, *Cocconeis*, *Diploneis*, *Rhaphoneis*, *Rhabdonema*. Cet assemblage témoigne d'un milieu caractérisé par une faible tranche d'eau. Cet aspect est particulièrement bien enregistré dans l'échantillon 11bis où la présence en pourcentage significatif de l'espèce planctonique littorale *Paralia sulcata* ainsi que la présence de l'espèce d'eau douce *Aulacoseira granulata* indique un milieu littoral soumis peut-être à des apports d'eaux douces.

Assemblages à *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima* accompagnées par différentes espèces planctoniques océaniques ou néritique-océaniques. Les échantillons réunis dans ce type d'assemblage sont dominés par l'espèce planctonique *Thalassionema nitzschioides* qui, à différents niveaux, est accompagnée par différentes espèces planctoniques océaniques ou néritique-océaniques.

Ainsi, dans les échantillons 16 et 17, elle est accompagnée par les espèces planctoniques océaniques d'eaux chaudes *Nitzschia reinholdii*, *Thalassiosira convexa*, *T. eccentrica*.

Dans les échantillons 22 et 82, l'espèce planctonique océanique d'eau chaude *Asterolampra marylandica* est la principale espèce accompagnatrice.

Dans l'échantillon 25, les espèces *Actinocyclus curvatulus* et *Thalassiosira lineata* sont les principaux taxons qui accompagnent *Thalassionema nitzschioides*.

Dans l'échantillon 27, les formes planctoniques *Rhizosolenia* Brightwell, 1858 et *Chaetoceros* Ehrenberg, 1844 ainsi que l'espèce planctonique littorale *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus* constituent les taxons sous-dominants.

L'échantillon 36 montre une participation importante des spores de *Chaetoceros* ; les princi-

pales espèces accompagnatrices sont les formes d'eaux chaudes *Hemidiscus cuneiformis*, *Asterolampra grevillei*, *A. marylandica* mais également *Paralia sulcata*.

Assemblage à *Coscinodiscus asteromphalus*. Observé dans l'échantillon 11, cet assemblage est marqué par la dominance de l'espèce planctonique néritico-océanique *Coscinodiscus asteromphalus*. Selon Gersonde (1980), l'espèce est marine et mesoeuryhaline (salinité de 30 à 20-17 ‰). La présence d'assemblages presque monospécifiques de *Coscinodiscus asteromphalus* a été signalée dans les sédiments laminés du Guyamas (Schrader *et al.* 1979 in Schuette & Schrader 1981). Les espèces planctoniques *Hemidiscus cuneiformis* (d'eau chaude) et *Coscinodiscus radiatus* (néritico-océanique) ont une participation significative. On note également la présence de l'espèce marine-saumâtre *Paralia sulcata*, ainsi que différentes espèces de diatomées benthiques appartenant aux genres *Cocconeis*, *Diploneis*, *Grammatophora*, *Rhopalodia* Muller, 1859, *Rhaphoneis* (espèces accompagnatrices). Cet assemblage correspond à un milieu marin côtier dont la composante littorale est significative.

Mode de vie

Paléobathymétrie (Fig. 7). L'analyse quantitative des associations montre la forte participation des formes planctoniques. L'espèce planctonique *Thalassionema nitzschioides* ainsi que les espèces planctoniques océaniques (*Thalassiothrix longissima*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Actinocyclus curvatulus* et diverses espèces appartenant aux genres *Asterolampra* Ehrenberg, 1845, *Coscinodiscus* Ehrenberg, 1838, *Thalassiosira* Cleve, 1873 et *Nitzschia* Hassal, 1845) constituent 10-100 % des assemblages.

Les formes planctoniques littorales *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus*, *Actinocyclus cubitus*, *Hyalodiscus radiatus* (O'Meara) Grunow in Cleve & Grunow, 1880, *Paralia sulcata*, *Stictodiscus* sp. représentent au maximum 26 % des associations (éch. 37).

Le pourcentage de diatomées benthiques varie de 0 à 30 % dans la plupart des échantillons, à

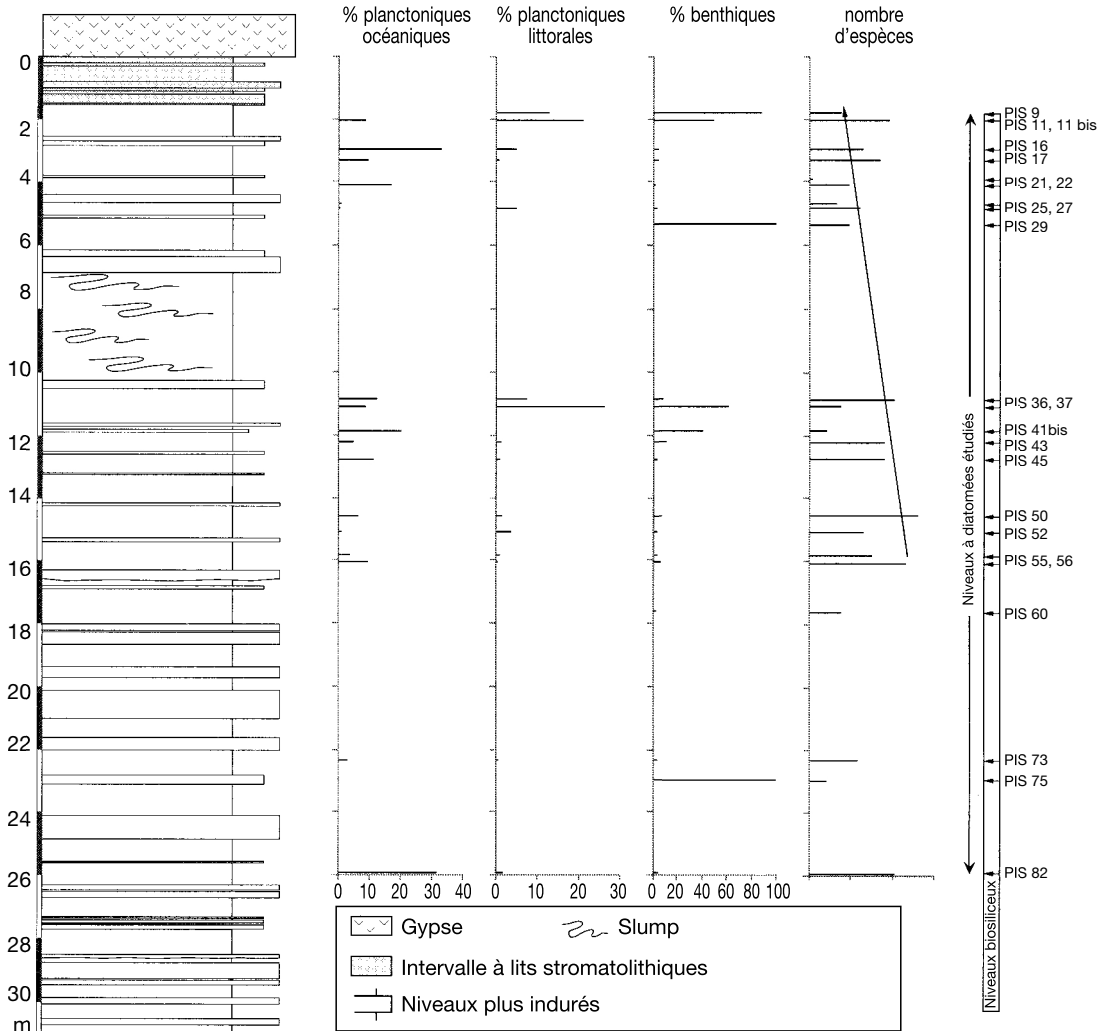


FIG. 7. — Abondance relative des diatomées en fonction du mode de vie dans la coupe de Pissouri (Chypre).

quelques exceptions près : échantillons 9, 11bis, 29, 37, 41bis et 75 qui indiquent 60-100 % de diatomées benthiques, mais sur des comptages de moins de 90 diatomées. En fait, il s'agit d'échantillons dominés par les spicules d'éponges où différentes espèces de diatomées appartenant au genre *Grammatophora* (*G. angulosa*, *G. undulata*, *G. marina*, *G. oceanica*) sont fréquentes et les taxons planctoniques océaniques généralement absents. Les espèces benthiques sont présentes d'une manière constante tout au long de la coupe, le

genre *Grammatophora* étant le mieux représenté du point de vue quantitatif. Le genre *Diploneis* est également bien représenté par sept espèces. On note aussi la présence des espèces épiphytes *Cocconeis pseudomarginata* Gregory, 1857, *Cocconeis scutellum* Ehrenberg, 1838, *Amphora intersecta* A. Schmidt, 1878.

Le pourcentage important d'espèces océaniques et néritico-océaniques à plusieurs niveaux traduit un milieu soumis à des connexions épisodiques avec la mer ouverte.

Paléotempératures. Du point de vue quantitatif, la microflore de diatomées est dominée par des espèces à large répartition géographique mais plusieurs taxons caractérisant des milieux subtropicaux, tropicaux et nordiques boréaux (d'après les données écologiques de Jousé *et al.* 1971 ; Koizumi 1985 ; Sancetta & Silvestri 1986 ; Sancetta 1992) ont été enregistrés.

Les espèces cosmopolites sont représentées par *Thalassionema nitzschioides*, *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus*, *Actinocyclus cubitus*, *Psammodiscus nitidus*, *Chaetoceros* sp.

Les espèces d'eau chaude sont très bien représentées du point de vue spécifique. On remarque autant de taxons planctoniques (*Actinocyclus ellipticus*, *Asterolampra acutiloba*, *A. grevillei*, *A. marylandica*, *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. radiatus*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Stellarima stellaris*, *Nitzschia* cf. *cylindrica* Burckle, 1972, *N. fossilis* (Frenguelli) Kanaya in Kanaya & Koizumi, 1970, *N. marina*, *Thalassionema convexa*, *T. eccentrica*, *T. lineata*, *T. miocenica*, *T. praeconvexa*) que de taxons benthiques (*Biddulphia tridens* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1840, *Climacosphenia moniligera* Ehrenberg, 1843, *Dimerogramma marinum*, *Grammatophora undulata*).

On observe également une faible contribution des espèces d'influence nordique-boréale *Thalassiothrix longissima* et *Actinocyclus curvatulus*.

