

## Evolution des environnements de dépôt au Quaternaire terminal dans le bassin méridional d'Alboran : apport de l'étude de la carotte 93TG-21

Abdellah EL HMAIDI<sup>1</sup>, Bouchta EL MOUMNI<sup>2</sup>, Fatima Zohra HASSOUNI<sup>3</sup>,  
Bernard GENSOUS<sup>4</sup>, Roselyne BUSCAIL<sup>4</sup> & André MONACO<sup>4</sup>

1. Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de Géologie, UFR de Géologie de Surface et Environnement, B.P. 4010, Bni M'Hammed, Meknès, Maroc, e-mail : [elhmaidi@fsmek.ac.ma](mailto:elhmaidi@fsmek.ac.ma), [elhmaidi@yahoo.fr](mailto:elhmaidi@yahoo.fr)

2. Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, B.P. 416, Tanger, Maroc, e-mail : [moumni@hotmail.com](mailto:moumni@hotmail.com)

3. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département de Géologie, B.P. 1014, Rabat R.P., Maroc, e-mail : [fatimazahra\\_hassouni@yahoo.fr](mailto:fatimazahra_hassouni@yahoo.fr),

4. Université de Perpignan, CEFREM, 52, Avenue de Villeneuve, 66860 Perpignan, France. e-mail : [gensous@univ-perp.fr](mailto:gensous@univ-perp.fr) ; [buscail@univ-perp.fr](mailto:buscail@univ-perp.fr) ; [monaco@univ-perp.fr](mailto:monaco@univ-perp.fr)

**Résumé.** Le présent travail se base sur les variations, à travers la carotte 93TG-21, des caractéristiques sédimentologiques et micropaléontologiques, ainsi que celles des teneurs en carbonates et en carbone organique. L'ensemble des résultats met en évidence les différentes phases climatiques, survenues depuis le dernier glaciaire (Würm IV) jusqu'à l'Actuel dans le bassin sud de la mer d'Alboran ; il reflète également l'importance des apports terrigènes et l'installation d'un paléoenvironnement réducteur pendant le Pliocène supérieur, l'augmentation de la productivité organique dans un environnement intermédiaire lors de l'Holocène inférieur et le phénomène de continentalisation dans un environnement oxydant et ouvert lors de l'Holocène supérieur. La distribution de la pyrite framboïdale et de la glauconie souligne l'importance des micro-environnements réducteurs dans la formation des minéraux authigènes.

**Mots-clés :** sédimentologie, géochimie, Foraminifères planctoniques, paléoenvironnement, Quaternaire terminal, Méditerranée occidentale.

### Evolution of the late Quaternary depositional environments in the southern Alboran basin : data from core 93TG-21

**Abstract.** The present work deals with the study of the sedimentological and micropaleontological variations within the core 93TG-21, as well as those of carbonates and organic carbon content. All the results show clearly the various climatic phases that occurred since the last glacial (Würm IV) to the Present in the southern Alboran basin. They also reflect the importance of the terrigenous input and the setting of a reducing environment during the late Pleistocene, the increase in organic productivity in an intermediate environment in the early Holocene, and the continentalising phenomenon in an oxydized and open environment in the Late Holocene. The distribution of framboïdal pyrite and glauconite emphasizes the importance of the reducing micro-environments in the genesis of authigenic minerals.

**Key words :** sedimentology, geochemistry, planctonic Foraminifera, palaeoenvironment, Late Quaternary, western Mediterranean.

### INTRODUCTION

Enclavée au sein de l'orogène bético-rifain, la mer d'Alboran représente l'extrémité ouest de la Méditerranée occidentale. Elle constitue un bassin de 350 km de long sur 165 km de large. Sa structuration s'est effectuée au Miocène (Bourgeois *et al.* 1992). La mer d'Alboran est classiquement subdivisée en trois bassins séparés par la ride d'Alboran : le bassin occidental, le bassin méridional et le bassin oriental.

Le bassin méridional d'Alboran, sujet de notre étude, forme une gouttière allongée selon la direction NE-SW et enserrée entre la ride d'Alboran au NW et la marge marocaine au sud (Fig. 1). Il est caractérisé, sur le plan morphostructural, par une pente septentrionale (flanc sud de la ride d'Alboran) très forte et une pente méridionale relativement douce. Du point de vue stratigraphique, le remplissage sédimentaire, épais, est formé par deux unités concordantes au centre du bassin et discordantes sur ses bordures. L'unité basale, hémipélagique à turbiditique, est d'âge pliocène et celle du sommet, hémipélagique, est d'âge quaternaire (Gensous *et*

*al.* 1986). L'ensemble repose le plus souvent par discordance angulaire sur le Miocène.

Sur le plan hydrodynamique, les eaux superficielles, d'origine atlantique, s'étendent en mer d'Alboran jusqu'à 60 à 220 m de profondeur et circulent en permanence de l'ouest vers l'est, donnant naissance à un ou deux gyres anticycloniques de part et d'autre du Cap des Trois fourches (Arnone *et al.* 1990). Dans le sens inverse, les eaux méditerranéennes profondes, situées entre 300 m et 800 m de profondeur, longent la pente continentale marocaine en direction du détroit de Gibraltar (Preller 1986, Arnone *et al.* 1990).

