

POLARITÉS GÉOCHIMIQUES ET PALÉOGÉOGRAPHIE DES SÉRIES VOLCANO-SÉDIMENTAIRES PÉLITIQUES DU NW SYRIEN AU CRÉTACÉ BASAL

Mireille DELAUNE-MAYÈRE

Laboratoire de Géologie, SSG. O.R.S.T.O.M., 70, route d'Aulnay, F. 93140 Bondy

RÉSUMÉ

Les sédiments pélagiques mésozoïques associés aux nappes ophiolitiques du Baër-Bassit (NW syrien) et charriées du nord vers le sud sur la plate-forme arabe au Maestrichien supérieur, présentent une évolution géographique se traduisant par des caractères proximaux à l'est (plus grande épaisseur des dépôts, bancs de grès et de calcarénites à éléments de plate-forme).

La corrélation Al/Fe qui, dans le cas de sédiments océaniques siliceux permet de connaître l'évolution des séries dans le temps et dans l'espace (le caractère distal des dépôts étant marqué par une augmentation de la teneur en fer), n'a pu être utilisée ici. En effet, la présence dans la partie centrale du Baër-Bassit d'un important épisode volcanique provoque localement une forte augmentation de la teneur en fer des sédiments et qui en masque l'évolution géochimique normale.

C'est par des calculs pétrochimiques effectués sur une série de pélites d'âge Crétacé basal que les polarités, définies à partir des critères sédimentologiques, ont pu être retrouvées.

MOTS-CLÉS : Géochimie — Sédiments siliceux — Éléments majeurs — Paléo-environnement.

ABSTRACT

GEOCHEMICAL POLARITIES AND PALEO GEOGRAPHY OF EARLY CRETACEOUS PELAGIC DEPOSITS IN NORTHWESTERN SYRIA

The pelagic sediments deposited during the Mesozoic time and associated with the ophiolitic sheets of Baër-Bassit area (N-W of Syria) exhibit proximal features on the east (more thicker deposits, beds of sandstones and calcarenites with redeposited platform limestones).

The correlation line between Fe and Al, in pelagic sediments and radiolarites, allows to outline the paleogeographic trends. The more distant deposits from continent have relatively high values of Fe.

In pelagic sediments of Baër-Bassit area this diagram is not suitable. The setting up of an important peralcaline volcanism induces, locally, a high amount of Fe and alters the sedimentation.

The sedimentological polarities have been displayed by petrochemical calculations on an early cretaceous mudstones level.

KEY WORDS : Geochemistry — Siliceous deposits — Major elements — Paleo-environment.

РЕЗЮМЕ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯРНОСТИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ПЕЛИТОВЫХ ВУЛКАНО-ОСАДОЧНЫХ РАЗРЕЗОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ СИРИИ В ТЕЧЕНИЕ РАННЕГО МЕЛА

Мезозойские пелагические осадки, ассоциированные с офиолитовыми покровами области Баэр-Бассит (в с.-з. Сирии) и перемещенные с севера на юг над арабской платформе в

верхнемаастрихтский период, характеризуются географической эволюцией, выражающейся на востоке проксимальными признаками (более толстыми отложениями, пластами песчаников и калькаренитов, содержащих платформные элементы).

Корреляцию Al/Fe которая, в случае кремнистых океанских осадков служит указателем эволюции разрезов в времени и в пространстве (дистальный характер осадков выражается повышением содержания железа здесь не можно было употреблять. В самом деле, присутствие в центральной части Баер-Бассит крупного вулканического эпизода локально вызывает значительное повышение содержания железа в осадках и маскирует их нормальную геохимическую эволюцию.

Петрохимическими расчетами, проведенными в одном разрезе пелитов раннемелового возраста можно было перенести те полярности, что определились по седиментологическими стандартами.

Руководящие слова : Геохимия — Кремнистые осадки — Главные элементы — Палеосреда.

