

Les environnements continentaux du corridor rifain (Maroc) au Miocène supérieur d'après la palynologie

Naima BACHIRI TAOUFIQ

Nadia BARHOUN

Université Hassan II-Mohammedia, Faculté des Sciences de Ben M'Sik,
BP 7955 Sidi Othmane, Casablanca (Maroc)

bachinai@yahoo.fr

nbarhoun@yahoo.fr

Jean-Pierre SUC

Université Claude Bernard, Lyon I, UMR 5125 CNRS,
Laboratoire Paléoenvironnements et Paléobiosphère,

Boulevard du 11 novembre, F-69622 Villeurbanne cedex (France)

jean-pierre.suc@univ-lyon1.fr

Bachiri Taoufiq N., Barhoun N. & Suc J.-P. 2008. — Les environnements continentaux du corridor rifain (Maroc) au Miocène supérieur d'après la palynologie. *Geodiversitas* 30 (1): 41-58.

RÉSUMÉ

La végétation et le climat du sillon sud rifain au Miocène supérieur sont très peu connus. Pour résoudre ce problème, sept coupes datées avec précision par les foraminifères planctoniques du Tortonien moyen à supérieur au Messinien ont été analysées tout au long du corridor sud rifain. Deux sont présentées ici. Le contenu en grain de pollen de ces coupes a permis la reconstitution du paysage végétal et du climat à cette basse latitude méditerranéenne. La mangrove à *Avicennia* occupait le littoral et une végétation herbacée subdésertique s'étendait à basse altitude. Des milieux forestiers se développaient en moyenne altitude. Le climat était tropical à subtropical, très sec sur le littoral mais plus humide en altitude. Le rapport Poaceae/Asteraceae a permis de montrer que la région du corridor sud rifain était devenue légèrement plus sèche encore au Messinien inférieur. Ces résultats confirment que le climat était chaud et sec bien avant la crise de salinité messinienne.

MOTS CLÉS

Miocène supérieur,
corridor rifain,
Maroc,
végétation,
climat.

ABSTRACT

Upper Miocene continental environments of the Rifian corridor (Morocco) after palynology.

Till now the vegetation and climate of the South Rifian Corridor were poorly known. In order to document this problem seven outcrops or boreholes from the middle Tortonian to early Messinian have been analysed along this South Rifian Corridor. Two of these are presented here. The pollen contents found in those levels allow reconstructing the vegetation landscape and the climate at this Mediterranean latitude. An *Avicennia* mangrove lived on the coastline and a sub-desert herbaceous cover lived at a low altitude. Forests were developed in middle altitude. Climate was tropical to subtropical, very dry near the coast but more humid at higher altitude. The Poaceae/Asteraceae ratio show that aridity has even slightly increased in the South Rifian Corridor during the early Messinian. Those results confirm that climate was warm and dry a long time before the Messinian salinity crisis.

KEY WORDS

Upper Miocene,
Rifian corridor,
Morocco,
vegetation,
climate.

INTRODUCTION

La reconstitution de la végétation et du climat pour le Néogène de la Méditerranée nord-occidentale est très bien connue grâce aux recherches palynologiques intenses menées dans cette région (Suc 1980, 1986, 1989; Bessedik 1984; Bessedik *et al.* 1984), alors que la Méditerranée sud-occidentale souffre encore de lacunes. Ce travail va contribuer en partie à combler le manque de documentation sur les paysages végétaux du Miocène à cette latitude de la Méditerranée occidentale.

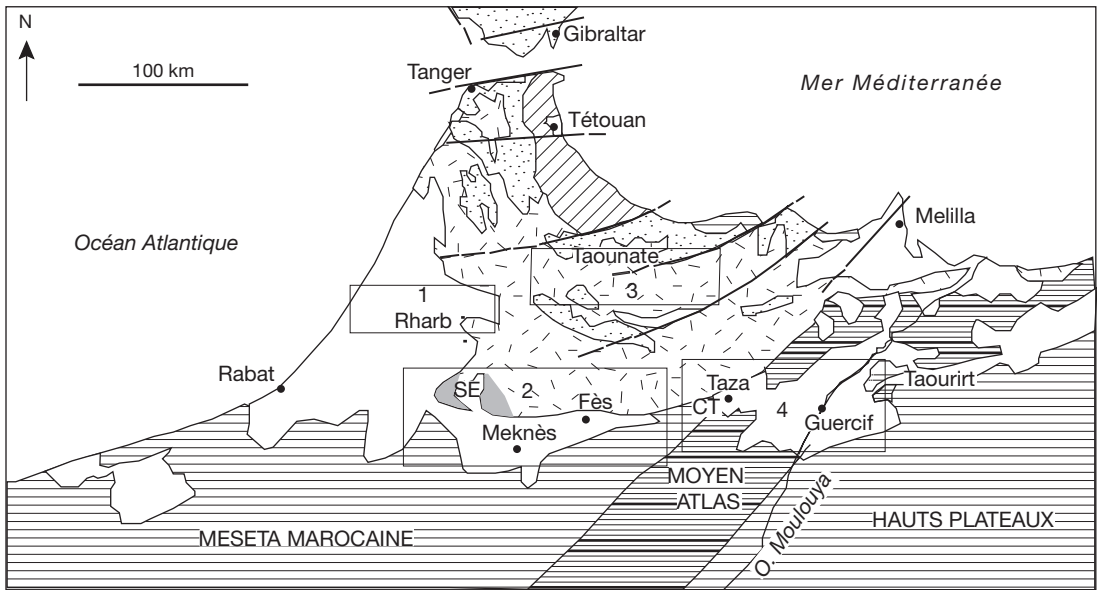
Le paléodétroit sud rifain se caractérise par des séries marines épaisses d'argiles miocènes favorables à la conservation de matière organique. Pour restituer la végétation et le climat, aux basses latitudes ouest méditerranéennes, quatre bassins répartis le long du couloir ont été inventoriés. Dans chaque bassin, les coupes étudiées sont datées par les foraminifères planctoniques (Barhoun 2000). Notre choix a porté sur les bassins du Rharb, du Saïs, de Taouinate et de Taza-Guercif (Fig. 1). Dans cet article nous avons surtout traité les forages les plus complets, Douiet et MSD1; l'étude palynologique des autres coupes est détaillée dans la thèse de Bachiri Taoufiq (2000). Les lames palynologiques sont déposées à la faculté des Sciences de Ben M'Sik (Casablanca, Maroc) de l'université Hassan II-Mohammedia.

CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

Le sillon sud rifain est situé dans la partie septentrionale du Maroc (Fig. 1). Il représente le reste du corridor originel qui reliait, au cours du Miocène, la Méditerranée à l'océan Atlantique (Fig. 2).

Le corridor rifain correspond à une gouttière longue et étroite orientée sensiblement E-W. La dépression s'étend sur environ 500 km de longueur et environ 60 km de large, son altitude est de 400 à 600 m. L'orographie du Maroc septentrional comporte trois importants massifs montagneux: l'arc rifain au NW, la chaîne du Moyen Atlas au SSW et l'immense plateau de la Meseta orientale à l'est. Ces massifs sont séparés par les dépressions du corridor sud rifain qui vont de l'Atlantique à la Méditerranée. Le sillon sud rifain occidental s'étend du col Touahar jusqu'à l'Atlantique, sa partie orientale est beaucoup moins étendue et reste ouverte sur la Méditerranée.

La structuration de la chaîne rifaine a débuté à la suite de l'expulsion de la microplaque d'Alboran vers l'ouest qui va entrer en collision avec les plaques ibérique et africaine (Dercourt *et al.* 1986). Cette orogénèse rifaine était accompagnée par un métamorphisme daté de 8 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) (Monie *et al.* 1984). Le corridor sud rifain représente le reste d'une avant-fosse qui s'est développée entre le sud de l'enfoncement du front externe du Rif, la Meseta



- | | | | | | |
|----|--|----|--------------------|--|----------------------------------|
| | Socle et couverture de la Meseta marocaine | | Nappes de flyschs | | Bassins néogènes et quaternaires |
| | Moyen Atlas | | Zones externes | | Principales failles néogènes |
| | Zones internes | | Rides prériftaines | | |
| CT | Col de Touahar | SE | Seuil d'Elkansera | | |

Fig. 1.— Cadre géographique, géologique et situation des bassins étudiés (d'après Bernini *et al.* 1994, modifié) dans la région du corridor rifain (Maroc). 1, bassin de Rharb; 2, bassin de Saïs; 3, bassin de Taounate; 4, bassin de Taza-Guercif.

marocaine et le Moyen Atlas. Les premiers dépôts marins marquant l'ouverture de l'avant-fosse, qui coïncide avec la phase tectonique majeure de l'orogénèse rifaine, sont datés de 8 Ma (Krijgsman *et al.* 1999). Le Rif a émergé au Tortonien inférieur et ses reliefs étaient peu élevés (Morel 1989). À cette époque une transgression de la mer tortonienne a eu tendance à envahir les reliefs. Par effet tectonique, les bassins sud rifains subissent un effondrement qui fait appel aux matériaux terrigènes en provenance du domaine rifain, soumis à une vigoureuse tectogénèse (Cirac 1987). Cette surcharge accentue la subsidence, particulièrement celle du bassin du Rharb où elle est renforcée par le jeu normal des accidents subparallèles à la direction du raccourcissement (Morel 1989). Pendant cette période,

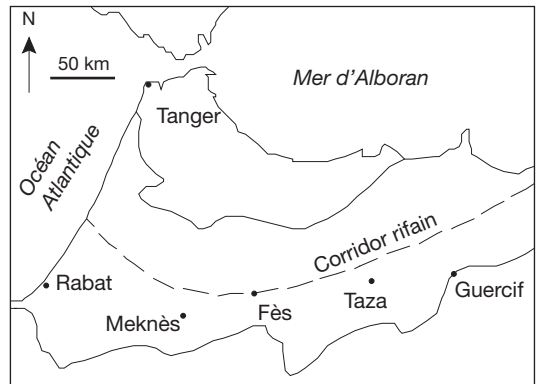


Fig. 2.— Situation du corridor rifain (Maroc) au Miocène supérieur (d'après Hodell *et al.* 1989).

