

# 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)

BOUHAMEUR MANSOUR & JEAN-PAUL SAINT-MARTIN

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). [Depositional conditions of Messinian diatomites in carbonate platform setting from diatom assemblages (Djebel Murdjadjo, Algeria)]. *GEOBIOS*, **32**, 3: 395-408. Villeurbanne, le 30.06.1999.

Manuscrit déposé le 18.12.1997; accepté définitivement le 23.03.1998.

**RÉSUMÉ** - A la périphérie de la plate-forme carbonatée messinienne des environs d'Oran (Algérie occidentale), des accumulations diatomitiques sont intercalées dans des dépôts bioclastiques. L'analyse des assemblages de diatomées permet de préciser l'évolution des environnements lors de l'édification de la plate-forme. Deux épisodes diatomitiques sont ainsi distingués. Le premier, caractéristique d'un milieu côtier de mer ouverte, correspond à des cortèges progradants bioclastiques à récifaux. Le second, succédant au fonctionnement d'un système récifal corallien progradant, est situé dans un contexte géométrique et stratigraphique rapporté souvent au début de la crise de salinité du Messinien dans les bassins marginaux de Méditerranée. Il révèle un milieu marin littoral, pouvant subir des variations de salinité, à eaux chaudes relativement stagnantes. Cette évolution traduit l'influence du développement des plates-formes carbonatées dans les processus de comblement des aires marines et de restriction des communications.

**MOTS-CLÉS:** DIATOMITES, DIATOMÉES, PLATE-FORME CARBONATÉE, MESSINIEN, ALGÉRIE, MÉDITERRANÉE.

**ABSTRACT** - Diatomitic accumulations occur in the outer part of the Messinian carbonate platform of Oran vicinity. The diatom assemblages reveal the environmental evolution during the platform edification with two different diatomitic episodes. The first one contains diatom assemblage of tropical open sea and marks the distal talus of prograding bioclastic and reefal units. The second diatomitic episode, following the prograding coral reef complex, represents for numerous authors the equivalent of the base of the so-called salinity crisis. The diatom assemblage reveals a littoral marine environment, with variable salinity, in relatively stagnant warm water. This evolution is consequent with the hypothesis of a general infilling of accommodation during the carbonate platform development which lead to a restrictive marine circulation conditions.

**KEY-WORDS:** DIATOMITES, DIATOMS, CARBONATE PLATFORM, MESSINIAN, ALGERIA, MEDITERRANEAN

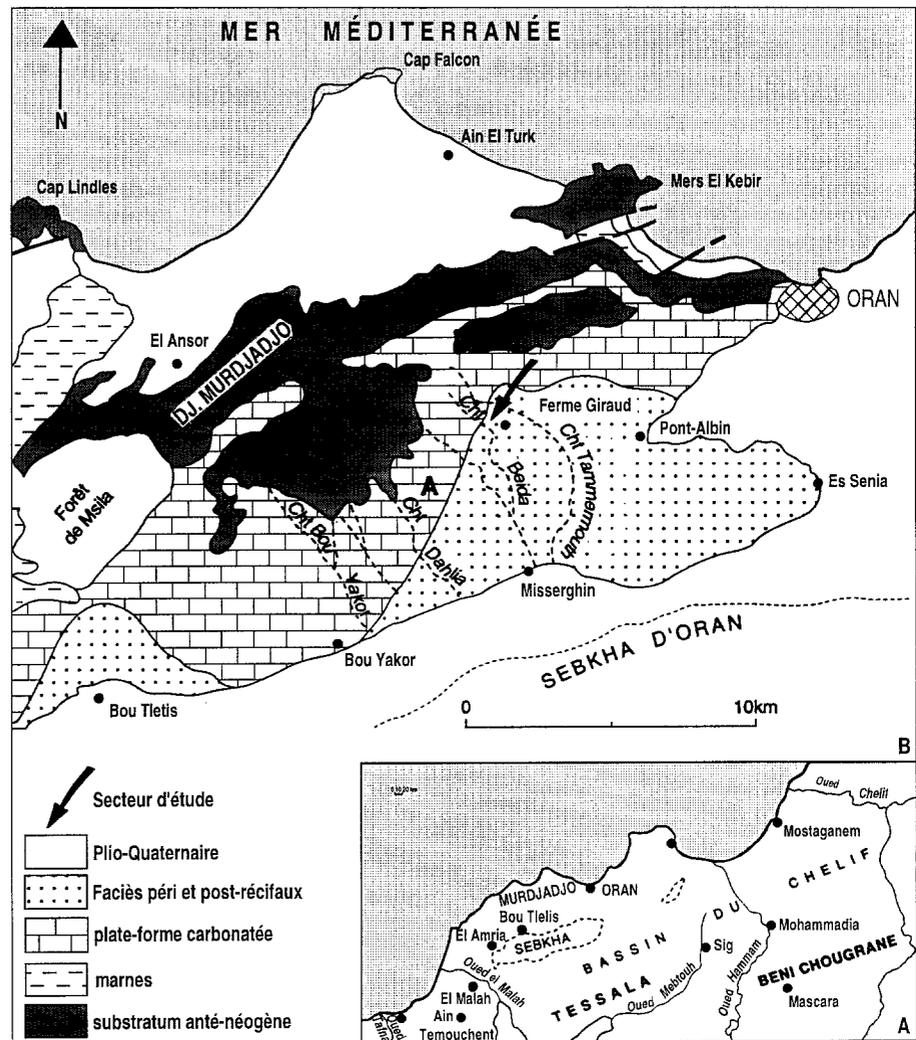
## INTRODUCTION

La série néogène du Djebel Murdjadjo a été l'objet de diverses recherches géologiques, notamment stratigraphiques, paléontologiques, sédimentologiques et structurales (Gourinard 1952, 1958; Perrodon 1957; Delfaud et al. 1973; Rouchy 1982; Rouchy et al. 1982; Saint-Martin 1990; Saint-Martin & Rouchy 1990; Saint-Martin et al. 1995; Cornée et al. 1994; Cornée et al. 1996). La sédimentation, essentiellement d'âge messinien, est marquée par le développement d'une plate-forme carbonatée à caractère récifal passant, vers le bassin, à des dépôts marneux et diatomitiques connus dans les environs d'Oran pour leur ichthyofaune (Arambourg 1927). Deux épisodes d'accumulation diatomitique peuvent être distingués: le premier s'intercale dans les dépôts distaux d'une plate-

forme bioclastique et récifale progradante à algues corallinacées et récifs coralliens; le deuxième est postérieur au dernier édifice corallien, dans une position stratigraphique et géométrique rapportée par certains à la base (Martin & Braga 1994) ou à l'initiation (Cunningham et al. 1997) de la "crise de salinité" du Messinien. Les caractéristiques de ces épisodes diatomitiques apparaissent donc déterminants pour la compréhension de l'évolution des environnements messiniens.

Ce travail repose sur la première étude approfondie de la microflore diatomique messinienne du Djebel Murdjadjo et, plus largement, d'assemblages de diatomées en contexte de plate-forme carbonatée, selon un double objectif: 1) comparer les milieux de dépôt des deux épisodes diatomitiques et 2) interpréter les résultats obtenus en

FIGURE 1 - A. Situation générale du Djebel Murdjadjo en Oranie occidentale. B. Carte géologique du secteur étudié (d'après Saint-Martin 1990). A. Location map of Djebel Murdjadjo (Western Orania). B. Geologic map of studied area (after Saint-Martin 1990).



fonction des données géométriques, sédimentologiques et paléogéographiques.

### CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE: LE MESSINIEN DU DJEBEL MURDJADJO

Le Djebel Murdjadjo, qui s'étend à l'ouest de l'agglomération oranaise constitue un des massifs côtiers nord-occidentaux du bassin du Bas Chélif (Fig. 1A). Il se présente comme un horst dissymétrique, avec un rebord septentrional abrupt et un versant méridional s'inclinant en pente douce vers l'actuelle Sebka d'Oran (Fig. 1B).

La série messinienne recouvre le versant méridional du massif du Murdjadjo. Elle est caractérisée par le développement, au Nord, d'une sédimentation de plate forme carbonatée, renfermant des faciès récifaux coralliens, passant progressivement, vers le Sud, à une sédimentation de bassin marneuse et diatomitique.

D'une manière générale, cette sédimentation s'agence en trois termes: pré-récifal, récifal et post-récifal (Rouchy 1982; Saint-Martin et Rouchy 1990; Saint-Martin et al. 1995). Les travaux récents (Cornée et al. 1994) distinguent plus précisément au sein de ces termes les unités suivantes, de bas en haut (Fig. 2A):

- unité 1: conglomérats et grès transgressifs sur le substratum;
- unité 2 et 3: calcaires bioclastiques riches en mélobésiées organisés en deux ensembles progradants superposés, passant vers le bassin à des marnes et laminites diatomitiques;
- unité 4: complexe récifal caractérisé par la progradation de corps coralliens à *Porites* à talus bioclastiques riches en articles d'*Halimeda*;
- unité 5: calcaires micritiques blancs, riches en spicules de spongiaires, déposés en bordure du complexe carbonaté; localement, à la base, s'intercalent des laminites diatomitiques; des masses de gypse apparaissent également au sein de cette unité;

- unité 6: calcaires oolitiques et stromatolitiques recouvrant partiellement en position interne le complexe récifal corallien.