الاستقطابات الجيوكيميائية والمستحاثية الجغرافية في السلاسل البركانية الرسوبية الطينية في المنطقة الشمالية الغربية السورية للعصر الطباشيري الأسفل

«الملخص»

إن الرسوبيات البحرية لحقب الحياة الوسطى (الميسوزوي) المرافقة للطبقات الصخرية المرمرية المرقتة (الأوفيوليتية) في البايير والبسيط (شمال غرب سوريا) والمجروف من الشمال نحو الجنوب على السطوح العربية في العصر المستريشتي الأعلى، تظهر تطوراً جغرافياً يتبين من خلال ظواهر تقاربية الى الشرق (ترسبات ذات سماكة اكبر، طبقات من الحجر الرملي والجيري بعناصر مسطحات).

ولم يمكن هنا استعمال العلاقة المتبادلة بين الحديد/ألومنيوم والتي تسمح، في حالة الرسوبيات المحيطية السيليسية بمعرفة تطور السلاسل مع الزمن وفي المسافة (الطابع الابتعادي للترسبات والتي تتميز بزيادة تركيز الحديد فيها). وفي الحقيقة فإن وجود حلقة بركانية مهمة في الجزء المركزي من البايير والبسيط تثير ازدياداً موضعياً قوياً لمحتوى الحديد في الرسوبيات مما يؤدي الى إخفاء التطور الجيوكيميائي الطبيعي.

وقد أمكن إيجاد هذه الاستقطابات، والتي أمكن تحديدها اعتماداً على معايير رسوبية، بواسطة حسابات بتروكيميائية اجريت على سلسلة طينية من العصر الطباشيري الأسفل.

المفتاح : الكيمياء الجيولوجية — الترسبات السيليسية — العناصر الكبرى — البيئة المستحاثية .

INTRODUCTION

Les formations ophiolitiques et radiolitiques du Baër-Bassit (N-W de la Syrie), appartenant au « croissant ophiolitique péri-arabe » (Ricou, 1971), ont été charriées du N-W vers le S-E sur la plateforme carbonatée arabo-africaine au Maestrichtien supérieur.

La coupe E/W des nappes montre une succession

d'écaillés constituées soit de roches appartenant au cortège ophiolitique, soit de sédiments océaniques siliceux fortement plissés.

Au sein des écaillés sédimentaires se dessine une polarité E/W montrant des caractères proximaux à l'est et plus distaux à l'ouest en fonction de l'épaisseur des formations et de l'importance des apports détritiques à l'est (DELAUNE-MAYÈRE *et al.*, 1977).