des phases tectoniques ont été reconnues dans le sillon sud rifain (Coletta 1977; Martin 1977; Faugères 1978; Ait Brahim 1983; Morel 1989; Samaka *et al.* 1997). Des milieux marins profonds ont été identifiés dans le bassin de Guercif (Rezqui 1989; Bouab 1992), dans le bassin de Saïa (Cirac 1987; Kili 1993) et surtout dans le bassin du Rharb (Peypouquet *et al.* 1980; Cirac & Peypouquet 1983; Cirac 1987; Flinch 1993; Kili 1993) et dans le bassin de Taounate (Morel 1989; El Boudali 1991; ONAREP 1996) en relation avec des conditions océaniques à Bou Regreg (Warny 1999). Les bassins du sillon sud rifain sont caractérisés par l'installation de constructions récifales qui montre une période transgressive pendant le Tortonien (Saint Martin & Charrière 1989; Saint Martin & Rouchy 1990; El Hamzaoui & Lachkem 1994, 1998). L'exhaussement du Rif continu et l'un des effets de la surélévation de cette chaîne est le glissement de la nappe pré-rifaine qui arrive jusqu'au col Touahar. Des échantillons pris juste sous la nappe, au niveau du col Touahar ont été datés du Messinien pré-évaporitique par les foraminifères planctoniques (Wernli 1988). À la limite Tortonien-Messinien vers 7,2 Ma, Krijgsman *et al.* (1999) ont mis en évidence un rétrécissement rapide du corridor sud rifain. Ce rétrécissement reflète l'activité tectonique, liée à l'avancement de la nappe pré-rifaine et favorisant la diminution de la tranche d'eau dans le corridor. À ce phénomène régional s'ajoute un phénomène global, l'augmentation du volume de la glace en antarctique (Shackleton *et al.* 1995) bien enregistré dans le signal $\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères benthiques rencontrés à Bou Regreg (Hodell *et al.* 1994). Dans ce même site une chute de la concentration des dinoflagellés a été observée à la limite Tortonien-Messinien qui est liée à l'initiation de la fermeture du corridor rifain (Warny 1999; Warny *et al.* 2003). À la partie orientale du corridor sud rifain, vers la fin du Messinien pré-évaporitique, l'altération des conditions environnementales se traduit par l'appauvrissement des associations d'ostracodes (Bouab 1992), des foraminifères planctoniques (Barhoun 2000) et des dinokystes (Bachiri Taoufiq 2000) en conséquence du rétrécissement du corridor sud rifain. L'arrivée de l'énorme nappe pré-rifaine et la masse détritique issue de l'érosion des reliefs provoquent une surcharge sédimentaire qui accentue la subsidence des bassins

et, par le jeu de compensations, il y a redressement des bordures méridionales. Ceci a pour conséquence l'intensification de l'érosion qui libère des matériaux de plus en plus abondants et la création d'un seuil (col Touahar) qui a subdivisé le sillon en deux bassins :
 – le bassin occidental représenté par le bassin du Rharb qui débouche directement sur l'Atlantique et le bassin de Saïa;
 – le bassin oriental représenté par le bassin de Taza-Guercif et le bassin de Taourirt. Ainsi le sillon sud rifain est-il constitué d'une succession de bassins répartis entre l'Atlantique et la Méditerranée (Cirac 1987).

Au niveau du col Touahar la nappe chevauche l'avant-pays au contact avec le Moyen Atlas. L'exondation du bassin de Taza-Guercif a eu lieu vers 6 Ma (Krijgsman *et al.* 1999) bien avant l'isolement de la Méditerranée et les dépôts des évaporites. Les premiers échanges de mammifères entre l'Afrique et l'Europe datent de 6,1 Ma (Benammi *et al.* 1996; Agusti *et al.* 2006), ce qui montre que des possibilités de passage continental existent avant le dépôt des évaporites. Dans le corridor sud rifain occidental, la remontée de l'arrière-pays commence au Messinien dans sa partie orientale avant de gagner la région occidentale (Cirac 1987). La fermeture définitive du corridor sud rifain a été estimée vers 5,6 Ma (Warny 1999). Au Pliocène inférieur, il y a accentuation de la remontée isostatique des marges et généralisation des dépôts sableux. L'abondance des apports détritiques forme une plate-forme dont la progradation provoque la fermeture de Saïa au niveau du seuil d'El Kansera (Cirac 1987). L'effondrement du détroit de Gibraltar permet le retour brutal de la mer Pliocène qui va envahir le domaine méditerranéen. Du côté atlantique, les effets de l'exhaussement du couloir sud rifain et son comblement annulent la transgression (Morel 1989).

CADRE BIOSTRATIGRAPHIQUE

Nos recherches palynologiques ont porté sur les sédiments du Tortonien et du Messinien inférieur du corridor sud rifain. La stratigraphie des échantillons a été établie par l'étude des foraminifères planctoniques (Barhoun 2000). Leur zonation se base sur la méthode

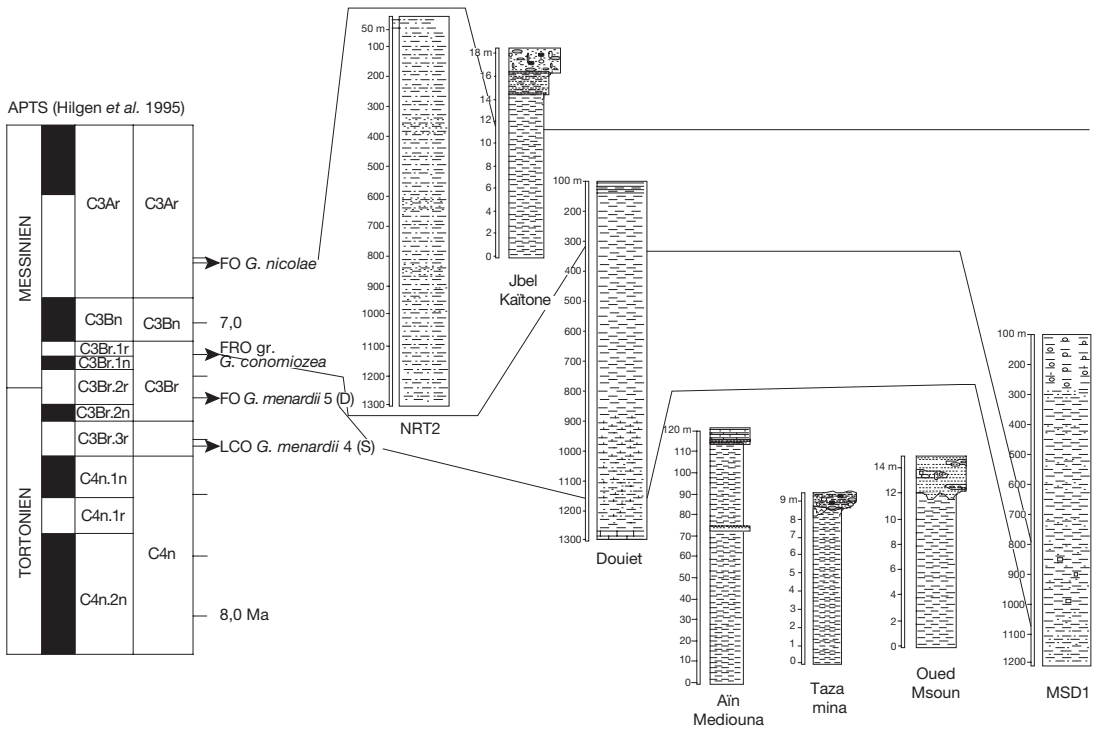


Fig. 3. — Corrélations biostratigraphiques entre les coupes étudiées et avec les événements de Hilgen *et al.* (1995) (d'après Barhoun 2000).

de datation adoptée par Sierro (1985), Sierro *et al.* (1993) et Hilgen & Krijgsman (1999). Cette méthode consiste en l'observation des événements des foraminifères planctoniques qui sont calibrés directement sur l'échelle magnétostratigraphique et l'échelle des temps astronomiques. La Figure 3 illustre la corrélation biostratigraphique entre les coupes étudiées et les événements de Hilgen *et al.* (1995).

LITHOLOGIE ET BIOSTRATIGRAPHIE DU FORAGE DOUIET

Le forage Douiet (bassin de Saïs) a été réalisé par le BRPM (Bureau de Recherches et Participations minières) en 1979 pour des recherches hydrogéologiques. Il est implanté à l'ouest de Merja Douiet ($x = 523,25$; $y = 382,50$; $z = 385$ m), le long de la route Fès-Sidi-Kacem (Fig. 4). Il a traversé les calcaires lacustres du Pliocène, ensuite les marnes

grises du Miocène supérieur et a atteint le substratum domérien dolomitique à 1316 m pour s'arrêter à la profondeur de 1516 m.

La lithologie de la partie correspondant à notre étude palynologique (de 100 à 1300 m) est faite de marnes grises plus ou moins plastiques. À sa base se trouve environ 10 m de calcaire gréseux alternant avec des marnes grises. Au sommet de la série marneuse se sont déposés des calcaires cristallins à intercalations de calcaire argileux (Fig. 5). Les prélèvements ont été effectués tous les 50 m.

L'étude biostratigraphique de ce forage a été effectuée par Slimane (1979) puis reprise par Wernli (1979, 1988). La datation précise de ce forage, effectuée par Barhoun (2000), montre la présence d'une microfaune riche en foraminifères planctoniques. La position de notre échantillonnage dans l'échelle biostratigraphique est la suivante (Fig. 6):

— de 417 à 123 m, la présence du groupe *G. miotumida* senestre et celle du groupe *G. scitula* dextre

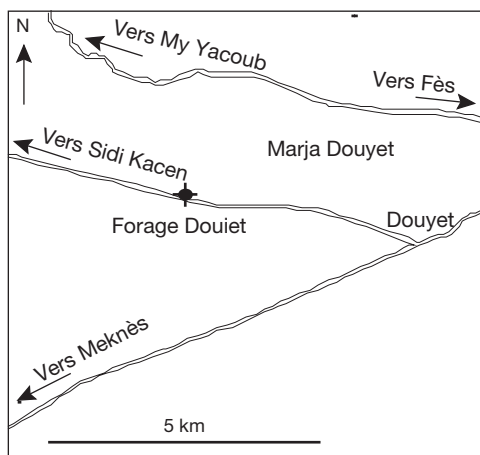
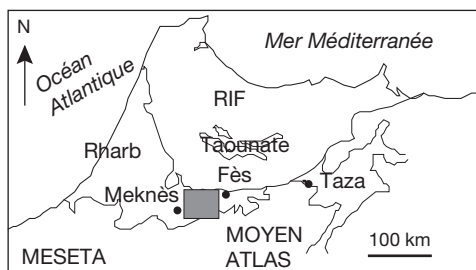


FIG. 4. — Localisation du forage Douyet, région du corridor rifain (Maroc).