DISCUSSION

La distribution des assemblages de diatomées suggère un milieu marin soumis à des variations du plan d'eau qui sont enregistrées de manière épisodique. Ces variations sont exprimées par des fluctuations dans l'abondance des espèces planctoniques (océaniques, néritiques-océaniques, littorales), ainsi que par l'abondance des espèces benthiques qui différencie cette coupe de celles de Falconara-Giblissemi et de Lorca. Les niveaux renfermant une composante océanique (représentée surtout par les espèces *Asterolampra marylandica*, *A. grevillei*, *Nitzschia reinholdii*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Thalassiosira praeconvexa*, *T. convexa*, *T. miocenica*) indiquent un milieu de mer ouverte sur le large. Cet assemblage disparaît à 3 m environ sous la base du gypse où se marque

un important changement des conditions de milieu également enregistré par la macrofaune. Il s'agirait là d'une étape importante dans l'évolution vers la restriction du bassin. Les niveaux dominés par les espèces benthiques correspondent à une diminution de la tranche d'eau et à un plus fort isolement du bassin. Un assemblage à formes benthiques dominées par le genre *Grammatophora* (*G. angulosa*, *G. marina* et *G. oceanica*) apparaît dans la partie terminale de la série précédant l'individualisation des niveaux stromatolithiques sous-jacents aux gypses.

Les assemblages montrent également une bonne représentation d'espèces d'eaux chaudes (*Asterolampra marylandica*, *Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper, 1859) et la faible contribution des taxons d'influence nordique boréale qui différencient la coupe de Pissouri de la partie inférieure de celle de Giblissemi/Falconara où les espèces d'affinités nordiques sont dominantes.

L'importante représentation de *Rhizosolenia* dans certains niveaux (50, 52, 55, 56, 60) pourrait suggérer un milieu limité en substances nutritives. La prolifération de ce taxon donne lieu à la formation de voiles algaires en surface pendant les périodes de forte stratification des eaux (Guillard & Kilham 1978 ; Sautter & Sancetta 1992 ; Sancetta 1994 ; Chang *et al.* 1998). L'abondance de *Rhizosolenia* pourrait refléter un accroissement lent de la population (Sancetta *et al.* 1991). *Rhizosolenia* a été également observé en abondance dans des sédiments laminés anoxiques des sapropèles (Schradler & Matherne 1981). Il est à noter que la prolifération de cette espèce s'observe dans un intervalle à niveaux de sapropèles.

INTERPRÉTATION PALÉOGÉOGRAPHIQUE

Bien qu'elles montrent toutes trois une évolution depuis des conditions de mer plus ou moins ouverte vers une restriction progressive aboutissant aux milieux évaporitiques, les trois coupes étudiées correspondent à des cadres paléogéographiques différents : bassin peu profond semi-fermé (Espagne), bassin profond (Sicile) et bassin marginal ouvert sur la mer ouverte (Chypre). De

plus, ces trois bassins sont situés dans des parties très distinctes du domaine méditerranéen, respectivement à l'extrémité occidentale, à la transition entre la Méditerranée occidentale et orientale et à l'extrémité orientale du domaine, au plus loin des zones d'alimentation en eaux océaniques. Dans les trois cas, la sédimentation diatomitique s'est prolongée jusqu'à la base des évaporites. L'étude fournit donc un éventail très large de situations paléogéographiques permettant de caractériser les variations des environnements de dépôt à la transition entre les conditions de mer ouverte et l'installation de la crise de salinité messinienne.

Malgré cette diversité on remarquera l'abondance des espèces communes, surtout pour les Centriques (Annexe 6) et la très large prédominance de l'espèce *Thalassionema nitzschioides* dans toutes les situations. Globalement, le message livré par les assemblages de diatomées apparaît assez homogène malgré les caractéristiques propres de chaque bassin. On notera également que la plupart de ces espèces ont été rapportées dans les sédiments marins miocènes d'autres bassins méditerranéens du même âge, en Méditerranée, en Italie (Burckle 1978 ; Schrader & Gersonde 1978 ; Gersonde & Schrader 1984 ; Dell'Uomo & Masi 1988 ; Fourtanier *et al.* 1991 ; Gaudant *et al.* 1996), en Algérie (Baudrimont & Degiovanni 1974 ; Gersonde & Schrader 1984 ; Mansour *et al.* 1995 ; Mansour & Saint Martin 1999), en Espagne (Rouchy *et al.* 1998 ; Saint Martin *et al.* 2001) et au Maroc (Gardette 1979 ; Pestrea *et al.* 2000). Les formes centriques recensées sont également connues pour leur large répartition biogéographique, dans l'océan Atlantique (Jousé 1977 ; Baldauf 1984, 1987), l'océan Pacifique (Schrader 1973 ; Jousé 1977), l'océan Indien (Schrader 1974 ; Jousé 1977) et le golfe de Californie (Schrader 1974 ; Barron 1973, 1975).

Thalassionema nitzschioides constitue l'espèce la plus caractéristique dans l'ensemble des coupes étudiées. L'abondance de cette espèce, accompagnée le plus souvent par *Thalassiothrix longissima*, est considérée comme l'expression d'un milieu de forte productivité (Schuette & Schrader 1981), notamment dans les zones d'upwellings côtiers

(Gersonde 1980 ; Fourtanier *et al.* 1991). *Thalassionema nitzschioides* est effectivement citée dans les régions d'upwellings (Sancetta 1979, 1982 ; Schrader 1982, 1992 ; Abrantes 1988 ; Schrader & Sorkness 1990 ; Sancetta *et al.* 1992). L'influence de phénomènes d'upwellings a d'ailleurs été souvent invoquée pour expliquer la composition et les abondances relatives des assemblages d'organismes siliceux au Messinien (Gardette 1979 ; Gersonde 1980 ; Rouchy 1982, 1988 ; Fourtanier *et al.* 1991 ; Mansour *et al.* 1995 ; Gaudant *et al.* 1996 ; Mansour & Saint Martin 1999). On doit néanmoins constater que cette espèce est dominante dans tous les types de situations paléogéographiques, y compris parfois entre des bancs de gypse, ce qui suggère plutôt son caractère cosmopolite et opportuniste. Cette interprétation est confortée par sa très large prédominance dans les sédiments diatomitiques intercalés dans la formation évaporitique d'âge Miocène moyen du golfe de Suez (Rouchy 1982). La plupart des espèces de diatomées rencontrées dans les trois coupes sont des formes marines (80 %), malgré la présence à Lorca et Pissouri de certains niveaux plus particulièrement riches en formes mésoeuryhalines (notamment *Paralia sulcata*), mais aussi parfois d'eau douce (notamment *Aulacoseira granulata*). Plus généralement, l'étude des diatomées dans différents bassins messiniens (Baudrimont & Degiovanni 1974 ; Gardette 1979 ; Gersonde 1980 ; Mansour *et al.* 1995 ; Gaudant *et al.* 1996 ; Jurkschat & Fenner 1997, 1998 ; Mansour & Saint Martin 1999 ; Pestrea *et al.* 2000 ; Saint Martin *et al.* 2001) indique des conditions marines normales, à l'exception d'une légère augmentation, vers le sommet, de certaines formes mésoeuryhalines ou d'eaux douces en relation avec le caractère plus littoral des dépôts. Par contre, aucun des assemblages typiques d'environnements actuels hypersalins (Ehrlich 1975 ; Noël 1982, 1984) n'ont été observés dans les dépôts messiniens, même dans les intercalations au sein du gypse.

Du point de vue des paléotempératures, les assemblages des trois coupes reflètent un mélange d'espèces cosmopolites, d'eau froide et d'eau chaude. Cependant, on remarque des variations

dans la distribution de ces taxons le long des coupes, notamment à Falconara. La prédominance des formes froides, surtout de l'espèce *Coscinodiscus marginatus*, à la base de la série diatomitique messinienne et également la dominance des formes chaudes dans la moitié supérieure des coupes ont été déjà signalées dans la coupe de Falconara (Gersonde 1980) et également dans la coupe de Sig, en Algérie (Mansour *et al.* 1995). Les taxons d'eau chaude sont bien représentés tout au long des coupes de Lorca et Pissouri où, dans des conditions de plus faible bathymétrie, les eaux de surface sont plus chaudes. Il est de fait que les diatomées, comme les autres marqueurs biologiques, indiquent une tendance à la bathydécroissance en s'élevant dans la série du Tripoli comme le montre généralement l'augmentation des formes planctoniques littorales et des formes benthiques. Cette tendance observée dans les trois coupes étudiées a été également remarquée dans d'autres bassins messiniens de Méditerranée (Baudrimont & Degiovanni 1974 ; Rouchy 1982, 1988 ; Mansour *et al.* 1995 ; Mansour & Saint Martin 1999).

CONCLUSION

L'étude détaillée des assemblages de diatomées réalisée sur trois coupes situées dans des situations paléogéographiques différentes et portant sur une succession sédimentaire continue allant des conditions marines aux milieux évaporitiques enrichit considérablement l'inventaire de la microflore messinienne de la Méditerranée. Elle démontre l'intérêt des diatomées pour caractériser les changements hydrologiques qui affectent un bassin marin soumis à un isolement croissant jusqu'au début des conditions hypersalines. Les informations tirées des diatomées sont corrélables avec les données déduites de l'étude des autres marqueurs biologiques (foraminifères, nannoplancton calcaire, radiolaires, malacofaune) et isotopiques. En persistant jusque dans les conditions d'environnement hostiles à la plupart des autres organismes marins, elles contribuent à obtenir un enregistrement plus continu de l'évo-

lution du milieu en termes de bathymétrie, salinité et température.

Malgré des variations induites par les différences paléogéographiques de chaque site, l'étude a montré une certaine similitude des assemblages tant au niveau de leur composition globale que de leur évolution temporelle. Les résultats convergent dans les trois coupes pour montrer la prédominance d'un milieu marin marqué néanmoins par une réduction verticale progressive de la tranche d'eau en accord avec les variations des autres microfossiles et avec les données sédimentologiques. Les diatomées s'avèrent également d'excellents marqueurs des conditions de température. L'étude montre ainsi que des espèces de diatomées caractéristiques des provinces d'influence boréale peuvent pénétrer dans le bassin méditerranéen, surtout au début de la sédimentation diatomitique. L'augmentation relative des formes littorales d'eaux chaudes vers le sommet confirme l'évolution bathydécroissante du milieu.

Par la vaste distribution géographique des diatomites à l'échelle de la Méditerranée messinienne et leur continuité dans la séquence préévaporitique, les diatomées représentent donc un marqueur particulièrement utile pour caractériser les changements paléocéanographiques qui sont intervenus au cours de cette période-clé de l'histoire néogène de la Méditerranée.

