

Structure et évolution tectonique du bassin d'Alboran *

par J. L. OLIVET, J. M. AUZENDE et J. BONNIN

— 1) La mer d'Alboran est constituée de deux bassins bien distincts. Le premier a la forme approximative d'un losange enserré entre l'« arc de Gibraltar » et les deux « seuils (septentrional et méridional) d'Alboran ». Il mesure une centaine de kilomètres dans sa plus grande largeur. Sa profondeur moyenne n'est que de 1 300 m, soit 1 000 de moins que les bassins algéro-baléare et provençal. Le second est allongé, plus profond (1 800 à 2 000 m) et est largement ouvert à l'E et au NE sur le bassin algéro-baléare. Le passage vers ce dernier se fait par une pente nettement marquée de quelque 500 m de dénivellation et d'orientation NNE-SSW. —

Ces deux bassins, à fond relativement plat, sont bordés par des « pentes continentales » complexes et de natures diverses : plutôt sédimentaire à l'W, plutôt rocheuse au centre et à l'E. Ils communiquent entre eux par le « détroit d'Alboran », chenal de dimension et d'orientation comparables à celles du détroit de Gibraltar.

2) La sismique réflexion permet en général de suivre, sous un remplissage sédimentaire meuble ou semi-consolidé et peu ou pas déformé, un substratum acoustique qui peut être *a priori* varié : sédimentaire très consolidé, métamorphique ou volcanique.

Les grands traits structuraux de ce substratum sont les suivants : un profond bassin (fig. 1 et 2) s'étend sur la marge espagnole entre 3° W et 5° W. Il est limité entre 3° W et 4° W par le « seuil septentrional d'Alboran », zone de hauts-fonds d'orientation NE-SW à dominante volcanique [10, 18]. De profonds bassins s'étendent aussi parallèlement à la marge rifaine, séparés par des rides de socle. Le seuil méridional d'Alboran se présente comme une ride étroite (10 à 20 km) et allongée (180 km) qui surmonte de plus de 1 000 m deux profonds détroits. La nature volcanique (trachy-andésitique) des pics qui l'accidentent est bien connue [10]. L'ensemble des détroits et seuils d'Alboran présente une orientation NE-SW extrêmement nette. Une ride de socle continue (?) de même orientation souligne au NE le pied de la pente espagnole entre 2°15'W et 1°15'W. Le précontinent espagnol au S du golfe

B.S.G.F., (7), XV, 1973, n° 2.

d'Almeria et à l'E du cap de Gate doit essentiellement sa forme au substratum rocheux, de même que le vaste plateau qui s'étend au large de l'avant-pays atlasique. De nombreux édifices volcaniques les accidentent. Par ailleurs, des éléments de roches métamorphiques ont été dragués [10].

Les nombreux affleurements du socle dans ces deux bassins appartiennent à des systèmes de rides dont la cartographie est esquissée sur la figure 1. Ces reliefs peuvent évoquer soit un substratum faillé et basculé, soit des massifs intrusifs.

En résumé, les caractéristiques structurales générales sont les suivantes : la direction NW-SE, parallèle au Rif et marquée dans les Bétiques par des accidents [6], ressort nettement. La direction NE-SW joue certainement le rôle majeur : on la retrouve dans le détroit de Gibraltar, le seuil d'Alboran, la marge oranaise, ainsi que dans la marge espagnole à l'E du cap de Gate. Le décrochement de cette orientation, qui décale les deux bassins d'Alboran, correspond précisément à la terminaison orientale du Rif, soulignée, on le sait, par des accidents NE-SW, le rebroussement des structures vers le NE et l'avancée générale de l'avant-pays atlasique [1, 7, 11, 13].

3) *La couverture sédimentaire.* Le forage 121 du Glomar Challenger (Joides, Leger XIII) nous permet de dater la couverture sédimentaire du substratum (fig. 2). Ce forage a traversé :

a) 290 m de marnes pélagiques quaternaires (taux de sédimentation : 20 cm/1 000 ans) ;

b) 380 m de marnes et sables de turbidites pliocènes (taux de sédimentation : 23 cm/1 000 ans) ;

c) 195 m de marnes consolidées d'âge tortonien reposant sur le substratum.