Le présent travail apporte une contribution par une étude pluridisciplinaire, reposant sur l'analyse détaillée d'une carotte réalisée dans la zone profonde du bassin sud d'Alboran, jusque-là peu étudié. Il se fixe comme objectif principal, la détermination des caractéristiques sédimentologiques, micropaléontologiques, chronologiques et géochimiques de la couverture sédimentaire du Quaternaire terminal.

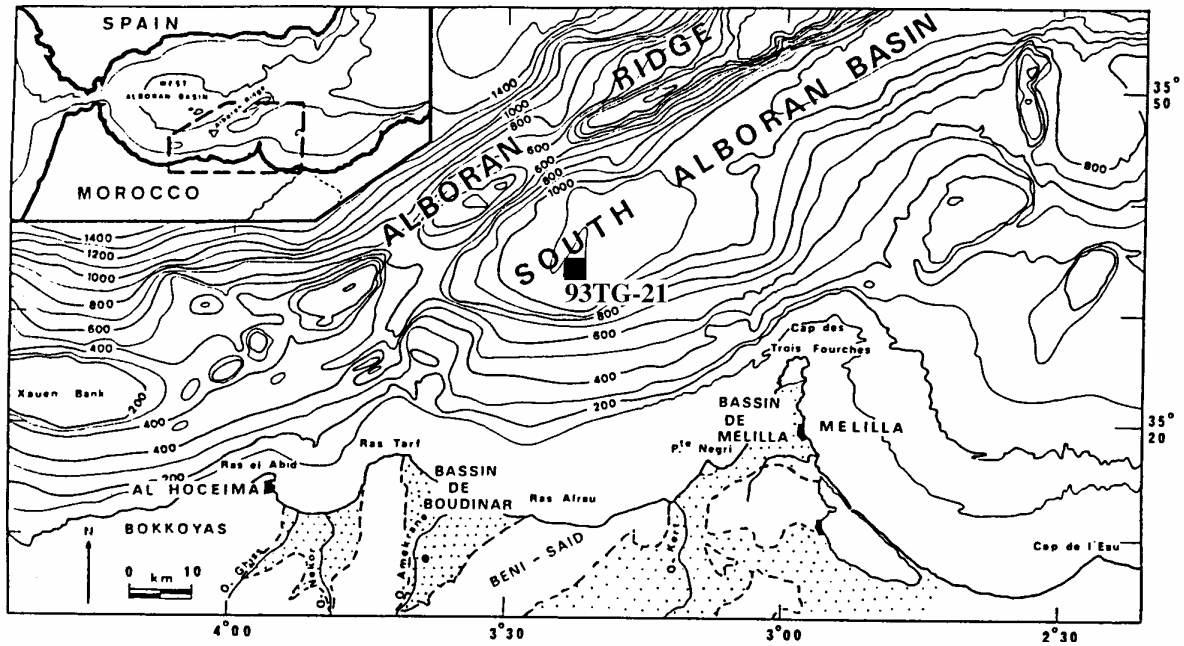


Figure 1. Carte bathymétrique du bassin méridional d'Alboran et position de la carotte 93TG-21.

## MATERIEL ET METHODES

Afin de caractériser l'évolution des environnements de dépôt dans le bassin méridional d'Alboran, une carotte 93TG-21 a été réalisée à 1003 m de profondeur lors de la campagne océanographique STRAKHOV 93 à bord du N/O Russe N. STRAKHOV (Fig. 1). Le carbone organique et minéral ont été analysés par la méthode de combustion par voie sèche à l'aide d'un analyseur de carbone de type LECO CS 125. Le dosage sur un échantillon broyé (0,1 g environ) du carbone total puis du carbone organique (après avoir attaqué l'échantillon à l'acide chlorhydrique 2N et l'avoir séché à 40 °C) permet d'obtenir la teneur en carbone minéral à partir de laquelle on déduit celle en carbonates ( $\text{CaCO}_3 = \text{carbone minéral} \times 8,33$ ).

## RESULTATS

L'étude détaillée des sédiments de la carotte 93TG-21 montre une évolution bien marquée aussi bien lithologique, pétrographique que micropaléontologique. Cette évolution s'accompagne de variations assez nettes dans les teneurs totales en carbonates (%  $\text{CaCO}_3$ ) et en carbone organique (Fig. 2).

### Lithologie, pétrographie et chronologie

La carotte 93TG-21 a recoupé globalement trois faciès différents, du sommet vers la base : les vases beiges, entre la surface et 100 cm de profondeur ; les vases grises, entre 100 cm et 170 cm, et les vases grises à monosulfures, entre 170 cm et la base de la carotte. Ce sont des vases légèrement silteuses (silt / argiles  $\approx 0,5$ ) et dont les teneurs en sables ne dépassent que rarement 7 % à 8 % du sédiment total (Fig. 2).

Les vases beiges sont caractérisées par l'abondance de foraminifères planctoniques, souvent épigénisés par de la glauconie, et de pelotes fécales. La glauconie existe également sous forme granulaire surtout entre 30 et 100 cm. L'examen au M.E.B. montre que les pelotes fécales sont constituées de nannoplancton (coccolithes), de grains détritiques et de débris organogènes liés par une matrice principalement argileuse (Pl. I, photos 1 et 2).