La situation des sédiments pélagiques par rapport

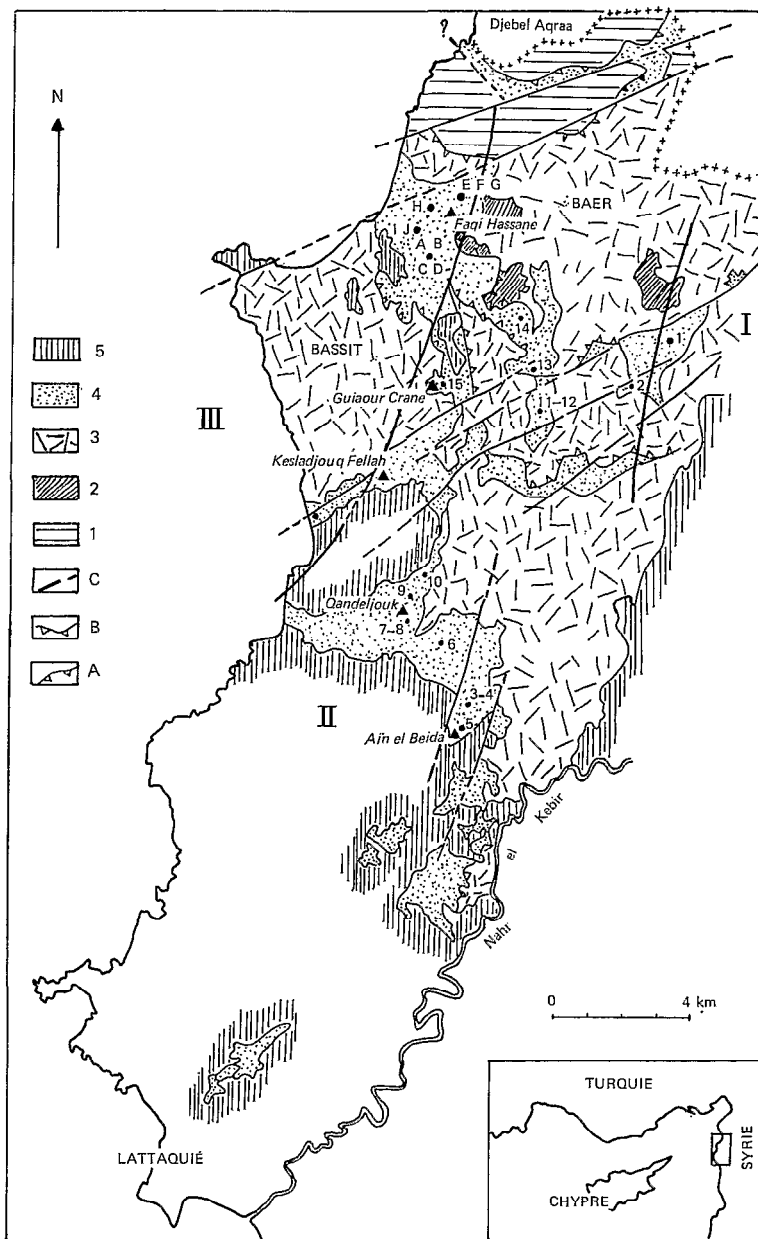


Fig. 1. — Carte géologique schématique des écailles ophiolitiques et radiolaritiques du Baër-Bassit.

Légende. 1 : calcaires de la plate-forme arabe du djebel Aqraa ; 2 : semelle métamorphique infrapéridotitique ; 3 : assemblage ophiolitique ; 4 : écailles sédimentaires ; 5 : formations transgressives post-nappes ; A : contact anormal des ophiolites sur les calcaires maestrichtiens du djebel Aqraa ; B : contacts anormaux entre écailles ophiolitiques et radiolaritiques ; C : failles post-nappes ;

I, II, III : zones sédimentologiques définies dans les formations pélagiques du Baër-Bassit.

1 à 10 — A à M : localisation des échantillons analysés.

▲ : localisation des coupes de la fig. 2

à la marge peut également être déterminée à partir de critères géochimiques notamment par des comparaisons entre les pentes des droites de régression de la corrélation Fe/Al (STEINBERG et MPODOZIS, 1978). Si, dans ce type de dépôt, Al représente les apports détritiques, l'éloignement par rapport à la marge doit se traduire par une diminution de la teneur en cet élément par rapport à celui du fer qui proviendrait de l'altération du plancher océanique et des venues hydrothermales.

Ainsi, la pente de la droite de régression Fe/Al doit augmenter en fonction de l'éloignement par rapport à la marge. Ce phénomène a été vérifié dans plusieurs séries radiolaritiques passées et actuelles (STEINBERG et MPODOZIS, *op. cit.* ; RANGIN *et al.*, 1981 ; BALTUCK, 1982) ainsi que dans les séries océaniques des nappes d'Antalya, en Turquie (MARTIN *et al.*, 1981) qui appartenaient au même bassin océanique que les séries du Baër-Bassit (DELAUNE-MAYÈRE *et al.*, *op. cit.*).

Dans cette région c'est sur un niveau pélitique daté Valanginien (DELAUNE-MAYÈRE et SAINT-MARC, 1979-80), bien individualisé et que l'on peut suivre

dans l'ensemble des écaïlles sédimentaires, que nous avons tenté de confirmer, par ces critères géochimiques, l'existence de la polarité E/W de la sédimentation.