La série plio-quaternaire paraît complète. Le Messinien et une partie du Tortonien manquent. L'érosion, qu'on peut évaluer à 0,5 s (temps double, soit 500 à 800 m) au niveau du forage, s'est produite

* Contribution n° 95 du Département Scientifique, Centre Océanologique de Bretagne, B.P. 337, 29 N-Brest. Note présentée le 10 avril 1972.

STRUCTURE ET ÉVOLUTION TECTONIQUE DU BASSIN D'ALBORAN

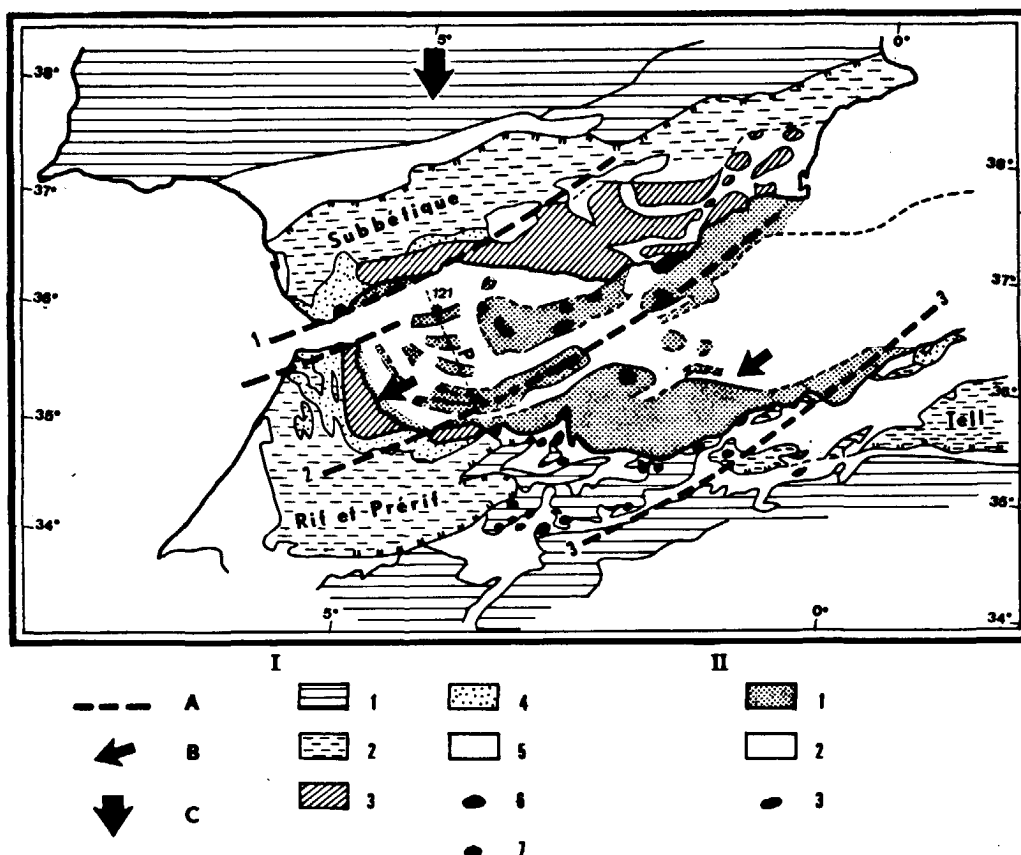


Fig. 1. — A. Direction théorique des accidents d'après Auzende et coll. (sous presse). 1 : Au niveau du détroit de Gibraltar ; 2 : Au niveau du seuil d'Alboran ; 3 : Au niveau de la marge oranaise. Noter la parenté de ces directions avec celle des accidents du Fahies et de Taghassa [13], du Nkor et de ceux décrits entre Malaga et Motril [6]. Noter également la coïncidence de l'accident de Gibraltar avec le décalage des zones internes au NE de Malaga et l'interruption des flyschs vers l'W. — B. Direction du mouvement du bloc des zones internes par rapport à l'Afrique au Miocène inférieur et moyen. — C. Direction du mouvement de l'Europe par rapport à l'Afrique depuis 53 M. A. I. Domaine émergé. 1 : Meseta et couverture plissée de l'avant-pays ; 2 : zones externes ; 3 : zones internes ; 4 : flyschs ; 5 : néogène post-nappe ; 6 : volcanisme trachy-andésitique ; 7 : volcanisme basaltique. — II. Domaine immergé. 1 : zones de hauts-fonds ; 2 : bassins ; 3 : édifices volcaniques. — P : profil flexotir (fig. 2). — 121 : forage du Glomar Challenger.