A partir de 100 cm, au passage vers les vases grises, on assiste à la disparition progressive de la glauconie et des pelotes fécales et à l'apparition de foraminifères benthiques et d'agrégats organo-minéraux de forme généralement allongée. Au-delà de 170 cm, dans les vases grises à monosulfures, les tests de foraminifères benthiques et les agrégats organo-minéraux prédominent et deviennent pyritisés. L'examen au M.E.B. montre que les foraminifères et les agrégats sont remplis de pyritosphères de taille variable (2 à 7  $\mu\text{m}$ ), chacune étant composée de nombreux framboïdes de pyrite bien cristallisés et de taille similaire (Pl. I, photos 3 et 4).

Du point de vue chronologique, seuls deux niveaux riches en petites coquilles de lamellibranches, ont fait l'objet de datation absolue par  $^{14}\text{C}$  (Hassouni 1997). Le premier niveau, échantillonné dans la vase grise vers 150 cm de la surface, a donné un âge de  $8100 \pm 50$  ans B.P., le deuxième à 240 cm, dans la vase grise à monosulfures, a donné un âge de  $15650 \pm 90$  ans B.P. (Fig. 2).

### Micropaléontologie

Les vases beiges présentent une association de foraminifères planctoniques caractéristique de climat chaud proche de l'actuel avec développement important des espèces *Globigerinoides ruber* (forme alba et rosea) et *Globorotalia inflata* entre la surface et 130 cm (Fig. 2).