**LA COUPE DE LA "FERME GIRAUD"**

Une coupe représentative des faciès de bordure de plate-forme a été levée dans le ravin de la Chabet Beida, situé à proximité de l'ancienne "Ferme Giraud" (Fig. 1B). Elle dégage différents faciès de la série messinienne avec de bas en haut (Fig. 2B):

- des marnes bleues;

- une alternance de calcaires bioclastiques et de marnes laminées diatomitiques très calcaires, deux niveaux seulement ayant livré une microflore siliceuse;

- des bancs de calcaire bioclastique riche en articles d'*Halimeda*;

- de calcaires blancs micritiques, localement bréchifiés, à spicules de spongiaires siliceux et à nodules de sels reposant sans discontinuité apparente sur le terme précédent; - des calcaires oolitiques.

Des affleurements situés à proximité immédiate de l'ancienne "Ferme Giraud", permettent de

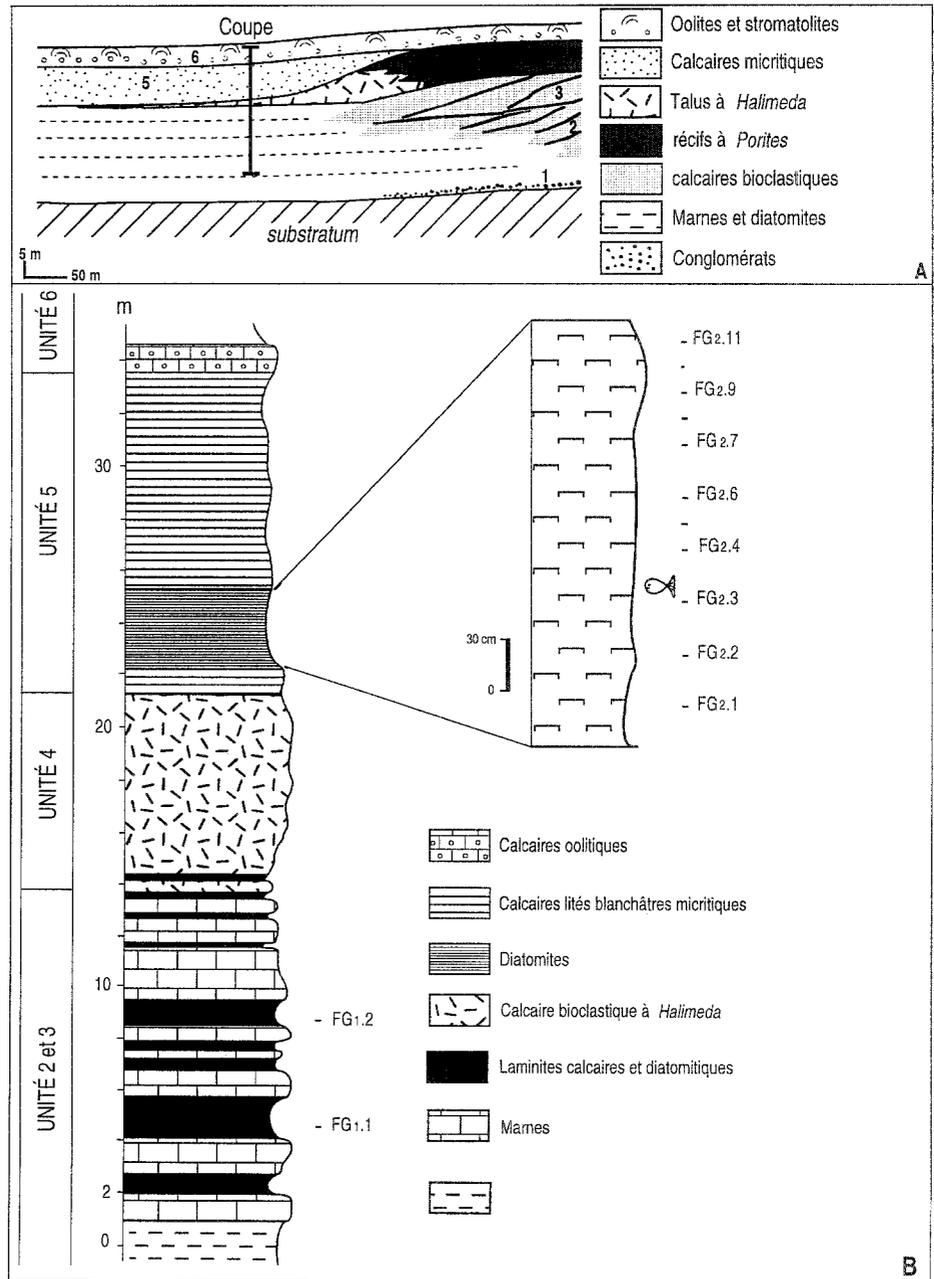


FIGURE 2 - A. Schéma général d'organisation des unités sédimentaires de la plate-forme carbonatée du Murdjadjo. B. Succession lithologique des sédiments messiniens près de la Ferme Giraud. A. Sedimentary organization of the Murdjadjo carbonate platform. B. Lithologic succession of the Messinian deposits of the "Ferme Giraud" area.

détailler la sédimentation de la base des calcaires blancs micritiques (Fig. 2B). Au-dessus des dépôts à *Halimeda* reposent des calcaires argileux peu épais (0,5 m) à spicules de spongiaires. Ces calcaires sont surmontés de laminites (2,5 m d'épaisseur) à restes de poissons (Gaudant et al. 1997). Il s'agit de diatomites plus ou moins marneuses dans lesquelles s'observent des nodules et des pellicules d'épaisseur centimétrique de sel. Au-dessus, se développent les calcaires blancs crayeux à spicules de spongiaires et à traces et/ou nodules de sel, affectées de phénomènes de bréchification.

### LES DIATOMITES DU MESSINIEN DE MÉDITERRANÉE

Les accumulations diatomitiques représentent une des composantes importantes de la sédimentation messinienne. Elles accompagnent le développement des plates-formes carbonatées (Saint-Martin & Rouchy 1990; Rouchy & Saint-Martin 1992; Cornée et al. 1996) dans plusieurs secteurs de Méditerranée occidentale: bassins de Boudinar et de Melilla au Maroc, bassins du Sud-Est de l'Espagne, bassin du Chelif en Algérie... Un certain nombre de travaux chronostratigraphiques récents menés dans l'ensemble de la Méditerranée permettent de situer la période de fonctionnement des dépôts diatomitiques et des plates-formes carbonatées dans l'histoire du Miocène supérieur de Méditerranée. En Algérie, les premiers dépôts diatomitiques coïncident globalement avec l'apparition des marqueurs du Messinien *Globorotalia mediterranea*/*G. conomiozea*, (Poignant & Moissette 1992; Mansour et al. 1994). Plus largement, dans les divers bassins messiniens, les premiers niveaux diatomitiques suivent de très peu l'apparition de ces mêmes marqueurs estimée récemment à 7,1 MA (Krijgsman et al. 1995; Sprovieri et al. 1996).

Au niveau de la plate-forme de Melilla (Maroc nord oriental) où l'agencement des cortèges sédimentaires est directement comparable à celui du Murdjadjo, Cunningham et al. (1997) considèrent plusieurs événements érosifs importants affectant la plate-forme. L'un de ces événements, situé vers la partie supérieure de l'épisode 3An (3An.1 n) de l'échelle paléomagnétique de Cande & Kent (1992) et daté par radiochronologie à 5,95 MA, marquerait l'arrêt de l'édification corallienne à Melilla et le début de la baisse du niveau marin méditerranéen; comme au Djebel Murdjadjo, il est postérieur à un niveau de calcaires à bioclastiques à *Halimeda* qui surmonte lui-même les derniers dépôts diatomitiques. Dans le bassin de Sorbas (sud-est de l'Espagne), la sédimentation diatomitique est comprise entre la base du Messinien située dans des faciès de marnes grises et les pre-

miers dépôts de gypse. Ces derniers sont inscrits dans le premier épisode paléomagnétique inverse de l'époque Gilbert (3r) selon Gautier et al. (1994), qui proposent une date de 5,7 MA pour situer la base des faciès évaporitiques. En Sicile, la formation diatomitique qui précède celle des Calcaires de base, est située dans une tranche de temps allant de 6,93 à 6,08 MA d'après les estimations de Sprovieri et al. (1996a,b), le sommet étant situé à l'intérieur de l'épisode paléomagnétique 3An.1 n. Pour Gautier et al. (1994), le sommet de la formation diatomitique en Sicile peut être fixé comme à Sorbas au début de l'épisode paléomagnétique 3r, soit également à environ 5,7 MA. Il est cependant à signaler en Sicile que les Calcaires de base renferment encore des intercalations diatomitiques et que des récurrences de lits diatomitiques sont repérées dans les Evaporites Supérieures, correspondant à un Messinien nettement plus élevé (Grasso et al. 1997).