au cours de l'épisode messinien [cf. 14, pour une discussion du phénomène]. Le Quaternaire est représenté par des réflecteurs continus et réguliers. Il se distingue assez bien du Pliocène : celui-ci montre des réflecteurs plus discontinus et la sédimentation témoigne du jeu de forts courants : cette observation vaut pour tout le bassin de la Méditerranée occidentale. L'épaisseur du Plio-quaternaire, voisine de 0,7 s (700 m env.) dans la partie N du bassin occidental, s'accroît considérablement au pied de la marge rifaine et dans les bassins qui l'occupent. La base du Pliocène se trouve là à plus de 3 s. On peut observer dans la série plio-quaternaire des discordances, flexures et plissements. Cette subsidence plio-quaternaire est propre à la marge africaine [4, 5].

Les deux termes de la série salifère messinienne [3, 17] sont bien représentés dans la partie profonde du bassin algéro-baléare. Le terme supérieur se suit, semble-t-il, jusque dans le bassin oriental (Szep, communication personnelle). Par analogie avec le bassin nord-baléare [17, 19] nous avons interprété un fort réflecteur visible à l'W du bassin occidental comme le toit de ces évaporites [18]. Dans la partie centrale et méridionale de ce bassin, les déformations postérieures empêchent toute interprétation des dépôts messiniens.

4) *Modèle d'évolution des bassins d'Alboran.* Aucune preuve directe ne peut encore être apportée de l'âge des bassins d'Alboran ; néanmoins, l'ensemble des données actuelles concernant le volcanisme trachy-