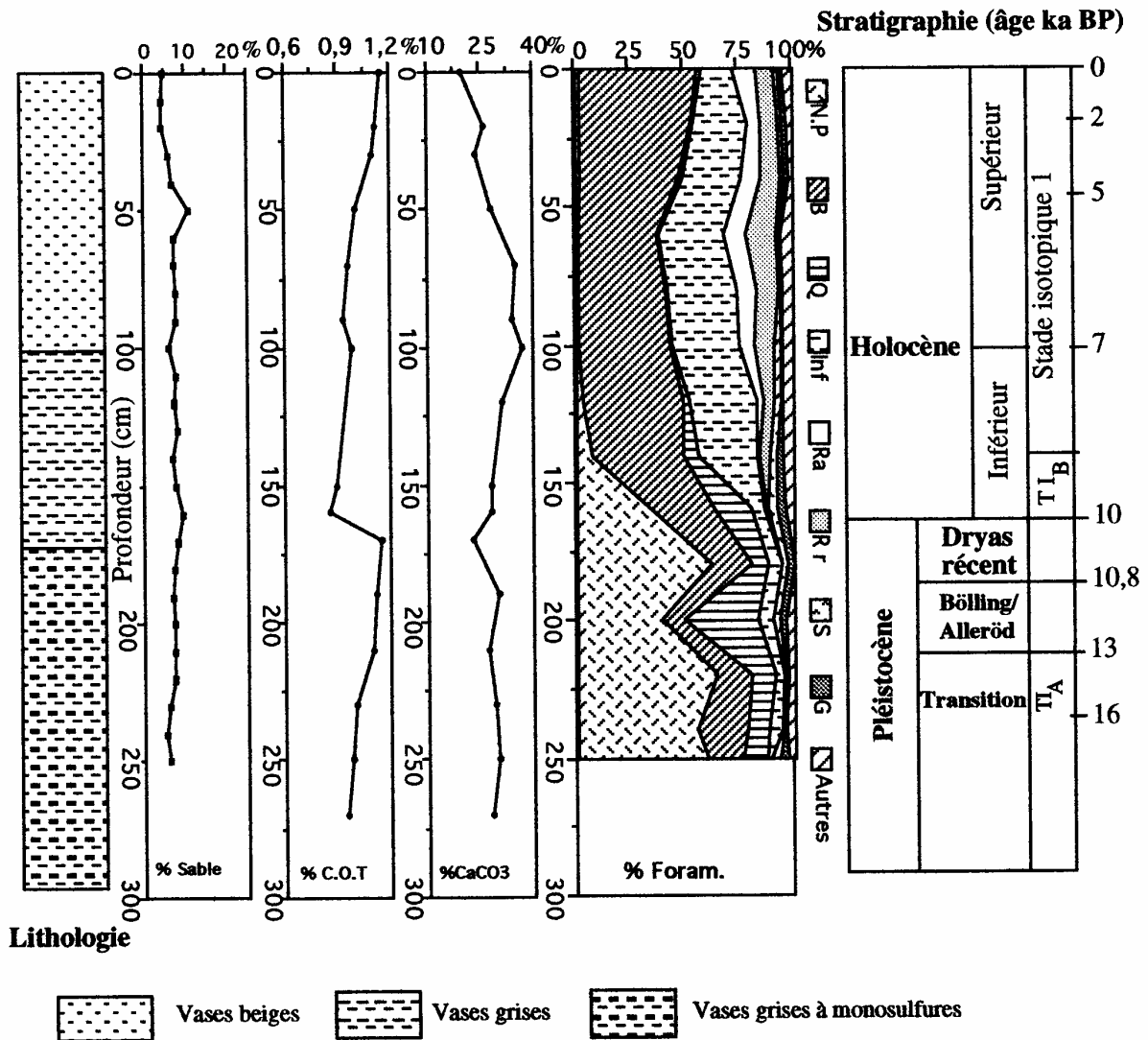


Figure 2. Caractéristiques sédimentologiques, géochimiques, micropaléontologiques et stratigraphiques des dépôts dans le bassin méridional d'Alboran (carotte 93TG-21). N.P : *Neogloboquadrina pachyderma* (formes senestre et dextre), B : *Globigerina bulloides*, Q : *Globorotalia quinqueloba*, Inf : *Globorotalia inflata*, Ra : *Globigerinoides ruber alba*, Rr : *Globigerinoides ruber rosea*, S : *Globorotalia scitula*, G : *Globigerinata glutinata*, Autres : autres espèces.

Dans les vases grises entre 130 et 170 cm, les associations mettent en évidence un climat plus froid que l'actuel avec abondance des espèces à caractère transitionnel comme *Globigerina bulloides* et *Globorotalia inflata*. Ce faciès montre également l'apparition progressive des espèces sub-arctiques *Neogloboquadrina pachyderma* et *Globorotalia quinqueloba* et une diminution dans la fréquence de l'espèce d'eaux chaudes *Globigerinoides ruber* (Fig. 2).

Dans les vases grises à monosulfures, entre 170 cm et la base de la carotte, la microfaune montre l'installation d'un climat encore plus froid avec prédominance des espèces sub-arctiques *Neogloboquadrina pachyderma* et *Globorotalia quinqueloba* (Fig. 2).

**Géochimie**

Dans les vases beiges, les teneurs en carbonates augmentent progressivement de 20 % en surface jusqu'à 37 % vers 100

cm. Elles diminuent ensuite, au niveau des vases grises, de 37 % à 23 % entre 100 cm et 170 cm. Au delà de 170 cm, dans les vases grises à monosulfures, les teneurs fluctuent autour de 28 % jusqu'à la base de la carotte (Fig. 2). Parallèlement, les teneurs en carbone organique montrent une diminution en deux temps : de 1,15 % à 0,93 % entre la surface et 90 cm et de 0,98 % à 0,86 % entre 100 cm et 160 cm. Entre 170 cm et la base de la carotte, les teneurs, relativement élevées, décroissent légèrement de 1,15 % à 0,98 % (Fig. 2).

**DISCUSSION**

**Stratigraphie des dépôts**

A partir des datations absolues au <sup>14</sup>C et des données micropaléontologiques sur les foraminifères planctoniques (El Moumni 1994, Hassouni 1997, El Moumni *et al.* 2000), les phases climatiques majeures du Quaternaire terminal

sont relativement bien identifiées. Ainsi, le passage Pléistocène-Holocène peut être fixé à 170 cm environ de la surface, à la limite vases grises à monosulfures – vases grises ; la limite Holocène inférieur – Holocène supérieur est fixée à 100 cm de la surface, au passage vases grises – vases beiges (Fig. 2). Les variations brutales dans les proportions des espèces planctoniques vers 170 cm et 200 cm marqueraient respectivement le stade froid du Dryas récent et la période de transition Bölling – Alleröd (Fig. 2). Les variations brutales des tendances dans les teneurs en carbone organique et en carbonates confirment ces résultats en mettant en évidence les mêmes coupures chronostratigraphiques (Fig. 2).

D'après ce découpage stratigraphique, les taux de sédimentation dans cette zone sont d'environ 17 cm/ka pour l'ensemble de la période holocène, 23 cm/ka pour l'Holocène inférieur et 14 cm/ka pour l'Holocène supérieur. Pour la période pléistocène, l'épaisseur, indéterminée mais supérieure à 160 cm, témoigne d'un taux de sédimentation supérieur à 20 cm/ka.

**Productivité organique, apport terrigène et eustatisme**

Dans les sédiments marins, les teneurs en carbone organique et en carbonates de calcium reflètent la productivité organique, la contribution détritique ou les deux à la fois (Sheu & Presley 1986, Sheu & Huang 1989). Ainsi, dans le bassin méridional d'Alboran, les corrélations positives entre les teneurs en carbonates et celles en carbone organique, enregistrées uniquement dans les vases grises de l'Holocène inférieur entre 100 et 170 cm ( $r = 0,94$ ), peuvent être attribuées à l'augmentation de la productivité organique (Fig. 3).

En effet, en mer d'Alboran, la productivité organique a augmenté depuis le début de l'Holocène en parallèle avec l'augmentation dans l'intensité de la circulation générale et d'upwelling (Turon & Londeix 1988, Cacho *et al.* 1994, Vergnaud-Grazzini & Pierre 1991). L'absence de pelotes fécales dans les vases grises à monosulfures et leur apparition dans les vases grises confirment donc cette interprétation et reflètent par conséquent une productivité très faible durant la dernière phase glaciaire du Pléistocène supérieur, qui augmente progressivement avec le début de l'Holocène. L'abondance de ces pelotes dans les vases beiges traduirait l'importance de la productivité dans les couches d'eaux superficielles lors de l'Holocène supérieur et de la période actuelle.