Remerciements

Cette étude des assemblages de diatomées s'inscrit dans un programme de recherches coordonnées portant sur les changements paléocéanographiques qui ont affecté la Méditerranée pendant le Messinien et qui s'appuie sur une approche combinée de stratigraphie intégrée et de différents marqueurs sédimentologiques, biologiques et isotopiques. Elle a été menée successivement dans le cadre du Programme Européen Natenmar et du programme CNRS CRISEVOLE. Dans ce cadre, les travaux ont bénéficié des résultats et des discussions avec les nombreux chercheurs qui ont participé à ces programmes, notamment F. Orszag-Sperber, J. Gaudant, D. Merle,

A. Lauriat-Rage en France ; C. Taberner et J. J. Pueyo en Espagne (Barcelone) ; R. Sprovieri, A. Caruso et E. Di Stefano en Italie (Palerme) ; W. Krijgsman en Hollande (Utrecht) ; C. Xenophontos et I. Panayides à Chypre. Notre reconnaissance va à S. Servant qui a consacré beaucoup de son temps pour aider au traitement des données et à la discussion des résultats. Le Geological Survey de Chypre est remercié pour les facilités accordées lors des recherches sur le terrain. Par leurs critiques constructives, C. Cornet et un rapporteur anonyme ont participé à l'amélioration du manuscrit. Enfin S. Pestrea tient à remercier le Muséum national d'Histoire naturelle (Paris) qui l'a fait bénéficier de trois séjours sur des emplois de Maître de Conférences invité qui ont grandement facilité la réalisation du programme analytique. Cet article est une contribution au programme ECLIPSE du CNRS intitulé « La crise de salinité messinienne : modalités, conséquences régionales et globales, quantifications ».

RÉFÉRENCES

- ABBOTT H. 1980. — Diatoms and stratigraphically significant silicoflagellates from the Atlantic Margin Coring Project and other Atlantic Margin sites. *Micropaleontology* 26 (1): 49-80.
- ABRANTES F. 1988. — Diatom assemblages as upwelling indicators in surface sediments of Portugal. *Marine Geology* 85: 15-39.
- BALDAUF J. 1984. — Cenozoic diatom biostratigraphy and paleoceanography of the Rockall Plateau Region, North Atlantic, Deep Sea Drilling Project Leg. 81, in ROBERTS D. *et al.* (eds), *Initial Reports. D.S.D.P. LXXXI*. U.S. Government Printing Office, Washington: 439-478.
- BALDAUF J. 1987. — Diatom biostratigraphy of the Middle and high latitude north Atlantic Ocean, in RUDDIMAN W. & KIDD R. (eds), *Initial Reports. D.S.D.P. Leg. 94*. U.S. Government Printing Office, Washington: 729-762.
- BARRON J. 1973. — Late Miocene-Early Pliocene paleotemperatures for California from marine diatom evidence. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 14: 277-291.
- BARRON J. 1975. — Marine diatom biostratigraphy of the Upper Miocene-Lower Pliocene strata of Southern California. *Journal of Paleontology* 49 (4): 619-632.
- BARRON J. 1985. — Miocene to Holocene planktic diatoms, in BOLLI H., SAUNDERS J. & PERCH-NIELSEN K. (eds), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, Cambridge: 763-793.
- BARRON J. 1992. — Pliocene paleoclimatic interpretation of D.S.D.P. site 580 (NW Pacific) using diatoms. *Marine Micropaleontology* 20: 23-44.
- BAUDRIMONT R. & DEGIOVANNI C. 1974. — Les diatomées marines du Miocène supérieur de l'Oranie (Algérie) et leur contexte géologique. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Afrique du Nord* 65: 35-66.
- BELLANCA A. & NERI R. 1986. — Evaporite carbonate cycles of the Messinian, Sicily: stable isotopes, mineralogy, textural features, and environmental implications. *Journal of Sedimentary Petrology* 56: 614-621.
- BELLANCA A., CARUSO A., FERRUZZA G., NERI R., ROUCHY J.-M., SPROVIERI M. & BLANC-VALLERON M.-M. 2001. — Transition from marine to hypersaline conditions in the Messinian Tripoli Formation from the marginal areas of the central Sicilian Basin. *Sedimentary Geology* 140: 87-105.
- BENALI S., SCHREIBER B. C., HELMAN M. L. & PHILP R. P. 1995. — Characterization of organic matter from a restricted/evaporative sedimentary environment: Late Miocene of Lorca Basin, Southeastern Spain. *American Association of Petroleum Geology Bulletin* 79: 816-830.
- BLANC-VALLERON M.-M., PIERRE C., CAULET J.-P., CARUSO A., ROUCHY J.-M., CESPUGLIO G., SPROVIERI R., PESTREA S. & STEFANO E. DI. 2002. — Sedimentary, stable isotopes and micropaleontological record of paleogeographic changes during the deposition of the Lower Messinian Tripoli formation of the Gibliscemi-Falconara section (Sicily). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 185: 255-286.
- BURCKLE L. H. 1978. — Diatom biostratigraphy of Unit 2 (Tripoli) of the neostatotype Messinian. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 84: 1037-1050.
- BUTLER R. W. H., LICKORISH W. H., GRASSO M., PEDLEY H. M. & RAMBERTI L. 1995. — Tectonics and sequence stratigraphy in Messinian basins, Sicily: Constraints on the initiation and termination of the Mediterranean salinity crisis. *Geological Society of America Bulletin* 107: 425-439.
- CHANG A., GRIMM K. A. & WHITE L. 1998. — Diatomaceous sediments from the Miocene Monterey Formation, California: A lamina-scale investigation of biological, ecological and sedimentary processes. *Palaios* 13: 439-458.
- CITA M. B., WRIGHT R. C., RYAN W. B. F. & LONGINELLI A. 1978. — Messinian paleoenvironments, in HSÜ K. J., MONTADERT L. *et al.* (eds), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project* 42, I. U.S. Government Printing Office, Washington: 1003-1035.

- CUPP E. E. 1943. — Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bulletin of the Scripps Institutions of Oceanography* 5 (1): 1-237.
- DELL'UOMO A. & MASI A. M. 1988. — Palaeocological significance of some marine diatom assemblages from the Messinian of Central-eastern Italy. *10th international Symposium on Living and Fossil Diatoms*. Huhmari, Finland, abstracts: 257-266.
- DINARÈS-TURELL J., SPROVIERI R., CARUSO A., GOMIS-COLL E., STEFANO E. DI, PUEYO J. J., ROUCHY J.-M. & TABERNER C. 1997. — Preliminary integrated magnetostratigraphic and biostratigraphic correlation in the Miocene Lorca Basin (Murcia, SE Spain). *Acta Geologica Hispanica* 32 (3/4): 161-170.
- EHRlich A. 1975. — The diatoms from the surface sediments of the Bardawil Lagoon (Northern Sinai) - Paleocological significance. *Third Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms VIII*, 365 p, 64 pls, 83 figs.
- FOURTANIER E., GAUDANT J. & CAVALLO O. 1991. — La diatomite de Castignato (Piémont): une nouvelle preuve de l'existence d'oscillations modérées du niveau marin pendant le messinien évaporitique. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana* 30 (1): 79-95.
- GARDETTE D. 1979. — *Apport de l'étude des diatomées et des silicoflagellés à la biostratigraphie. Reconstitution du Messinien de Méditerranée: analyse de quelques tripolis du passage Mio-Pliocène à Chypre, en Crète et au Maroc*. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université de Paris-Sud, Paris, France, 274 p.
- GAUDANT J., CAULET J.-P., GERONIMO I. DI, STEFANO A. DI, FOURTANIER E., ROMEO M. & VÉNEC-PEYRÉ M.-T. 1996. — Analyse séquentielle d'un nouveau gisement de poissons fossiles du Messinien marin diatomitique: Masseria il Salto près de Caltagirone (province de Catane, Sicile). *Géologie méditerranéenne* 23 (2): 117-153.
- GAUDANT J., FOURTANIER E., LAURIAT-RAGE A., TSAGARIS S., VÉNEC-PEYRÉ M.-T. & ZORN I. 1997. — Découverte d'une ichtyofaune marine dans le Messinien préévaporitique de la Messara (Crète centrale, Grèce): interprétation paléo-écologique. *Géologie méditerranéenne* 3-4: 175-195.
- GEEL T. 1978. — Messinian gypsiferous deposits of the Lorca Basin (province of Murcia, SE Spain). *Memorie della Società Geologica Italiana* 1976 (26): 369-385.
- GERSONDE R. 1980. — *Paläoökologische und biostratigraphische Auswertung von Diatomeenassoziationen aus dem Messinium des Caltanissetta-Beckens (Sizilien) und einiger Vergleichsprofile in SO-Spanien, NW-Algerien und auf Kreta*. Thèse, Université de Kiel, Allemagne, 393 p.
- GERSONDE R. & SCHRADER H. 1984. — Marine planktic diatom correlation of the Lower Messinian deposits in the Western Mediterranean. *Marine Micropaleontology* 9 (2): 93-110.
- GUILLARD E. & KILHAM P. 1978. — Ecology of marine planktonic diatoms, in WERNER D. (ed.), *The Biology of diatoms*. Berkeley, University of California Press, *Botanical Monography* 13: 470-483.
- GUILLÉN MONDEJAR F., RODRIGUEZ ESTRELLA T., ARANA R. & LOPEZ AGUAYO F. 1995. — Historia geológica de la cuenca de Lorca (Murcia): influencia de la tectónica en la sedimentación. *Geogaceta* 18: 30-33.
- HENDEY N. I. 1937. — The plankton diatoms of the southern seas. *Discovery Reports* 16: 151-364.
- HENDEY N. I. 1951. — Littoral diatoms of Chichester Harbour with special reference to fouling. *Journal of the Royal Microscopical Society* 71: 1-86.
- HENDEY N. I. 1964. — *An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters*. Part 5. *Bacillariophyceae (diatoms)*. Fishery investigations HMSO series IV, London, 317 p.
- HOLM-HANSEN O. & MITCHELL B. G. 1991. — Spatial and temporal distribution of phytoplankton and primary production in the western Bransfield Strait region. *Deep Sea Research* 38: 961-980.
- HUSTEDT F. 1930-1966. — Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, in RABENHORST L. (ed.), *Kryptogamen-Flora*, 7, *Die Kieselalgen*, 1 (1930), 920 p.; 2 (1959), 845 p.; 3 (1961-1966), 816 p.
- JOUSÉ A. P. 1957. — Diatoms in the surface layer of the sediments in the Sea of Okhotsk. *Trudy Instituta Okeanologii Akademia Nauk SSSR* 22, 164 p. (in Russian).
- JOUSÉ A. P. 1977. — *Atlas of Microorganisms in Bottom Sediments of Oceans. Diatoms, Radiolaria, Silicoflagellates and Coccoliths*. Nauka, Moscow, 30 p., 160 pls.
- JOUSÉ A. P., KOSLOVA O. G. & MUKHINA V. V. 1971. — Distribution of diatoms in the surface layer of sediment from Pacific Ocean, in FUNNELL B. M. & RIEDEL W. R. (eds), *Micropaleontology of Oceans*. Cambridge University Press, Cambridge: 263-269.
- JURKSCHAT TH. & FENNER J. 1997. — Environmental changes in the pre-evaporitic Messinian of the Lorca Basin (SE-Spain) - diatom results. *Europal Newsletter* 11-12: 23.
- JURKSCHAT TH. & FENNER J. 1998. — Late Miocene (Messinian) environmental changes in the Lorca basin (SE-Spain) mainly interpreted from diatom results: evidence for the Messinian salinity crisis? *15th International Sedimentological Congress, Alicante*, abstracts: 458-459.
- KARSTEN G. 1907. — Das indische Phytoplankton nach dem Material der deutschen Tiefsee-Expedition, 1898-1899. *Wissenschaftliche Ergebnisse Tiefsee-Expedition « Valdivia » 1898-1899*, II (2): 221-544.
- KOIZUMI I. 1985. — Diatom biochronology for Late Cenozoic North-West Pacific. *Journal of the Geological Society of Japan* 91: 195-211.