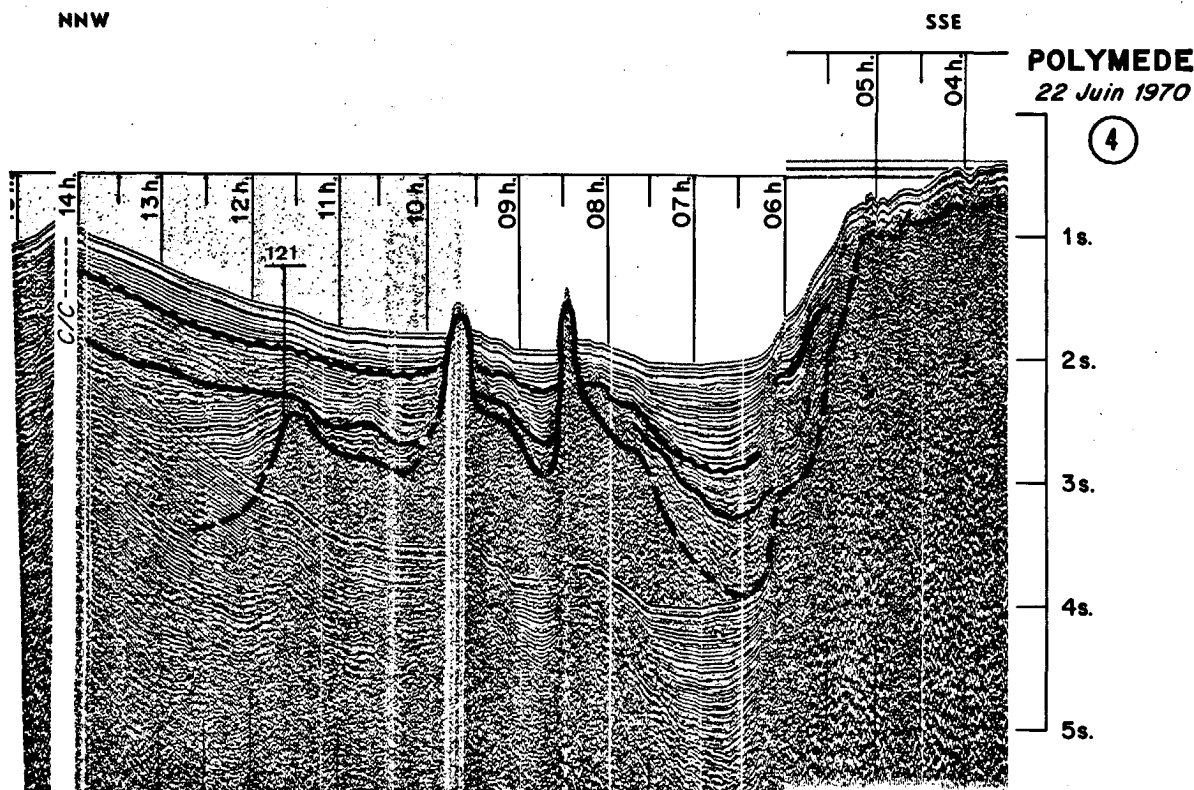


FIG. 2. — Profil (P, de la fig. 1) flexotir, d'après Olivet et coll., sous presse (exag. vert. 12). — Le substratum, la base du Pliocène et la base du Quaternaire (trait ondulé) sont soulignés. Noter la discordance et la surface d'érosion messinienne essentiellement au N du forage 121. Noter la forte subsidence du bassin S, au pied du seuil d'Alboran.

andésitique, le jeu des failles NE-SW, l'épaisseur de la couverture sédimentaire meuble, auxquelles s'ajoutent des données récentes sur le flux de chaleur [9], s'accordent avec l'hypothèse d'une formation au Miocène, inférieur à moyen. Dans cette hypothèse, l'origine des bassins apparaît forcément liée à celle des orogènes qui les bordent. Un modèle expliquant cette relation a été présenté récemment (Auzende et coll., sous presse). Nous le reprendrons ici brièvement.

Ce modèle s'appuie sur trois éléments essentiels :

a) On peut relativement bien « fermer » les bassins d'Alboran et algéro-baléaire (c'est-à-dire juxtaposer les marges européenne et africaine) en utilisant les directions transformantes que peuvent être le détroit de Gibraltar, le seuil d'Alboran, la faille Emile-Baudot, la marge NE-SW du détroit sardano-tunisien.

b) Les zones internes des Bétiques, du Rif, de l'Algérie et sans doute de la Sicile, appartiennent à l'origine à un même domaine homogène et bien individualisé [2, 8]. La suture du bord externe de ce domaine avec l'Afrique et l'Europe (à la limite des domaines internes et externes) correspond à un

B.S.G.F., (7), XV, 1973, n° 2.

accident d'une importance fondamentale [8]. Cette suture se serait faite au Miocène inférieur en Afrique du Nord (éjection des flyschs).

c) Les données actuelles sur l'Atlantique indiquent un rapprochement des plaques européenne et africaine de l'ordre de 500 km, depuis 50 M. A. (Francheteau, communication personnelle). Il est vraisemblable qu'une petite partie de ce rapprochement a été absorbée par le plissement de bassins intracratoniques mais, à notre avis, un rapprochement d'aussi grande importance ne peut s'expliquer que par la disparition d'une large portion de lithosphère supportant une croûte océanique [16], c'est-à-dire par la création d'un plan de Benioff dont il est logique de chercher la marque au niveau de la suture entre zone interne et zone externe. La création des bassins d'Alboran et algéro-baléaire serait liée au fonctionnement de ce plan de Benioff selon le mécanisme invoqué pour la formation des bassins marginaux du Pacifique occidental [12, 20] : elle résulterait d'une dislocation par distension du « bloc des zones internes ». La partie N (Bétiques et leurs prolongements présumés au S des Baléares) déjà plus ou moins liée à l'Europe antérieurement

(phase pyrénéenne), aurait achevé de s'y souder. La partie S (Rif, Kabylies, et une unité située peut-être à l'emplacement du vaste plateau sous-marin connu en Alboran) arrivée au contact de l'Afrique y aurait provoqué l'éjection des nappes de flysch. L'hypothèse de l'origine « ultra » des flyschs apparaît incompatible avec notre modèle.

L'« arc de Gibraltar » serait le résultat de la dislocation de l'extrémité occidentale du bloc des zones internes : le léger décrochement des structures vers le SW au niveau de Gibraltar en serait un témoin.

L'histoire des flyschs de la zone de Colmenar reste problématique : leur assigner une origine océanique comparable à celle des flyschs nord-africains, conduirait à supposer l'existence d'un plan de Benioff au N du domaine bétique, qui aurait été actif au Miocène à la même période que le

système nord-africain, d'où des difficultés géométriques faciles à imaginer.

EN CONCLUSION.

1) Si l'on admet que l'âge des bassins d'Alboran et algéro-baléaire est le même que celui du paroxysme tectonique dans l'arc de Gibraltar et en Algérie, un modèle de création de ces bassins par extension au-dessus d'un plan de Benioff paraît seul apte à en rendre compte.

