

Paléoenvironnements néogènes dans les bassins océaniques ibéro-marocains Relations paléohydrologiques Méditerranée-Atlantique

Relation Méditerranée-Atlantique
Néogène-Quaternaire
Région bético-rifaine
Environnement profond
Paléohydrologie

Mediterranean/Atlantic relationship
Neogene/Quaternary
Betic-rifan area
Deep-sea environment
Paleohydrography

P. Cirac, J.-P. Peypouquet

Département de Géologie et Océanographie, Université de Bordeaux-I,
avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

Reçu le 28/6/82, révisé le 2/9/82, accepté le 17/11/82.

RÉSUMÉ

L'étude proposée repose sur une série de forages et de coupes situées dans le bassin du Rharb, ainsi que sur des forages IPOD en mer d'Alboran (site 121) et dans le bassin atlantique du Golfe ibéro-marocain (sites 135 et 136) comprenant du Miocène supérieur, du Pliocène et éventuellement du Pléistocène.

On peut mettre en évidence, dans la région de Rabat, une discontinuité sédimentaire marquée, au sein du Pliocène inférieur, par une lacune stratigraphique affectant une partie plus ou moins importante de la biozone à *G. margaritae* et probablement de la biozone à *G. punctulata*.

Les bassins typiquement océaniques (région de Rabat, Golfe ibéro-marocain) sont caractérisés par de faibles apports terrigènes et par la prédominance de la sédimentation ubiquiste. Les bassins internes ou marginaux tels que ceux du Rharb ou d'Alboran par contre, sont marqués par d'énormes apports terrigènes, entraînant des taux de sédimentation très importants.

Les fluctuations paléohydrologiques ont été appréciés en grande partie par le biais de l'étude de la microfaune d'ostracodes étayée par des considérations sédimentologique, minéralogique et topographique.

Cette étude des associations d'ostracodes a montré que la série marneuse néogène correspondait à un environnement constamment profond quel que soit le type de bassin.

Le bassin océanique atlantique est caractérisé par un milieu très bien oxygéné ($O_2 > 4$ ml/l), où nous n'avons jamais pu mettre en évidence de fluctuations de grande amplitude. Par contre, le bassin du Rharb est marqué en permanence par des conditions de milieu confiné, voire euxiniques. Ces conditions résultent avant tout de la physiographie du fond, fragmenté en petits bassins séparés par des hauts fonds.

Dans le bassin d'Alboran, au Miocène terminal (Messinien), le milieu est très bien oxygéné et les communications avec l'Atlantique largement établies. Par la suite, au Pliocène puis au Pléistocène, les relations avec l'Atlantique deviennent beaucoup plus aléatoires. On assiste alors à une succession de périodes à faible circulation océanique, liées vraisemblablement à des épisodes froids, de bas niveau marin, et des périodes durant lesquelles l'élévation du niveau marin favorise la circulation des masses d'eau.

Oceanol. Acta, 1983, 6, 2, 147-156.

ABSTRACT

Neogene paleoenvironments in Ibero-Morocco oceanic basins, Mediterranean-Atlantic relationship

This study is based on a series of drilling sites and sections in the Rharb basin, as well as on IPOD drilling in the Alboran Sea (site 121) and the Ibero-Morocco Gulf of the Atlantic basin (sites 135 and 136), within the Upper Miocene, Pliocene and eventually Pleistocene strata.

A stratigraphic gap—influencing a comparatively significant part of the *G. margaritae* biozone and probably the *G. puncticulata* biozone—indicates a distinct sedimentary break in the Rabat region.

Typically oceanic basins (Rabat region, Ibero-Morocco Gulf) are characterized by insignificant terrigenous inputs and by prevailing ubiquitous sedimentation. Internal or marginal basins, such as Rharb or Alboran, are—on the other hand—marked by important terrigenous inputs leading to very high sedimentation rates.

Paleohydrographic derived estimates are based mainly on ostracod studies supported by sedimentological, mineralogical and topographic observations.

The ostracod assemblage study has shown that the Neogene marl series corresponds to a constant deep-sea environment, irrespective of the type of basin.

The Atlantic basin is characterized by a very oxygenous environment ($O^2 > 4 \text{ ml/l}$), where no high amplitude fluctuations have been found. Inversely, the Rharb basin is consistently marked by a confined environment, or even by euxinic conditions: a consequence of bottom physiography, i.e., fragmentation into basins separated by shoals.

In the Alboran basin, during the Late Miocene (Messinian) period, the environment is highly oxygenous and communication with the Atlantic Ocean is largely established. During the Pliocene and, later, the Pleistocene, communication with the Atlantic becomes hazardous. There is evidence of low oceanic circulation periods, most probably linked to cold periods of low marine level, and periods during which the rise of the marine level favours mass water circulation.

Oceanol. Acta, 1983, 6, 2, 147-156.

INTRODUCTION

Entre le Miocène supérieur et le Pliocène moyen se situe, dans la région septentrionale du Maroc, une période particulièrement cruciale dans les relations entre les domaines atlantique et méditerranéen. En effet, cette époque est marquée par un grand événement paléogéographique qui provoque l'isolement de la « mésogée » par rapport à l'Atlantique, et l'individualisation du domaine méditerranéen. Cet événement est précédé par un épisode particulier, responsable du dépôt de la formation évaporitique connue sous le nom de « crise de salinité messinienne ».

Dans ce travail, nous nous proposons d'exploiter de nouvelles approches ainsi que les données acquises ces 10 dernières années sur les séries néogènes du Maroc et d'Espagne du Sud (Viguier, 1974 et Faugères, 1978) pour définir avec précision les environnements dans la région de l'arc bético-rifain (fig. 1).