Pour de nombreux auteurs (voir discussion in Cornée et al. 1996), une baisse importante du niveau marin affecterait la plate-forme récifale par des surfaces d'érosion et/ou une progradation descendante des corps récifaux coralliens (fin de l'Unité 4 du Murdjadjo). A cette baisse succéderait la dessiccation de la Méditerranée, la formation des évaporites dans le bassin (Unité 5 du Murdjadjo), puis une remise en eau accompagnant le dépôt des Evaporites supérieures. Cet ensemble de phénomènes correspondrait à la crise de salinité du Messinien. Or, les reconstitutions des anatomies originelles des plates-formes carbonatées de Méditerranée occidentale ont montré que leur édification (Unités 1 à 6 du Murdjadjo) se réalise essentiellement lors de variations positives successives du niveau marin relatif (Cornée et al. 1996). Selon Clauzon et al. (1996), cette baisse qui prélude aux premières évaporites, ne correspondrait donc qu'à un événement de faible ampleur et la véritable crise du Messinien n'interviendrait que plus tardivement, dans la partie supérieure du Messinien, affectant alors les bassins profonds. Selon Butler et al. (1995), l'enchaînement des faciès messiniens, y compris les diatomites, se réalise en Sicile, dans un contexte tectonique compressif actif amenant à l'individualisation de bassins à évolution séparée; les diatomites se déposeraient alors dans des bassins plus ou moins isolés par des seuils tectoniques, avec des conditions de communications marines restreintes. La généralité des phénomènes, des faciès et de leur succession (Rouchy & Saint-Martin 1990; Saint-Martin & Rouchy 1992) ne permet pas de retenir ce schéma pour l'ensemble des autres bassins messiniens où, au contraire, la tectonique syn-messinienne est très discrète (Cornée et al. 1994).

Ainsi, les diatomites du Djebel Murdjadjo s'inscrivent pour le premier épisode (unités 2+3) dans le temps de dépôt des formations diatomitiques préévaporitiques de Sicile ou des dépôts diatomitiques en zones distales de plate-forme des autres bassins de Méditerranée occidentale. Il est possible de distinguer au sein cette sédimentation préévaporitique des cycles d'alternances marnodiatomitiques corrélées en Sicile avec des cycles de précessions astronomiques permettant d'établir une échelle chronologique (Sprovieri et al. 1966a,b). La sédimentation diatomitique du Murdjadjo s'intercale quant à elle dans le fonctionnement d'une plate-forme, à forte composante construite, produisant une grande quantité de matériel bioclastique alimentant les dépôts périphériques. L'influence de la plate-forme est donc

prépondérante dans la succession des sédiments. Il est dans ces conditions impossible de relier directement les intercalations diatomitiques du Murdjadjo avec les cycles définis dans divers secteurs de Méditerranée.

Les diatomites du deuxième épisode se sont déposées postérieurement aux derniers édifices de l'ensemble récifal progradant (unité 4), à la base de sédiments (unité 5) renfermant des faciès évaporitiques dans la région d'Oran. Un tel épisode de dépôt diatomitique est absent de toutes les autres plates-formes de Méditerranée occidentale. Il apparaît à plus forte raison très délicat d'établir une corrélation avec les séries siciliennes, sinon peut-être, sur une base faciologique, avec les niveaux diatomitiques intercalés dans la sédimentation des Calcaires de base (?).

		ECHANTILLONS		FG1.1	FG1.2	FG2.1	FG2.2	FG2.3	FG2.4	FG2.5	FG2.6	FG2.7	FG2.8	FG2.9	FG2.10	FG2.11	
<b>DIATOMÉES</b>																	
DIATOMÉES PENNÉES	<i>Achnantes brevipes</i> AGARDH					0,1	0,5	0,6	1,6	2,1	5,4	2,5	2,4	6	6,5		
	<i>Amphora coffeaeformis</i> AGARDH					0,1				0,1		0,8	0,4	0,7	0,6		
	<i>Amphora grevilleana</i> GREGORY					1,6				0,6	1,9	1,4	1,3	0,7	1,2		
	<i>Amphora</i> sp.								0,1	0,3		0,5					
	<i>Berkeleya micans</i> GREVILLE						0,2	1,8	2,6	1,9	9,9	11,7	14,8	35	25,4		
	<i>Cocconeis dirupta</i> GREGORY		1,25														
	<i>Cocconeis ornata</i> GREGORY					0,1	0,1	0,2	0,5	0,4	0,6	0,8	0,7				
	<i>Cocconeis placentalis</i> EHRENBERG						0,6	0,1	0,2	0,3	0,1				0,5	0,5	
	<i>Cocconeis scutellum</i> EHRENBERG		0,75	1,25		0,3	2,8	2,5	4,7	2	1,7	1,6	0,7	0,8	2	2	
	<i>Diploneis smithi</i> s.l. (Brebisson) CLEVE			1,25													
	<i>Grammatophora oceanica</i> EHRENBERG		6,25	21,75		54,1	8,1	14,5	8,4	12,9	60,9	58,2	56,3	54,2	58,7	12,5	
	<i>Grammatophora undulata</i> EHRENBERG		0,75	3,25							0,1						
	<i>Hyalosynedra laevigata</i> GRUNOW							0,5	1,5	0,3	1,2	1,2	1,8	0,2			
	<i>Mastogloia brauni</i> GRUNOW						0,1	0,1	0,4		1,4	0,6	0,8	0,7	1,2	1	
	<i>Mastogloia aff. jelineckii</i> GRUNOW								0,2		0,6	0,2	0,6				
	<i>Navicula aff. digito-radiata</i> (Gregory) SCHMIDT						0,1		0,5	0,2	0,2				0,5		
	<i>Navicula hennedeyi</i> Wm SMITH		0,75	2													
	<i>Nitzschia frustulum</i> var. <i>perpusilla</i> (Rabenhorst) GRUNOW							0,1			0,6	0,2	0,1				
	<i>Nitzschia</i> sp.										0,8	0,1			0,7		
	<i>Pleurosigma formosum</i> Wm. SMITH							0,1				1,1	0,7				
	<i>Rhabdonema adriaticum</i> KÜTZING		8,5	2		33,6	84,2	75,7	73,6	68,3	4,4	12,6	14,3				82
	<i>Raphoneis amphicerus</i> (Ehr.) EHRENBERG		0,75	1,25													
	<i>Rhopalodia gibberula</i> s.l. (Ehr.) O. MÜLLER					9,8	2,7	2,8	3	9,3	4,9	3,9	2,6		0,2		
<i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) O. MÜLLER					0,1	0,6	0,6	0,6	2,1	0,9	3,9	2,4	1,4	0,7			
<i>Surirella fastuosa</i> EHRENBERG					0,2		0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	1,2	2		
<i>Thalassionema nitzschoides</i> s.l. GRUNOW in VAN HEURCK		55,75															
<i>Trachyneis aspera</i> var. <i>elliptica</i> (Ehr.) CLEVE							0,1	0,1	0,5	0,5	0,8						
DIATOMÉES CENTRIQUES	<i>Actinocyclus curvatus</i> JANISCH		2														
	<i>Actinocyclus octonarius</i> EHRENBERG		7,75														
	<i>Actinocyclus tenellus</i> (Brebisson) ANDREWS		28														
	<i>Aulacoseira</i> sp.							0,1	0,3	0,3	0,1	0,1		1,7			
	<i>Biddulphia tuomeyi</i> (Bailey) ROPER		7,25	6,75													
	<i>Coccinodiscus radiatus</i> EHRENBERG			2,25													
	<i>Coccinodiscus</i> sp.		4,75	1,25													
	<i>Hyalodiscus radiatus</i> (O'Meara) GRUNOW		2,75	2,25													
	<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) KÜTZING		2,5	8													
	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehr.) CLEVE		1,25	3,25													
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grun.) HASLE et FRYXELL		2	1,25														
<b>SILICOFLAGELLES</b>																	
<i>Dictyocha fibula</i> s.l. EHRENBERG		1,5	0,75														
<i>Distephanus speculum</i> s.l. EHRENBERG		3,25															

TABLEAU 1 - Pourcentages relatifs des taxons de diatomées et de silicoflagellés dans les deux épisodes diatomitiques. \*: comptage sur 400 individus; \*\*: comptage sur 200 individus. *Percentage proportions of the diatom and silicoflagellate assemblages from the two diatomitic episodes.*

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les résultats présentés dans ce travail reposent sur l'analyse de 13 échantillons: deux échantillons (FG<sub>1.1</sub> et FG<sub>1.2</sub>), les seuls ayant livré une microflore siliceuse, prélevés dans le premier épisode et 11 échantillons (numérotés de FG<sub>2.1</sub> à FG<sub>2.11</sub>) répartis sur des intervalles réguliers, provenant du deuxième épisode diatomitique.

Les variations verticales des pourcentages des taxons de diatomées rencontrés sont établies à partir d'un comptage sur lames observées au microscope optique, à un grossissement de 1000. Pour cha-

que échantillon, les individus sont comptés en balayant la lame selon la méthode décrite par Schrader & Gersonde (1978). Le nombre de spécimens comptés dépend de la richesse du sédiment en diatomées et de l'état de conservation des frustules. Dans les échantillons riches, 1000 individus sont comptés; 400 et 200 lorsque l'échantillon est pauvre. Au terme de ces comptages, on détermine la fréquence de chaque taxon par rapport à l'ensemble des individus contenus dans un échantillon (Tabl. 1).