2) La direction transformante NE-SW paraît avoir contrôlé la mer d'Alboran (cf. aussi 15). La validité du mécanisme pour l'ensemble du bassin algéro-baléaire, voire jusqu'à la Sicile, est envisagée.

La partie descriptive de ce travail résulte d'une collaboration avec G. Pautot.

Bibliographie

- [1] ANDRIEUX J. (1970). — La structure du Rif Central. Thèse, 284 p., Montpellier.
- [2] ANDRIEUX J., FONTBOTÉ J.-M. et MATTAUER M. (1971). — Sur un modèle explicatif de l'arc de Gibraltar. *Earth and Plan. Sci. Let.*, vol. 12, p. 191-199.
- [3] AUZENDE J.-M., BONNIN J., MAUFFRET A., OLIVET J.-L. et PAUTOT G. (1971). — Upper Miocene salt layer in the western Mediterranean basin. *Nature*, vol. 230, p. 82-84.
- [4] AUZENDE J.-M., OLIVET J.-L. et BONNIN J. (1972). — Une structure compressive au Nord de l'Algérie ? *Deep sea Research*, 19, p. 149-155.
- [5] AUZENDE J.-M., BONNIN J. et OLIVET J.-L. (1972). — Origin and evolution of Western Mediterranean. Communication faite à la « Royal Society », Londres, février 1972 (à paraître).
- [6] BOULIN J. (1970). — Les zones internes des cordillères bétiques de Malaga à Motril. *Ann. Hébert et Haug. Trav. Lab. Géol. Fac. Sc.*, Paris, t. X, 239 p.
- [7] DURAND-DELGA M., HOTTINGER L., MARÇAIS J., MATTAUER M., MILLIARD Y. et SUTER G. (1960-1962). — Données actuelles sur la structure du Rif. *Libre mém. Prof. Paul Fallot, Mém. h.-sér. Soc. géol. France*, 1, p. 431-447.
- [8] DURAND-DELGA M. (1969). — Mise au point sur la structure du NE de la Berbérie. *Publ. Serv. géol. Algérie*, 39, p. 89-131.
- [9] ERICKSON A. J. (1970). — The measurement and interpretation of heat flow in the Mediterranean and Black sea, Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 272 p.
- [10] GIERMANN G., PFANNENSTIEL M. et WIMMENAUER W. (1968). — Relations entre morphologie, tectonique et volcanisme en mer d'Alboran (Méditerranée occidentale). Résultats préliminaires de la campagne J. Charcot (1967). *C.R. somm. S.G.F.*, p. 116-118.
- [11] JÉRÉMINE E. et MARÇAIS J. (1960-1962). — La région volcanique des Beni-Bou-Yahi (avant pays du Rif oriental). *Libre mém. Prof. Paul Fallot, Mém. h.-sér. Soc. géol. France*, 1, p. 431-446.
- [12] KARIG D. E. (1971). — Origin and development of marginal basins in the western Pacific. *J. Geophys. Res.*, 76, p. 2542-2561.
- [13] KORNPROBST J. (1971). — Contribution à l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif. Thèse, 376 p., Paris.
- [14] LE PICHON X., PAUTOT G., AUZENDE J. M. et OLIVET J. L. (1971). — La Méditerranée occidentale depuis l'Oligocène. Schéma d'évolution. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 13, p. 145-152.
- [15] LE PICHON X., PAUTOT G. et WEILL J. P. (1972). — A model of opening of the Alboran sea, *Nature* (sous presse).
- [16] MCKENZIE D. P. (1969). — Speculations on the consequences and causes of plate motions. *Geophys. J.*, 18, p. 1-32.
- [17] MONTADERT L., SANCHO J., FAIL J. P., DEBYSER J. et WINNOCK E. (1970). — De l'âge tertiaire de la série salifère responsable des structures diapiriques en Méditerranée occidentale (nord-est des Baléares). *C.R. Ac. Sc. Paris*, t. 271, p. 812-815.
- [18] OLIVET J. L., PAUTOT G. et AUZENDE J. M. (1972). — Alboran sea structural framework, in : Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, National Science Foundation (sous presse).
- [19] PAUTOT G., AUZENDE J. M., OLIVET J. L. et MAUFFRET A. (1972). — Valencia basin : structural framework, in : Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, National Science Foundation (sous presse).
- [20] UYEDA S. (1971). — Possible mechanisms of the development of island arcs and marginal seas (abstract), *Tectonophysics*, 12, 3, p. 269-270.