- KRIJGSMAN W., HILGEN F. J., LANGEREIS C. G., SANTARELLI A. & ZACHARIASSE W. J. 1995. — Late Miocene magnetostratigraphy, biostratigraphy and cyclostratigraphy in the Mediterranean. *Earth and Planetary Science Letters* 136: 475-494.
- KRIJGSMAN W., GARCÈS M., AGUSTI J., RAFFI I., TABERNER C. & ZACHARIASSE W. J. 2000. — The "Tortonian salinity crisis" of the eastern Betics (Spain). *Earth and Planetary Science Letters* 181: 497-511.
- KRIJGSMAN W., BLANC-VALLERON M.-M., FLECKER R., HILGEN F. J., KOUWENHOVEN T. J., MERLE D., ORSZAG-SPERBER F., ROUCHY J.-M. 2002. — The onset of the Messinian salinity crisis in the Eastern Mediterranean (Pissouri Basin, Cyprus). *Earth and Planetary Science Letters* 194: 299-310
- LAROUZIÈRE F. D. DE, BOLZE J., BORDET P., HERNANDEZ J., MONTENAT C. & OTT D'ESTEVOU P. 1988. — The Betic segment of the lithospheric Trans-Alboran shear zone during the Late Miocene. *Tectonophysics* 152: 41-52.
- LEVENTER A. & DUNBAR R. B. 1987. — Diatom flux in McMurdo Sound, Antarctica. *Marine Micro-paleontology* 12: 49-64.
- LEVENTER A., DUNBAR R. B. & DE MASTER D. J. 1993. — Diatom evidence from late Holocene climatic events in Granite Harbor, Antarctica. *Paleoceanography* 8 (3): 373-386.
- LIKORISH W. H., GRASSO M., BUTLER R. W. H., ARGNANI A. & MANISCALCO R. 1999. — Structural styles and regional tectonic setting of the "Gela Nappe" and frontal part of the Maghrebian thrust belt in Sicily. *Tectonics* 18 (4): 655-668.
- MANSOUR B. 1991. — *La série diatomitique messinienne de Sig: étude systématique des diatomées et implications paléocéologiques*. Thèse de Magister, Université d'Oran, Algérie, 147 p.
- MANSOUR B., MOISSETTE P., NOËL D. & ROUCHY J.-M. 1995. — L'enregistrement par les associations de diatomées des environnements messiniens: l'exemple de la coupe de Sig (bassin du Chélif-Algérie). *Geobios* 28 (3): 261-279.
- MANSOUR B. & SAINT MARTIN J.-P. 1999. — Conditions de dépôt des diatomites messiniennes en contexte de plate-forme carbonatée d'après l'étude des assemblages de diatomées: exemple du Djebel Murdjadjo (Algérie). *Geobios* 32 (3): 395-408.
- MAYNARD N. G. 1976. — Relationship between diatom in surface sediments of the Atlantic Ocean and the biological and physical oceanography of overlying waters. *Paleobiology* 2: 99-121.
- MONNIER M. 1978. — *La formation à tripolis du Messinien du bassin de Caltanissetta (Sicile). Étude géologique, caractérisation géochimique de la matière organique et estimation du potentiel pétrolier*. Thèse, Université de Besançon, France, 194 p.
- MONTENAT C. 1977. — Les bassins néogènes du Levant d'Alicante et de Murcia (Cordillères bétiques orientales, Espagne). Stratigraphie, paléogéographie et évolution dynamique. *Documents du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences, Lyon* 69, 345 p.
- MONTENAT C., OTT D'ESTEVOU PH. & MASSE P. 1987. — Tectonic-sedimentary characters of the Betic Neogene basins evolving in a crustal transcurrent shear zone (SE Spain). *Bulletin du Centre de Recherche et Exploration-Production Elf-Aquitaine* 11: 1-22.
- MONTENAT C., OTT D'ESTEVOU P. & DELORT T. 1990. — Le bassin de Lorca. *Documents et Travaux de l'IGAL, Paris* 12-13: 261-280.
- MULLER D. H. & SCHRADER J. 1989. — Diatoms of the Fortuna basin, southeast Spain: evidence for the intra-Messinian inundation. *Paleoceanography* 4 (1): 75-86.
- NIILER P. P., AMOS A. & HU J. H. 1991. — Water masses and 200 m relative geostrophic circulation in the western Bransfield Strait region. *Deep Sea Research* 38: 943-959.
- NOËL D. 1982. — Les diatomées des saumures des marais salants de Salin-de-Giraud (Sud de la France). *Géologie méditerranéenne* 9 (4): 413-446.
- NOËL D. 1984. — Les diatomées des saumures et des sédiments de surface du Salin de Bras del Port (Santa Pola, province d'Alicante, Espagne). *Revista de Investigaciones geológicas* 38/39: 79-107.
- ORTÍ F. 1990. — Introducción a las evaporitas de la Cuenca de Lorca, in ORTÍ CABO F. & SALVANY DURAN J. M. (eds), *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de levante. Nueva aportaciones y guía de superficie*. Enresa y GPPG, Universidad de Barcelona: 257-266.
- ORSZAG-SPERBER F., ROUCHY J.-M., BIZON G., BIZON J. J., CRAVATTE J. & MULLER C. 1980. — La sédimentation messinienne dans le bassin de Polemi (Chypre). *Géologie méditerranéenne* 7: 91-102.
- ORSZAG-SPERBER F., ROUCHY J.-M. & ELION P. 1989. — The sedimentary expression of regional tectonic events during the Miocene-Pliocene transition in the southern Cyprus basins. *Geological Magazine* 126 (3): 291-299.
- ORSZAG-SPERBER F., ROUCHY J.-M. & BLANC-VALLERON M.-M. 2000. — La transition Messinien-Pliocène en Méditerranée orientale (Chypre): la période du Lago-Mare et sa signification. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris II* 331: 493-490.
- PEDLEY H. M. & GRASSO M. 1993. — Controls on faunal and sediment cyclicity within the Tripoli and Calcare di Base basins (Late Miocene) of central Sicily. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 105: 337-360.
- PERAGALLO H. & PERAGALLO M. 1897-1908. — *Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins*. Micrographe-Editeur LK, Grez-sur-Loing, 491 p.

- PESTREA S., MANSOUR B. & SAINT MARTIN J.-P. 1999. — Les diatomites du Messinien d'Afrique du Nord (Algérie, Maroc): principaux enseignements. *Cryptogamie-Algologie* 20 (2): 109-110.
- PESTREA S., CONESA G. & SAINT MARTIN J.-P. 2000. — Les assemblages de diatomées du Messinien de Melilla-Nador. *XIth R.C.M.N. S Congress Fes*, abstracts: 104.
- PESTREA S., SAINT MARTIN J.-P. & CONESA G. 2000. — Diatomites et diatomées du Messinien: un bilan. *Journées GFEN-APF « L'événement messinien: approches paléobiologiques et paléocéologiques »*, Rennes, résumés: 20.
- PESTREA S. & SAINT MARTIN J.-P. 2002. — La microflore de diatomées du Messinien de Gibellina (Sicile occidentale, Italie), in NÉRAUDEAU D. & GOUBERT E. (eds), *L'Événement messinien: approches paléobiologiques et paléocéologiques. Geodiversitas* 24 (3): 585-610.
- PIERRE C. & ROUCHY J.-M. 1990. — Sedimentary and diagenetic evolution of Messinian evaporites in the Tyrrhenian Sea (ODP Leg 107, Sites 652, 653, and 654): Petrographic, mineralogical, and stable isotope records, in KASTENS K. A., MASCLE J. et al. (eds), *Proceedings of ODP Scientific Results 107, College Station, TX (Ocean Drilling Program)*: 187-210.
- PIERRE C., BLANC-VALLERON M.-M., CAULET J.-P., CESPUGLIO G., ROUCHY J.-M., SPROVIERI R., STEFANO E. DI, CARUSO A., TABERNER C. & PUEYO J. J. 1997. — Sedimentary, stable isotopes and micropaleontological records of paleoceanographic changes during the deposition of the lower Messinian Tripoli formation of the Giblemi-Falconara section (Sicily). *International Conference on Neogene Paleoceanography, Erice (Sicily)*, volume abstracts: 54-55.
- PLAYA É., ORTÍ F. & ROSELL L. 2000. — Marine to non-marine sedimentation in the upper Miocene evaporites of the Eastern betics, SE Spain: sedimentological and geochemical evidence. *Sedimentary Geology* 133: 135-166.
- RICARD M. 1977. — Les peuplements de diatomées des lagons de l'Archipel de la Société (Polynésie Française): floristique, écologie, structure des peuplements et contribution à la production primaire. *Revue Algologique*, nouvelle série 12 (3-4): 1-336.
- RINCÉ Y. 1993. — *Les diatomées marines de la région de Basse-Loire: inventaire, distribution spatio-temporelle et devenir expérimental des peuplements naturels d'écosystème ostréicoles*. Thèse de Doctorat d'État, Université de Nantes, France, 489 p.
- ROUCHY J.-M. 1982. — La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. *Mémoires du Muséum national d'Histoire Naturelle sér. C*, 50: 1-295.
- ROUCHY J.-M. 1988. — Relations évaporites-hydrocarbures: l'association laminites-récifs-évaporites dans le Messinien de Méditerranée et ses enseignements, in BUSSON G. (ed.), *Évaporites et hydrocarbures. Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle sér. C*, 55: 43-69.
- ROUCHY J.-M. & MONTY C. L. V. 1981. — Stromatolites and crystalgal laminites associated with Messinian gypsum of Cyprus, in MONTY C. L. V. (ed.), *Phanerozoic Stromatolites*. Springer-Verlag Berlin; New York: 155-178.
- ROUCHY J.-M., ORSZAG-SPERBER F., BIZON G. & BIZON J.-J. 1980. — Mise en évidence d'une phase d'émersion fini-messinienne dans le bassin de Pissouri, Chypre: une modalité de passage Miocène-Pliocène en Méditerranée orientale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 291: 729-732.
- ROUCHY J.-M., TABERNER C., BLANC-VALLERON M.-M., SPROVIERI R., RUSSELL M., PIERRE C., STEFANO E. DI, PUEYO J. J., CARUSO A., DINARES-TURRELL J., GOMIS-COLL E., CESPUGLIO G., DITCHFIELD P., GRIMALT J., PESTREA S., COMBOURIEU-NEBOUT N. & SANTISTEBAN C. 1998. — Sedimentary and diagenetic markers of the restriction in a marine basin: the Lorca Basin (SE Spain) during the Messinian. *Sedimentary Geology* 121: 23-55.
- ROUCHY J.-M., ORSZAG-SPERBER F., BLANC-VALLERON M.-M., PIERRE C., RIVIERE M., COMBOURIEU-NEBOUT N. & PANAYIDES I. 2001. — Paleoenvironmental changes at the Messinian-Pliocene boundary in the eastern Mediterranean: southern Cyprus basins. *Sedimentary Geology* 145: 93-117.
- ROUND F. E., CRAWFORD R. M. & MANN D. G. 1990. — *The diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747 p.
- SAINT MARTIN J.-P., PESTREA S. & CONESA G. 2001. — Les assemblages de diatomées des niveaux infra-gypseux du bassin messinien de Sorbas (Espagne). *Cryptogamie-Algologie* 22 (1): 127-149.
- SANCETTA C. 1979. — Oceanography of the North Pacific during the last 18 000 years; evidence from fossil diatoms. *Marine Micropaleontology* 4: 103-123.
- SANCETTA C. 1981. — Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk Seas. *Deep Sea Research* 28A: 789-817.
- SANCETTA C. 1982. — Distribution of the diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. *Micropaleontology* 28 (3): 221-257.
- SANCETTA C. 1989. — Processes controlling the accumulation of diatoms in sediments: a model from British Columbian Fjords. *Paleoceanography* 4 (3): 235-251.
- SANCETTA C. 1992. — Comparison of phytoplankton in sediment trap time series and surface sediments along a productivity gradient. *Paleoceanography* 7 (2): 183-194.
- SANCETTA C. 1994. — Mediterranean sapropels: seasonal stratification yields high production and carbon flux. *Paleoceanography* 9: 195-196.