Le mode et le milieu de vie des différents taxons, déduits de leur écologie actuelle sont répertoriés dans le tableau 2. Les déterminations et les princi-

TAXONS	PREMIER EPISODE DEUXIEME EPISODE	MILIEU ET MODE DE VIE							TEMPERATURE DES EAUX (°C)								
		marin	saumâtre	eau douce	planctonique	tychoplanctonique	benthique	épiphyte	océanique	néritique	littorale	Bo	Tpf	Tp	Tpc	Str	Tr
									5	10	15	20	25	30			
* formes rencontrées dans les milieux sursalés																	
DIATOMÉES BENTHIQUES	<i>Achnantes brevipes</i> *	+	+	+			+	+									
	<i>Amphora coffeaeformis</i> *	+	+														
	<i>Amphora</i> aff. <i>grevillena</i>	+	+	+													
	<i>Amphora</i> sp.	+	+	+													
	<i>Berkeleya micans</i>	+	+	+													
	<i>Cocconeis dirupta</i>	+	+														
	<i>Cocconeis ornata</i>	+	+	+													
	<i>Cocconeis placentula</i>	+		+	+												
	<i>Cocconeis scutellum</i>	+	+	+													
	<i>Diploneis smithii</i> s.l.	+	+	+													
	<i>Grammatophora oceanica</i>	+	+	+													
	<i>Grammatophora undulata</i>	+	+	+													
	<i>Hyalosynedra laevigata</i>	+	+	+													
	<i>Mastogloia braunii</i> *	+	+	+													
	<i>Mastogloia</i> aff. <i>jelineckii</i>	+	+	+													
	<i>Navicula</i> aff. <i>digito-radiata</i> *	+	+	+													
	<i>Navicula hennedyi</i>	+	+	+													
	<i>Nitzschia frustulum</i> var. <i>perpusilla</i> *	+	+	+													
	<i>Nitzschia</i> sp.	+	+														
	<i>Pleurosigma formosum</i>	+	+														
	<i>Rhabdonema adriaticum</i>	+	+	+													
<i>Rhaphoneis ampiceros</i>	+	+	+														
<i>Rhopalodia gibberula</i> s.l.	+	+	+														
<i>Rhopalodia musculus</i>	+	+	+														
<i>Surrirella fastuosa</i>	+	+	+														
<i>Thalassionema nitzschoides</i> s.l.	+	+															
<i>Trachyneis aspera</i> var. <i>elliptica</i>	+	+															
DIATOMÉES CENTRIQUES	<i>Actinocyclus curvatus</i>	+	+														
	<i>Actinocyclus octonarius</i>	+	+														
	<i>Actinocyclus tenellus</i>	+	+	+													
	<i>Aulacoseira</i> sp.	+		+													
	<i>Biddulphia tuomeyi</i>	+	+														
	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	+	+														
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	+	+														
	<i>Hyalodiscus radiatus</i>	+	+	+													
	<i>Paralia sulcata</i>	+	+	+													
	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	+	+														
<i>Thalassiosira leptopus</i>	+	+															
SILICO- FLAGELLÉS	<i>Dictyocha fibula</i> s.l.	+	+														
	<i>Distephanus speculum</i> s.l.	+	+														

TABLEAU 2 - Ecologie des différentes espèces de diatomées et de silicoflagellés des deux épisodes diatomitiques. Bo: boréal, Tpf: tempéré-froid, Tp: tempéré, Tpc: tempéré-chaud, Str: subtropical, Tr: tropical. *Ecology of the various diatoms and silicoflagellates from the two diatomitic episodes.*

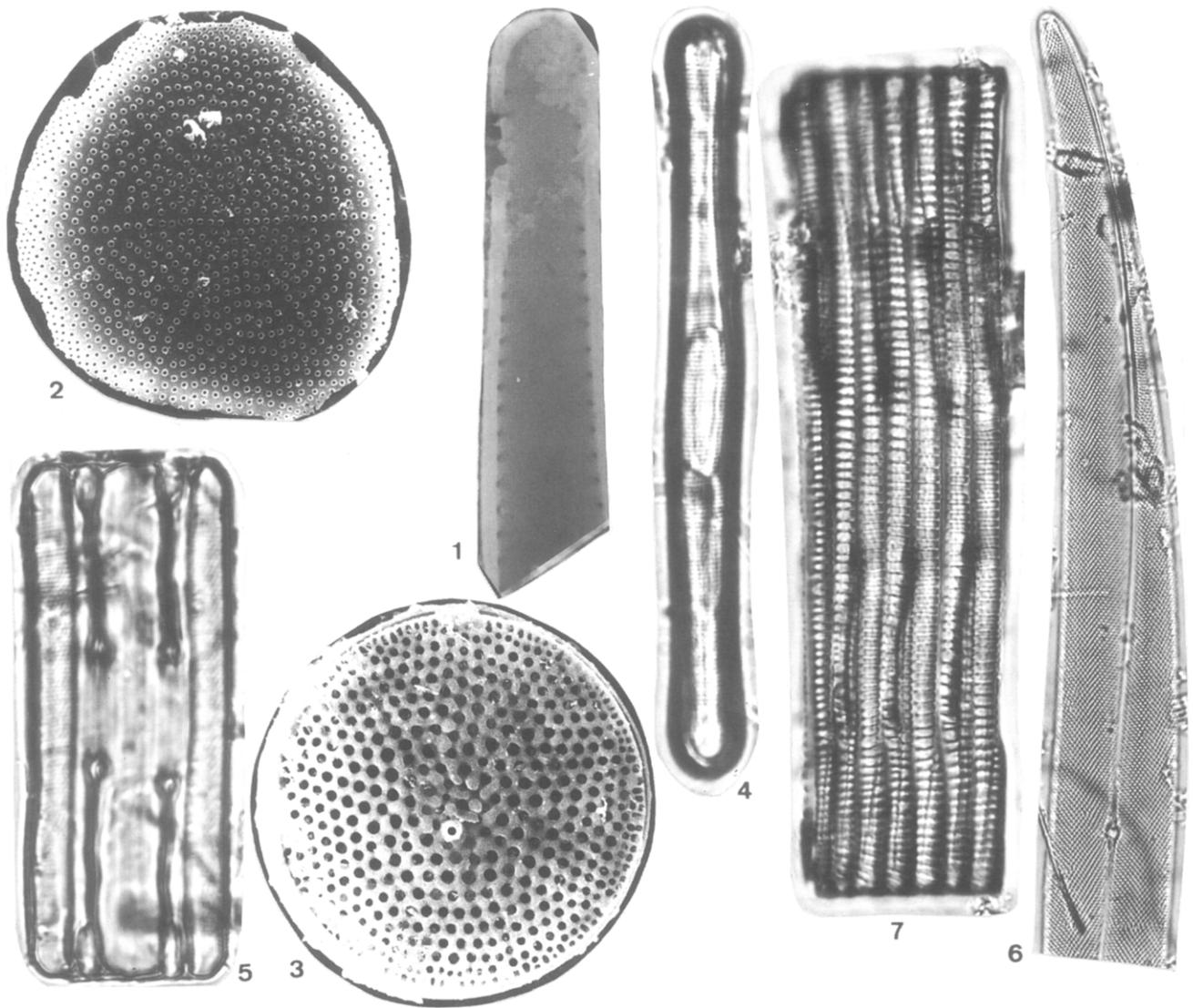


FIGURE 3 - 1. *Thalassionema nitzschoides* s.l. (Grunow) VAN HEURK, x 5000. 2. *Actinocyclus tenellus* (Brebisson) ANDREWS, x 2000. 3. *Coscinodiscus radiatus* EHRENBERG, x 2000. 4. *Grammatophora oceanica* EHRENBERG, vue valvaire, x 4000. 5. *Grammatophora oceanica* EHRENBERG, vue connective, x 4000. 6. *Pleurosigma formosum* Wm. SMITH, x 10 000. 7. *Rhabdonema adriaticum* KUTZING, x 13 000. Les espèces des figures 1,2,3,6 sont représentées uniquement dans le premier épisode diatomitique. Les espèces des figures 4,5,7 sont communes aux deux épisodes diatomitiques.

pales données paléocéologiques et écologiques sont empruntées à différents travaux: Peragallo & Peragallo (1897-1908), Hustedt (1930-1966), Cupp (1943), Jouse (1957), Jouse et al. (1971), Hendey (1951,1964), Baudrimont & Degiovanni (1974), Ricard (1977), Gardette (1979), Gersonde (1980), Noël (1982, 1984), Rincé (1993), Navarro (1982), Round et al. (1990).

#### COMPOSITION MICROFLORISTIQUE

Les taxons les plus répandus (Tabl. 1) dans les deux épisodes diatomitiques ont été généralement

signalés dans les sédiments marins miocènes de Méditerranée occidentale (Baudrimont & Degiovanni 1974; Gardette 1979; Gersonde 1980; Mansour 1991; Mansour et al. 1994).

Dans le premier épisode, 19 espèces de diatomées (10 centriques et 9 pennées) et 2 de silicoflagellés ont été recensées (Tabl. 1). Seules quatre de ces espèces de diatomées sont communes aux deux épisodes diatomitiques. Les espèces les plus abondantes sont représentées par *Thalassionema nitzschoides* (Fig. 3.1), *Actinocyclus tenellus* (Fig. 3.2), *Actinocyclus octonarius*, *Paralia sulcata* et *Coscinodiscus radiatus* (Fig. 3.3).