Or la présence de manifestations volcaniques peralcalines (PARROT, 1977) à cette période a provoqué des modifications du milieu sédimentaire et, dans ce cas, la corrélation Fe/Al ne s'est pas révélée significative. C'est à partir de calculs pétrochimiques permettant d'avoir une estimation de la composition minéralogique des différents niveaux pélitiques étudiés et de les comparer entre eux, que la polarité S-E/N-W définie par les caractères sédimentologiques a pu être retrouvée.

ÉVOLUTION EST-OUEST DE LA SÉDIMENTATION

En fonction des faciès et de la répartition géographique de niveaux repère on peut distinguer dans le Baër-Bassit, trois zones (fig. 1) :

— à l'est, s'individualise un secteur de superficie réduite (zone 1) où l'on retrouve, dans les sédiments du Crétacé inférieur, des bancs de quartzite vert

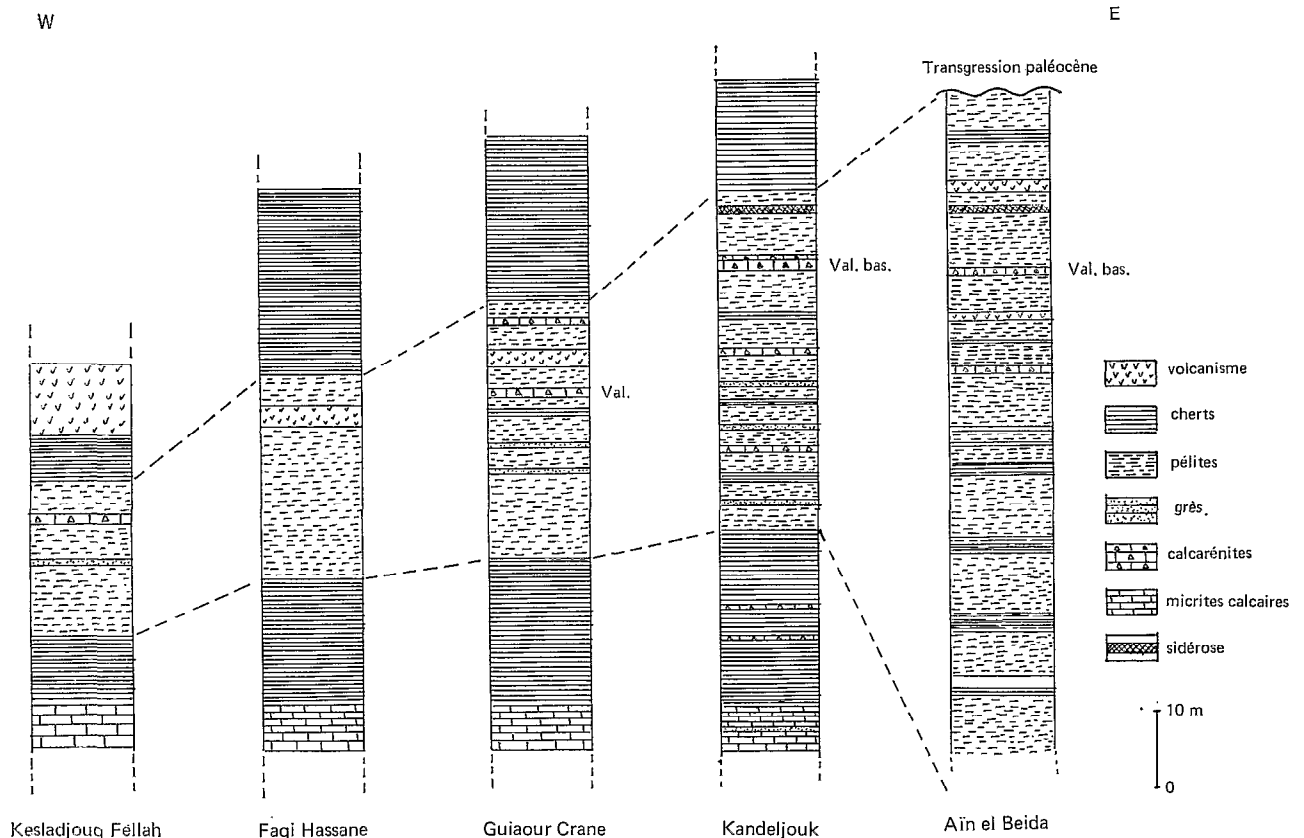


FIG. 2. — Diminution est-ouest de l'épaisseur du niveau pélitique d'âge Crétacé basal et de la fréquence des bancs de grès et de calcarénites