Nous avons été amenés à distinguer deux types de bassin :

— le bassin océanique franc (ou ouvert) représenté uniquement en Atlantique, dans la plaine abyssale en face du détroit de Gibraltar, au niveau des sites DSDP 135 et 136 et sur le littoral marocain, dans la région de Rabat, où la coupe dite de l'Oued Akrech présente un caractère mixte avec cependant prédominance des indices d'un milieu « océanique ouvert » ;

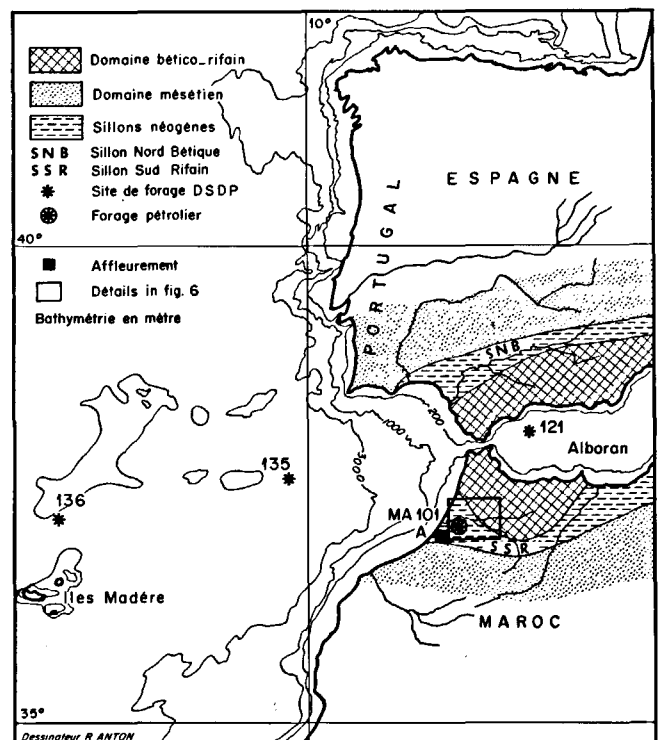


Figure 1.
Cadre morphostructural des régions étudiées, et position des principaux sites analysés dans notre étude.
Morphostructural framework of the regions investigated and location of main sites analysed.

— les bassins océaniques marginaux (ou restreints) parmi lesquels nous avons classé le bassin d'Alboran situé à l'extrémité occidentale de la Méditerranée (site DSDP 121), et le bassin actuellement comblé du Rharb, situé au débouché atlantique du sillon sud-rifain et représenté par le forage MA 101.

Pour chacun des deux types de bassin, nous énumérerons les principales données stratigraphiques, granulométriques, minéralogiques et micropaléontologiques. Ces résultats nous permettront de proposer un essai d'interprétation, d'une part des modalités de mise en place des sédiments, et d'autre part des conditions paléohydrologiques régissant le milieu de dépôt.

LE BASSIN OCÉANIQUE ATLANTIQUE FRANC

Données stratigraphiques et faciologiques (fig. 2)

a) Les forages des sites 135, 136 du « Leg XIV » sont situés dans la plaine abyssale dite du « Fer à cheval », au large du détroit de Gibraltar. Ces forages, dans leur partie supérieure, ont traversé une formation d'environ 150 m d'épaisseur attribuée, dans le rapport préliminaire du Leg XIV (Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, 1972), au Miocène moyen, Pliocène et Pléistocène.

La série est constituée par des boues carbonatées extrêmement homogènes, sans aucune intercalation ni discontinuité. Cependant, l'échantillonnage trop lâche ne permet pas une très grande précision dans la reconstitution du contexte stratigraphique et sédimentologique. Il est toutefois intéressant de faire remarquer que la sismique fait apparaître un important réflecteur, à environ 100 m (0,1 s) sous le sommet de la série, qui pourrait correspondre à une discontinuité au sein du Pliocène inférieur ou moyen, mais dont il est impossible de préciser la nature et l'importance.

Le taux de sédimentation est très faible (0,7 à 2 cm/1 000 ans).

b) La coupe de l'Oued Akrech se situe dans la région de Rabat, où les Oueds Bou Regreg et Akrech ont entaillé leur vallée dans les marnes miopliocènes sur une épaisseur pouvant atteindre 100 m. La facilité d'accès à ces affleurements a permis de nombreuses études détaillées de cette formation, notamment par Wernli (1977), Cirac (1978) et Cita et Ryan (1978).

La série débute par une formation de sable jaune biodétritique de 5 à 6 m d'épaisseur, transgressive sur le socle paléozoïque. Cette formation est connue dans la littérature sous le nom de « molasse de base tortonienne ».

Les « molasses » sont surmontées par la formation des marnes grises. Le passage se fait par l'intermédiaire d'un niveau induré, auquel Wernli donne le nom de « banc à coraux ».

Les marnes, attribuées pour l'essentiel au Messinien, appartiennent à une formation apparemment très homogène, dans laquelle nous n'avons pu mettre en évidence aucune passée de type turbiditique.

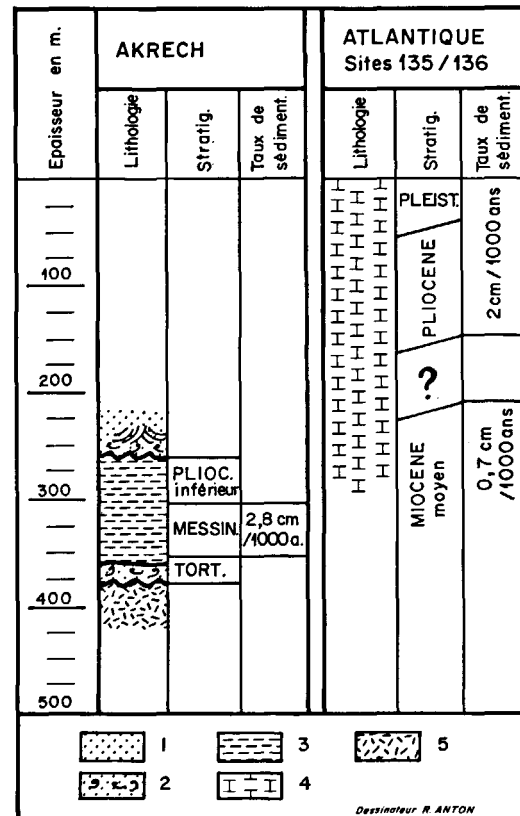


Figure 2

Données stratigraphiques et faciologiques relatives aux principaux sites du bassin océanique franc atlantique. 1; sables et grès; 2; faluns; 3; marnes; 4; boues carbonatées; 5; substratum.

Stratigraphic and faciological data concerning the main sites in the Atlantic basin. 1: sand and sandstone; 2: falun; 3: marl; 4: ooze; 5: substratum.

Vers le sommet, dans la région proche de la Mammora, cette formation marneuse présente un enrichissement en fraction sableuse conduisant progressivement à des marnes sableuses, puis à des sables très fins plus ou moins glauconieux. Cet épisode plus terrigène correspond au sommet du Pliocène inférieur (zone à *Globorotalia puncticulata*) et à une partie du Pliocène moyen (zone à *G. crassaformis*). A proximité de Rabat, ce terme sablo-marneux n'existe pas. La séquence se termine par une discontinuité sédimentaire soulignée par une surface d'érosion. L'étude de la microfaune planctonique fait apparaître au sommet de la formation marneuse, dans la région de Rabat, une importante lacune stratigraphique englobant une large partie du Pliocène inférieur et peut-être la base du Pliocène moyen (Wernli, 1977 et 1979).