La microflore diatomique dans le deuxième épisode est relativement peu diversifiée, mais très riche en individus, avec 23 espèces de diatomées identifiées dont 3 laissées en nomenclature ouverte. Une des caractéristiques essentielles de cette microflore est la rareté des Centrophycidés (centriques) par rapport aux Pennatophycidés (pennées). Les centriques (généralement planctoniques) ne sont représentées que par *Aulacoseira* sp. qui est en réalité une forme tychoplanctonique. Parmi les pennées, qui sont dans leur majorité benthiques, deux taxons sont planctoniques (*Nitzschia frustulum* var. *perpusilla* et *Nitzschia* sp.) et trois tychoplanctoniques (*Grammatophora oceanica*, *Grammatophora undulata* et *Pleurosigma formosum*). Comme le montre le tableau 1, l'assemblage est fortement dominé par *Grammatophora oceanica* (Fig. 3.4,5) et *Rhabdonema adriaticum* (Fig. 3.7) qui représentent à elles seules approximativement 77% du contenu microfloristique. En général, ces deux espèces sont présentes et communes tout au long de la coupe avec cependant des fréquences variables. Ainsi, la première moitié de la coupe est caractérisée par l'abondance de *Rhabdonema adriaticum* (67,2%). A partir de l'échantillon FG<sub>2.6</sub>, l'importance de ce taxon décroît progressivement et l'espèce *Grammatophora oceanica* prend alors le relais avec 50% en moyenne, à l'exception du dernier échantillon (FG<sub>2.11</sub>), marqué par un nouvel accroissement de *Rhabdonema adriaticum*.

## INDICATIONS SUR LES PALÉOENVIRONNEMENTS

### PALÉOSALINITÉ

Les assemblages diatomiques sont regroupés selon trois associations: marine, marine-saumâtre et saumâtre-eau douce.

Le premier épisode est représenté par 75,62% de formes marines et 24,37% de formes marines-saumâtres, ce qui permet de caractériser un milieu marin pouvant subir des dessalures temporaires.

Dans le deuxième épisode, les formes marines (polyhalobes meieurhalines) sont omniprésentes et dominant avec 88% (en moyenne) du contenu microfloristique (Fig. 4). Les deux taxons *Grammatophora oceanica* et *Rhabdonema adriaticum*, représentent à eux seuls 77% du total. Les espèces plus ou moins euryhalines supportant des salinités moindres (marines-saumâtres) dites mésohalobes, dépassent légèrement les 11 % en moyenne. Elles sont présentes tout au long de la coupe avec des fréquences variables (pas moins de 5%). Enfin, les formes saumâtres-eaux douces ne dépassent guère en moyenne 0,5% du contenu. Il est intéressant de noter que certaines des formes marines et marines-saumâtres ont été signalées dans des milieux sursalés (marais salants, lagunes, sebkhas): *Achnantes brevipes* (Fig. 5.1), *Amphora coffeaeformis*, *Mastogloia braunii*, *Navicula* aff. *digito-radiata* (Fig. 5.2) et *Nitzschia frustulum* var. *perpusilla* (Carpelan 1978; Germain 1981; Noël 1982,1984; Ehrlich 1978). Leur tolérance à une sursaturation en sels peut être en accord avec l'existence de plusieurs phases de concentration en sels dissous matérialisées par des lits centimétriques interstratifiés dans les diatomites. Par ailleurs, il faut noter l'importance des espèces polyhalobes et la présence des taxons tolérant une salinité moindre (mésohalobes). Ainsi, le mélange d'espèces ayant des caractéristiques écologiques différentes en ce qui concerne la salinité suggère une variabilité certaine du milieu.

### PALÉOBATHYMÉTRIE

Les formes planctoniques (néritiques et océaniques) dans le premier épisode diatomitique dominant avec plus de 64% (en moyenne). Les espèces les plus abondantes sont représentées par *Thalassionema nitzschoides*, *Actinocyclus tenellus*, *Actinocyclus octonarius* et *Paralia sulcata*. Les formes benthiques littorales et tychoplanctoniques (*Grammatophora oceanica*, *Grammatophora undulata*, *Rhabdonema adriaticum*, *Biddulphia tuomeyii*, *Diploneis smithii* et *Navicula*

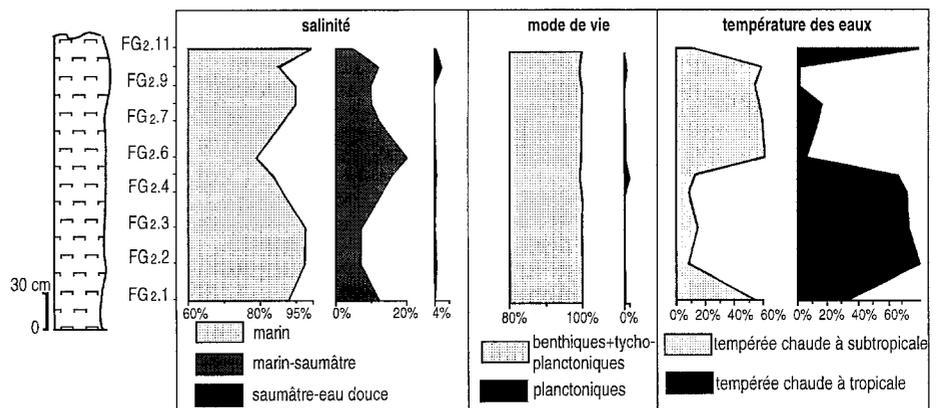


FIGURE 4 - Abondance relative des diatomées du deuxième épisode en fonction de la salinité, du mode de vie et de la température des eaux. *Diatom relative abundance in the second diatomitic episode according to salinity, life position and water temperatures.*

*hennedyi*) ne représentent que 35,37% en moyenne. Cette composition traduit des dépôts néritiques sous une tranche d'eau ne dépassant pas une centaine de mètres.

Les diatomées benthiques et tychoplanctoniques (Fig. 4) du deuxième épisode prédominent largement (99,73%) avec les espèces *Grammatophora oceanica*, *Rhabdonema adriaticum*, *Berkeleya micans* (Fig. 5.4,5), *Rhopalodia gibberula* s.l. (Fig. 5.6), *Rhopalodia musculus*, *Achnantes brevipes* et *Hyalosynedra laevigiata* (Fig. 5.7), parmi les plus abondantes. D'une manière générale, on remarque une augmentation du pourcentage relatif de l'espèce *Berkeleya micans* (Tabl. 1) qui, après avoir joué un rôle mineur (1,3%) dans la première moitié de cet épisode, devient relativement importante dans la deuxième moitié (16%). C'est une forme découverte pour la première fois dans les sédiments diatomitiques messiniens de l'Algérie nord-occidentale. Elle est marine, benthique et fréquente dans les mares littorales actuelles (Rincé, 1993). Les formes planctoniques (*Nitzschia frustulum* var. *perpusilla* et *Nitzschia* sp.), de très faible fréquence (0,2% en moyenne), atteignent parfois 1,4% (éch. FG<sub>2.5</sub>).

Dans ce deuxième épisode diatomitique (Fig. 4), la dominance des formes benthiques littorales (dépassant les 99% du contenu microfloristique) et le pourcentage négligeable des formes planctoniques indiquent clairement un milieu côtier et plaident en faveur d'une assez faible profondeur (ne dépassant pas la vingtaine de mètres). L'absence d'espèces holoplanctoniques et de silicoflagellés, organismes qui, bien que vivant également en milieu côtier, traduisent plutôt des environnements océaniques (Fourtanier et al. 1991), suggèrent un milieu protégé des influences océaniques.

#### PALÉOTEMPÉRATURES

Les aires de répartition des diatomées sont relativement mal définies et peuvent varier d'un auteur à un autre. Deacon (1933) et Hendey (1937) définissent des formes antarctiques, subantarctiques et subtropicales. Karsten (1907) utilise les termes ubiquistes, tempérées, tempérées tropicales et tropicales. Angot (1961) considère que les mers tropicales sont celles dont la température des eaux de surface ne descend jamais au dessous de 22°C. Jousé et al. (1971) définissent des complexes de taxons planctoniques (nordique boréal, subtropical et tropical). Ricard (1977) définit trois aires géographiques principales (aires arctiques et antarctiques, aires tempérées Nord et Sud et aire intertropicale) mais ne faisant pas intervenir les formes de transition. Gersonde (1980) désigne des formes "froides", "tempérées froides", "tempérées chaudes" et "chaudes". À partir de ces travaux, un canevas de température des eaux de surface (allant du com-

plexe nordique boréal au complexe tropical) a été établi (Tabl. 2), rejoignant les propositions de Gardette (1979) tout en faisant intervenir les formes de transition (subtropical). Ce canevas constitue l'outil de notre analyse de la paléotempérature des eaux au moment de la sédimentation diatomitique.

Le premier épisode diatomitique est caractérisé par une fréquence élevée des espèces inféodées aux eaux chaudes (*Biddulphia tuomeyi*, *Grammatophora oceanica*, *Grammatophora undulata*, *Rhabdonema adriaticum*, *Hyalodiscus radiatus*, *Thalassionema nitzschoides* et *Thalassiosira leptopus*) indiquant ainsi un dépôt dans une eau à caractère subtropical à tropical, ce qui est en accord avec les indications paléoclimatiques fournies par la palynologie (Suc & Bessais 1990).

Dans le deuxième épisode, hormis les taxons eurythermes et ceux sur lesquels nous ne possédons pas d'informations, l'assemblage diatomitique est constitué en général de formes "chaudes". En considérant les taxons ayant la même limite supérieure de température tolérée, deux associations s'individualisent :

- une première association de formes "tempérées chaudes à subtropicales" au sein de laquelle l'espèce *Grammatophora oceanica* abonde, associée à *Pleurosigima formosum* (Fig. 3.6) et *Grammatophora undulata*;
- une deuxième association de formes "tempérées chaudes à tropicales" où l'espèce *Rhabdonema adriaticum* pullule, associée à *Hyalodiscus laevigata* et *Surirella fastuosa*.