identique aux grès verts, dits « d'Akamas », bien développés dans les nappes radiolaritiques de Mamonia à Chypre (LAPIERRE, 1975 ; EALEY and KNOX, 1975 ; ROBERTSON and WOODCOCK, 1979), similaires aux nappes du Baër-Bassit mais présentant des caractères plus détritiques (DELAUNE-MAYÈRE et SAINT-MARC, *op. cit.*);

— toute la partie centrale du Baër-Bassit (zone II), est caractérisée par la présence d'un important volcanisme per-alkalin, daté Valanginien moyen/Barrémien et dont la mise en place s'est accompagnée de phénomènes hydrothermaux ainsi que de mouvements tectoniques affectant la plate-forme et les formations océaniques elles-mêmes (intercalation de

TABLEAU I

Analyses chimiques des niveaux pélitiques du groupe 1 (zones I et II). *Analyses* : laboratoires de spectrographie et de chimie de l'O.R.S.T.O.M.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	70.14	57.71	69.54	57.22	55.97	66.06	69.28	49.13	54.96	61.50	64.43	50.63	71.10	72.70	63.02
Al ₂ O ₃	13.05	18.42	13.99	17.26	20.29	12.39	9.21	21.56	17.14	11.77	13.16	20.42	9.63	12.02	14.74
Fe ₂ O ₃	5.06	10.16	5.16	5.83	6.04	1.86	6.26	12.47	7.43	8.82	5.77	12.52	4.81	5.41	9.74
FeO	0.38	0.76	0.47	4.41	1.43	2.73	0.11	0.19	0.29	0.29	0.49	0.77	0.38	0.38	0.10
MnO	0.05	0.06	0.02	0.05	0.08	0.03	2.51	0.01	0.02	0.29	0.03	0.04	0.18	0.05	0.33
MgO	1.62	1.01	1.37	2.22	1.68	1.81	0.93	0.81	1.39	2.68	2.05	1.55	2.71	0.85	1.10
CaO	0.81	0.76	0.61	1.12	1.30	1.31	2.54	0.41	0.57	1.22	2.83	1.26	2.12	0.93	1.26
Na ₂ O	0.17	0.19	0.82	1.42	1.11	1.87	0.11	1.19	2.83	1.96	0.15	0.67	0.22	0.42	0.10
K ₂ O	1.56	1.47	0.91	1.97	2.15	1.27	1.39	0.85	1.39	1.87	2.11	2.06	1.48	1.04	1.13
TiO ₂	0.84	1.85	0.72	1.27	0.98	0.79	0.51	0.96	0.82	0.63	1.02	1.01	0.57	0.64	1.05
P ₂ O ₅	0.06	0.11	0.05	0.08	0.07	4.01	0.05	2.78	5.99	3.18	0.06	0.59	0.13	0.05	0.13
H ₂ O ⁺	6.24	7.51	6.34	7.15	8.89	5.87	7.12	9.64	7.17	5.79	7.87	8.47	6.68	5.51	7.10