Cette discontinuité dans le Pliocène inférieur a pu être mise en évidence ailleurs, notamment dans la région orientale du bassin (Cirac, 1978), à proximité de Tanger (Wildi, Wernli, 1977) sur le rivage méditerranéen et plus particulièrement dans la région de Mellila (Guillermin, 1976).

Mise en place des dépôts

a) Dans la plaine abyssale, la série est caractérisée par des courbes microgranulométriques présentant toutes un « faciès hyperbolique » typique correspondant à un dépôt par décantation de particules pélagiques.

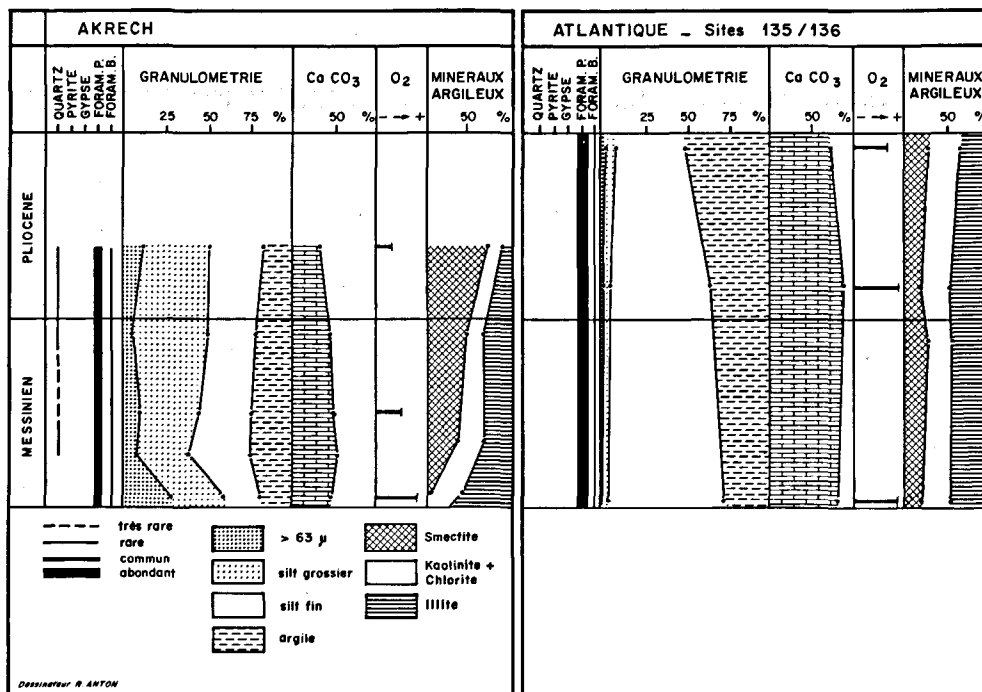


Figure 3
Répartition des principaux composants du sédiment, diagramme granulométrique, variation du taux de carbonate, fluctuation de l'oxygénation du milieu et répartition des minéraux argileux dans les principaux sites du bassin océanique franc atlantique.

Distribution of the main sediment components, granulometric diagram, variation of carbonate rates, fluctuation of environment oxygenation and distribution of clay minerals in the main sites of the Atlantic basin.

Les diagrammes de la figure 3 montrent que :
 — la fraction sableuse et silteuse grossière est très faiblement représentée ;
 — cette fraction est constituée presque exclusivement de foraminifères planctoniques ; la microfaune benthique est très rare ; les éléments minéraux (quartz, micas, sulfures et sulfates, etc.) sont absents de cette fraction ;
 — les silts fins (constitués presque exclusivement de coccolithes) et les argiles sont largement dominants ;
 — parmi les minéraux argileux, le taux d'illite est supérieur à celui de smectite ;
 — enfin, la phase carbonatée constitue l'essentiel du sédiment (80 à 90%).

Toutes ces caractéristiques sont celles de la sédimentation ubiquiste atlantique aux apports terrigènes très réduits (Faugères *et al.*, 1979).

b) Dans la région de Rabat, toutes les caractéristiques précédentes se retrouvent mais « diluées » par des apports terrigènes, plus particulièrement abondants vers le sommet. Cela se traduit par (fig. 3) :

- une tendance des courbes microgranulométriques au faciès « parabolique » ;
- une relative importance de la fraction sableuse et surtout des silts ;
- la présence de quartz et de foraminifères déplacés ;
- la dilution des carbonates ;
- l'augmentation des proportions de smectite par rapport à l'illite.

Inventaire des ostracodes

Site 135

- Carotte 2, section 1, niveau 140-145 cm : Pléistocène :
Abyssocythereis sulcatoperforata : 1 individu ;
Henryhowella : 2 individus ;
Agrenocythere : 1 individu ;

- Carotte 2, section 3, niveau 90-95 cm : Pléistocène :
Agrenocythere : 1 individu ;
Henryhowella : 3 individus ;
Abyssocythere : 1 individu (forme jeune) ;
- Carotte 2, section 4, niveau 40-45 cm : Pléistocène :
Poseidonamicus : 1 individu ;
Henryhowella : 1 individu ;
Agrenocythere : 1 individu ;
Krithe sp. A'23 : 1 individu ;
- Carotte 2, section 5, niveau 50-55 cm : Pléistocène :
Henryhowella : 1 individu.

Site 136

- Carotte 1, section 1, niveau 94-99 cm : Pliocène :
Krithe juvenile : 1 individu ;
Abyssocythereis sulcatoperforata : 1 individu ;
- Carotte 1, section 6, niveau 95-100 cm : Pliocène :
Krithe sp. D21 : 2 individus ;
- Carotte 2, section 1, niveau 140-145 cm : Miocène moyen :
Cythereis sp. : 2 individus ;
Parakrithe juv. : 1 individu ;
Krithe juv. : 2 individus.