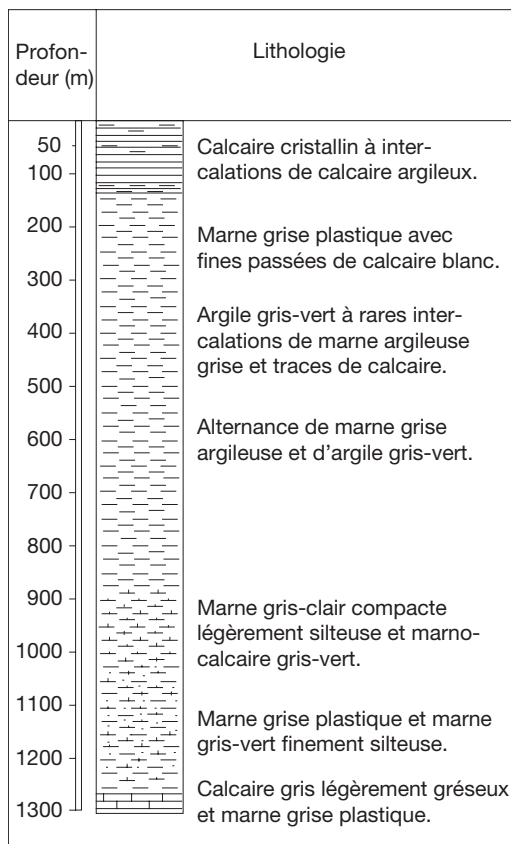


FIG. 5. — Lithologie du forage Douyet, région du corridor rifain (Maroc).

permettent de donner un âge messinien inférieur à ce niveau ;

– de 434 à 417 m, se localise le passage entre le Tortonien et le Messinien, il est marqué par le remplacement du groupe *G. menardii* dextre par le groupe *G. miotumida* senestre.

LITHOLOGIE ET BIOSTRATIGRAPHIE DU FORAGE MSD1

Le forage MSD1, situé dans le bassin de Taza-Guercif, a été implanté sur l'anticlinal d'Oulad Messaoud dans le but d'explorer les séries du Jurassique supérieur (Fig. 7). Ses coordonnées sont : $x = 677,478$; $y = 406,722$; $z = 459$ m. Il correspond à une série épaisse de 1 233 m de marnes et d'argiles grises qui repose sur le Jurassique supérieur (Fig. 8).

Du point de vue biostratigraphique, les foraminifères livrés par la série argileuse sont abondants et diversifiés dans la partie inférieure, et à partir de 792 m, ils deviennent rares (Fig. 9).

La présence du groupe *Globorotalia menardii* S, du groupe *G. menardii* D et du groupe *G. scitula* permet d'attribuer un âge tortonien moyen à supérieur aux marnes situées entre 1 202 et 904 m de profondeur (Fig. 9). Ces marnes se situent plus précisément entre l'événement 7 (LCO *G. menardii* 4) et l'événement 10 (FRO gr. *G. Conomiozea*) de Hilgen et al. (1995).

De 792 à 282 m, la présence régulière du groupe *G. miotumida* S, la rareté du groupe *G. scitula* S et l'absence de *G. nicolae* ont permis de dater

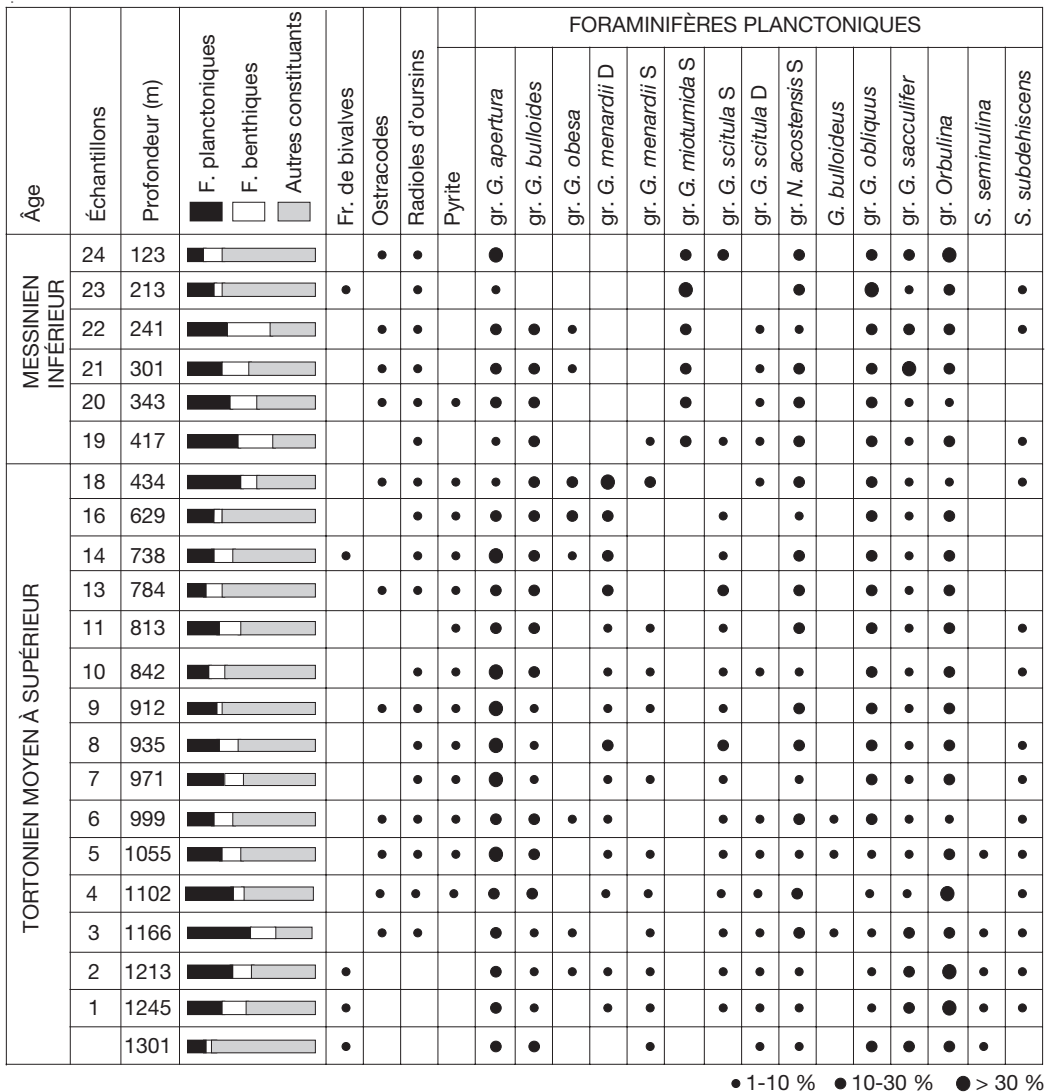


FIG. 6. — Répartition des foraminifères planctoniques dans le forage Douiet, région du corridor rifain (Maroc). Abréviations : F., foraminifères; Fr., fragments; G., *Globorotalia*; N., *Neogloboquadrina*; S., *Sphaeroidinellopsis*.

ces niveaux du Messinien inférieur, plus précisément entre la première occurrence régulière du groupe *G. miotumida* et la première apparition du *G. nicolae* (Fig. 9).

Entre 904 et 792 m, se situe le passage du Tortonien au Messinien (Fig. 9). Ce passage est marqué par le remplacement du groupe *G. menardii* D par le groupe *G. miotumida* S.

RÉSULTATS PALYNOLOGIQUES

Pour chaque section étudiée nous avons utilisé un diagramme synthétique dans lequel les différents taxons sont regroupés par affinité écologique (Figs 10; 11). Les fréquences de chaque taxon sont représentées dans des diagrammes polliniques détaillés (Bachiri Taoufiq 2000; Bachiri Taoufiq *et al.* 2001a, b).

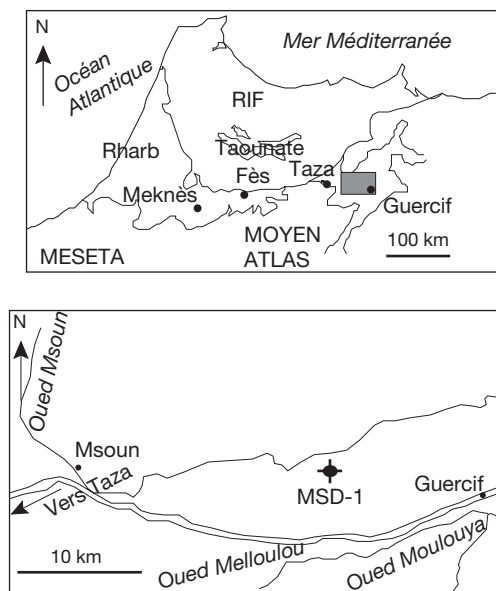


FIG. 7. — Localisation du forage MSD1, région du corridor rifain (Maroc).

FORAGE DOUIET

Le diagramme synthétique montre une richesse en herbacées et Pinaceae, essentiellement le genre *Pinus* (Fig. 10). Ces taxons montrent une chute aux niveaux 971 m (éch. 7) et 434 m (éch. 18).

Les pollens de *Cathaya* et de Cupressaceae se rencontrent aussi bien au Tortonien moyen-supérieur qu'au Messinien inférieur. Remarquons la présence de type-*Taxodium*, type-*Sequoia* et de *Sciadopitys*, mais d'une façon très sporadique. Il faut noter l'absence des éléments d'altitude (*Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*).