TABLEAU II

Analyses chimiques des niveaux pélitiques du groupe 2 (zone III). *Analyses* : laboratoires de spectrographie et de chimie de l'O.R.S.T.O.M.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N
SiO ₂	72.41	68.61	77.60	78.06	77.13	69.11	81.55	70.71	78.16	78.09	82.97	78.27	78.41
Al ₂ O ₃	11.21	8.95	8.25	8.79	9.08	9.80	6.88	12.93	7.32	8.55	6.15	7.52	8.83
Fe ₂ O ₃	6.07	4.46	4.23	3.57	4.89	5.65	3.57	5.57	2.18	4.27	3.10	4.86	4.47
FeO	0.19	—	0.38	0.33	0.28	—	0.28	0.09	—	0.29	0.94	0.47	0.19
MnO	0.12	7.34	0.27	0.01	0.05	4.20	0.20	0.26	0.25	0.02	0.03	0.05	0.05
MgO	1.33	1.10	1.58	1.53	1.07	1.18	1.35	1.16	1.14	1.43	0.70	1.32	1.12
CaO	0.83	0.93	0.62	0.40	0.75	1.34	0.70	1.08	3.09	0.51	0.74	0.83	0.77
Na ₂ O	0.15	0.41	0.21	0.57	0.17	0.14	0.08	0.10	0.55	0.17	0.13	0.08	0.18
K ₂ O	1.73	1.18	1.37	1.41	1.27	1.74	1.27	0.86	0.82	1.67	0.95	1.40	1.10
TiO ₂	0.65	0.50	0.58	0.42	0.58	0.54	0.41	0.98	0.56	0.51	0.43	0.43	0.46
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.08	—	0.06	0.05	0.13	0.10	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
H ₂ O ⁺	5.27	6.47	4.82	4.91	4.67	6.25	3.57	6.14	5.86	4.45	3.80	4.70	4.38

bancs de grès et de turbidites carbonatées remaniant des calcaires néritiques et des cherts) ;

— enfin, en bordure de mer, de part et d'autre du massif ophiolitique du Bassit (zone III), on ne retrouve, dans les séries océaniques du Crétacé basal, ni le volcanisme per-alkalin, ni les arrivées de matériel détritique ; seules des concentrations locales d'hydroxydes de manganèse et de rares pointements volcaniques sont visibles. La sédimentation devient très monotone (pélites et cherts à radiolaires) sauf pour les termes sommitaux (datés Cénomaniens) où on constate la présence de micrites calcaires et de calcirudites.

Cinq coupes (fig. 2) effectuées d'est en ouest dans les séries océaniques mettent en évidence la diminution du niveau pélitique vers l'ouest et la disparition progressive des bancs de grès, calcaires gréseux et calcarénites ainsi que des phénomènes hydrother-

maux liés au volcanisme (bancs de sidérose, jarosite, barytine).

GRADIENTS GÉOCHIMIQUES

Un seul échantillon de la zone I (1 : Képir) a été analysé (tabl. I et III), c'est pourquoi il a été rattaché à ceux de la zone centrale. Ainsi, nous ne considérons que deux groupes de sédiments pélitiques : le groupe 1 (15 échantillons) correspondant à la zone centrale du Baër-Bassit (zone II) et le groupe 2 (13 échantillons) correspondant à la zone distale (zone III).

Choix des échantillons

Afin de ne comparer que des niveaux homogènes certains échantillons ont été éliminés en fonction soit de leurs teneurs très fortes en fer, soit de la présence de calcite.

Paramètres statistiques

		Moyenne	Écart-type	Coef. de variation	Covariance
Fe	Groupe 1.....	5.68	1.98	34.79	Groupe 1 = 3.15
	Groupe 2.....	3.26	.72	22.20	
Al	Groupe 1.....	7.94	2.09	26.30	Groupe 2 = .45
	Groupe 2.....	4.65	.95	20.52	

Corrélation Fe/Al

La corrélation Fe/Al du groupe 1 ($r = 0.762$ pour 15 éch.) est meilleure que celle du groupe 2 ($r = 0.646$ pour 13 éch.). La représentation graphique des droites de régression des corrélations Fe/Al pour chacun des deux groupes montre que celle du groupe 2 a la pente la plus faible (fig. 3).