Oued Akrech

- 40 m au-dessus du substratum : Pliocène inférieur :
Henryhowella : 1 individu ;
- 30 m au-dessus du substratum : Messinien :
Cytherella : 1 individu ;
Bairdia : 1 individu ;
- 25 m au-dessus du substratum : Messinien :
Henryhowella : 8 individus ;
Bairdia : 2 individus ;
Oblitocythereis : 2 individus ;
- 20 m au-dessus du substratum : Messinien :
Henryhowella : 1 individu ;
Darwinula : 2 individus ;

- 15 m au-dessus du substratum : Messinien :
- Oblitocythereis* : 3 individus;
 - Parakrithe* sp. A20 : 1 individu;
 - Acanthocythereis* : 1 individu;
 - Cytherella* : 1 individu;
 - Clethrocythereis* : 1 individu;
 - Henryhowella* : 13 individus;
 - Krithe* sp. C22 : 1 individu;
- 10 m au-dessus du substratum : Tortonien :
- Ruggieria* : 2 individus;
 - Bairdia* : 2 individus;
 - Cytherella* : 2 individus;
- 8 m au-dessus du substratum : Tortonien :
- Cytherella* : 16 individus;
 - Bairdia* : 1 individu;
 - Pterygocythereis* : 2 individus;
 - Henryhowella* : 2 individus;
 - Ruggieria* : 3 individus;
 - Buntonia* : 1 individu;
 - Carinocythereis* : 1 individu;
 - Costa* : 1 individu;
 - Acanthocythereis* : 2 individus.

LES BASSINS « MARGINAUX »

Données stratigraphiques et faciologiques (fig. 4)

a) Dans le Rharb, la série néogène « post-nappe » du centre du bassin (MA 101) est constituée par des marnes grises relativement homogènes pouvant contenir quelques passées de sable très fin, mises en place par des courants turbiditiques. Toutefois, ces passées sont très épisodiques et la sédimentation marneuse est largement dominante.

Vers le sommet, le sédiment s'enrichit progressivement en éléments terrigènes très fins puis en éléments bioclastiques. On passe ainsi, de façon graduelle, sur une épaisseur de 10 à 20 m, des marnes grises à des marnes sableuses puis à des faluns. Ces faluns sont surmontés par des sables et des grès représentant les ultimes phases de comblement du bassin.

La série marneuse « post-nappe » débute au sommet du Tortonien et se poursuit durant tout le Messinien. Le passage mio-pliocène, marqué par l'apparition de *Globorotalia margaritae*, se fait en continuité de sédimentation. Les faluns sont attribués au Pliocène moyen (zone à *G. crassaformis*). Le taux de sédimenta-

Paléohydrologie

La paléohydrologie a été appréciée par le biais de l'étude de la microfaune d'ostracodes. Cette étude est basée sur les travaux de Benson (1981) et de Peypouquet (1977; 1979), qui ont montré que l'on pouvait définir certains paramètres physico-chimiques de l'environnement et, en particulier, le degré d'oxygénation (fig. 3), à partir de l'étude des associations et des variations architecturales des tests de quelques genres d'ostracodes.

a) En plaine abyssale atlantique, la faune d'ostracodes correspond à un environnement profond (> 2000 m) continuellement océanique ouvert. Au Miocène (N12), l'oxygénation est très élevée ($O^2 > 5,5$ ml/l), le milieu est psychrosphérique ($T^{\circ} < 8-10^{\circ}$). Au Pliocène (N19-NN12), l'oxygénation est toujours très élevée et le milieu toujours psychrosphérique. Toutefois, vers le sommet, la présence de *Krithe* sp. A'13 implique une diminution de l'oxygénation au niveau du fond. C'est une époque de haut niveau marin (Vail *et al.*, 1977), époque « polytaxique » donc sujette à ralentissement des circulations océaniques.

b) Dans la région de Rabat, la faune d'ostracodes correspond à un environnement moins profond (épibathyal). A la base, cette faune est relativement riche et diversifiée, elle représente un environnement de plate-forme externe non perturbé par les apports allochtones. Durant le Messinien, il semble se produire un approfondissement; l'oxygénation est variable (≥ 4 ml/l); le milieu est probablement riche en ions P (*Parakrithe*s). Au sommet, dans le Pliocène inférieur, il semble que les circulations océaniques se ralentissent, la zone à oxygène minimum semble plus importante. Ceci peut être consécutif à une plus grande stratification des eaux et/ou à des apports terrigènes plus importants. Quoiqu'il en soit, l'oxygénation du milieu demeure toujours relativement élevée (entre 3 et 4 ml/l).

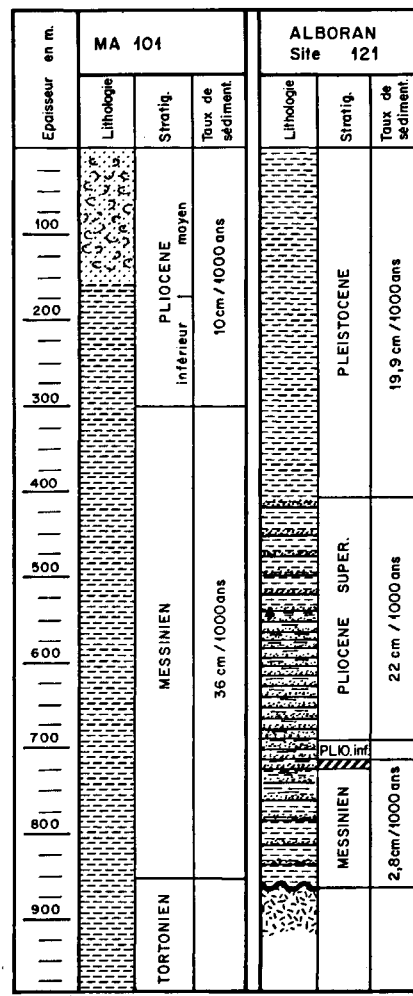


Figure 4

Données stratigraphiques et faciologiques relatives aux principaux sites dans les bassins marginaux (voir légendes sur la figure 2).

Stratigraphic and faciological data concerning main sites in the marginal basins (see legend on Figure 2).

tion au Messinien est très élevé (36 cm/1 000 ans) alors qu'au Pliocène, il semble diminuer (10 cm/1 000 ans).
 b) En mer d'Alboran, le forage DSDP du site 121 a traversé sur environ 950 m d'épaisseur trois unités lithologiques :

- l'unité 1 (500 m supérieur) constituée par des boues marneuses très homogènes attribuées au Pléistocène ; le taux de sédimentation est très élevé (20 cm/1 000 ans) ;
- l'unité 2 comprend une formation turbiditique de 350 m d'épaisseur et appartenant en grande partie au Pliocène moyen et supérieur ; le taux de sédimentation y est également très élevé (22 cm/1 000 ans) ;
- l'unité 3, à la base, est constituée par des boues marneuses à intercalations turbiditiques, transgressives sur un socle cristallophyllien ; cette unité à faible taux de sédimentation (2,8 cm/1 000 ans) est attribuée au Messinien.