Les éléments mégathermes, sporadiques à rares, sont représentés uniquement par *Avicennia* au Tortonien moyen à supérieur et par *Avicennia* et type-*Canthium* au Messinien inférieur.

Les éléments de la flore méditerranéenne sont également présents. On distingue *Olea*, *Ziziphus*, *Cistus*, *Phillyrea* et *Pistacia*. Ces éléments ne dépassent pas 1 % alors que *Quercus* type-*ilex-coccifera* atteint 5 %.

Les feuillus sont dominés par *Quercus* avec des pourcentages variant entre 2 et 8 %. Les arbres tels que *Salix*, *Populus*, *Ulmus*, *Rhus*, *Betula*, *Ilex*,

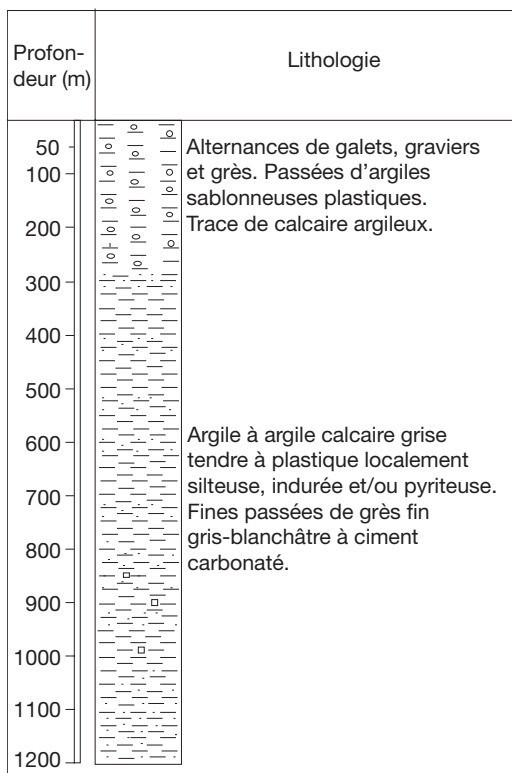


FIG. 8. — Lithologie du forage MSD1, région du corridor rifain (Maroc).

Acer, *Nyssa*, *Alnus*, *Buxus* et *Ligustrum* sont représentés d'une façon discontinue et avec un faible pourcentage.

Quant aux méga-mésothermes, ce sont les pollens d'*Engelhardia* qui prédominent et atteignent 5 %, les autres éléments de ce groupe sont rencontrés avec une faible fréquence et de façon sporadique.

La nature ouverte de la végétation est suggérée par l'abondance des Poaceae, Asteraceae et *Plantago*. On remarque aussi qu'au Tortonien, les Poaceae (32 %) prédominent alors qu'au Messinien inférieur ce sont les Asteraceae (20 %). Les pollens de *Plantago* ont été rencontrés le long de la coupe avec des pourcentages qui varient entre 3 et 7 %.

L'aridité du milieu est indiquée par la présence des éléments subdésertiques : *Lygeum*, *Calligonum*, *Erodium*, *Neurada*, *Ephedra* et *Artemisia* avec la dominance de *Lygeum*. On note d'une part que *Calligonum*

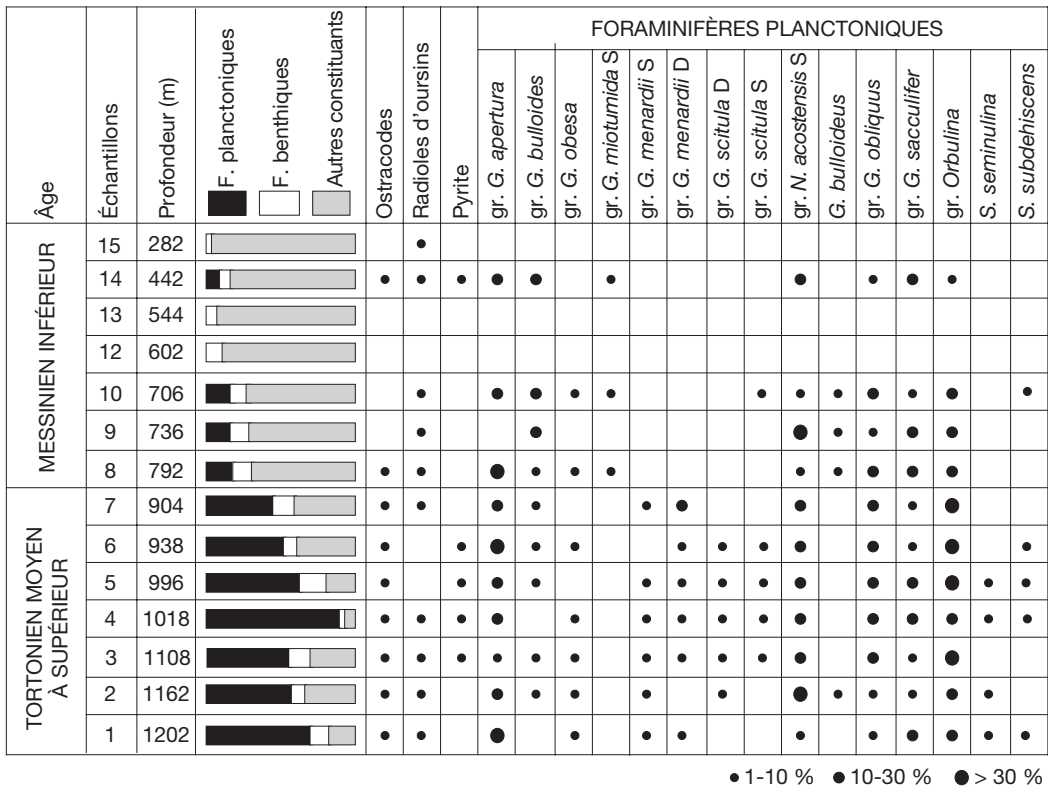


FIG. 9. — Répartition des foraminifères planctoniques dans le forage MSD1, région du corridor rifain (Maroc). Abréviations: F., foraminifères; Fr., fragments; G., *Globorotalia*; N., *Neogloboquadrina*; S., *Sphaeroidinellopsis*.

et *Ephedra* deviennent plus fréquents au Messinien inférieur et d'autre part que le genre *Neurada* se rencontre à la même période.

Les halophytes sont représentées par les Amaranthaceae-Chenopodiaceae (2 à 8 %), les Caryophyllaceae (< 1 %) et les Plumbaginaceae (jusqu'à 2 %). Il faut noter que les pollens des Amaranthaceae-Chenopodiaceae deviennent plus fréquents au Messinien inférieur où ils atteignent la valeur de 8 %.

Les autres éléments sans signification écologique ne dépassent pas 1 %.

FORAGE MSD1

Les échantillons du forage MSD1 ont livré une microflore en quantité suffisante. Le diagramme synthétique reflète dans l'ensemble la même image

floristique que pour Douiet (Fig. 11) : abondance des herbacées et des Pinaceae, présence des xérophytes méditerranéennes, des mégathermes, des mégamésothermes et des mésothermes (Fig. 11).

Pinus est largement répandu le long de la coupe. Il faut noter qu'à partir de la limite Tortonien-Messinien on remarque une chute des Pinaceae (Fig. 11). Cette chute peut être expliquée par le fait que le milieu devient de plus en plus proximal en relation avec le rétrécissement rapide du corridor rifain connu pendant cette limite (voir cadre géographique et géologique). Le pourcentage de *Cathaya* et des Cupressaceae ne dépasse pas 1 %.

Le groupe des mégathermes est représenté par *Avicennia* au Messinien inférieur et par *Avicennia* et les Acanthaceae au Tortonien moyen à supérieur; ces deux éléments sont sporadiques.