- SANCETTA C. & SILVESTRI S. 1986. — High-resolution biostratigraphy and oceanographic events in the late Pliocene and Pleistocene North Pacific. *Paleoceanography* 1 (2): 163-180.
- SANCETTA C., VILLAREAL T. & FALKOWSKI P. 1991. — Massive fluxes of rhizosolenid diatoms: a common occurrence? *Limnology and Oceanography* 36: 1452-1457.
- SANCETTA C., HEUSSER L. & HALL M. A. 1992. — Late Pliocene climate in the Southeast Atlantic: preliminary results from a multi-disciplinary study of D.S.D.P. site 532. *Marine Micropaleontology* 20: 59-75.
- SAUTTER L. R. & SANCETTA C. 1992. — Seasonal associations of phytoplankton and planktic foraminifera in an upwelling region and their contribution to the sea seafloor. *Marine Micropaleontology* 18: 263-278.
- SCHRADER H. J. 1973. — Cenozoic Diatoms from the northeast Pacific, Leg 18, in KULM L. D. & VON HUENE R. (eds), *Initial Reports of D.S.D.P.* U.S. Government Printing Office, Washington: 673-797.
- SCHRADER H. J. 1974. — Cenozoic marine planktonic diatom stratigraphy of the tropical Indian Ocean, in FISHER R. L. & BUNCE E. T. (eds), *Initial Reports of D.S.D.P.*, XXIV. U.S. Government Printing Office, Washington: 887-967.
- SCHRADER H. J. 1982. — Diatom biostratigraphy and laminated diatomaceous sediments from the Gulf of California Deep Sea Drilling Project leg 64, in MOORE J. R. et al. (eds), *Initial Reports of the D.S.D.P.*, LXIV, part 2. U.S. Government Printing Office, Washington: 973-981.
- SCHRADER H. J. 1992. — Peruvian coastal primary palaeo-productivity during the last 200.000 years, in SUMMERHAYES C. P., PRELL W. L. & EMEIS K. C. (eds), *Upwelling systems: evolution since the early Miocene*. *Geological Society Special Publication* 64: 391-409.
- SCHRADER H. J. & GERSONDE R. 1978. — Diatom and silicoflagellates, in ZACHARIASSE W. J., RIEDEL W. R., SANFILIPPO A., SCHMIDT R. R., BROLSMA M. J., SCHRADER H. J., GERSONDE R., DROOGER M. M. & BROEKMAN J. A. (eds), *Micropaleontological counting methods and techniques - an exercise on an eight metres section of the lower Pliocene of Capo Rossello, Sicily*. *Utrecht Micropaleontological Bulletin* 17: 129-176.
- SCHRADER H. J. & MATHERNE A. 1981. — Sapropel formation in the eastern Mediterranean Sea: Evidence from preserved opal assemblages. *Micropaleontology* 27 (2): 191-203.
- SCHRADER H. J. & SORKNESS R. 1990. — Spatial and temporal variation of Peruvian coastal upwelling during the latest Quaternary, in SUESS E., VON HUENE R. & EMEIS K. (eds), *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results* 112: 391-406.
- SCHUETTE G. & SCHRADER H. J. 1981. — Diatom taphocoenose in the coastal upwelling area of southwest Africa. *Marine Micropaleontology* 6: 131-155.
- SEIDENKRANTZ M.-S., KOUWENHOVEN T. J., JORISSEN F. J., SHACKLETON N. J. & VAN DER ZWAAN G. J. 2000. — Benthic foraminifera as indicators of changing Mediterranean-Atlantic water exchange in the late Miocene. *Marine Geology* 163: 387-407.
- SPROVIERI R., STEFANO E. DI & SPROVIERI M. 1996a. — High resolution chronology for late Miocene Mediterranean stratigraphic events. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 102: 77-104.
- SPROVIERI R., STEFANO E. DI, CARUSO A. & BONOMO S. 1996b. — High resolution stratigraphy in the Messinian Tripoli Formation in Sicily. *Paleopelagos* 6: 415-435.
- SUC J.-P., VIOLANTI D., LONDEIX L., POU MOT C., ROBERT C., CLAUZON G., GAUTIER F., TURON J.-L., FERRIER J., CHIKHI H. & CAMBON G. 1995. — Evolution of the Messinian Mediterranean environments: the Tripoli Formation at Capodarso (Sicily, Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology* 87: 51-79.
- TABERNER C., ROUCHY J.-M., RUSSELL M., PUEYO J. J., BLANC-VALLERON M.-M., SPROVIERI R., PIERRE C., STEFANO E. DI, GRIMALT J., WOLFF G., DINARES-TURRELL J., GOMIS-COLL E., CARUSO A., CESPUGLIO G., SANTISTEBAN C., PESTREA S. & COMBOURIEU-NEBOUT N. 1998. — Sedimentary and diagenetic processes related to organic-rich and evaporite deposits in marine to restricted continental environments, Lorca Basin, SE Spain. *15th international Sedimentological Congress, Alicante, field-trip guide book A4*: 69-108.
- WORNARD W. 1969. — Diatoms, past, present, future, in BRONNIMAN P. & RENZ H. (eds), *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils*, Geneva: 690-714.
- WROBEL F. 2000. — Das Lorca-Becken (Obermiozän, SE-Spanien) - Faziesinterpretation, Sequenzstratigraphie, Beckenanalyse. *Geologische Beiträge Hannover* 1, 141 p.
- WROBEL F. & MICHALZIK D. 1999. — Facies successions in the pre-evaporitic Late Miocene of the Lorca Basin, SE Spain. *Sedimentary Geology* 127 (3-4): 171-192.

Soumis le 18 mai 2001 ;
 accepté le 27 mars 2002.

ÉCHANTILLONS	% diatomées pennées																		
	Mètres (coupe composite)	<i>Cocconeis scutellum</i>	<i>Cymatosira lorenziana</i>	<i>Dimerogramma marinum</i>	<i>Diploneis bombus</i>	<i>Diploneis nitescens</i>	<i>Diploneis suborbicularis</i>	<i>Grammatophora undulata</i>	<i>Mastogloia splendida</i>	<i>Navicula hennedyi</i>	<i>Nitzschia marina</i>	<i>Nitzschia reinholdii</i>	<i>Pleurosigma sp.</i>	<i>Rouxia naviculoides</i>	<i>Rhabdonemma adriaticum</i>	<i>Rhaphoneis amphiceros</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i>	<i>Trachyneis aspera</i>
L.94.311	2,15																		
L.94.296	12,10																		
L.94.286	22,30																		
L.94.281	25,91																		
L.94.279	26,60																		
L.94.275	28,52																		
L.94.267	36,32																		
L.94.266	37,52	0,2																	
L.94.258	39,78																		
L.94.255/2	42,22																		
L.94.255/1	42,22																		
L.94.250	48,27																		
L.94.248	48,82	0,2																	
L.94.225	59,65																		
L.94.218	64,44	0,1																	
L.94.214	67,00																		
L.94.212/1	69,05																		
L.94.210	71,35																		
L.94.200	81,90																		
L.94.198	85,20																		
L.94.191	87,70																		
L.94.187	89,40																		
L.94.174	91,89																		
L.94.170	92,89																		
L.94.163	95,14																		
L.94.156	99,80																		
L.94.154	100,80																		
L.94.144	104,00	0,1																	
L.94.137	107,38	0,2																	
L.94.135	107,68																		
L.94.133	107,90	0,9	0,2																
L.94.131	108,00																		
L.94.130	108,35	0,1																	
L.94.128	108,60																		
L.94.113	115,40																		
L.94.111	115,70	0,3																	
L.94.96	125,80																		
L.94.93	126,10	1,0																	
L.94.90	126,40																		

ANNEXE 2

Variation des assemblages de diatomées le long de la coupe de Lorca (Espagne).