Dans le détail, il apparaît un certain nombre de difficultés d'interprétation dues principalement à un échantillonnage trop lâche. Ces difficultés ont donné lieu à des controverses d'ordre stratigraphique au niveau du passage Miocène-Pliocène (carottes 16, 17, 18 et 19). Pour Cita (1973), Auzende *et al.* (1975) et Pastouret *et al.* (1975), il existe, entre les carottes 18 et 19, une lacune stratigraphique englobant la base du Pliocène inférieur (zone à *Sphaeroidinellopsis* et *G. margaritae*) et probablement le sommet du Messinien. Ces auteurs pensent que cette lacune correspondrait à la crise de salinité messinienne. Montenat *et al.* (1975) estiment que cette lacune correspondrait à l'espace d'une vingtaine de mètres qui sépare les deux carottes, et ne serait de ce fait qu'une lacune d'échantillonnage. Si l'on se base sur le taux de sédimentation de 22 cm/1 000 ans, donné par le « rapport préliminaire DSDP » (Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, 1973), l'épaisseur de sédiment séparant ces deux carottes devrait être plus importante. Il nous apparaît

donc logique de faire intervenir une lacune stratigraphique affectant principalement le Pliocène inférieur. Mais compte tenu du type d'échantillonnage dont nous disposons, il est très alléatoire d'en préciser la position exacte, son importance stratigraphique et sa nature. Toutefois, il est intéressant de faire remarquer que cette lacune correspondrait stratigraphiquement à celle de Rabat.

Mise en place des dépôts

Dans les bassins marginaux, à la différence du bassin océanique, la sédimentation est très fortement influencée par d'importants apports terrigènes.

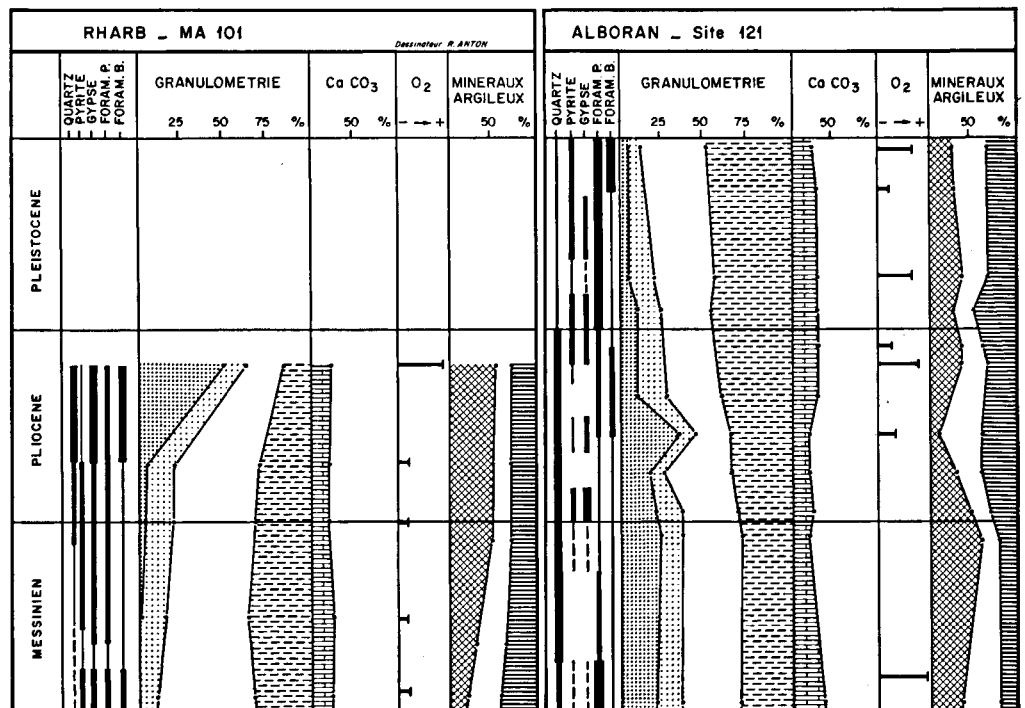
Ces apports sont caractérisés par (fig. 5) :

- des courbes microgranulométriques de faciès logarithmique consécutives à un transport en suspension uniforme et à un dépôt par excès de charge ;
- l'abondance et le mauvais classement de la fraction sableuse et des silts grossiers ;
- l'abondance des quartz ;
- la dilution de la phase carbonatée ;
- la relative importance des smectites par rapport à l'illite.

D'autre part, le taux de faune benthique déplacée (foraminifères et ostracodes) demeure important, que se soit dans le Rharb ou en mer d'Alboran. Ces faunes proviennent du plateau, et correspondent parfois à un environnement très littoral. Leur présence dénote un plateau continental étroit, leur transport est lié à des courants de turbidité.

Les sulfures et sulfates sont abondants, dans toute la série du Rharb et uniquement au-dessus de la discontinuité mio-pliocène en Alboran. Dans ce dernier bassin, nous avons noté que le taux d'évaporite demeure relativement élevé dans les sédiments pliocènes et

Figure 5
 Répartition des principaux composants du sédiment, diagramme granulométrique, variation du taux de carbonate, fluctuation de l'oxygénation du milieu et répartition des minéraux argileux dans les principaux sites des bassins marginaux.
Distribution of the main sediment components, granulometric diagram, variation of carbonate rates, fluctuation of environment oxygenation and distribution of clay minerals in the main sites of marginal basins.



quaternaires; il ne semble pas que le gypse soit une particularité de la carotte 19 comme le signale Wezel (1974) et Pastouret *et al.* (1975), mais plutôt une constante de la sédimentation du Pliocène au Pléistocène.

Inventaire des ostracodes

MA 101

— 100 m : Faluns - Pliocène moyen :

Xestoleberis : 1 individu;
Cytherella : 1 individu;
Cytherelloïdea : 1 individu;
Eucytherura : 1 individu;
Aurila : 1 individu;
Kangarina : 1 individu;
Acanthocythereis : 1 individu;
Paracypris : 1 individu;

— 225 m : Pliocène inférieur :

Acanthocythereis : 6 individus;
Ruggieria : 1 individu;

— 260 m : Pliocène inférieur :

Macrocypris : 1 individu;
Clithrocytheridea : 2 individus;

— 300 m : Limite Pliocène inférieur/Messinien :

Cytherella : 1 individu;

— 350 m : Messinien :

Cytherella : 2 individus;

— 400 m : Messinien :

Cytherella : 1 individu;
Acanthocythereis : 1 individu;

— 475 m : Messinien :

Callistocythere : 1 individu;

— 500 m : Messinien :

Cytherella : 1 individu;

— 550 m : Messinien :

Cytherella : 1 individu;

— 700 m : messinien :

Xestoleberis : 1 individu.