Les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  montrent d'une façon globale une corrélation négative avec le carbone organique ( $r = - 0,6$ ) (Fig. 3) ; ceci indique que les variations des teneurs en carbonates (Fig. 2) enregistrent principalement la signature des flux terrigènes entrant dans le bassin sud d'Alboran. Cet apport terrigène a été considérablement influencé par les fluctuations du niveau marin.

Les baisses globales du niveau marin mondial pendant les phases glaciaires du Pléistocène étaient d'environ 100 m à 120 m au-dessous du niveau actuel (Fairbridge 1960, Clark *et al.* 1978, Aloisi *et al.* 1978, Bard *et al.* 1993). Le dernier

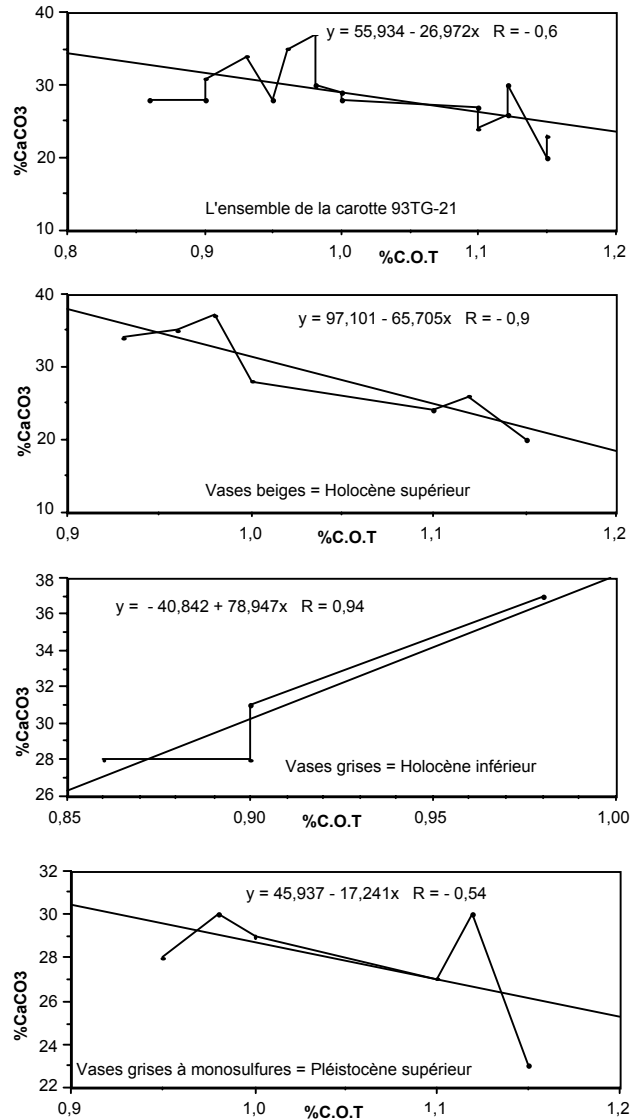


Figure 3. Corrélation entre les teneurs en carbonates (%  $\text{CaCO}_3$ ) et en carbone organique (% C.O.T.) dans la carotte 93TG-21.

stade de bas niveau marin est enregistré à l'échelle mondiale, et par conséquent le long de la marge méditerranéenne marocaine, aux environs de 18 ka BP. De telles baisses du niveau marin durant le Pléistocène supérieur résultaient dans le déplacement du paléo-rivage vers le rebord actuel du plateau continental entraînant la diminution de la largeur du plateau et le dépôt du matériel terrigène directement dans les zones marines profondes adjacentes.

Ainsi, dans les vases grises à monosulfures du Pléistocène supérieur, la corrélation négative ( $r = - 0,54$ ) entre les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  et celles en carbone organique serait donc attribuée à l'augmentation de la sédimentation terrigène durant le dernier bas niveau marin (Fig. 3).

Dans les vases grises, la corrélation positive entre les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  et celles en carbone organique ( $r = 0,94$ ) avec augmentation des teneurs en carbone organique et en carbonates témoignerait de la baisse d'influence terrigène

et suggère une productivité organique de surface très élevée (Figs. 2 et 3). En effet, la transgression marine lors de l'Holocène inférieur a été enregistrée entre 10 ka et 6 ka BP (Aloisi *et al.* 1978, Bard *et al.* 1993), période durant laquelle le taux d'élévation du niveau marin était rapide et par conséquent, peu de sédiments terrigènes seraient transportés vers le bassin méridional d'Alboran.

Dans les vases beiges, la corrélation négative ( $r = -0,9$ ), entre les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  et celles en carbone organique, avec diminution des teneurs en  $\text{CaCO}_3$  et augmentation de celles en carbone organique marquerait de nouveau une augmentation des flux terrigènes entrant dans le bassin méridional d'Alboran (Figs. 2 et 3). Pendant cette époque de l'Holocène supérieur, entre environ 6 ka BP et l'Actuel, le niveau marin est resté presque constant (Aloisi *et al.* 1978, Bard *et al.* 1993). Parallèlement, l'installation sur le continent d'un climat semi-aride (Rognon 1981, Weisrock *et al.* 1985), caractérisé par des précipitations peu fréquentes mais intenses, entraîne la dégradation du couvert végétal et l'érosion intense des régions côtières. Il s'agit là d'un phénomène de continentalisation qui semble être généralisé à l'ensemble de la Méditerranée occidentale (Ercilla 1992, Calafat-Frau 1993, El Hmaïdi 1993, Monaco *et al.* 1993, El Moumni 1994, Cacho *et al.* 1994, El Moumni *et al.* 2000). Ce phénomène se manifeste par la décharge de quantités importantes de matériel détritique clastique vers les zones marines profondes, ce qui provoque une dilution importante du matériel organogène et donne, par conséquent, une idée fautive sur l'ampleur de la productivité organique de cette époque.