N° éch.	m (coupe composite)	Assemblages
L.94.311	2,15	sans diatomées
L.94.296	12,10	sans diatomées
L.94.286	22,30	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Actinoptychus senarius</i>
L.94.281	25,91	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.279	26,60	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Actinocyclus curvatulus</i>
L.94.275	28,52	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Aulacoseira granulata</i>
L.94.267	36,32	<i>Chaetoceros</i> (spores), <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>
L.94.266	37,52	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Chaetoceros</i> (spores)
L.94.258	39,78	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.255/2	42,22	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp.
L.94.255/1	42,22	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (bloom)
L.94.250	48,27	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Actinoptychus senarius</i>
L.94.248	48,82	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.225	59,65	<i>Chaetoceros</i> (spores), <i>Thalassiosira lineata</i> , <i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>
L.94.218	64,44	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.214	67,00	<i>Actinoptychus senarius</i>
L.94.212/1	69,05	
L.94.210	71,35	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.200	81,90	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Chaetoceros</i> (spores)
L.94.198	85,20	<i>Chaetoceros</i> (spores), <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.191	87,70	<i>Chaetoceros</i> (spores)
L.94.187	89,40	sans diatomées
L.94.174	91,89	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> accompagnés par différentes espèces holoplanctoniques (<i>Thalassiosira eccentrica</i> , <i>T. cf. eccentrica</i> , <i>T. sp. I</i>)
L.94.170	92,89	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Chaetoceros</i> (spores)
L.94.163	95,14	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>
L.94.156	99,80	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> accompagnés par différentes espèces holoplanctoniques (<i>Thalassiosira eccentrica</i> , <i>T. cf. eccentrica</i> , <i>T. sp. I</i>)
L.94.154	100,80	<i>Actinoptychus senarius</i> , <i>Thalassiosira cf. eccentrica</i>
L.94.144	104,00	
L.94.137	107,38	
L.94.135	107,68	
L.94.133	107,90	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> accompagnés par différentes espèces holoplanctoniques (<i>Thalassiosira eccentrica</i> , <i>T. cf. eccentrica</i> , <i>T. lineata</i> , <i>T. sp. I</i>)
L.94.131	108,00	
L.94.130	108,35	
L.94.128	108,60	
L.94.113	115,40	
L.94.111	115,70	
L.94.96	125,80	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Paralia sulcata</i>
L.94.93	126,10	
L.94.90	126,40	

ANNEXE 3

Répartition des diatomées et abondance relative en pourcentage des différentes espèces le long de la coupe de Falconara-Giblicemi (Sicile).

N° CYCLE	ÉCHANTILLON	cm (coupe composite)	diatomées centriques																													
			<i>Actinocyclus curvatulus</i>	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	<i>A. ehrenbergii</i> var. <i>tenuis</i>	<i>Actinocyclus cubitus</i>	<i>Actinocyclus ellipticus</i>	<i>Actinocyclus senarius</i>	<i>Actinocyclus splendens</i>	<i>Asterolampra acutiloba</i>	<i>Asterolampra grevillei</i>	<i>Asterolampra marylandica</i>	<i>Azpeitia nodulifer</i>	<i>Azpeitia aff. vetustissima</i>	<i>Bacterastrum</i> sp.	<i>Bruniopsis mirabilis</i>	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	<i>Coscinodiscus curvatulus</i>	<i>Coscinodiscus crenulatus</i>	<i>Coscinodiscus cf. crenulatus</i>	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	<i>Coscinodiscus nitidus</i>	<i>Coscinodiscus oculus-indis</i>	<i>Coscinodiscus obscurus</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Rhizosolenia hebetata</i>	<i>Rhizosolenia</i> sp.	<i>Stellamma stellans</i>	<i>Thalassiosira convexa</i>	
49	143.13 143.12	4 12		5,5	5,5											13,9	2,8															1,0 1,1
46	140.7 140.6 140.5	149 166 192	4,5	0,3 0,3																			3,5 0,3 0,3			0,5				0,7 1,0		
45	139.4	253	3,7	27,6	12,9				0,9											0,9			14,7	0,9			2,3	2,3				
44	138.6 138.5	294 323	32,3	13,6	4,3						4,7	1,4	1,4		1,4		5,1	1,5	1,0				1,5		1,8		2,5	2,5	1,8			
43	137.5	374	3,3	1,5	5,1	1,5				4,1	1,0						0,2	0,9					0,2	0,9	3,3		3,5	5,8				
42	137.4 137.3	409 429	0,6	0,6	0,6				0,6		6,5	12,3			1,9							9,7	0,6			16,2		1,3				
41	136.6 136.5	436 470	98,0	0,3													1,1													0,3		
40	135.6 135.4	516 533	23,2	1,5	29,1		0,2	1,0		0,2	0,2			0,2			0,5		2,9											2,2		
39	134.5	567	11,0	0,5	1,5	0,2		0,2						0,4	0,4		2,0	0,5	1,0				0,5	0,5	1,0			2,2	1,5	2,0		
38	133.5	662	7,8	1,0	0,5	0,2	0,5	0,5			0,2	0,2			0,5	5,4		0,5	0,7	0,5			0,2	0,5	0,2		2,9	1,0	0,5			
37	132.3	769	1,5	0,5	1,5	0,3	1,5	1,0		0,5				1,0	5,0		0,3	0,5	0,5	1,0		0,3		0,5	0,5	2,5	1,5	2,0	0,8			
35	131.2 129.6	858 931	13,1	0,5	0,3			4,4	0,5	2,2				0,4	1,6	2,4		0,3	2,7	2,2		1,6		1,4	0,5	9,8		1,6	1,1			
35	129.5 129.4	944 954	2,6	2,1	2,6			1,1		8,4	2,8			0,5	1,1						6,8		2,6	1,1	1,6		1,1	2,1	1,1			
34	128.5 128.4	990 1018	3,9	12,1	3,4		1,1							0,5										0,5			1,0	1,0	1,0			
33	127.4	1038	2,5	3,5	2,0			3,5		15,2							0,5	0,5	3,8			2,0	1,5	6,8	0,5	6,1			0,5	5,1		
31	126.5 126.4	1098 1124	3,8	14,5		3,2		1,9		1,1				2,3		0,6	15,8	1,3	1,3	1,9		1,3	0,6	3,8	3,2	0,6		0,6	1,3			
30	125.4 125.3	1179 1203			0,5		25,8	1,5						0,5	0,3		1,0		1,0				2,6	3,1	0,3	5,2	0,3	0,5	2,1	14,4		
28	124.7 124.6 124.5	1265 1287 1291	1,1																			4,2		5,3	2,6	51,1		0,5	0,5			
27	123.3	1332	1,9								1,3	7,5		1,3			1,3					10,9	0,6	1,3	1,3	1,3	10,9	1,3	1,9			
23	122.4	1501	2,5	18,6	11,3	9,9		0,3		2,8	0,3							1,7							3,4			2,5	0,6			
22	121.3	1624	0,5	1,5	1,0	0,3		0,5	0,5								0,3	0,5	0,5	1,0	4,1		0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	0,8	1,0			
21	120.4	1681	0,8	0,5	4,5	0,3		1,5	2,3					0,3			0,8	0,5	1,0	1,5			0,5	1,0	1,5	0,5	4,5	4,0	3,0			
20	119.5	1799	1,6	0,3	2,6			1,6	0,5								0,3	0,3	1,1	0,5	5,3		1,1	11,1	1,1	1,6	3,9	3,7	0,5			
19	118.5 118.4	1929 1954	0,2		1,0		6,4	0,2	2,0								0,2	0,2		25,2			7,4	0,2			2,5	2,5	6,4			
18	117.5 117.4	2071 2121	5,5	7,0	2,0	2,0		6,0	0,3								0,7	3,9		1,0	9,0		1,5	1,5	1,0	3,0	1,0		1,0			
17	116.5	2261	6,5	0,5	1,5		2,5	0,3									2,0	3,0	3,0	1,0	1,5		3,0	4,0	2,0			1,0	1,0			
16	115.13 115.12 115.11 115.10 115.9	2368 2391 2403 2421 2451	1,9				21,7	1,2	1,9								1,2				9,3		3,1	0,6				1,9	0,6			
15	114.4	2621	2,4	0,2	1,5		5,3		1,0					0,2	0,5		1,0	1,0	0,2	1,0	40,0		2,9	0,5	0,7	1,5	1,5	0,7	0,2			
14	113.6 113.5 113.4	2702 2741 2791	2,4	1,8	1,2		1,8	0,3									3,6			44,9			2,7		0,6	13,5			1,2			
13	112.5 112.4	2872 2941	1,0	1,0			4,3	0,2									0,6			9,6			1,9	1,9	1,0	0,6		1,6				
12	111.9 111.8 111.7	3023 3041 3063 3079	1,0	1,0	1,0		21,6	1,0	0,5	0,2							1,2		2,4		43,2		0,5	0,5								
11	110.5	3186	0,5	0,7	0,5		2,5	1,5						0,2	0,2		0,2	0,5	2,0	16,4		1,2	1,0	0,2	1,0	0,5	1,0	1,5				
8	108.5 108.4	3406 3432	2,8				7,9	0,3	0,6						0,6					1,1	1,1	56,3	1,1			5,6		0,6				
7	107.4	3570	0,5	0,3		0,3	0,5							0,3			0,3	0,3	0,5	88,1	0,3	1,0	1,0	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3			
6	106.5	3696	1,3	0,3	0,3	0,3	2,0	0,3						0,3			0,5	0,3	0,3	65,5			2,5	0,5	0,3	1,0	0,5	0,5	0,5			
5	105.5	3813	2,4	0,2		1,0	13,5	0,2	0,5								1,4						36,2	12,1			1,9	1,0				
4	105.4	3845	1,1	1,6			3,3	0,3	0,5				0,5										43,8	5,5			5,5					