Site 121

— Carotte 2, section 4, niveau 94-99 cm : Pléistocène :

Krithe sp. A21 : 1 individu;
Echynocythereis : 11 individus;
Cytherella : 1 individu;

— Carotte 3, section 2, niveau 140-145 cm : Pléistocène :

Quasibuntonia : 2 individus;
Uroleberis : 1 individu;
Loxoconcha : 1 individu;

— Carotte 3, section 4, niveau 40-45 cm : Pléistocène :

Parakrithe sp. A12 : 2 individus;
Xestoleberis : 1 individu;
Loxoconcha : 1 individu;

— Carotte 4, section 2, niveau 43-48 cm : Pléistocène :

Cytherella : 1 individu;
Krithe sp. : 1 individu;

— Carotte 4, section 4, niveau 43-48 cm : Pléistocène :

Krithe sp. C12 : 2 individus;
Henryhowella : 3 individus;
Xestoleberis : 1 individu;

— Carotte 4, section 6, niveau 90-95 cm : Pléistocène :

Henryhowella : 3 individus;

— Carotte 7, section 1, niveau 135-141 cm : Limite Pléistocène/Pliocène :

Henryhowella : 2 individus;

— Carotte 8, section 1, niveau 92-97 cm : Pliocène supérieur :

Semicytherura : 2 individus;

— Carotte 9, section 1, niveau 144-149 cm : Pliocène supérieur :

Krithe sp. A22 : 4 individus;
Krithe sp. C2 : 1 individu;
Cyprideis : 2 individus;
Cushmania : 1 individu;
Henryhowella : 2 individus;
Aurila : 1 individu;
Acanthocythereis : 1 individu;

— Carotte 10, section 1, niveau 90-95 cm : Pliocène supérieur :

Henryhowella : 2 individus;
Loxoconcha : 1 individu;
Cyprideis : 2 individus;

— Carotte 10, section 2, niveau 102 cm : Pliocène supérieur :

Bairdia : 1 individu;
Falunia : 1 individu;
Callistocythere sp. 1 : 2 individus;
Callistocythere sp. 2 : 1 individu;

— Carotte 22, section 1, niveau 100-105 cm : Messinien :

Krithe sp. A22 : 1 individu;
Xestoleberis : 1 individu;
Loxoconcha : 3 individus;
Callistocythere sp. 1 : 1 individu;
Callistocythere sp. 2 : 1 individu;
Semicytherura : 1 individu;
Aurila : 2 individus;
Quadracythere : 1 individu;
Cytherura : 1 individu;

— Carotte 23, section 1, niveau 142-147 cm : Messinien :

Parakrithe sp. A20 : 1 individu;
Krithe sp. D22 : 3 individus;
Argilloecia : 4 individus;
Callistocythere : 1 individu;

— Carotte 24, section 2, niveau 80-87 cm : Messinien :

Darwinula : 1 individu;
Krithe sp. D22 : 2 individus;
Krithe sp. C22 : 1 individu.

Paléohydrologie

Dans le Rharb, la faune d'ostracodes est pauvre et peu diversifiée, sauf au sommet dans les faluns, où elle est

typique d'un environnement infralittoral. Dans les marnes messino-pliocènes, la faune autochtone est composée de rares *Cytherella*, *Acanthocythereis* et *Macrocypris* (très rares). Elle indique (fig. 5) un milieu profond au-delà du plateau continental, peu oxygéné (moins de 2 ml/l). Le mélange avec des formes allochtones (*Clitocytheridea*, *Callistocythere*) est un indice d'apports turbides en provenance de la zone infralittorale.

Le caractère restreint de l'environnement associé à la rareté et parfois l'absence de faune benthique et l'abondance de sulfures, semble indiquer des conditions « confinées », voire euxiniques au niveau du fond. Soulignons que ce caractère confiné demeure constant tout au long de la série marneuse du Rharb.

En mer d'Alboran, la qualité et la quantité de la faune d'ostracodes sont extrêmement variables. Le Miocène terminal (N16-NN10/11) est un milieu profond, non psychrosphérique, bien oxygéné ($O_2 > 5$ ml/l), riche en ions P. La présence de *Krithes* du groupe D indique un milieu océanique, en relation avec l'Atlantique. Cependant, si l'environnement est à caractère profond, il n'en demeure pas moins marqué par des atterrissements détritiques importants, en provenance de la plate-forme continentale et de la zone littorale. Au-dessus de la discontinuité, le Pliocène supérieur (NN15-18) correspond toujours à un environnement profond. Les apports terrigènes sont prépondérants, ce qui rend l'analyse de ces dépôts difficile. On constate cependant l'absence de *Krithes* du groupe D. Les relations avec l'Atlantique deviennent plus aléatoires qu'au Messinien, et surtout soumises à d'importantes fluctuations. Les variations d'oxygénation (fig. 5) qui se développent jusqu'au Pléistocène, témoignent de la permanence de cet état de fait entre le Pliocène et la fin du Quaternaire.

Les causes du confinement du milieu

Quelles sont les causes du déficit en oxygène du milieu que nous avons relevées en permanence dans le Rharb et épisodiquement en Alboran? Elles peuvent être de trois sortes :

- productivité biologique élevée;
- taux de sédimentation élevé;
- réduction de la circulation des masses d'eau.

La première cause n'a pu être mise en évidence avec certitude.

Nous avons vu que les deux bassins étaient caractérisés par des taux de sédimentation très élevés et du même ordre de grandeur. Or, le bassin du Rharb possède un caractère restreint constant et plus marqué que celui d'Alboran, ce qui permet de penser que le taux de sédimentation élevé ne joue pas à lui seul un rôle déterminant dans la baisse d'oxygénation. Reste donc la réduction de la circulation des masses d'eau.

Les causes de ce ralentissement sont, à notre avis, liées à la physiographie du fond du bassin. Ainsi, le fond du bassin du Rharb, représenté au Messinien par le toit de la nappe préifaine (fig. 6), est constitué par de profondes cuvettes séparées par des seuils et des hauts fonds. Le dénivelé y est très important (Burger *et al.*, 1960-1962). Dans le fond de ces cuvettes, la circulation devrait être très ralentie, ce qui provoquerait leur isolement, la stratification des eaux et leur confinement. Phénomènes identiques à ceux que l'on peut observer, par exemple, en mer Rouge ou derrière l'arc Caraïbe.