### **Type de minéralisations et évolution des environnements de dépôt dans le bassin méridional d'Alboran depuis le dernier glaciaire**

#### ***Dans les dépôts du Pléistocène supérieur***

Dans les vases grises à monosulfures, l'abondance des minéralisations sulfurées accompagnées de teneurs relativement élevées en carbone organique reflèterait un environnement confiné, réducteur, à colonne d'eau stratifiée, et à taux de sédimentation élevés (El Hmaïdi 1999, El Moumni *et al.* 2000). L'installation d'un tel environnement implique que les débris organogènes d'organismes benthiques (bryozoaires, lamellibranches, foraminifères, ...), présents dans ce faciès, sont probablement reliques et proviennent sans doute des parties externes de la plate-forme continentale. L'analyse au M.E.B. des agrégats et des tests de foraminifères montre l'importance de leur épigénisation par de nombreuses sphérules de pyrite framboïdale bien cristallisée (Pl. I, photos 3 et 4).

Dans les sédiments marins, la pyrite précipite directement à partir des solutions par réaction du fer ferreux avec les polysulfures (Rickard 1975), ou cristallise comme des framboïdes à partir de l'oxydation des monosulfures de fer (Sweeney & Kaplan 1973, Goldhaber & Kaplan 1974). Les sphérules de pyrite framboïdale sont donc d'origine diagénétique ; leur présence dans les agrégats organo-minéraux et dans les tests de foraminifères benthiques témoignent du développement d'un micro-environnement réducteur (Sweeney & Kaplan 1973, Goldhaber & Kaplan

1974, Rickard 1975, Aloisi *et al.* 1980, Monaco *et al.* 1983), d'un taux de sédimentation élevé, de l'abondance de la matière organique (débris végétaux) et de la présence d'éléments métalliques dissous surtout du fer et du manganèse (Aller *et al.* 1986). Le développement d'un tel micro-environnement est lié à la décomposition de la matière organique, lors de la diagenèse précoce, par les bactéries sulfato-réductrices et la libération de  $\text{H}_2\text{S}$  (Berner 1984, Sheu & Huang 1989, Aloisi *et al.* 1980) qui réagit avec le fer disponible pour former les micro-concentrations de framboïdes de pyrite par le mécanisme suggéré par Berner (1969).

Le fer nécessaire pour la formation de la pyrite semble être fourni à travers sa lente libération à partir des argiles (Caroll 1958) formant la matrice principale des agrégats organo-minéraux et remplissant les tests organogènes de foraminifères.

#### ***Dans les dépôts de l'Holocène inférieur***

Dans les vases grises, l'apparition et l'enrichissement progressif, de bas en haut, en glauconie et en pelotes fécales oxydées, et la diminution dans le même sens jusqu'à disparition vers le sommet des minéralisations sulfurées (agrégats et tests pyritisés) marqueraient l'installation d'un environnement de transition qui annonce le passage d'un milieu franchement réducteur à taux de sédimentation élevé du Pléistocène supérieur vers un milieu franchement renouvelé et oxygéné à taux de sédimentation relativement plus faible de l'Holocène supérieur. Cette interprétation confirme les résultats obtenus par l'étude des foraminifères planctoniques, dont les espèces sont également à caractère transitionnel entre un milieu franchement glaciaire et un environnement chaud à actuel.

L'association de la glauconie aux dépôts mis en place pendant les périodes d'instabilité et de renouvellement du milieu marin (périodes transgressives) peut s'expliquer par l'arrivée, au cours de ces périodes, de produits d'érosion des sols qui contiennent l'essentiel des éléments nécessaires à la constitution de ce minéral : micas altérés, argiles dégradées et hydroxydes de fer (Monaco 1971, Jeantet 1982). La présence de ce minéral argileux à l'intérieur des tests de foraminifères entre autres, nécessite, en plus d'un milieu marin relativement agité, le développement de micro-milieus réducteurs à l'intérieur des tests permettant les échanges chimiques nécessaires à la cristallisation de ce minéral (Jeantet 1982).

#### ***Dans les dépôts de l'Holocène supérieur***

Dans les vases beiges, l'absence de minéralisations sulfurées de pyrite, l'abondance des pelotes fécales et de la glauconie et la couleur beige des vases indiqueraient la mise en place, pendant l'Holocène supérieur, d'un environnement oxydé, ouvert à la circulation et à taux de sédimentation relativement faibles (Stackelberg 1972, Monaco 1971, Jeantet 1982, El Hmaïdi 1993, 1999, El Hmaïdi *et al.* 1998, 1999). Parallèlement, la diminution dans ce faciès, de haut en bas, des teneurs en carbone organique serait liée uniquement à la diagenèse précoce.