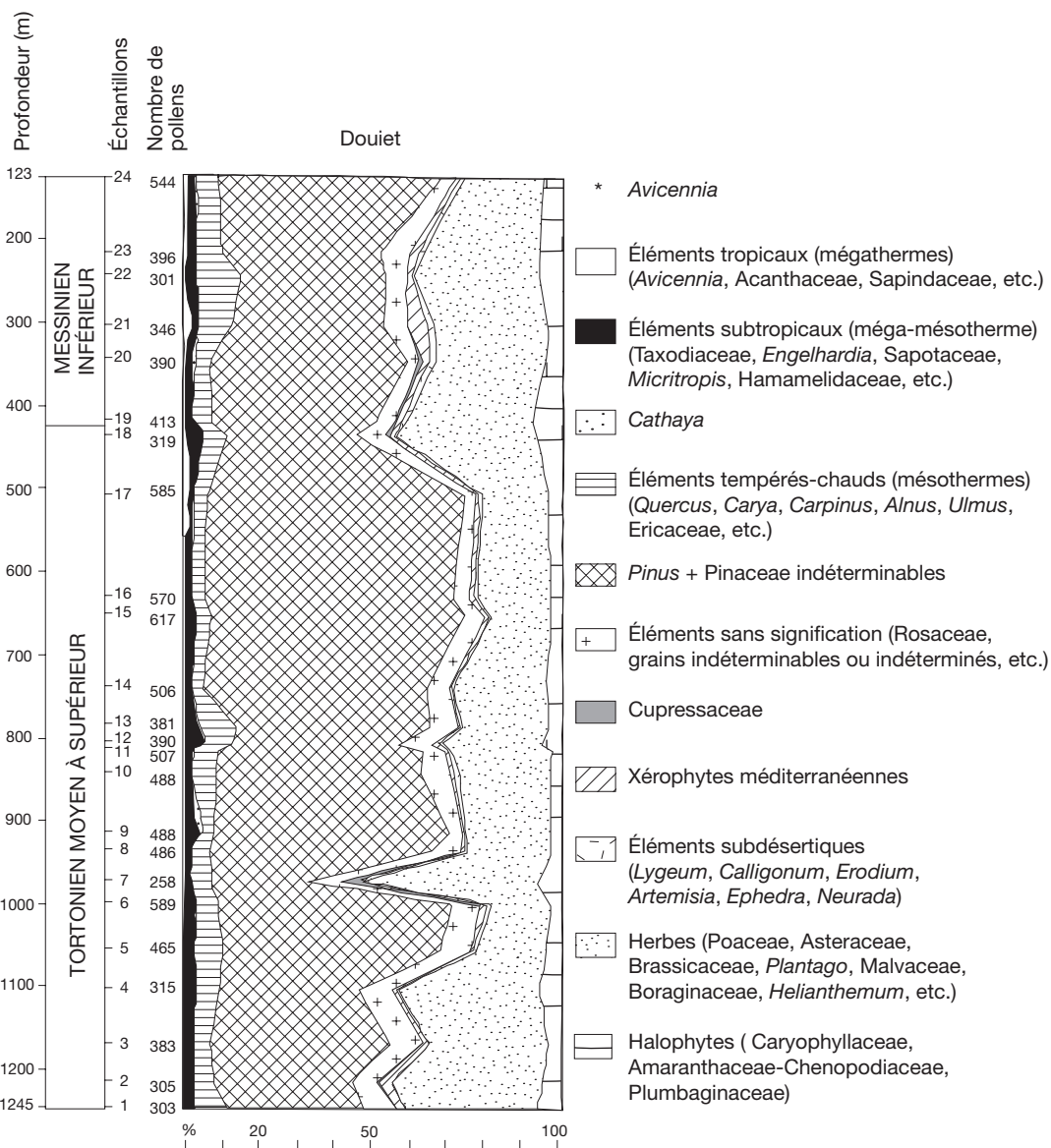


FIG. 10. — Diagramme pollinique synthétique du forage Douiet, région du corridor rifain (Maroc).

Parmi les éléments méga-mésotermes, on distingue : *Engelhardia* avec un pourcentage de 1 à 5 % au Tortonien moyen à supérieur, il devient plus faible au Messinien inférieur (< 1 %); les pollens de *Microtropis fallax* sont présents dans les deux périodes mais d'une façon discontinue; ceux de *Microtropis* cf. *fokiensis*, de *Nyssa* et des Hamamelidaceae se

rencontrent essentiellement au Messinien inférieur. On note l'absence de *Myrica*.

Les feuillus sont dominés par *Quercus*, accompagné par : *Buxus*, *Ulmus*, *Nyssa*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Populus*, *Betula*, *Ilex* et *Rhus* qui apparaissent de façon sporadique et avec des faibles pourcentages (< 1 %).

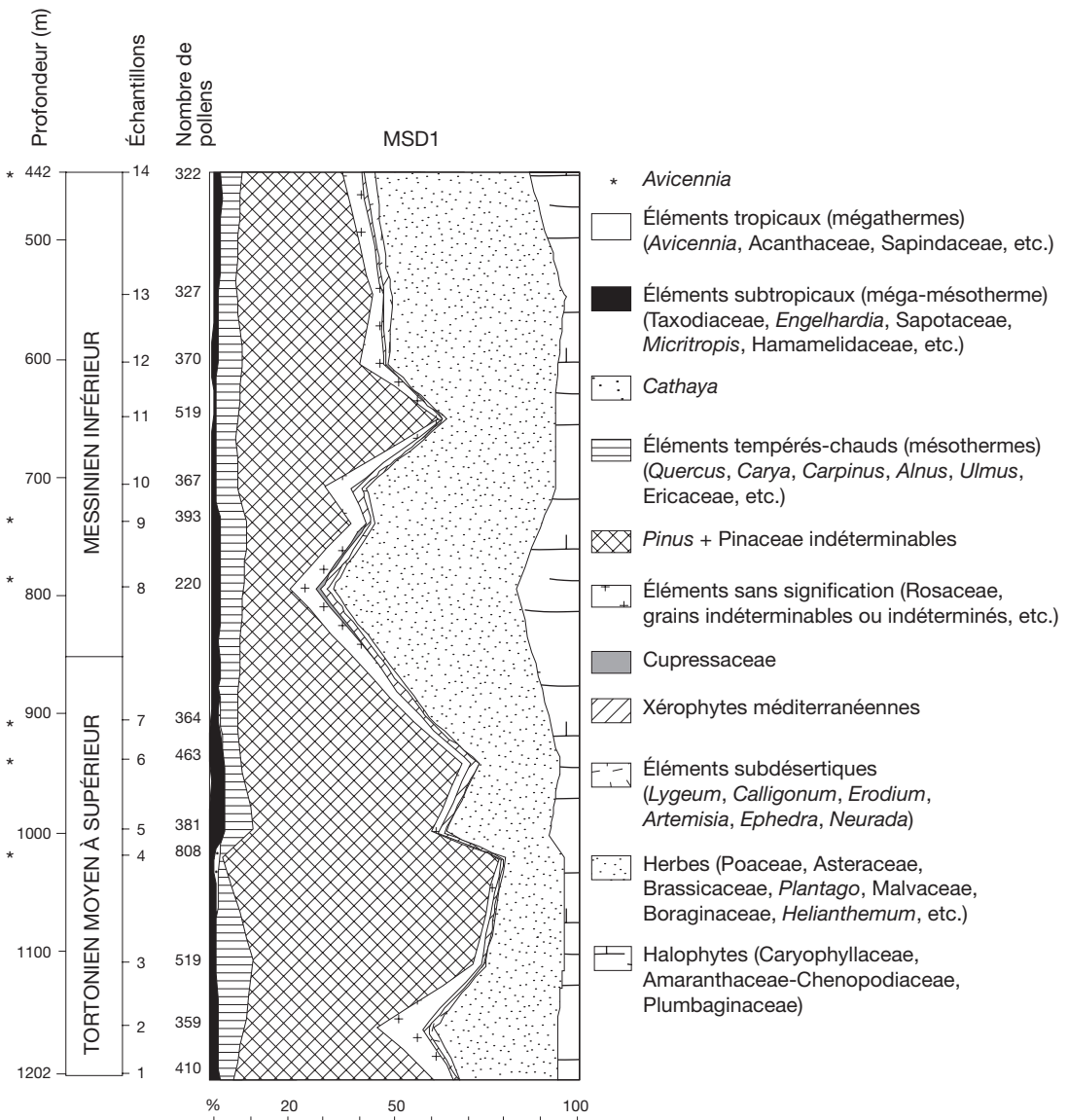


FIG. 11. — Diagramme pollinique synthétique du forage MSD1, région du corridor rifain (Maroc).

Les Poaceae, les Asteraceae-Asteroidae et les Asteraceae-Cichoroideae dominent parmi les herbacées. Il faut noter qu'au Tortonien moyen à supérieur les Poaceae prédominaient les Asteraceae et inversement au Messinien inférieur. *Plantago* est représenté par une fréquence inférieure et suit la même évolution que les Asteraceae pendant le Tortonien et le Messinien.

Les halophytes sont composées des Plumbaginaceae, Caryophyllaceae et Amarantaceae-Chenopodiaceae. Les Amarantaceae-Chenopodiaceae sont dominantes, leur fréquence augmente au Messinien inférieur (15 %); par rapport au Tortonien moyen à supérieur, où elles ont une fréquence comprise entre 0,2 et 6 %. D'autres composants herbacés

(*Linum*, *Rumex*, Fabaceae, Cyperaceae, Lamiaceae, Rosaceae, *Knautia*, Boraginaceae, *Helianthemum*, etc.) qui n'ont pas de signification écologique, ne dépassent pas 1 %.

Les éléments subdésertiques sont représentés par *Ephedra*, *Artemisia*, *Erodium*, *Lygeum* et *Caligonum*.

Dans le groupe des éléments méditerranéens *Quercus* type-*ilex-coccifera* réalise le pourcentage le plus élevé (4 %), *Olea* arrive à 1% alors que les fréquences des autres éléments de ce groupe ne dépassent pas 1 % (*Ziziphus*, *Cistus*, *Phillyrea*, *Pistacia* et *Rhamnus*).

DISCUSSION

LA VÉGÉTATION

La microflore tortono-messinienne du corridor sud rifain se caractérise par des éléments qui habitent aujourd'hui différentes régions. Plusieurs taxons qui peuplaient les rivages du corridor sud rifain montrent une affinité au niveau du genre et des familles avec des groupements de végétation actuels de Chine, des îles Canaries et des rivages de la mer Rouge. Mais il est clair qu'une seule de ces régions ne peut servir de modèle pour la reconstitution des paysages végétaux du corridor rifain.

On remarque la présence, dans un même spectre pollinique, de taxons dont les exigences climatiques sont différentes.

Dans cette reconstitution de la végétation on tiendra principalement compte des éléments à exigence écologique et climatique connue qui vont nous servir de taxons guides comme par exemple *Avicennia*, *Engelhardia*, *Microtropis fallax*, *Cathaya*, *Ziziphus*, *Lygeum*, *Neurada*, etc. On se basera donc sur des éléments ayant une exigence thermique et hydrique connue. Pour la reconstitution de la végétation on prendra également en considération des modèles de végétation actuels (Chine, îles Canaries, etc.) dont les flores ont une affinité avec celles du Tortono-Messinien du corridor rifain. Les îles Canaries sont situées à proximité des rives du Maroc. L'exemple de la mer Rouge sera évoqué pour ses écosystèmes littoraux. Soulignons que la comparaison avec ces divers écosystèmes ne peut être que très imparfaite

en raison même des difficultés que rencontre la méthode pollinique.

Pour la restitution complète de l'environnement il faut également considérer la présence des formations coralliennes. Au Miocène terminal (sur la bordure septentrionale du Moyen Atlas) se développaient des édifices coralliens dans le couloir sud rifain (Saint Martin & Charrière 1989; Saint Martin & Rouchy 1990; Bernini *et al.* 1996). Il faut noter que les récifs coralliens actuels peuplent les mers chaudes. Leur extension vers le nord (Californie, Floride, Japon) est limitée par l'isotherme 20 °C de l'eau pendant la saison la plus froide. Les températures maximales où se développent aujourd'hui les récifs coralliens se situent entre 28 et 32° de latitude nord (Chikhi 1992a).

En arrière des formations coralliennes se succédaient plusieurs formations végétales : de la formation ouverte de basse plaine à la formation arborée de moyenne altitude.