Signification des fluctuations d'oxygénation en mer d'Alboran

La topographie du fond d'Alboran, bien qu'irrégulière, demeure beaucoup moins accentuée que dans le Rharb.

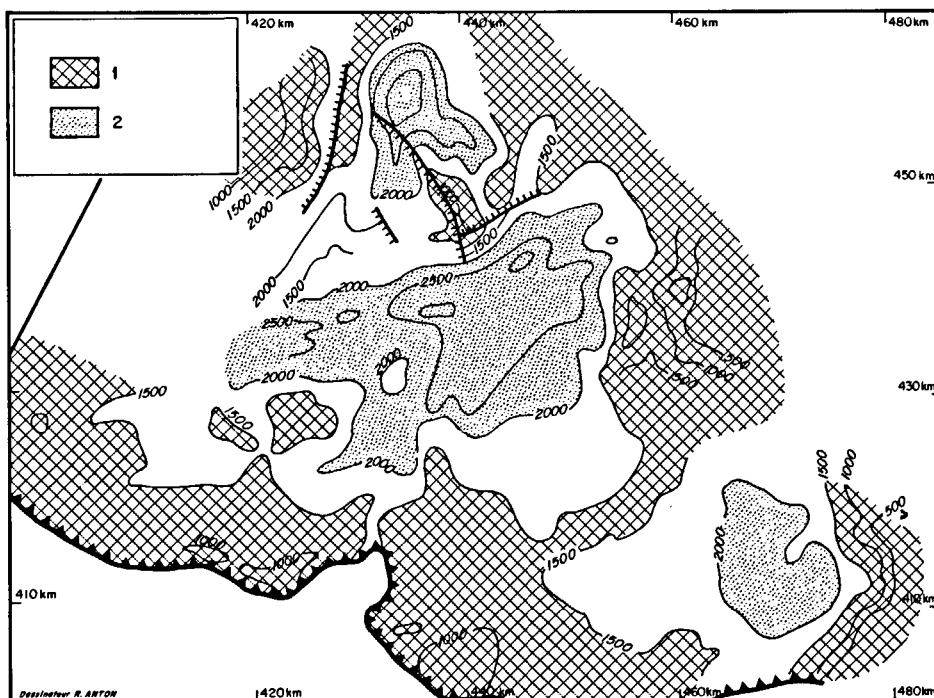


Figure 6
Topographie du fond du bassin du Rharb au Messinien représentée par le toit de la nappe préifaine d'après des travaux de Burger *et al.* 1960-1962). 1, seuils et hauts fonds; 2, cuvettes.

Bottom topography in the Rharb basin during the Messinian age, represented by the top of prerifain nappe after Burger *et al.* (1962). 1, sills and shoals; 2, basins.

Son rôle dans le ralentissement de la circulation des masses d'eau devrait donc être atténué.

On remarque que (fig. 5) :

— les maxima d'oxygénation correspondent à une diminution des taux de sulfures et sulfates, à des pics de smectite et, dans le Pléistocène, à une période chaude (Initial reports of the Deep-Sea Drilling Project, 1973);

— les minima d'oxygénation correspondent à une augmentation du taux de sulfure et de sulfate, à une diminution de la smectite et, dans le Pléistocène, à une période froide selon le même rapport DSDP.

Ainsi en périodes chaudes, qui correspondent à des époques de « haut niveau marin », les seuils et les hauts fonds ne jouent pas pleinement leur rôle de barrière : la circulation des eaux n'est pas trop entravée, et l'oxygénation du milieu est bonne.

Par contre, en période froide, durant les époques de « bas niveau marin », l'épaisseur de la tranche d'eau diminue. Les reliefs du fond océanique peuvent plus facilement entraver la circulation des eaux, et provoquer l'isolement des cuvettes où s'effectue une stratification des eaux, entraînant le caractère restreint du milieu au niveau du fond.

Les mêmes types de fluctuation ont été mis en évidence par Sarnthein *et al.* (1982) en milieu océanique ouvert au large de la marge nord-ouest africaine, mais pour des raisons de circulation générale.

CONCLUSIONS

Le bassin océanique atlantique possède, du Miocène moyen au Pléistocène, un caractère « ouvert », une sédimentation pélagique, sans apports terrigènes importants en zone abyssale, des apports terrigènes certains mais d'importance réduite sur les marges.

L'oxygénation y demeure constamment élevée, ce qui implique d'importantes circulations de masses d'eau peu affectées par les fluctuations tectoniques ou climatiques.

Cependant dans la première partie du Pliocène, et principalement à sa base, on note une légère diminution de l'oxygénation des milieux océaniques en relation vraisemblablement, comme le préconisent Sarnthein *et al.* (1982), avec un ralentissement des circulations et une meilleure stratification des eaux à cette époque.

Les bassins marginaux sont caractérisés par la prédominance de la sédimentation terrigène à mettre sur le compte de la proximité des chaînes bético-rifaines en voie de surrection et sur le relèvement isostasique des marges mésétiennes.

En Alboran, la sédimentation, dans l'ensemble plus grossière et à caractère plus turbiditique, est à relier à

la position géographique de ce bassin situé au pied des chaînes bético-rifaines et séparé de celles-ci par un étroit plateau continental. Le maximum d'apport turbiditique au Pliocène supérieur est consécutif à l'ultime phase paroxysmale de l'orogénèse rifaine.

Le Rharb, par contre, est séparé de la chaîne rifaine par un vaste « glaciaire » constitué par l'avant-pays pré-rifain. Aussi, le sillon suf-rifain ne reçoit, au Mio-Pliocène, qu'une sédimentation relativement fine ne se déposant en général que par décantation.

La limite mio-pliocène est marquée, que ce soit sur la marge atlantique (Rabat) ou sur le littoral méditerranéen (Mellila) ou en mer d'Alboran (site 121), par une discontinuité sédimentaire associée à une lacune stratigraphique. Cette discontinuité résulterait d'un événement paléogéographique majeur qui se serait produit au Pliocène inférieur ou moyen. Cet événement aurait entraîné, sur les marges ou les hauts fonds des bassins, l'érosion d'une partie plus ou moins importante du Pliocène et parfois même du Messinien.

Dans le centre du bassin du Rharb, l'environnement au niveau du fond possède un caractère constamment confiné. La physiographie de ce fond en est la cause principale.