Observations et réponses

M. LANCELOT : sans vouloir entrer dans le débat de savoir si la Méditerranée occidentale connaît actuellement une compression ou une extension, il semble bien cependant que tous les travaux géophysiques récents montrent l'existence d'une compression récente dans la partie orientale de la « zone

Açores-Gibraltar » qui se trouve au voisinage de la mer d'Alboran.

MM. OLIVET et AUZENDE : il est exact que de nombreux travaux ont fait état d'une compression récente au voisinage

B.S.G.F., (7), XV, 1973, n° 2.

de la mer d'Alboran. La forte séismicité pourrait en témoigner. La seule manifestation que nous ayons, dans le remplissage sédimentaire, d'une tectonique post-miocène, est l'approfondissement général des horizons, observé sur plusieurs profils sismiques, en bordure des marges algérienne et marocaine. On observe dans ce dernier cas de nets plissements. Nous avons dans un travail récent [Auzende et coll., 1972] proposé une explication de ces déformations en relation avec la compression.

M. J. AUBOUIN, très intéressé par la communication de MM. Auzende et Olivet, insiste sur l'importance d'une chronologie précise des événements paléogéographiques et tectoniques dans le domaine méditerranéen, dont dépend la solution de divers problèmes. Parmi d'autres :

— un problème de terminologie. Les profils commentés par MM. Auzende et Olivet montrent, en mer d'Alboran, le retour du Pliocène marin après un ravinement succédant à une émergence ; tenant compte du fait qu'ailleurs en Méditerranée des évaporites se trouvent sous le même Pliocène et qu'au pourtour de celle-ci le Pliocène marin commence une (paléo)géographie nouvelle, il semble raisonnable d'appeler *Méditerranée cette mer plio-quaternaire* qui revient en transgression sur des terrains plus anciens selon des limites très nouvelles. Ce faisant, le Pliocène repose : soit sur des terrains appartenant au cadre structural alpin qui, puissamment déformé, dérive de l'évolution de la *Mésogée mésozoïque et tertiaire*, soit sur des terrains tardifs, miocènes, voire oligocènes, déposés dans des bassins molassiques de positions variées par rapport au cadre structural antérieur. Ces derniers, souvent peu déformés, ne caractérisent pas plus la Méditerranée que le sillon molassique miocène péri-alpin ou le bassin molassique oligo-miocène liguro-piémontais par exemple ; *a priori*, de tels bassins peuvent exister en divers endroits de la Méditerranée en fonction d'une logique liée aux chaînes péri-méditerranéennes.

Ces distinctions correspondent, dans l'évolution des chaînes alpines, aux périodes successivement géosynclinales, caractérisée par la *Mésogée*, tardigéosynclinales, marquée par les bassins molassiques, postgéosynclinales, s'exprimant par la formation de la Méditerranée. Il reste que si la *Mésogée* pose le problème d'un « paléo-océan », la Méditerranée celui de zones à signification de « néo-océan », il est très important de savoir si ce « processus d'océanisation méditerranéen » — quelles qu'en soient les modalités — est seulement lié à la néotectonique postgéosynclinale plio-quaternaire ou, déjà, à l'individualisation des bassins tardigéosynclinaux ;

— un problème de corrélations tectoniques. MM. Auzende et Olivet parlent du « paradoxe » créé par la contemporanéité des mouvements d'extension en mer d'Alboran et de compression à la périphérie de la courbure de Gibraltar. Dans l'état actuel des choses, il semble que ce paradoxe — dont la question se pose partout en Méditerranée — ne soit pas démontré, du moins encore ; car la comparaison est faite entre l'extension plio-quaternaire en mer d'Alboran et les mouvements compressifs dans les parties les plus externes de la courbure de Gibraltar lesquels, en fonction de la polarité des chaînes qui la constituent, s'achèvent au cours du Miocène. Jusque-là, il n'y a pas paradoxe, mais simple succession de mouvements tectoniques de logique différente : achèvement des structures en compression au cours du Miocène, mise en place de structures en extension au cours du Plio-Quaternaire. Cependant, il convient de ne pas s'en arrêter là et de rechercher à l'extérieur de la courbure d'éventuelles structures compressives plio-quaternaires qui seraient alors la démonstration du « paradoxe » et la justification de modèles explicatifs. En gardant présent à l'esprit que de simples flexures qui peuvent être l'adaptation de la couverture à des failles profondes extensives, ou des glissements gravitationnels qui sont liés aux conditions morphologiques superficielles n'apporteraient pas vraiment d'argument ; et que la généralisation des exten-