Formation ouverte de plaine littorale

Cette formation a été mise en évidence dans tous les affleurements et les forages étudiés aussi bien au Tortonien moyen à supérieur qu'au Messinien inférieur.

Les milieux littoraux du corridor sud rifain au Miocène supérieur se caractérisent par la présence d'un indicateur de conditions thermiques élevées, la mangrove à *Avicennia* qui peuplait (probablement de façon discontinue) le littoral. Comme pour les formations coralliennes, ce type de mangrove appauvrie, se rencontre actuellement entre 28 et 32° de latitude nord; son extension septentrionale est limitée par l'isotherme d'hiver 20 °C de l'eau marine. Cette espèce habite aujourd'hui les régions de basse latitude caractérisées par un climat tropical à subtropical. On la rencontre par exemple le long de la mer Rouge (Kassas 1956, 1957). L'existence de ce type de mangrove appauvrie en Méditerranée nord-occidentale est documentée du Miocène inférieur au Miocène moyen (Bessedik 1984, 1985; Bessedik *et al.* 1984), en Méditerranée sud-occidentale (Sicile, Algérie, Maroc) jusqu'au Messinien (Suc & Bessais 1990; Chikhi 1992a, b; Bachiri Taoufiq 2000; Bachiri Taoufiq *et al.* 2001a, b).

À cette mangrove devait succéder une zone à herbacées xérophiles et halophiles réparties sur une vaste plaine littorale. Cette zone était peuplée par les Asteraceae (Cichorioideae et Asteroideae), Poaceae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, Plumbaginaceae, *Plantago*, etc. La présence des éléments xériques *Lygeum*, *Erodium*, *Ziziphus*, *Artemisa* et *Ephedra*, témoignent de l'aridité de cette zone. Des arbres et arbustes appartenant aux Arecaceae, Sapotaceae, Sapindaceae, Euphorbiaceae et Rubiaceae (type-*Canthium*) pouvaient se développer dans quelques endroits plus humides.

La transition entre la végétation ouverte décrite auparavant et la végétation de type forestière devait se faire par l'intermédiaire d'une végétation de type méditerranéen, constituée par *Olea*, *Ziziphus*, *Phillyrea*, *Quercus* type-*ilex-coccifera* et *Cistus*.

Formations forestières

Au-dessus du groupement méditerranéen devaient se développer soit des éléments décidus représentés par *Quercus*, *Celtis*, *Ulmus*, *Rhus*, *Acer*, *Salix*, *Populus*, Ericaceae, *Betula* et *Carpinus* (dans le bassin du Rhab), soit des éléments sempervirents comme Abietaceae, Sapotaceae, Arecaceae, *Ricinus*, cf. *Corylopsis*, *Ilex* type-*floribinda*, *Microtropis fallax*, *M. fokiensis* et *Engelhardia*.

Autour des lacs et le long des cours d'eau ou sur des terrains humides pouvaient se développer des plantes hygrophiles comme *Salix*, *Populus*, des Ericaceae *p.p.*, Sapotaceae, Arecaceae, Celastraceae. Les sols mieux drainés étaient probablement occupés par les plantes moins exigeantes en humidité (*Quercus*, *Ulmus*, *Betula*, *Acer*, *Rhus*). Cette forêt mixte mésophile passait en altitude et vers l'arrière-pays à une végétation constituée essentiellement de *Cathaya* et de Cupressaceae à laquelle les taxons sempervirents pouvaient aussi participer. Les pins devaient habiter les différents étages végétaux. La rareté des arbres d'altitude (*Cedrus*, *Abies*, *Picea*) suggère que les reliefs étaient peu élevés.

CLIMAT

La flore pollinique identifiée dans les sondages étudiés, est caractérisée par un mélange de taxons de milieux secs, tempérés et subtropicaux à tropicaux

indiquant un certain étagement de la végétation (Bessedik 1985 ; Suc 1986, 1989).

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déduire des paramètres climatiques globaux. Ainsi la température moyenne annuelle (T_{ann}) peut être estimée à partir de conditions écologiques actuelles pour des groupements végétaux (Nix 1982) : éléments mégathermes (24 °C), éléments méga-mésothermes (20-24 °C), éléments mésothermes (14-24 °C) et éléments microthermes (10-14 °C). Concernant l'humidité on peut utiliser le rapport Poaceae/Asteraceae (Cour & Duzer 1978) ou appliquer une fonction de transfert aux données polliniques par rapport à leur fréquences et les paramètres climatiques actuels de taxa (Fauquette *et al.* 1998).

Les marqueurs bioclimatiques

Les éléments mégathermes (tropicaux). Les éléments identifiés dans les coupes étudiées sont : *Avicennia*, des Sapindaceae, et Acanthaceae (type-*Canthium*). Ces taxa ont une représentation sporadique, le seul élément qui peut être pris en compte est *Avicennia* qui indique une moyenne annuelle de température aux alentours de 20 °C.

Les éléments méga-mésothermes (subtropicaux).

Ce groupe est relativement plus important que le précédent (2 à 5 % par rapport aux autres groupes). On y distingue *Microtropis fallax*, *M. cf. fokiensis*, des Taxodiaceae, *Engelhardia*, des Sapotaceae, Arecaceae et *Cathaya*, ce dernier était présent dans toutes les coupes étudiées. Selon les valeurs de température moyenne annuelle (T_{ann}) et des précipitations (P_{ann}) précisée pour *Microtropis fallax* ($T_{ann} = 22-25$ °C ; $P_{ann} = 1\ 700-2\ 500$ mm/an), des Taxodiaceae ($T_{ann} = 16-25$ °C ; $P_{ann} = 1\ 100-2\ 400$ mm/an), *Engelhardia* ($T_{ann} = 15-25$ °C ; $P_{ann} = 800-2\ 000$ mm/an), *Cathaya* ($T_{ann} = 10-20$ °C ; $P_{ann} = 1\ 000-1\ 600$ mm/an) par Fauquette *et al.* (1998) on peut déduire un climat chaud avec une certaine humidité, notamment en altitude, confirmé aussi par la présence des éléments mésothermes qui prendront une certaine importance dans la végétation tortono-messinienne.

Les éléments mésothermes. Ils sont représentés par *Carpinus* (bassin du Rhab), *Alnus*, *Quercus*, *Carya*,

Ericaceae, *Celtis*, *Ulmus*, *Rhus*, etc. Les herbes sont dominantes dans les coupes étudiées et sont représentées surtout par les Poaceae et les Asteraceae.

Le rapport Poaceae/Asteraceae. Pour obtenir une valeur globale des variations des précipitations pour la région étudiée on utilise le rapport Poaceae/Asteraceae, taxons qui ont une signification opposée du point de vue hydrique et qu'on rencontre régulièrement dans nos coupes. Cette approche présente l'avantage de soustraire les taxons pris comme référence de l'influence numérique (dans les pourcentages) des autres taxons, notamment du pin, comme c'est le cas dans tout diagramme pollinique. Ainsi, selon Cour & Duzer (1978) un rapport Poaceae/Asteraceae > 20 indique un climat relativement humide, avec des précipitations ne dépassant 500 mm/an, à l'opposé un rapport Poaceae/Asteraceae < 20 qui indique un climat aride avec des précipitations annuelles qui ne dépassent 500 mm/an (P. Cour comm. pers.). Ainsi les conditions sèches favorisent le développement des Asteraceae tandis que les conditions humides favorisent celui des Poaceae. Une exception à cette approche est donnée par la présence de *Lygeum* (Poaceae), qui indique un climat aride ($T_{\text{ann}} = 16-21$ °C) avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 150 à 400 mm (Fauquette *et al.*, 1998).

Le climat du sillon sud rifain au Tortonien moyen à supérieur

Basse altitude. On a signalé plus haut l'existence d'une formation corallienne et d'une mangrove appauvrie à *Avicennia* qui est limitée par l'isotherme d'hiver 20 °C pour la température de l'eau de mer. Dans le sillon sud rifain on note l'absence des microthermes, la présence des mégathermes, méga-mésothermes et des mésothermes. Ceci nous conduit à estimer une température moyenne annuelle de basse plaine comprise entre 20 et 24 °C environ, ce qui est en accord avec la présence de taxons comme *Avicennia* et *Lygeum* (Fauquette *et al.* 1998). Les précipitations y étaient vraisemblablement très faibles (moins de 500 mm par an). Ces estimations sont cohérentes avec le rapport Poaceae/Asteraceae qui est égal ou inférieur à quatre dans toutes les coupes du Tortonien moyen (Fig. 12). On peut conclure

que les milieux de basse altitude appartenait au domaine subdésertique.

On remarque aussi qu'au Tortonien supérieur la moyenne des rapports Poaceae/Asteraceae de toutes les coupes étudiées du sillon sud rifain dépasse la valeur 1 (Bachiri Taoufiq 2000). Les Poaceae prédominaient les Asteraceae et les conditions étaient alors légèrement plus humides.

Moyenne altitude. Les températures toujours élevées ($T_{\text{ann}} = 18-21$ °C) devaient encore caractériser la zone de moyenne altitude où vivaient *Engelhardia*, *Microtropis fallax* et *Cathaya*, avec des précipitations probablement légèrement plus élevées liées à un microclimat montagnard.

Le climat du sillon sud rifain au Messinien inférieur

La flore pollinique du Messinien inférieur évoque des conditions comparables à celles estimées pour le Tortonien moyen à supérieur. Néanmoins la valeur moyenne des rapports Poaceae/Asteraceae est inférieure à 1 au Messinien inférieur indiquant des conditions climatiques probablement légèrement plus sèches que celles du Tortonien (Fig. 12). On remarque aussi qu'au Messinien inférieur, le genre *Carpinus* est fréquent dans le bassin du Rharb (Bachiri Taoufiq 2000) alors qu'il est rare dans les coupes contemporaines du bassin du Saïs et celui de Taza-Guercif. La position proximale du bassin du Rharb par rapport à l'Atlantique, donc sous l'influence des masses d'air humide d'origine marine, peut expliquer la présence de *Carpinus* dans ce bassin. Les autres bassins se situent plus loin des influences océaniques.