Dans le bassin d'Alboran, au niveau du site 121, le Messinien correspond à un milieu océanique ouvert, en relation certaine avec l'Atlantique. Les échanges de masses d'eau sont importants et l'environnement est profond et très bien oxygéné. Les échanges avec l'Atlantique se font probablement par le sillon sud-rifain, et éventuellement par un vestige du sillon nord-bétique. De plus, une communication directe vers l'Ouest, à la hauteur de l'actuel détroit de Gibraltar, n'est pas à exclure *a priori*. En effet, à cette époque, rien n'indique que la nappe numidienne qui barre le détroit soit émergée.

Au Pliocène supérieur-Pléistocène, la chaîne bético-rifaine a acquis la configuration que nous lui connaissons aujourd'hui et le détroit de Gibraltar devait présenter un aspect comparable à celui de nos jours. Le détroit sud-rifain, et à plus forte raison le nord-bétique, sont fermés. Les relations avec le milieu océanique ouvert atlantique sont beaucoup plus difficiles que précédemment, mais le caractère restreint n'atteint jamais l'importance ni la permanence de celui du Rharb. Les échanges de masses d'eau avec l'Atlantique se font uniquement par le détroit de Gibraltar, passage beaucoup plus étroit et moins profond que celui ou ceux qui fonctionnaient au Messinien.

Les fluctuations d'oxygénation que nous avons relevées au sein du Pliocène supérieur et du Pléistocène seraient à relier avec des variations glacio-eustatiques.

Remerciements

Nous remercions :

- le Bureau de Recherche et de Participation Minière du Maroc en la personne de Monsieur Alem, qui nous a permis d'accéder aux données relatives aux forages pétroliers du Rharb ;
- R. Wernli et C. Pujol pour les déterminations de foraminifères planctoniques ;
- J.C. Faugères qui a bien voulu nous faire bénéficier de ses critiques et conseils.

RÉFÉRENCES

- Auzende J.M., Rehault J.P., Pastouret L., Szep B., Oliver J.L., 1975. Les bassins sédimentaires de la mer d'Alboran, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 17, 1, 98-107.
- Benson R.H., 1981. Form, function and architecture of ostracod shells, *Ann. Rev. Earth. Planetary Sci.*, 9, 59-80.
- Burger J.J., Housse B., Lévy R., 1960-1962. Contribution des travaux d'exploration de la Société Chérifienne des Pétroles à la connaissance de la nappe pré-rifaine, Liv. Mém. Pr. P. Fallot, *Mém. H. Sér. Soc. Géol. Fr.*, 1960-1962, 1, 423-430.
- Cirac P., 1978. Lithofaciès et environnements sédimentaires du Plio-Quaternaire des Zemmours (bordure méridionale du Rharb, Maroc occidental), *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 272, 149-162.
- Cita M.B., 1973. Mediterranean evaporite: paleontological arguments for a deep-basin desiccation model, in: *Messinian events in the Mediterranean, Amsterdam (Kon. Nedl. Akad. Wetensch.)*, edited by C.W. Drooger, 206-228.
- Cita M.B., Ryan W.B.F., 1978. The Bou Regreg section of the Atlantic coast of Morocco. Evidence timing and significance of a late Miocene regressive phase, *Rev. Ital. Paleontol.*, 84, 4, 1051-1082.
- Faugères J.C., 1978. Les rides sud-rifaines. Évolution sédimentaire et structurale d'un bassin atlantico-mésogéen de la marge africaine, *Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Univ. Bordeaux-I*, n° 590, 2 vol.
- Faugères J.C., Gayet J., Gonthier E., Grousset F., Latouche C., Maillot N., Poutiers J., Tastet J.P., 1979. Évolution de la sédimentation profonde au Quaternaire récent, dans le bassin nord-atlantique : corps sédimentaires et sédimentation ubiquiste, *Bull. Soc. Géol. Fr., Paris*, 21, 5, 585-601.
- Guillemin M., 1976. Les formations néogènes et quaternaires des régions de Melilla-Nador et leurs déformations (Maroc nord-oriental), *Thèse 3^e cycle, Univ. Orléans*.
- Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, 1972. National Science Foundation, Washington, vol. XVI.
- Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, 1973. National Science Foundation, Washington, vol. XIII.
- Montenat C., Bizon G., Bizon J.J., 1975. Remarques sur le Néogène du forage Joides 121 en mer d'Alboran (Méditerranée occidentale), *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 17, 1, 45-51.
- Pastouret L., Olivet J.L., Auzende J.M., Rehault J.P., 1975. Remarques complémentaires sur le Néogène de la mer d'Alboran, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 17, 1168-1171.
- Peypouquet J.P., 1977. Les ostracodes et la connaissance des paléomilieux profonds. Application au Cénozoïque de l'Atlantique nord-oriental, *Thèse Doct. État, Univ. Bordeaux*, n° 552, 443 p.
- Peypouquet J.P., 1979. Ostracodes et paléoenvironnements. Méthodologie et application aux domaines profonds du Cénozoïque, *Bull. BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France)*, section IV, n° 1, 3-79.
- Sarnthein M., Thiede J., Pflaumann U., Erlenkeuser N., Futterer D., Koopmann B., Lange H., Seibold E., 1982. Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years, in: *Geology of the Northwest Africa continental margin*, edited by U. Von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein et E. Seibold, Springer-Verlag, Berlin, 545-604.
- Vail P.R., Mitchum R.M. Jr., Thompson S., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap, *Am. Assoc. Petr. Geol., Tulsa, Mem.*, 26, 63-97.
- Viguié C., 1974. Le Néogène de l'Andalousie nord-occidentale (Espagne). Histoire géologique du « Bassin du Bas Guadalquivir », *Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Univ. Bordeaux I*, n° 450, 1 vol.
- Wernli R., 1977. Les foraminifères planctoniques de la limite miopliocène dans les environs de Rabat (Maroc), *Eclogae Geol. Helv.*, 70, 1, 143-191.
- Wernli R., 1979. Le Pliocène de la Mammora (Maroc) : stratigraphie et foraminifères planctoniques, *Eclogae Geol. Helv.*, 72, 1, 119-143.
- Wezel F.C., 1974. Prismo riesame delle carotte raccolte nel leg 13 del DSDP (Mediterraneo), *Giorn. Geol.*, 2, 39, fasc. 2, 447-468.
- Wildi W., Wernli R., 1977. Stratigraphie et micropaléontologie des sédiments pliocènes de l'Oued Laou (côte méditerranéenne marocaine), *Arch. Sci., Genève*, 30, 2, 213-228.