Ces deux associations représentent respectivement en moyenne 36,4% et 41,85 % du contenu microfloristique. Néanmoins, une sensible variation s'observe tout au long de la coupe (Fig. 4). Ainsi les formes "tempérées chaudes à tropicales" dominent dans la première moitié de la coupe avec une fréquence de 64,74%, puis diminuent jusqu'à 7,5% en moyenne à partir de l'échantillon FG<sub>2.6</sub> et sont ensuite relayées par les formes "tempérées chaudes à subtropicales" (58%). Le dernier niveau semble être dominé par la deuxième association (Fig. 4). Les exigences thermiques de *Berkeleya micans* ne sont pas précisément connues. Cette espèce, comme nous l'avons constaté, se développe surtout dans la deuxième moitié de la coupe (Tabl. 1). Il semblerait que son développement coïncide avec celui de la deuxième association à formes "tempérées chaudes à subtropicales" et on peut admettre qu'elle présente les mêmes exigences que *Grammatophora oceanica*. En général, il apparaît que la température des eaux était plutôt "chaude" au moment de la sédimentation de ce deuxième épisode allant de tempérée chaude à tropicale.

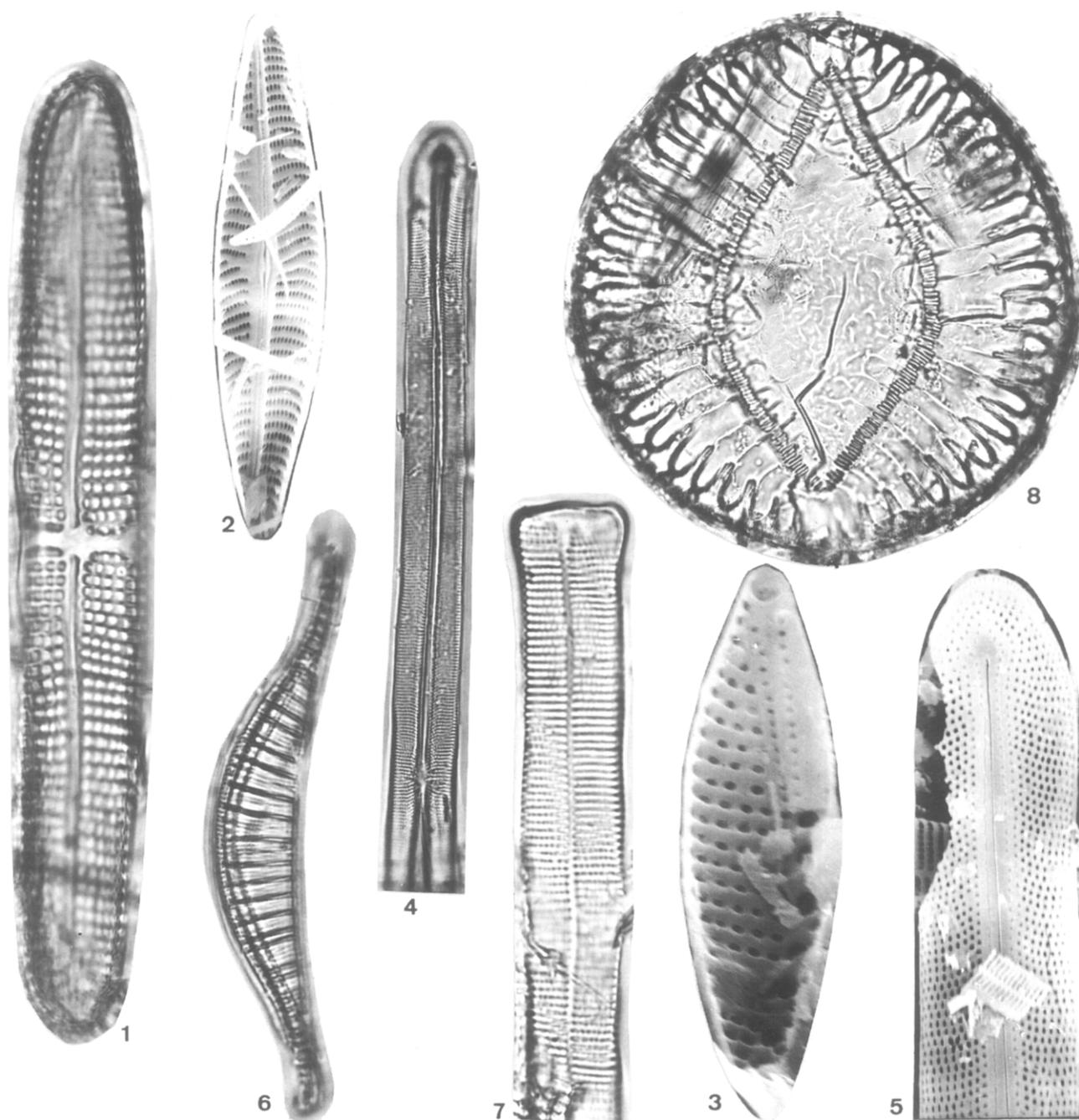


FIGURE 5 - 1. *Achnantes brevipes* AGARDH, x 4000. 2. *Navicula* aff. *digito-radiata*, x 3000. 3. *Nitzschia frustulum* var. *perpusilla* (Rabenhorst) GRUNOW, x 1000. 4. *Berkeleya micans* GREVILLE, x 18 000. 5. *Berkeleya micans* GREVILLE, vue au M.E.B., x 29 000. 6. *Rhopalodia gibberula* s.l. (Ehrenberg) O. MÜLLER, x 2500. 7. *Hyalosynedra laevigata* GRUNOW, x 4000. 8. *Surrirella fastuosa* EHRENBURG, x 18 000. Toutes les espèces figurées sont représentées uniquement dans le deuxième épisode diatomitique.

## DISCUSSION

### LE CADRE PALEOENVIRONNEMENTAL

Les associations des diatomées du premier épisode diatomitique indiquent des conditions de dépôt

correspondant à un milieu marin (pouvant éventuellement subir des dessalures) néritique, côtier sous une tranche d'eau chaude (à caractère subtropical à tropical) ne dépassant pas une centaine de mètres. La présence, même minoritaire, des

formes planctoniques océaniques (holoplanctoniques), comme *Actinocyclus curvatulus*, *Actinocyclus tenellus*, *Coscinodiscus radiatus* et *Thalassiosira leptopus*, le fort pourcentage des formes planctoniques en général et l'association avec des silicoflagellés, indiquent une période d'ouverture sur la mer au moment du dépôt. On notera en outre que l'abondance de *Thalassionema nitzschooides*, dans un des deux niveaux, suggère un milieu à forte productivité (Schuette & Schrader 1981). Cette productivité peut être caractéristique des zones à upwellings côtiers (Gersonde 1980; Schrader & Sorkness 1990; Fourtanier et al. 1991; Bustillo & López García 1997).

Les indications fournies par les diatomées sont en bon accord avec les paramètres de l'environnement sédimentaire. Le milieu était en effet celui d'une plate-forme carbonatée distale ouverte soumise aux influences de la plate-forme interne par des apports bioclastiques. Les bioclastes sont représentés en majeure partie par des fragments de colonies de bryozoaires, de corallinacées, de tubes de serpules, de diverses pièces d'échinides... Les foraminifères planctoniques sont présents jusqu'à la partie supérieure des accumulations (floatstones) à *Halimeda*, mais sont surtout abondants dans la partie inférieure de la série, témoignant d'un milieu marin ouvert. Les reconstitutions géométriques (Fig. 1) indiquent une profondeur de dépôt de quelques dizaines de mètres pour les intercalations diatomitiques FG<sub>1.1</sub> et FG<sub>1.2</sub> (Cornée et al. 1994). L'étude des cortèges sédimentaires (Cornée et al. 1994; Cornée et al. 1996) révèle que la sédimentation diatomitique-marneuse-bioclastique s'est effectuée au cours d'élévations successives du plan d'eau conduisant à la superposition de plusieurs systèmes progradants (unités 2, 3 et 4). La température des eaux devait également convenir au développement d'organismes littoraux associés aux systèmes récifaux qui se mettent en place à ce moment, les accumulations diatomitiques étant contemporaines de l'édification de récifs coralliens dans la région d'Oran (Saint-Martin et al. 1995). Il est à noter que les caractères de l'édification récifale messinienne, avec souvent des constructions coralliennes monogénériques et la présence en abondance de croûtes microbiennes intra-récifales, de même que l'épanouissement des peuplements à *Halimeda*, ont été mis en rapport avec les conditions eutrophiques périodiques révélées par les proliférations de diatomées et souvent attribuées au fonctionnement de systèmes d'upwellings locaux (Mankievicz 1988; Saint-Martin 1990; Moissette & Saint-Martin 1992; Martin & Braga 1994; Martin et al. 1997). Hodell et al. (1989) et Benson et al. (1991) invoquent plus largement des entrées d'eaux atlantiques intermédiaires à profondes riches en nutriments, par effet de siphon

au niveau du détroit sud-rifain, ce qui aurait entraîné le dépôt des sédiments riches en matière organique comme les diatomites. Quels que soient les mécanismes qui génèrent les périodes de foisonnement de diatomées, les dépôts diatomitiques constituent un phénomène biosédimentaire d'échelle méditerranéenne. Par suite, l'identité des assemblages de diatomées pré-évaporitiques témoignant d'une influence océanique marquée, ne permet pas de souscrire au modèle de bassins tectoniquement isolés proposé pour les diatomites de Sicile (Pedley & Grasso 1993; Butler et al. 1995).