## CONCLUSIONS

Les résultats du présent travail nous conduisent aux conclusions suivantes :

- 1 - La distribution des associations de foraminifères planctoniques se corrélient très bien avec celle des teneurs en carbone organique et en carbonates, avec la répartition des minéraux authigènes et enfin avec les datations au <sup>14</sup>C. Ces corrélations mettent en évidence clairement les différentes phases climatiques du dernier stade glacio-eustatique.
- 2 - Les corrélations entre les teneurs en carbone organique et celles en carbonates reflètent l'importance des apports terrigènes pendant le Pléistocène supérieur, l'augmentation de la productivité organique pendant l'Holocène inférieur et le phénomène de continentalisation lors de l'Holocène supérieur.

3 - La répartition des pelotes fécales reflète l'augmentation progressive de la production primaire pendant l'Holocène basal et son importance à l'Holocène terminal.

4 - La distribution des minéralisations de glauconie et de pyrite framboïdale suggère la mise en place d'un environnement oxydé et ouvert entre 0 cm et 100 cm, intermédiaire entre 100 cm et 170 cm et réducteur entre 170 cm et la base de la carotte.

5 - La présence de la glauconie dans les tests de foraminifères et la présence des framboïdes de pyrite dans les agrégats organo-minéraux et dans les tests de foraminifères benthiques soulignent l'importance des micro-environnements réducteurs dans la formation de minéraux authigènes.

## Références

- Aller R.C., Mackin J.E. & Cox Jr. R.T. 1986. Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds : apparent dominance of Fe reduction and implications for the genesis of ironstones. *Continental Shelf Res.*, 6, 1/2, 263-289.
- Aloisi J.C., Monaco A., Planchais N., Thommeret J. & Thommeret Y. 1978. The Holocene transgression in the golfe du Lion, southwestern France : paleogeographic and paleobotanical evolution. *Géogr. phys. Quat.*, Montréal, XXXII, 2, 145-163.
- Aloisi J.C. & Monaco A. 1980. Étude des structures sédimentaires dans les milieux prodeltaïques (Rhône). Apport à la connaissance des conditions de sédimentation et de diagenèse. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 290, 159-162.
- Arnone R.A., Wiesenburg D.A. & Saunders K. D. 1990. The Origin and characteristics of the Algerian current. *J. Geophys. Res.*, 95, 2, 1587-1598.
- Bard E., Arnold M., Fairbanks R.G. & Mamelin B. 1993. <sup>230</sup>Th-<sup>234</sup>U, <sup>14</sup>C ages obtained from mass spectrometry on corals. *Radiocarbon*, 35, 191-199.
- Berner R.A. 1969. Migration of iron and sulfur within anaerobic sediments during early diagenesis. *Amer. J. Sci.*, 267, 19-42.
- Berner R.A. 1984. Sedimentary pyrite formation : an update. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1-28.
- Bourgeois J., Mauffret A., Ammar A. & Demnati A. 1992. Multichannel seismic data imaging of inversion tectonics of Alboran Ridge (Western Mediterranean Sea). *Geo-Marine Letters*, 12, 117-122.
- Cacho I., Targarona J., Dooze H. & Canals M. 1994. Paleocyanographic record of the last deglaciation in the two gravity cores from the Western Mediterranean Sea : land-sea correlation. In : Canals & Lipiaton (eds). First workshop of the Mediterranean Targeted Project, Barcelona, Abstr. Vol., pp. 271-277.
- Calafat-Frau A. 1993. *Dynamique sédimentaire de la marge rhodanienne - Golfe du Lion (Matière en suspension et dépôts récents)*. Thèse, Univ. Perpignan, France, 254 p.
- Carroll D. 1958. Role of clay minerals in the transportation of iron. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 14, 1-28.
- Clark J.A., Farel W.E. & Peltier R. 1978. Global changes in Postglacial sea level : a numerical calculation. *Quatern. Res.*, 9, 265-287.
- El Hmaïdi A. 1993. *Unités sédimentaires et paléoenvironnements du Quaternaire terminal sur la marge rhodanienne (Golfe du Lion, France)*. Thèse, Univ. Perpignan, France, 171 p.
- El Hmaïdi A. 1999. *Caractérisation des dépôts du Quaternaire terminal en Méditerranée occidentale : aspects sédimentologiques, géochimiques et paléobiologiques - cas de la marge du Rhône (Golfe du Lion - France) et de la marge de Sebta (Mer d'Alboran - Maroc)*. Thèse d'Etat, Univ. Moulay Ismaïl, Fac. des Sci., Meknès, 225 p.
- El Hmaïdi A., Carbonel P., Gensous B. & Monaco A. 1998. Environnements sédimentaires et associations d'ostracodes au Quaternaire terminal sur la pente continentale rhodanienne (Méditerranée occidentale). *Géobios*, 31, 5, 621-631.
- El Hmaïdi A., Carbonel P., Gensous B., Monaco A. & El Moumni B. 1999. Les ostracodes marqueurs des paléoenvironnements de la marge rhodanienne (Méditerranée occidentale) à la fin du Quaternaire. *Newsletters on Stratigraphy*, Berlin - Stuttgart, 37, 1/2, 3-20.
- El Moumni B. 1994. *Contribution à l'étude des environnements sédimentaires au Quaternaire terminal en mer d'Alboran - Cas de la marge méridionale (Marge marocaine)*. Thèse d'Etat, Univ. Moulay Ismaïl, Fac. des Sci., Meknès, Maroc, 259 p.
- El Moumni B., El Hmaïdi A., Hassouni F. Z., Gensous B. & Monaco A. 1999. Sédimentologie et géochimie des dépôts superficiels de la marge méditerranéenne marocaine (partie occidentale). *Afr. Geosci. Rev.*, 6, 2, 141-148.
- El Moumni B., Semlali H., Ammar A., El Hmaïdi A. & Gensous B. 2000. Mécanismes sédimentaires et structuration récente de la marge méditerranéenne marocaine (partie occidentale). African continental margins of the Mediterranean sea. *CIESM Workshop*, 13, 27-37.
- Ercilla G. 1992. *Sedimentacion en margines continentales y cuencas del Mediterraneo occidental durante el Cuaternario (Peninsula Iberica)*. Ph D. Thesis, Univ. Politecnica de Catalunya, Barcelona, Espagne, 567 p.
- Fairbridge R.W. 1960. The changing level of the sea. *Sci. Amer.*, 202, 70-79.
- Gensous B., Tesson M. & Winnock E. 1986. La marge méridionale de la mer d'Alboran : caractères structuro-sédimentaires et évolution récente. *Mar. Geol.*, 72, 341-370.
- Goldhaber M.B. & Kaplan I.R. 1974. The sulfur cycle. In : Goldberg (ed.). *The Sea*. Wiley Interscience, New York, 5, 569-655.
- Hassouni F.Z. 1997. *Contribution à l'étude de la sédimentation profonde en mer d'Alboran : apport sédimentologique et micropaléontologique*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 195 p.