Les milieux de basse altitude du corridor sud rifain devaient être soumis à des conditions climatiques chaudes et sèches; légèrement plus sèches au Messinien qu'au Tortonien. L'analogue actuel du Messinien sud rifain pourrait être le littoral de la mer Rouge (Suc & Bessais 1990), compte tenu de la présence simultanée d'*Avicennia* et d'une formation à herbacées xérophiles soulignant l'aridité du milieu. À moyenne altitude la présence d'une formation mixte mésophile indique un climat de type tropical à subtropical modérément humide.

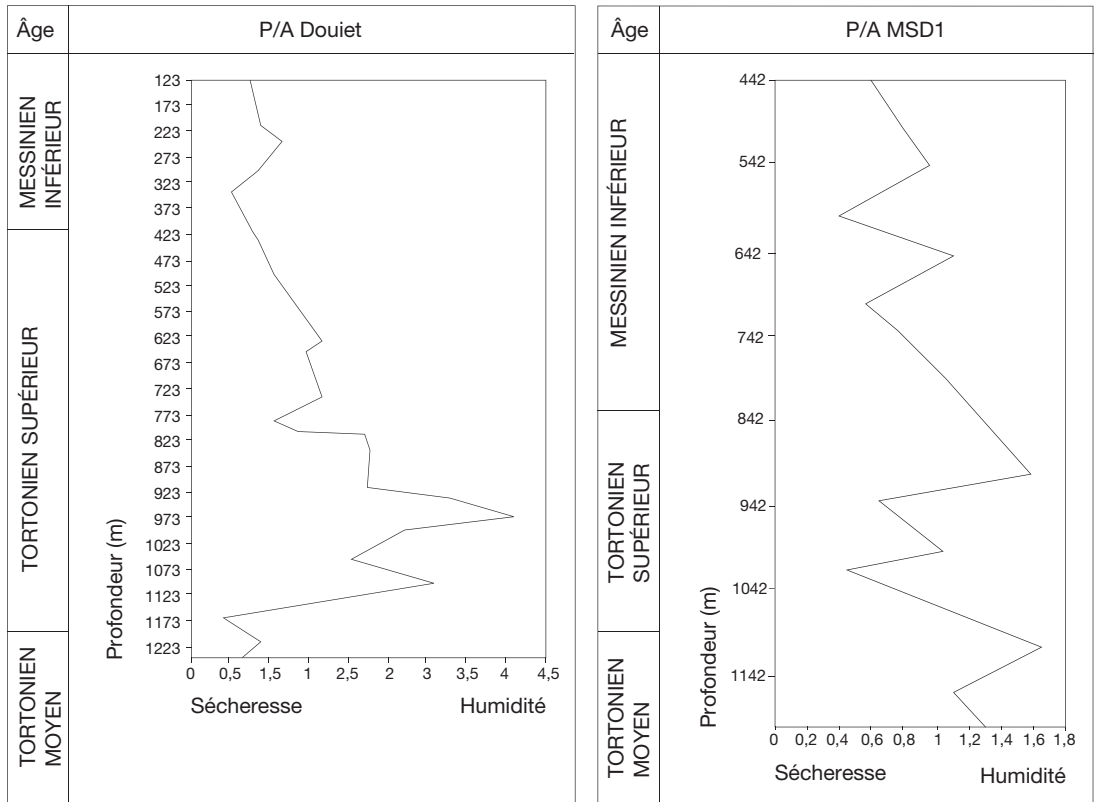


FIG. 12. — Les courbes du rapport Poaceae/Asteraceae (P/A) des forages Douiet et MSD1, région du corridor rifain (Maroc).

CONCLUSION

L'analyse pollinique révèle une flore diversifiée, composée d'éléments habitant aujourd'hui les régions intertropicales (*Avicennia*, type-*Canthium*, Euphorbiaceae, Sapindaceae, etc.), les régions subtropicales à tempérées-chaudes d'Amérique et d'Asie (*Engelhardtia*, Sapotaceae, Araceae, *Ricinus*, cf. *Corylopsis*, *Ilex type-floribunda*, *Microtropis fallax*, *Nyssa* et *Microtropis* cf. *fokiensis*) à côté d'éléments vivant actuellement toujours en Europe (*Quercus*, *Celtis*, *Ulmus*, *Rhus*, *Acer*, *Salix*, *Populus*, Ericaceae, *Betula*, *Carpinus*, etc.) et dans les régions méditerranéennes (*Olea*, *Ziziphus*, *Phillyrea*, *Quercus* type-*ilex-coccifera*, *Pistacia* et *Cistus*). Les éléments représentatifs des milieux subdésertiques et des formations végétales ouvertes généralement xériques (Asteraceae Asteroideae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae,

Plumbaginaceae, *Plantago*, *Erodium*, etc.) réalisent des pourcentages élevés.

La reconstitution de la végétation a été basée sur des modèles actuels. Ainsi propose-t-on une végétation de basse altitude dominée par des formations ouvertes subdésertiques ressemblant fortement à celles qui caractérisent encore les régions subdésertiques du Maroc comme la région de Guercif. La mangrove à *Avicennia* se développait sur le littoral. À moyenne altitude, des formations végétales forestières mixtes relayaient la végétation herbacée. Les groupements de haute altitude à *Cedrus* et *Abies* qui peuplent aujourd'hui les montagnes du Maroc n'ont pas été enregistrés.

L'ensemble de ces groupements végétaux témoigne de l'existence d'un climat chaud, tropical à subtropical, et xérique sur la plaine littorale. En se basant sur le rapport Poaceae/Asteraceae, des variations

mineures concernant l'humidité ont pu être mises en évidence au Tortonien moyen à supérieur et au Messinien inférieur. Le Messinien inférieur était légèrement plus sec que le Tortonien moyen à supérieur. La prédominance quantitative des éléments méga-mésothermes et mésothermes du côté occidental du corridor rifain aussi bien que leur plus grande diversité s'explique par l'influence océanique qui devait caractériser ce secteur.

Remerciements

Les échantillons des forages étudiés nous ont été confiés par l'Office national des Hydrocarbures et des Mines (Maroc) et ont été traités dans le laboratoire de Palynologie de cet office. À cette occasion nous tenons à remercier MM. Demnati, Dakki et Azmani pour leur soutien. Nos remerciements s'adressent également aux rapporteurs qui ont contribué par leurs remarques constructives à l'amélioration de cet article.

RÉFÉRENCES

- AGUSTI J., OMS O., FURIO M., PEREZ-VILA M.-J., ROCA E., 2006. — The Messinian terrestrial record in the Pyrenees: the case of Can Vilella (Cerdanya Basin). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 238: 179-189.
- AIT BRAHIM L. 1983. — *Étude de la déformation du Néogène à l'Actuel sur la bordure sud-rifaine dans le contexte du rapprochement des plaques Afrique-Europe*. Thèse de 3^e cycle, université Mohamed V, Rabat, Maroc, 178 p.
- BACHIRI TAOUFIQ N. 2000. — *Les environnements marins et continentaux du corridor rifain au Miocène supérieur d'après la palynologie*. Thèse d'état es Sciences, université Hassan II-Mohammedia, Casablanca, Maroc, 206 p.
- BACHIRI TAOUFIQ N., BARHOUN N., SUC J.-P., MEON H., ELAOUAD Z. & BENBOUZIANE A. 2001a. — Environnement, végétation et climat du Messinien au Maroc. *Paleontologia i evolució* 32-33: 127-138.
- BACHIRI TAOUFIQ N., BARHOUN N. 2001b. — La végétation, le climat et l'environnement marin au Tortonien dans le bassin de Taza-Guercif (corridor rifain, Maroc oriental) d'après la palynologie. *Geobios* 3 (1): 13-24.
- BARHOUN N. 2000. — *Biostratigraphie et paléoenvironnement du Miocène supérieur et du Pliocène inférieur du Maroc septentrional: apport des foraminifères planctoniques*. Thèse d'État es Sciences, université Hassan II-Mohammedia, Casablanca, Maroc, 272 p.
- BENAMMI M., CALVO M., PREVOT M. & JAEGER J. J. 1996. — Magnetostratigraphy and paleontology of Ait Kandoula basin (High Atlas, Morocco) and the African-European late Miocene terrestrial fauna exchanges. *Earth and Planetary Science Letters* 145: 15-29.
- BERNINI M., BOCCALETTI M., EL MOKHTARI J., GELATI R., MORATTI G. & PAPANI G. 1994. — The Neogene Taza-Guercif Basin. Excursion guidebook. *RCMNS. Interim Colloquium "Neogene Basin Evolution and Tectonics in the Mediterranean Area"*, Rabat: 1-57.
- BERNINI M., BOCCALETTI M., EL MOKHTARI J., GELATI R., MORATTI G. & PAPANI G. 1996. — Neogene sedimentary and tectonic evolution of the Taza-Guercif basin. Its significance in the Rif-Middle Atlas orogenic system. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc* 387: 85-96.
- BESSEDIK M. 1984. — The early Aquitanian and upper Langhian-lower Serravalian environments in the Northwestern Mediterranean region. *Paléobiologie continentale* 14 (2): 153-179.
- BESSEDIK M., GUINET P. & SUC J.-P. 1984. — Données paléofloristiques en Méditerranée nord-occidentale depuis l'Aquitainien. *Revue de Paléobiologie*, volume spécial 1: 25-31.
- BESSEDIK M. 1985. — *Reconstitution des environnements miocènes des régions nord-ouest méditerranéennes à partir de la palynologie*. Thèse de Doctorat d'État es Science, USTL, Montpellier, France, 162 p.
- BOUAB B. 1992. — *Les ostracodes du Néogène supérieur du Maroc nord-oriental: évolution des paléoenvironnements, paléogéographie*. Thèse d'État es Sciences, université de Bordeaux I, France, 278 p.
- CHIKHI H. 1992a. — *Palynoflore du Messinien infra-évanoritique de la série marno-diatomitique de Sabaouria (Beni-Chougrane) et de Chabet Bou Seter (Tessala), bassin du Chelif, Algérie*. Thèse, université d'Oran, Algérie, 169 p.
- CHIKHI H. 1992b. — Une palynoflore méditerranéenne à subtropicale au Messinien pré-évanoritique en Algérie. *Géologie méditerranéenne* 19 (1): 19-30.
- CIRAC P. 1987. — Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Évolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. *Mémoires de l'Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine* 21: 1-287.
- CIRAC P. & PYPQUET J.-P. 1983. — Paléoenvironnement néogènes dans les bassins océaniques ibéro-marocains. Relations paléohydrologiques Méditerranée-Atlantique. *Oceanologica acta* 6 (2): 147-156.
- COLETTA B. 1977. — *Évolution néotectonique de la partie méridionale du bassin de Guercif (Maroc oriental)*. Thèse de 3^e cycle, université de Grenoble, France, 136 p.