←←←←← diatomées pennées →→→→→																																			
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	<i>Thalassiosira cf. eccentrica</i>	<i>Thalassiosira lineata</i>	<i>Thalassiosira cf. lineata</i>	<i>Thalassiosira micenica</i>	<i>Thalassiosira oestrupii</i>	<i>Thalassiosira plicata</i>	<i>Thalassiosira praecoxvevia</i>	<i>Thalassiosira symbolophora</i>	<i>Thalassiosira sp. I</i>	<i>Thalassiosira sp. II</i>	<i>Thalassiosira sp. III</i>	<i>Triceratium sp.</i>	<i>Amphora proteus</i>	<i>Biddulphia sp.</i>	<i>Cocconeis costata</i>	<i>Cocconeis ornata</i>	<i>Cocconeis scutellum</i>	<i>Diploësis sp.</i>	<i>Dimerogramma sp.</i>	<i>Grammatophora undulata</i>	<i>Mastogloia splendida</i>	<i>Navicula hemeoyi</i>	<i>Nitzschia cylindrica</i>	<i>Nitzschia fossills</i>	<i>Nitzschia mainna</i>	<i>Nitzschia porteri</i>	<i>Nitzschia reinholdii</i>	<i>Nitzschia cf. reinholdii</i>	<i>Rhaphoneis ampliceros</i>	<i>Rhabdonema adriaticum</i>	<i>Rhopalodia sp.</i>	<i>Thalassionema nitzschoides</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i>	cm (coupe composite)	
												1,4	0,3			0,3	0,3		1,7	0,3									0,3	0,3	93,5	72,0	4		
3,0	0,2	4,5	0,2																													84,1	166	12	
0,5	0,5	0,5					0,5										0,3	0,3		0,3												98,7	192	149	
2,8	0,2	0,9				0,9		3,7	0,9	0,2	0,2											0,9										94,8	253	166	
3,5	1,0	1,0			1,0									0,3																		25,3	294	323	
3,3	0,9						0,9					0,2							0,2	0,2		0,2	0,9			1,2		9,3	0,5	0,2	0,2	26,7	18,6	374	
6,2	2,1	2,6	1,0		2,1	2,1	2,1	2,6	0,3	0,5																						39,1	7,7	409	
2,3	0,3		0,6															0,3		1,3		1,3	1,9	0,6		1,9	9,7	3,2			25,9	3,2	429		
0,3																		0,3							2,3	1,7	14,5	2,9	0,3			46,2	5,8	436	
1,8	1,8																			0,6		0,3						0,6	0,6			29,4		470	
0,7		0,7					0,5		0,2																							0,2	24,2	12,1	516
11,1	1,3	1,8		0,4	0,4		0,4								0,2					0,2					8,9		5,3	2,7		0,2		13,4	6,7	533	
1,0	0,5	2,0		0,5	0,5		0,5		0,2								0,2			0,2								0,2	0,2			59,9	8,7	567	
2,9	1,5	0,5	0,2	1,0	0,2		1,0	0,2	0,2									0,2		0,2					0,5		2,5	0,7	0,2			56,4	7,4	662	
6,0	1,0	0,5	0,5	0,3	0,3		0,5											0,3							1,0		0,5	0,5	0,3			55,3	10,1	789	
4,9	0,8		1,1					0,3																	1,6	1,6	3,3					18,0	24,5	858	
4,5	0,4	1,2	0,2		6,1	0,4		1,6	1,2	0,4															2,0	4,1	2,0					20,4	24,4	931	
2,6	0,3	1,6	0,3	2,6	13,2	2,6	2,1	0,5	0,5																1,1	4,2	6,8	0,5				15,8	10,5	944	
1,7	0,6	2,2	0,3	11,2		0,6	1,1	1,1						0,3			0,3			0,6			0,6			1,1	12,8	1,1	0,3			25,1	2,8	954	
7,7	0,5	1,0	2,9		1,1	0,5		3,4	0,5									0,2		0,2		0,2				0,5	1,0	1,4		0,2		29,0	26,6	990	
0,5	1,1						13,7																			1,1	2,7	0,5				22,0	24,7	1018	
1,0	1,0	2,5	0,5				0,5	0,5			2,0																3,5	7,6				6,1	20,3	1038	
0,6	3,8	8,2		3,8												0,3		0,3									0,6		0,6			20,5	6,3	1098	
		1,1	0,3																									0,6				5,7	2,9	1124	
1,0	2,1	15,5	0,5		0,5			0,5													0,3											5,2	15,5	1179	
8,4	0,5	0,9		0,9	0,9	1,9	0,5			0,2															0,5	0,9	1,4	34,8	0,9			9,3	8,4	1203	
	0,5	1,1		0,3		0,3															0,3											26,3	6,1	1265	
	1,3					32,2																										11,3	25,7	1287	
5,6	0,6				0,6	1,9																			5,0		1,9	11,3	0,6			25,0	9,4	1291	
	1,7	1,1																	0,3			0,3										33,9	8,5	1332	
1,0	0,5				1,0	2,0											0,3									0,3		2,0	0,5	0,3			60,9	12,2	1501
1,0	1,3	1,5	0,3		0,5	1,5	1,5														0,3								0,5	0,5			48,2	4,6	1624
0,5	0,5	1,5	0,5	0,8	0,3	1,0	9,0	1,5						0,3												0,8	1,5	1,5	0,3			43,9	7,5	1681	
1,6	2,6	2,6	1,1		0,8	0,5	0,5								0,3											0,3		2,6	0,5			42,1	7,4	1799	
	12,3	4,0	0,2			1,0	0,2																									22,2	5,4	1929	
	11,3	3,3	0,2		0,2	17,2																0,5					2,8	5,7	0,2			12,5	9,7	1954	
1,0	1,0	1,0			0,5	2,0						0,3									1,3						2,6	3,9		0,3		50,0		2071	
2,6	1,3	3,9				6,6																										46,1		2121	
2,5	3,5	18,1	0,5		2,5	0,3	1,0														0,3				0,5	0,5	0,5	1,5				27,7	7,6	2261	
1,2	2,5	5,6	0,3		3,1	1,2	1,9	1,9		1,9																						31,0	6,2	2368	
1,2	1,8	5,9	0,3		2,4	2,9	1,2	1,2	2,4	2,4																						32,4	7,7	2391	
3,2	5,0	4,5	0,5		3,2	1,4	0,2	0,9	0,5	0,5												0,2									25,3	1,8	2403		
0,5	1,9					1,4	0,5	1,9	1,9																		2,8	2,8	11,8	0,9			37,9	16,6	2421
5,8	1,0	2,9				0,2	0,2	1,0	1,4																	1,0	1,4	3,8				36,0	12,0	2451	
0,5	1,9	1,5	0,5			2,4		0,2	0,5																	0,2	0,2		2,9	0,2			19,4	7,3	2621
0,6	4,2					1,2																											15,6	4,5	2702
7,3	1,4	0,9			0,5	10,2																				0,5		0,2				23,6	2,4	2741	
3,8	1,0	7,6	0,6			0,3																0,3				1,9	0,3	1,9	3,2	0,3		15,9	25,5	2791	
	0,5	2,9	0,2			5,2																											10,7	2,4	2872
6,1	3,5	0,5			0,5	16,5		0,7																			0,5	0,7	2,1	0,2			35,4	2,4	2941
0,5	1,2	1,0				0,5	2,4		0,5	0,2	0,2															1,0		0,5	1,4			9,6	4,8	3023	
	1,1	1,1				0,3	4,0																					0,3					9,7	2,7	3041
0,5	0,5	6,8	0,5		1,9	0,5	13,6																					0,5	1,4			5,4	4,1	3063	
3,6	1,2	3,6				4,7																					0,2	3,6	0,5			15,4	15,4	3079	
1,0	1,5	0,5	0,2		1,0	0,2	4,5	0,2	0,2																			3,0	1,0			44,8	10,0	3186	
0,6						1,7																											8,5	3,9	3406
1,0	1,0	4,0	0,5			1,0	0,5									0,3										1,1		5,1	1,1			8,5	3,9	3406	
						0,5			0,3	0,3																0,8	0,3	1,5	1,3			10,1	5,1	3432	
																													0,5	0,3			1,6	1,0	3570
	1,0					1,0	0,5		0,3	0,3																		0,3	2,5	0,5			12,1	5,0	3696
	3,9			</																															

	<i>Stellarina stellaris</i>	<i>Stephanodiscus karitzi</i>	<i>Suctodiscus californicus</i>	<i>Thaassosira comexa</i>	<i>Thaassosira eccentrica</i>	<i>Thaassosira cf. eccentrica</i>	<i>Thaassosira lineata</i>	<i>Thaassosira cf. lineata</i>	<i>Thaassosira micocerca</i>	<i>Thaassosira oestrupii</i>	<i>Thaassosira preaeocomexa</i>	<i>Thaassosira symbolophora</i>	<i>Thaassosira</i> sp. 1 Cardette	<i>Thaassosira</i> sp. 2 Gardette	<i>Thaassosira</i> sp. A Gersonde	<i>Triceratium</i> sp.	<i>Achnanthes hauckiana</i>	<i>Amphora commutata</i>	<i>Amphora interseca</i>	<i>Campylodiscus grevillei</i>	<i>Cocconeis cf. debesi</i>	<i>Cocconeis nitida</i>	<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	<i>Cocconeis scutellum</i>	<i>Clavícula polymorpha</i>	<i>Climacosphenia monilifera</i>	<i>Dictyonella marginata</i>	<i>Dimerogramma maritimum</i>	<i>Diploneis bombus</i>	<i>Diploneis chersonensis</i>	<i>Diploneis crabro</i>	Échantillon		
																																	2	
																																	3	
																																	3bis	
1,8																1,8							1,8									9		
																	0,2			0,2		0,2	0,8	4,7	0,4	0,2		0,4	1,8	1,8	3,6	11		
																	1,2					2,3											11bis	
																		0,2				0,2	0,2	0,2				0,2	0,2	0,2	0,2		12	
																								0,2	0,2								16	
																																	17	
																																	18	
																																	21	
																																	22	
																																	23	
																																	25	
																																	26	
																									0,2			0,2					27	
																																	28	
																	1,5						3,0					0,2					29	
																																	30	
																																	31	
																																	36	
4,3																																	37	
																																		41
																																		41bis
																																		42
																																		43
																																		45
																																		47
0,2	0,2	0,2																															50	
		0,2																															52	
																																	55	
0,2		0,2																															56	
																																		58
																																		60
																																		62
																																		63
																																		65
																																		69
																																		70
																																		72
																																		73
																																		74
																																		75
																																		76
																																		77
																																		79
																																		80
																																		81
																																		82
																																		83
																																		86
																																		88
																																		89
																																		93
																																		94
																																		95
																																		97
																																		98
																																		99
																																		108

ANNEXE 5

Variation des assemblages de diatomées le long de la coupe de Pissouri (Chypre). Quand les diatomées sont absentes, une indication de l'importance des autres organismes biosiliceux est donnée. Abréviations : **A**, abondant (> 50 %) ; **F**, fréquent (10-50 %) ; **R**, rare (< 10 %).