sions méditerranéennes ne se place peut-être pas exactement à la limite Miocène-Pliocène, mais plutôt entre Pliocène inférieur et moyen, si tant est qu'une telle précision puisse être donnée. Parmi d'autres, ce pourrait être un programme de recherches quant à la Néotectonique des chaînes péri-méditerranéennes.

M. E. WINNOCK : les profils présentés par le CNEXO sont particulièrement intéressants ; grâce au contexte de profils exécutés à des fins utilitaires dans ce secteur (travaux inédits de MM. R. Weber et D. Lajat-SNPA), il est possible de préciser l'interprétation du profil passant par le sondage Joïdes 121 :

En effet on perçoit sur le profil du CNEXO au N du sondage Joïdes une réflexion oblique. Cette réflexion oblique peut se « pointer » jusqu'au sondage Joïdes 121, où elle correspond au hiatus sédimentaire entre sédiments pélagiques tortoniens et turbidites pliocènes.

Nous l'interprétons donc comme une discordance de ravinement (erosional unconformity) recoupant plusieurs centaines de mètres de sédiments tortoniens et miocène terminaux non rencontrés par le forage 121 en raison de cette érosion. Dans l'auge ainsi formée, les turbidites profondes du Pliocène se déposent suivant les endroits sur le socle sismique, sur le Tortonien ou sur le Miocène terminal, puis les sédiments quaternaires tapissent le tout d'un manteau uniforme.

Cette discordance a une grande importance. Dans l'éclairage de la remarque faite à l'instant par M. Aubouin, il faut se demander si les dépôts miocènes anté-tortoniens, tortoniens et post-tortoniens épais, situés entre le forage Joïdes et la côte espagnole, n'appartiennent pas à un épisode qui n'a rien de typiquement méditerranéen ; cet adjectif — désignant une mer à la fois profonde et occupant plus ou moins le domaine actuel — s'applique par contre en toute rigueur aux dépôts du Pliocène.

MM. OLIVET, AUZENDE et BONNIN : nous remercions messieurs Aubouin et Winnock de leurs remarques. Nous répondons conjointement tout d'abord à la première question de M. Aubouin et à celle de M. Winnock, qui se rejoignent.

Pour ces deux auteurs, le bassin de la Méditerranée occidentale s'individualise au cours du Pliocène ; sa formation résulte d'une phase bien distincte : la phase plio-quaternaire ; c'est le concept de la révolution pliocène de Bourcart. Or, il est certain, sur la base de toutes les données dont nous disposons, que la paléogéographie résultant de cette phase « méditerranéenne » date au minimum du Miocène supérieur. En effet, le terme inférieur de la série évaporitique messinienne préfigure déjà nettement le bassin actuel. On peut affirmer que les pentes continentales de la fin du Miocène sont à peu de choses près celles du Pliocène et de l'actuel. Pour ce qui est des séries sous-jacentes au Messinien, il est très probable qu'en bien des endroits, elles reposent sur des terrains appartenant au cadre structural alpin, mais ceci n'est vrai que sur les marges continentales et probablement dans les sillons périorogéniques. A l'intérieur du domaine limité par les marges continentales, c'est-à-dire dans le domaine proprement méditerranéen, la sismique réfraction et le magnétisme montrent que l'on a affaire à un substratum du type océanique. Evidemment ceci reste à prouver de façon définitive. Nous avons proposé un âge Miocène inférieur pour ce substratum, compte tenu de l'épaisseur des séries anté-messinienne qui le surmontent. Notons encore que la partie interprétée comme néoformée serait d'extension relativement réduite : une centaine de kilomètres entre les Baléares et l'Algérie, nettement moins en mer d'Alboran.

Pour répondre à la seconde question de M. Aubouin, il existe, effectivement, dans la mesure où nos interprétations sont exactes, une opposition entre la formation par extension du bassin et l'achèvement de la compression au cours du Miocène inférieur : notre modèle prétend l'expliquer.