La composition des assemblages diatomiques du deuxième épisode indique une évolution sensible du milieu de dépôt. L'importance des espèces marines (polyhalobes) qui restent dominantes, mais aussi la présence de taxons marins-saumâtres (mésahalobes) et de taxons pouvant tolérer une salinité élevée suggèrent un milieu marin à salinité variable. La dominance des formes benthiques littorales "chaudes" et la rareté des formes planctoniques plaide en faveur d'un milieu de dépôt littoral d'une très faible profondeur (ne dépassant pas une dizaine de mètres) sous une tranche d'eau chaude (tempérée chaude à tropicale). L'absence d'espèces holoplanctoniques et les silicoflagellés, traduit une restriction des influences océaniques ouvertes au moment du dépôt.

L'analyse de la géométrie des dépôts montre que les diatomites sont intercalées à la base d'un ensemble de calcaires micritiques déposés en bordure de la plate-forme récifale corallienne. Ces calcaires micritiques, au litage régulier, succèdent, sans discontinuité aux dépôts bioclastiques à *Halimeda*, constituant les talus distaux des récifs coralliens à *Porites*. Ils se sont accumulés par décantation de boues carbonatées, dans un milieu de faible énergie à une profondeur ne dépassant pas une vingtaine de mètres selon leur position géométrique. Le contenu de ces boues indique une eau stagnante à faune peu diversifiée avec quelques espèces d'ostracodes lisses, de rares foraminifères littoraux (*Elphidium*, *Ammonia*), quelques restes de pectinidés et d'échinides, et surtout une prolifération de spongiaires siliceux qui pourrait indiquer des conditions eutrophiques. Localement, ces calcaires micritiques renferment également des colonies de bryozoaires, des encroûtements de corallinacées et des huîtres. Les reconstitutions paléogéographiques proposées pour le système de plates-formes carbonatées du littoral ouest-oranais montrent que les communications marines ne se réalisent plus, à ce moment, qu'à travers des couloirs ou des seuils étroits (Saint-Martin et al. 1995) consécutivement à un processus général de remplissage sédimentaire. Cette stagnation favorise la concentration épisodique de sels sur le fond et leur dépôt sous

forme de nodules ou de fines pellicules. Il est possible que la bréchification qui affecte les calcaires micritiques résulte de la remobilisation de ce sel (Saint-Martin et al. 1995). Les données ichthyologiques (Gaudant et al. 1997) indiquent par ailleurs que le milieu a pu servir de refuge à des frayères de poissons marins, dans des herbiers littoraux d'un "golfe" relativement fermé.

#### COMPARAISONS AVEC LES FLORES DIATOMIQUES MESSINIENNES DE MÉDITERRANÉE

La microflore diatomique du premier épisode diatomitique du Djebel Murdjadjo présente une certaine similitude avec celle décrite en Algérie (région de Sig) et dans d'autres secteurs en Méditerranée. Toute cette microflore a été ainsi précédemment recensée dans la coupe de Sig (Mansour 1991; Mansour et al. 1994) située sur la bordure méridionale du bassin du Bas-Chelif (Fig. 1A). Plus précisément, cette association indique des conditions de dépôt similaires à celles de la partie supérieure de la série diatomitique de Sig (membre III) correspondant à des dépôts marins côtiers dans un environnement chaud (subtropical à tropical) avec d'éventuelles influences saumâtres. Si l'on considère la position nettement plus distale de la série de Sig par rapport à la Ferme Giraud, cela traduit la bathydécroissance globale des dépôts messiniens déjà soulignée par les auteurs et la progradation des faciès de plate-forme vers le centre du bassin du Chelif (Saint-Martin et al. 1992, 1995).

A l'échelle des autres bassins messiniens marginaux de Méditerranée, la microflore du premier épisode présente des analogies avec les associations de diatomées de la partie supérieure de la coupe de Capodarso en Sicile étudiée par Gersonde (1980) et où Suc et al. (1995) ont montré une évolution bathydécroissante, celles de la partie supérieure de la formation diatomitique de la coupe de Kallepia 1 (bassin de Polemi) à Chypre et, dans une moindre mesure, celles décrites dans le bassin d'Heraklion en Crète (Gardette 1979). Ce dernier a mis en évidence un accroissement des espèces littorales (benthiques et planctoniques) tolérant une salinité moindre dans les parties supérieures des coupes étudiées. Ces analogies avec les flores diatomiques des parties supérieures des formations diatomitiques reflètent donc un même environnement de dépôt, à caractère littoral.

La composition microfloristique du deuxième épisode diatomitique paraît par contre différente des associations messiniennes connues. Ainsi, certaines espèces n'avaient pas été jusqu'à présent signalées dans les dépôts diatomitiques d'âge

messinien: *Berkeleyia micans*, *Hyalosymedra laevigata*, *Navicula* aff. *digito-radiata* et *Nitzschia frustulum* var. *perpusilla*. Il s'agirait donc là d'un événement très localisé, lié à un contexte particulier de restriction des circulations marines.

#### CONCLUSION

La plate-forme carbonatée messinienne du Djebel Murdjadjo renferme deux épisodes de dépôts diatomitiques. Les deux assemblages de diatomées observés traduisent la permanence d'un milieu marin au long de l'histoire de la plate-forme. On observe tout d'abord, pour le premier épisode diatomitique, des conditions de dépôt correspondant à un milieu marin néritique de plate-forme distale ouverte, dans une eau chaude propice également au développement des organismes récifaux. L'abondance de *Thalassionema nitzschoides* dans un niveau suggère un milieu à forte productivité épisodique. Le deuxième épisode diatomitique caractérise un milieu marin littoral, à tranche d'eau chaude, soumis à une relative dessalure permanente et à une sursaturation épisodique en sels dissous, témoignant d'une restriction des circulations marines qui peut résulter du comblement généralisé des bassins marginaux à cette époque.

Les indications environnementales fournies par l'étude de la flore diatomique sont en excellente correspondance avec les données géométriques, sédimentologiques, paléoenvironnementales précédemment établies pour la plate-forme du Murdjadjo, ce qui permet de valider, s'il en était besoin, les approches paléocéologiques basées sur les assemblages de diatomées.

**Remerciements** - Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Accord-Programme franco-algérien 96MDU358. Nous remercions M. Bessedik et P. Moissette pour leur aide sur le terrain, J.-P. Suc et un rapporteur anonyme qui ont largement contribué par leur critiques et conseils à l'amélioration du manuscrit, et R. Notonier pour son assistance technique.