- COUR P. & DUZER D. 1978. — La signification climatique, édaphique et sédimentologique des rapports entre taxons en analyse pollinique. *Annales des Mines de Belgique* 7-8: 155-164.
- DERCOURT J., ZONENSHAIN L. P., RICOU L. E., KAZMIN V. G., LE PICHON X., KNIPPER A. L., GRANDJACQUET C., SBORSHCHIKOV I. M., BOULIN J., SOROKHITIN O., GEYSSANT J., LEPVRIER C., BIJU-DUVALL B., SIBUET J. C., SAVOSTIN L. A., WESTPHAL M. & LANER J. P. 1986. — Geological evolution of the Tethys belt from Atlantic to Pamir since Liassic. *Tectonophysics* 123 (1-4): 241-315.
- EL BOUDALI N. 1991. — *Reconstitution des paléoenvironnements du bassin de Taounate au Miocène supérieur à l'aide des foraminifères planctoniques: étude sédimentologique, biostratigraphique, paléoclimatique et taxinomique*. Thèse de 3^e cycle, université Mohamed V, Rabat, Maroc, 282 p.
- EL HAMZAOUI O. & LACHKHEM H. 1994. — Les affleurements récifaux de Bou Meriem (région de Tazouta; sud-est de Fès; bordure sud du sillon sud rifain; Maroc). *RCMNS. Interim colloquium "Neogene Basin Evolution and Tectonics of the Mediterranean Area"* Rabat, April 7-8, Abstracts: 31.
- EL HAMZAOUI O. & LACHKHEM H. 1998. — L'affleurement récifal (Miocène terminal) d'Aghram Amallal (sud-est de Fès; Maroc): paléontologie, paléoécologie et contrôle tectono-sédimentaire. *Africa Geoscience Review* 5 (1-2): 135-144.
- FAUGÈRES J. C. 1978. — *Les rides sud rifaines. Évolution sédimentaire et structurale d'un bassin atlantico-mésogéen de la marge africaine*. Thèse de Doctorat d'État, université Bordeaux I, France, n° 290, 510 p.
- FAUQUETTE S., QUEZEL P., GUIOT J & SUC J.-P. 1998. — Signification bioclimatique des taxons-guides du Pliocène méditerranéen. *Geobios* 31 (2): 151-169.
- FAUQUETTE S., SUC J.-P., BERTINI A., POPESCU S.-M., WARNY S., BACHIRI TAOUFIQ N., PEREZ VILLA M.-J., CHIKHI H., FEDDI N., SUBALLY D., CLAUSON G., FERRIER J. 2006. — How much did climate force the Messinian salinity crisis? Quantified climatic conditions from pollen records in the Mediterranean region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 238: 281-301.
- FLINCH J. F. 1993. — *Tectonic Evolution of the Gibraltar Arc*. Ph.D., Rice University, Houston, USA, 380 p.
- HILGEN F. J., KRIJGSMAN W., LANGEREIS C. G., LOURENS L. J., SANTARELLI A. & ZACHARIASSE W. J. 1995. — Extending the astronomical (Polarity) time scale into the Miocene. *Earth and Planetary Science Letters* 136: 495-510.
- HILGEN F. J. & KRIJGSMAN W. 1999. — Cyclostratigraphy and astrochronology of the Tripoli diatomite formation (pre-evaporite Messinian, Sicily, Italy). *Terra Nova* 11: 16-22.
- HODELL D. A., BENSON R. H., KENNETH J. P. & RAKIC EL BIED K. 1989. — Stable isotope stratigraphy of late Miocene-Early Pliocene sequence in northwest Morocco: the Bou Regreg Section. *Paleoceanography* 4 (4): 467-482.
- HODELL D. A., BENSON R. H., KENT D. V., BOERSEMA A., & RAKIC EL BIED K. 1994. — Magnetostratigraphic, biostratigraphic, and stable isotope stratigraphy of an upper Miocene drill core from the Salé Briqueterie (northwestern Morocco): A high-resolution chronology for the Messinian stage. *Paleoceanography* 9 (6): 835-855.
- KASSAS M. 1956. — The mist oasis of Erkwit, Sudan. *Journal of Ecology* 44 (1): 180-194.
- KASSAS M. 1957. — On the ecology of the Red Sea coastal Land. *Journal of Ecology* 45 (1): 187-203.
- KILI M. 1993. — *Les ostracodes néogènes du sillon sud rifain (bassin du Rharb, de Saïs et de Taounate): paléontologie, paléoenvironnements et paléogéographie*. Thèse de DÈS, université de Rabat, Maroc, 191 p.
- KRIJGSMAN W., LANGEREIS C. G., ZACHARIASSE W. J., BOCCALETTI M., MORATTI G., GELATI R., IACCARINO S., PAPANI G. & VILLA G. 1999. — Late Neogene evolution of the Taza-Guercif basin (Rifian corridor, Morocco) and implications for the Messinian salinity crisis. *Marine Geology* 153: 147-160.
- MARTIN J. 1977. — *Le Moyen Atlas central. Étude géomorphologique*. Thèse de doctorat d'État, université Paris VI, France.
- MONIE P., FRIZON DE LAMOTTE D. & LEIKIEN M. 1984. — Étude géochronologique préliminaire par la méthode ³⁹Ar/⁴⁰Ar du métamorphisme alpin dans le rif externe (Maroc). Précisions sur le calendrier tectonique tertiaire. *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique* 25: 307-317.
- MOREL J. L. 1989. — États de contrainte et cinématique de la chaîne rifaine (Maroc) du Tortonien à l'actuel. *Geodinamica Acta* 3 (4): 283-294.
- NIX H. 1982. — Environmental determinant of biogeography and evolution in Terra Australis, in BARKER W. R. & GREENSLADE P. J. M. (eds), *Evolution of the Flora and Fauna of Arid Australia*. Peacock Publication, Fremville: 47-66.
- ONAREP 1996. — *History of Petroleum Exploration in Morocco*, Unpublished internal report.
- PEYPOUQUET J. P., CARBONEL P. & CIRAC P. 1980. — *Les ostracodes et les paléoenvironnements profonds du sillon sud-rifain au Mio-Pliocène*. 8^e RAST, Marseille, Société géologique de France, Paris, 282 p.
- REZQI H. 1989. — *Les foraminifères benthiques du Néogène supérieur du sillon sud rifain et du Rif nord-oriental (Maroc): systématique, paléoécologie et paléobiogéographie*. Thèse de doctorat, université Lyon I, France, 119 p.
- SAINT MARTIN J.-P. & CHARRIÈRE A. 1989. — Les édifices coralliens marqueurs de l'évolution paléogéographique en bordure du Moyen Atlas (Maroc).

- Sciences géologiques* 84: 83-94.
- 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 (VI-1): 83-94.
- SAMAKA F., BENYAICH A., DAKKI M., HCAINE M. & BALLY A. W. 1997. — Origine et inversion des bassins miocènes supra-nappes du Rif central (Maroc), étude de surface et de subsurface. *Geodinamica Acta* 10 (1): 30-40.
- SHACKLETON N. J., HALL M. A. & PATE D. 1995. — Pliocene stable isotope stratigraphy of ODP site 846. *Proceedings Ocean Drilling Program Scientific Results* 138: 337-355.
- SIERRO F. J. 1985. — The replacement of the *Globorotalia menardii* by the *Globorotalia miotumida* group: an aid to recognizing the Tortonian/Messinian boundary in the Mediterranean and adjacent Atlantic. *Marine Micropaleontology* 9 (6): 525-535.
- SIERRO F. J., FLORES J. A., CIVIS T., GONZALES-DELAGADO J. A. & FRANCES G. 1993. — Late Miocene globorotaliid event – stratigraphy and biogeography in the Atlantic and Mediterranean. *Marine Micropaleontology* 21: 21-143.
- SUC J.-P. 1980 — Aperçu sur la végétation et le climat des régions méditerranéennes d'Europe occidentale au Pliocène et au Pleistocène inférieur d'après l'analyse pollinique. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, série C, 27: 177-181.
- SUC J.-P. 1986. — Flores néogènes de méditerranée occidentale. Climat et paléogéographie. *Bulletin des Centres Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine* 10 (2): 477-488.
- SUC J.-P. 1989. — Distribution latitudinale et étagement des associations végétales au Cénozoïque supérieur dans l'aire ouest-méditerranéenne. *Bulletin de la Société géologique de France* 8 (V-3): 541-550.
- SUC J.-P. & BESSAIS E. 1990. — Pérennité d'un climat thermoxérique en Sicile avant, pendant, après la crise de salinité messinienne. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, série III, 310: 1701-1707.
- WARNY S. 1999. — *Marine and Continental Environmental Changes in the Gibraltar Arc Area during the Late Neogene (8-2,7 Ma) Linked to the Evolution of Global Climate and to Atlantic Ocean-Mediterranean Sea Relationship. A Palynological Contribution to the Mediterranean Messinian Salinity Crisis Through Dino-Flagellate Cysts and Pollen Analysis*. Thèse, université catholique de Louvain, France, 295 p.
- WARNY S., BART P. J., SUC J.-P., 2003. — Timing and progression of climatic, tectonic and glacioeustatic influences on the Messinian Salinity Crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 202: 59-66.
- WERNLI R. 1979. — Le Messinien marocain et la crise de salinité en Méditerranée. *Mines, géologie et énergie* 46: 35-36.
- WERNLI R. 1988. — Micropaléontologie du Néogène post-nappes du Maroc septentrional et description systématique des foraminifères planctoniques. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc* 331: 1-270.

Soumis le 27 mars 2007;
 accepté le 20 décembre 2007.