N° éch.	m / gypse	Espèces dominantes	Espèces sous-dominantes
2	0,02	Spicules (R)	
3	0,12		
3bis	0,28	Spicules (R)	
3ter	0,45	Spicules (R)	
9	1,8	Spicules (A)	<i>Grammatophora angulosa</i> , <i>G. marina</i> , <i>G. oceanica</i>
11	2,05	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i> , <i>Hemidiscus cuneiformis</i>
11bis	2,06	Spicules (A)	<i>Grammatophora undulata</i> , <i>G. oceanica</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Chaetoceros</i>
12	2,47	Spicules (F)	
16	2,95	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Nitzschia reinholdii</i>
17	3,31	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassiosira convexa</i> , <i>Thalassiosira eccentrica</i>
18	3,49	Spicules (R)	
21	3,9	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	
22	4,09	<i>Th. nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>	<i>Asterolampra marylandica</i>
23	4,31	Spicules (R)	
25	4,7	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Actinocyclus curvatulus</i>
26	4,74	Spicules (R)	
27	4,84	<i>Th. nitzschioides</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i>	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> var. <i>tenellus</i> , <i>Rhizosolenia</i> , <i>Chaetoceros</i>
28	5,1	Spicules (A)	
29	5,34	Spicules (A)	<i>Grammatophora marina</i> , <i>G. undulata</i>
30	5,76	Spicules (A)	
31	5,95	Spicules (A)	
36	10,9	<i>Chaetoceros</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Hemidiscus cuneiformis</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Rhizosolenia</i>
37	11,1	Spicules (A)	<i>Paralia sulcata</i> , <i>Plagiogramma staurophorum</i> , <i>Grammatophora</i>
41	11,7	Spicules (F)	
41bis	11,8	Spicules (A)	<i>Coscinodiscus</i> sp. Gardette, <i>Grammatophora</i>
42	12,1	Spicules (A), Silicoflagellés (F)	
43	12,2	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiosira symbolophora</i> , <i>Grammatophora</i>
45	12,8	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Hemidiscus cuneiformis</i>
47	13,5	Spicules (A), Silicoflagellés (F)	
50	14,6	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> , <i>Thalassiosira eccentrica</i>
52	15,1	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Chaetoceros</i>
55	15,8	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Chaetoceros</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Bacteriastrum</i>
56	16,1	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiosira praeconvexa</i> , <i>Thalassiothrix longissima</i> , <i>Chaetoceros</i>
58	16,9	Silicoflagellés (F), Spicules (R)	
60	17,6	<i>Rhizosolenia</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Chaetoceros</i>

N° éch.	m / gypse	Espèces dominantes	Espèces sous-dominantes
62	18,8	Spicules (A)	
63	19,2	Spicules (A)	
65	19,8	Spicules (A)	
69	21,3	Spicules (A)	
70	21,6	Spicules (A)	
72	22,1	Spicules (A)	
73	22,3	<i>Thalassionema nitzschioides, Rhizosolenia</i>	<i>Chaetoceros, Thalassiothrix longissima</i>
74	22,7	Spicules (R)	
75	23	Spicules (A)	<i>Grammatophora, Diploneis</i>
76	23,5	Spicules (A)	
77	23,9	Spicules (A)	
79	24,9		
80	25,3	Spicules (A)	
81	25,6	Spicules (R)	
82	25,9	<i>Th. nitzschioides, Asterolampra marylandica</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i>
83	26,1	Spicules (A)	
86	27,1	Spicules (A)	
88	27,6		
89	27,9	Spicules (A)	
93	29,4	Spicules (R)	
94	29,6	Spicules (R)	
95	29,7		
97	30,1	Spicules (A)	
98	30,3		
99	30,4		
108	32,2		

ANNEXE 6

Inventaire de la microflore de diatomées dans les coupes étudiées. Abréviations : **F**, Falconara ; **L**, Lorca ; **P**, Pissouri.

Diatomées centriques	F	L	P
<i>Actinocyclus cubitus</i> Hanna & Grant, 1926	*		*
<i>Actinocyclus curvatulus</i> Janisch in A. Schmidt, 1878	*	*	*
<i>Actinocyclus</i> cf. <i>curvatulus</i> Janisch in A. Schmidt, 1878		*	
<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> Ralfs in Pritchard, 1861	*	*	
<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> var. <i>tenellus</i> (Brebisson) Hustedt, 1929	*	*	*
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow in Van Heurck, 1883	*		*
<i>Actinocyclus kutzingii</i> (Schmidt) Simonsen, 1979			*
<i>Actinocyclus senarius</i> Ehrenberg, 1843	*	*	
<i>Actinocyclus splendens</i> (Schadlb) Ralfs in Pritchard, 1861	*		
<i>Arachnoidiscus</i> sp.			*
<i>Asterolampra acutiloba</i> Forti, 1913	*	*	*
<i>Asterolampra grevillei</i> (Wallich) Greville, 1860	*		*
<i>Asterolampra marylandica</i> Ehrenberg, 1844	*	*	*
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen, 1979		*	*
<i>Auliscus coelatus</i> Bailey, 1853			*
<i>Azpeitia nodulifer</i> (Schmidt) Fryxell & Sims, 1986	*		
<i>Azpeitia vetustissima</i> (Pantocsek) Sims in Fryxell et al., 1986	*		*
<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder, 1864	*	*	*
<i>Biddulphia tuomeyi</i> (Bailey) Roper, 1859			*
<i>Bruniopsis mirabilis</i> (Brun.) Karsten, 1928	*		
<i>Chaetoceros</i> spores	*	*	*
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg, 1844	*		*
<i>Coscinodiscus crenulatus</i> Grunow, 1884	*	*	
<i>Coscinodiscus</i> cf. <i>crenulatus</i> Grunow, 1884	*		
<i>Coscinodiscus curvatulus</i> Grunow in A. Schmidt, 1878	*		
<i>Coscinodiscus curvatulus</i> var. <i>minor</i> (Ehrenberg) Grunow, 1884		*	*
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg, 1841	*		
<i>Coscinodiscus obscurus</i> Schmidt, 1878	*	*	*
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehrenberg, 1839	*	*	
<i>Coscinodiscus plicatus</i> Grunow in Schmidt, 1878		*	*
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg, 1839	*		*
<i>Coscinodiscus</i> aff. <i>radiatus</i> Ehrenberg, 1839		*	
<i>Coscinodiscus</i> sp.		*	
<i>Coscinodiscus</i> sp. 1 in Gardette, 1979			*
<i>Coscinodiscus</i> sp. 4 in Gardette, 1979			*
<i>Hemiaulus</i> cf. <i>polymorphus</i> Grunow, 1884		*	
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich, 1860	*	*	*
<i>Hyalodiscus radiatus</i> (O'Meara) Grunow in Cleve & Grunow, 1880			*
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve, 1873	*	*	*
<i>Psammodiscus nitidus</i> (Gregory) Round & Mann, 1980	*	*	

<i>Rhizosolenia hebetata</i> Bayley, 1856	*		*
<i>Rhizosolenia</i> sp.	*	*	*
<i>Rossiella paleacea</i> (Grunow) Desikachary A28 Maheshwari, 1958		*	
<i>Stellarima stellaris</i> (Roper) Hasle & Sims, 1986	*	*	*
<i>Stephanodiscus astrea</i> (Ehrenberg) Grunow, 1884		*	
<i>Stictodiscus</i> sp.		*	*
<i>Thalassiosira convexa</i> Muchina, 1965	*		*
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve, 1903	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve, 1903	*	*	*
<i>Thalassiosira lineata</i> Jousé, 1968	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>lineata</i> Jousé, 1968	*		*
<i>Thalassiosira miocenica</i> Schrader, 1974	*	*	*
<i>Thalassiosira oestrupii</i> (Ostenfeld) Hasle, 1972	*		*
<i>Thalassiosira plicata</i> Schrader, 1974	*	*	
<i>Thalassiosira praeconvexa</i> Burckle, 1972	*		*
<i>Thalassiosira symbolophora</i> Schrader, 1974	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> sp. I	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> sp. II	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> sp. III	*		*
<i>Triceratium</i> sp.	*		*

Diatomées pennées	F	L	P
<i>Achnanthes hauckiana</i> Grunow, 1880			*
<i>Amphora intersecta</i> A. Schmidt, 1878			*
<i>Amphora proteus</i> Gregory, 1857	*		
<i>Biddulphia</i> sp.	*		
<i>Campylodiscus grevillei</i> (W. Smith) Grunow, 1867			*
<i>Clavicula polymorpha</i> Grunow & Pantocsek, 1886			*
<i>Climacosphenia monilifera</i> Ehrenberg, 1843			*
<i>Cocconeis costata</i> Gregory, 1855	*		
<i>Cocconeis debesi</i> Hustedt, 1933			*
<i>Cocconeis nitida</i> Gregory, 1857			*
<i>Cocconeis ornata</i> Gregory, 1857	*		
<i>Cocconeis pseudomarginata</i> Gregory, 1857			*
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg, 1838	*	*	*
<i>Dictyoneis marginata</i> (Lewis) Cleve, 1890			*
<i>Dimerogramma</i> sp.	*		
<i>Dimerogramma marinum</i> (Gregory) Ralfs in Pritchard, 1861		*	*
<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg, 1844		*	*
<i>Diploneis chersonensis</i> (Grunow in Schmidt) Cleve, 1894			*
<i>Diploneis crabro</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1844			*
<i>Diploneis mediterranea</i> (Grunow) Cleve, 1894			*
<i>Diploneis nitescens</i> (Gregory) Cleve, 1894	*	*	*
<i>Diploneis</i> cf. <i>papula</i> (A. Schmidt) Cleve, 1894			*
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve, 1894			*

<i>Diploneis suborbicularis</i> (Gregory) Cleve, 1894		*	*
<i>Grammatophora angulosa</i> Ehrenberg, 1840			*
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing, 1844			*
<i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg, 1840			*
<i>Grammatophora undulata</i> Ehrenberg, 1840	*	*	*
<i>Mastogloia binotata</i> (Grunow) Cleve, 1896			*
<i>Mastogloia splendida</i> (Gregory) Cleve & Moller, 1879	*	*	*
<i>Navicula hennedyi</i> Wm. Smith, 1856	*	*	*
<i>Navicula hennedyi</i> Wm. Smith var. <i>granulata</i> E14 A. Schmidt, 1874			*
<i>Navicula lyra</i> Ehrenberg, 1841			*
<i>Nitzschia cylindrica</i> Burckle, 1972	*		
<i>Nitzschia fossilis</i> (Frenguelli) Kanaya in Kanaya & Koizumi, 1970	*		
<i>Nitzschia</i> cf. <i>fossilis</i> (Frenguelli) Kanaya in Kanaya & Koizumi, 1970			*
<i>Nitzschia marina</i> Grunow in Cleve & Grunow, 1880	*	*	*
<i>Nitzschia porterii</i> Frenguelli, 1949	*		
<i>Nitzschia reinholdii</i> Kanaya in Kanaya & Koizumi, 1970	*	*	
<i>Nitzschia</i> cf. <i>reinholdii</i> Kanaya in Kanaya & Koizumi, 1970	*		*
<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith, 1853			*
<i>Plagiogramma staurophorum</i> (Gregory) Heiberg, 1863			*
<i>Pleurosigma</i> sp.		*	
<i>Rhabdonema adriaticum</i> Kützing, 1844	*	*	*
<i>Rhaphoneis amphiceros</i> Ehrenberg, 1844	*	*	*
<i>Rhaphoneis nitida</i> (Gregory) Grunow, 1867			*
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Muller, 1895			*
<i>Rhopalodia</i> sp.	*		
<i>Rouxia naviculoides</i> in Schrader, 1974		*	
<i>Surirella fastuosa</i> Ehrenberg, 1940			*
<i>Synedra crystalina</i> (Agardh) Kützing, 1844			*
<i>Synedra fulgens</i> (Greville) W. Smith, 1853			*
<i>Synedra gailonii</i> (Bory) Ehrenberg, 1830			*
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow in Van Heurck, 1881	*	*	*
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow, 1880	*	*	*
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve, 1894		*	*