- Jeantet D. 1982. *Processus sédimentaires et évolution du plateau guyanais (Guyane française) au cours du Quaternaire terminal*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Bordeaux I, France, 336 p.
- Monaco A. 1971. *Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du plateau continental du Roussillon (Golfe du Lion)*. Thèse d'État, Univ. Sci. et Tech. Languedoc, Montpellier, France, 295 p.
- Monaco A., Aloisi J.C., Got H., Mear Y. & Bellaiche G. 1983. Sédimentation et diagenèse en Méditerranée nord-occidentale. *Pétroles et techniques*, 299, 36-44.
- Monaco A., Radakovitch O., Calafat-Frau A., Heussner S., Cremer M. & Weber O. 1993. Transfert de matière et changement récent de l'environnement sédimentaire. *Colloque "Géosciences Marines"*, Paris, p. 83.
- Preller R.H. 1986. A numerical model study of the Alboran gyre. *Prog. Oceanog.*, 16, 113-146.
- Rickard D.T. 1975. Kinetics and mechanism of pyrite formation at low temperatures. *Amer. J. Sci.*, 275, 636-652.
- Rognon P. 1981. Les crises climatiques. *La Recherche*, 128, 12, 1353-1364.
- Sheu D.D. & Presley J. 1986. Variations of calcium carbonate, organic carbon and iron sulfides in anoxic sediment from the Orca basin, Gulf Mexico. *Mar. Geol.*, 70, 103-118.
- Sheu D.D. & Huang C.Y. 1989. Carbonate and organic carbon sedimentation on the continental margin off southeastern Taiwan. *Geo-Marine Letters*, 9, 45-51.
- Stackelberg U.V. 1972. Facies of the Indian-Pakistan continental margin (Arabian Sea). *'Meteor' Forsch-Ergebnisse*, Berlin-Stuttgart, Reihe-C, 9, 1-73.
- Sweeney R.E. & Kaplan I.R. 1973. Pyrite framboid formation : laboratory synthesis and marine sediments. *Econ. Geol.*, 68, 618-643.
- Turon J.L. & Londeix L. 1988. Les assemblages de kystes de dinoflagellés en Méditerranée occidentale (Mer d'Alboran) : mise en évidence de l'évolution des paléoenvironnements depuis le dernier maximum glaciaire. *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 12, 1, 313-344.
- Vergnaud-Grazzini C. & Pierre C. 1991. High fertility in the Alboran sea since the last glacial maximum. *Paleoceanog.*, 6, 4, 519-536.
- Weisrock A., Delibrias G., Rognon P. & Groude-Gaussen G. 1985. Variations climatiques et morphogénèse au Maroc atlantique (30-33°N) à la limite Pléistocène-Holocène. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 8, 1, 4, 565-569.

*Manuscrit reçu le 11 décembre 2001  
Version définitive acceptée le 4 juillet 2002*

Planche I :

Photos 1 et 2. Vue au M.E.B. d'une pelote fécale entière de forme ovoïde (photo. 1) et détail (photo. 2) montrant la présence d'agrégats d'argiles, de coccolithes et de carbonates de nature divers.

Photos 3 et 4. Vue au M.E.B. du remplissage d'un test de foraminifère benthique (photo. 3) et détail (photo. 4) montrant le remplissage par des pyritosphères composées de nombreux framboïdes de pyrite bien cristallisée.



### Planche I