#### REFERENCES

- ANGOT M. 1961 - *Vie et économie des mers tropicales*. Payot (ed.), Paris, 326 p.
- ARAMBOURG C. 1927 - Les poissons fossiles d'Oran. *Matériaux pour la Carte géologique d'Algérie, Paléontologie*, 6, 291 p.
- 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.
- BENSON R.H., RAKIC-EL-BIED K. & BONADUCE G. 1991 - An important current reversal (influx) in the Rifian Corridor (Morocco) at the Tortonian-Messinian boundary: the end of Tethys ocean. *Paleoceanography*, 6, 1: 164-192.
- BUSTILLO A. & LÓPEZ-GARCÍA J. 1997 - Age, distribution and composition of Miocene diatom bearing sediments in the Guadalquivir Basin, Spain. *Geobios*, 30, 3: 335-350.
- 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. *GSA Bulletin*, 107, 4: 425-439.
- CANDE S. & KENT D. 1992 - A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 97, B10: 13917-13951.
- CARPELAN L.H. 1978 - Evolutionary euryhalinity of Diatoms in changing environments. *Nova Hedwigia*: 489-526.
- CLAUZON G., SUC J.P., GAUTIER F., BERGER A. & LOUTRE M.F. 1996 - Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: controversy resolved? *Geology*, 24, 4: 363-366.
- CORNÉE J.J., GUIEU G., MULLER J. & SAINT-MARTIN J.P. 1994 - Mediterranean Messinian carbonate platforms: some controlling factors. *Géologie Méditerranéenne*, 21, 3-4: 45-48.
- CORNÉE J.J., SAINT-MARTIN J.P., CONESA G., ANDRÉ J.P., MULLER J. & BENMOUSSA A. 1996 - Anatomie de quelques plates-formes carbonatées progradantes messiniennes de Méditerranée occidentale. *Bulletin de la Société géologique de France*, 167, 4: 495-507.
- CORNÉE J.J., SAINT-MARTIN J.P., CONESA G. & MULLER J. 1994 - Geometry, paleoenvironments and relative sea-level (accommodation space) changes in the Messinian Murdjadjo carbonate platform (Oran, western Algeria); conséquences. *Sedimentary Geology*, 89: 143-158.
- CUNNINGHAM K., BENSON R.H., RAKIC-EL-BIED K. & MCKENNA L.W. 1997 - Eustatic implications of late Miocene depositional sequences in the Melilla Basin, northeastern Morocco. *Sedimentary Geology*, 107: 147-165.
- CUPP E.E. 1943 - Marine plankton Diatoms of the west coast of North America. *Bulletin of the Scripps Institutions of Oceanography*, University of California Press, 5, 168 p.
- DEAGON G.E.R. 1933 - A general account of the hydrology of the south Atlantic Ocean. *Discovery Reports*, 7: 171-238.
- DELFAUD J., MICHAUX M., NEURDIN J. & REVERT P. 1973 - Un modèle paléogéographique de la bordure méditerranéenne: évolution de la région oranaise (Algérie). Conséquences stratigraphiques. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Afrique du Nord*, 64: 219-241.
- EHRlich A. 1978 - The diatoms from the surface sediments of the Bardawil lagoon (Northern Sinai) - Paleocological significance. *Nova Hedwigia*, 53: 253-277.
- FOURTANIER E., GAUDANT J. & CAVALLO O. 1991 - La diatomite de Castignato (Piémonte): 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 sili-coflagellés à la biostratigraphie. Reconstitution du Messinien de Méditerranée: analyse de quelques tripolis du passage Mio-Pliocène à Chypre, en Crète et au Maroc. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université de Paris-Sud, 274 p.
- GAUDANT J., SAINT-MARTIN J.P., BESSEDIK M., MANSOUR B., MOISSETTE P. & ROUCHY J.M. 1997 - Découverte d'une frayère de poissons téléostéens dans les diatomites messiniennes du Djebel Murdjadjo (environ d'Oran, Algérie). *Journal of African Earth Sciences*, 24, 4: 511-529.
- GAUTIER F., CLAUZON G., SUC J.P., CRAVATTE J. & VIOLANTI D. 1994 - Age et durée de la crise de salinité messinienne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 318, 2: 1103-1109.
- GERMAIN H. 1981 - *Flora des diatomées. Eaux douces et saumâtres*. 1 vol., Boubée (éd.), Paris, 444 p.
- GERSONDE R. 1980 - Paläoökologische und biostratigraphische Auswertung von diatomeen assoziationen aus dem Messinium des Caltanissetta-Beckens (Sizilien) und einiger vergleichsprofile in SO-Spanien, NW-Algerien und auf Kreta. Thèse Université de Kiel, 393 p.
- GOURINARD Y. 1952 - Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). *19e Congrès géologique international Alger*. 1952. *Monographies régionales*, 22, 62 p.
- GOURINARD Y. 1958 - Recherches sur la géologie du littoral oranais. *Publications du Service de la carte géologique d'Algérie*, 111 p.
- GRASSO M., BUTLER R., PEDLEY H.M., SCHREIBER C., LICKORISH H., MANISCALCO R., DILIBERTO E., McLELLAND E., KEOCH S. & JONES E. 1997 - Neogene tectonics and sedimentation in thrust-top basins of Central Sicily. *R.C.M.N.S. Colloquium*, Catania (Sicily), nov. 97, Field guidebook: 27-73.
- 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 Royal of microscopical Society*, 85 p.
- HENDEY N.I. 1964 - Bacillariophyceae (Diatoms). In *An introductory account of the smaller algae of the British coastal waters, fishery investigation*. HMSO, London, 4, 317 p.
- HODELL D.A., BENSON R.H., KENNETT J. & RAKIC-EL-BIED K. 1989 - Stable isotope stratigraphy of Latest Miocene sequences in northwest Morocco; the Bou Regreg section. *Paleoceanography*, 4, 4: 472-481.
- HUSTEDT F. 1930-1966 - Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. In L. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, 7, Die Kieselalgen, 1 (1930), 920 p., 2 (1959), 845 p., 3 (1961-1966), 816 p.
- JOUSE A.P. 1957 - Diatoms in the surface layer of the sediments in the Sea of Okhotsk (in Russian). *Trudy Instituta Okeanologii Akademii Nauk SSSR*, 22, 164 p.
- JOUSE A.P., KOSLOVA O.G. & MUHINA V.V. 1971 - Distribution of diatoms in the surface layer of sediment from Pacific Ocean. In FUNNEL & RIEDEL (eds), *Micropaleontology of Oceans*. Cambridge University Press: 263-269.
- KARSTEN G. 1907 - Das indische phytoplankton nach dem material der deutschen Tiefsee-Expedition, 1898-1899. *Wiss. Ergbn. Tiefsee-Expedition "Valdivia"*, 1898-1899, 2, (2): 221-544.
- KRIGSMAN 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.
- MANKEVICZ C. 1988 - Occurrence and palaeoecologic significance of *Halimeda* in late Miocene reefs, southeastern Spain. *Coral Reefs*, 6: 271-279.
- MANSOUR B. 1991 - La série diatomitique messinienne de Sig: étude systématique des diatomées et implications paléocologiques. Thèse Magister, Université d'Oran (Algérie), 147 p.
- MANSOUR B., MOISSETTE P., NOËL D. & ROUCHY J.M. 1994 - L'enregistrement par les associations de diatomées des environnements messiniens: l'exemple de la coupe de Sig (bassin du Chélib-Algérie). *Geobios*, 28, 3: 261-279.
- MARTIN J.M. & BRAGA J.C. 1994 - Messinian events in the Sorbas Basin in southeastern Spain and their implication in the recent history of the Mediterranean. *Sedimentary Geology*, 90: 257-268.
- MARTIN J.M., BRAGA J.C. & RIDING R. 1997 - Late Miocene *Halimeda* alga-microbial segment reefs in the marginal Mediterranean Sorbas Basin, Spain. *Sedimentology*, 44: 441-456.
- MOISSETTE P. & SAINT-MARTIN J.P. 1992 - Upwellings and benthic life in the Messinian of Western Mediterranean. *Paleontologia y Evolucion*, 24-25: 245-254.
- NAVARRO J.N. 1982 - A survey of the marine diatoms of Puerto Rico: V-Suborder Raphidinea. Families Achnantheaceae and Naviculaceae. *Botanica Marina*, 7, 25: 321-338.
- 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.

- PEDLEY H.M. & GRASSO M. 1993 - Controls on faunal and sediment cyclicity within the Tripoli and Calcare di Base (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, Grez-sur-Loing (France), 491 p.
- PERRONDON A. 1957 - Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. *Bulletin du Service de la Carte géologique d'Algérie*, 12, 328 p.
- POIGNANT A. & MOISSETTE P. 1992 - Foraminifères benthiques des intercalations marneuses d'une série diatomitique du Messinien d'Algérie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, 11: 667-674.
- 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*, nouv. sér., 12, 3-4, 336 p.
- RINCE 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 Doct. d'état, Université de Nantes, 489 p.
- ROUCHY J.M. 1982 - La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, C, 50, 295 p.
- ROUCHY J.M., CHAIX C. & SAINT-MARTIN J.P. 1982 - Importance et implications de l'existence d'un récif corallien sur le flanc sud du Djebel Murdjadjo (Oranie, Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 294, 2a: 813-816.
- ROUND F.E., CRAWFORD R.M. & MANN D.G. 1990 - *The diatoms. Biology and morphology the genera*. Cambridge University Press, 747 p.
- SAINT-MARTIN J.P. 1990 - Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur d'Algérie et du Maroc. *Mémoires du Muséum national. d'Histoire naturelle*, C, 56, 366 p.
- SAINT-MARTIN J.P. & ROUCHY J.M. 1990 - Les plates-formes carbonatées messiniennes en Méditerranée occidentale: leur importance pour la reconstitution des variations du niveau marin au Miocène terminal. *Bulletin de la Société géologique de France*, (8), 6, 1: 83-94.
- ROUCHY J.M. & SAINT-MARTIN J.P. 1992 - Late Miocene events in the Mediterranean as recorded by carbonate-evaporite relations. *Geology*, 20, 7: 629-632.
- SAINT-MARTIN J.P., CORNÉE J.J., CONESA G., BESSEDIK M., BELKEBIR L., MANSOUR B., MOISSETTE P. & ANGLADA R. 1992 - Un dispositif particulier de plate-forme carbonatée messinienne: la bordure méridionale du bassin du Chelif (Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 315, 2: 1365-1372.
- SAINT-MARTIN J.P., CORNÉE J.J. & MULLER J. 1995 - Nouvelles données sur le système de plate-forme carbonatée du Messinien des environs d'Oran (Algérie): conséquences. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 320, 2a: 837-843.
- SCHRADER J. & SORKNESS R. 1990 - Spatial and temporal variation of peruvian coastal upwelling during the latest Quaternary. In SUESS et al. (eds), *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results*, 112: 391-406.
- SCHRADER J. & GERSONDE R. 1978 - Diatoms and silicoflagellates. In ZACHARIASSE W.J. et al. (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.
- SCHUETTE G. & SCHRADER J. 1981 - Diatom taphocoenose in the coastal upwelling area of south-west Africa. *Marine Micropaleontology*, 6: 131-155.
- SPROVIERI R., DI STEFANO E. & SPROVIERI M. 1996a - High resolution chronology for Late Miocene Mediterranean stratigraphic events. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 102, 1: 77-104.
- SPROVIERI R., DI STEFANO E., CARUSO A. & BONOMO S. 1996b - High resolution stratigraphy in the Messinian Tripoli Formation in Sicily. *Palaeopelagos*, 6: 415-435.
- SUC J.P. & BESSAIS E. 1990 - Perennité d'un climat thermique en Sicile avant, pendant et après la crise de salinité messinienne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 310, 2: 1701-1707.
- SUC J.P., VIOLANTI D., LONDEIX L., POU MOT C., ROBERT C., CLAUZON G., GAUTIER F., TURON J.L., FERRIER J., CHIKHI H. & CAUBON G. 1995 - Evolution of the Messinian Mediterranean environments: the Tripoli Formation at Capodarso (Sicily, Italy). *Review of Paleobotany and Palynology*, 87: 51-79.

#### B. MANSOUR

Université d'Oran, Institut des Sciences de la Terre  
BP 1524  
Oran, Algérie

#### J.-P. SAINT MARTIN

Université de Provence, UPRESA 6019 du CNRS  
Case 67, 3 place Victor-Hugo  
F-13331 Marseille cedex 3