Les études concernant la relation Fer/Alumine dans les sédiments océaniques (STEINBERG et MPODOZIS, RANGIN *et al.*, MARTIN *et al.*, *op. cit.*) ayant montré que l'éloignement par rapport à la marge se traduit par une augmentation du fer et une pente plus élevée de la droite de régression, on devrait observer ici, compte tenu des observations de terrain (arrivées détritiques plus importantes en zones I et II) une pente plus forte pour la droite du groupe 2 (zone III, plus distale).

Comportement du fer

Les relations Fer/Manganèse dans les radiolarites ont été étudiées par MPODOZIS MARIN (1977). En comparant les enrichissements en manganèse par rapport au fer d'un échantillon [$\log (\text{Mn éch.}/\text{Mn basalte})/(\text{Fe éch.}/\text{Fe basalte})$] avec le rapport

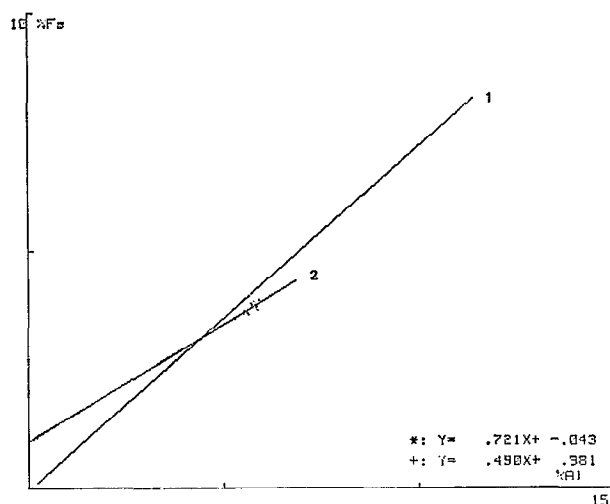


FIG. 3. — Droites de régression des teneurs en Fe et Al des pélites. *, 1 : groupe 1. +, 2 : groupe 2

$\text{Al}/\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn}$ (BOSTROM *et al.*, 1969) qui fournit une indication sur l'importance de la fraction détri-

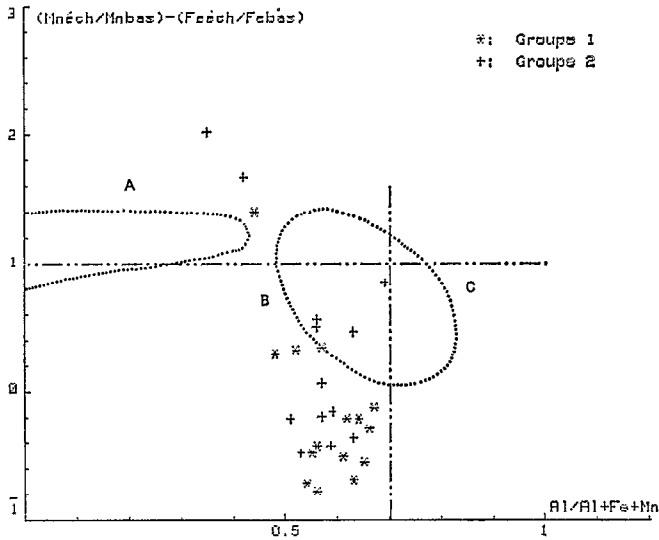


FIG. 4. — Corrélation du rapport $Al/(Al+Fe+Mn)$ avec l'anomalie en manganèse des sédiments pélagiques. A : Radiolarites influencées par la proximité de la croûte océanique ; B : Domaine pélagique *s.l.* ; C : Sédiments influencés par des apports détritiques

tique dans le sédiment (plus ce rapport est proche de 1 plus les apports détritiques sont conséquents) on obtient une classification des sédiments siliceux océaniques (fig. 4).

Trois grands groupes apparaissent :

A — les sédiments appartenant à ce groupe sont pauvres en alumine, riches en fer et en manganèse ; s'y placent les formations proches des rides ;

B — dans ce groupe entrent la grande majorité des radiolarites ; il caractérise les sédiments océaniques normaux non soumis aux apports détritiques et ayant des teneurs en manganèse faibles ;

C — dans ce dernier groupe se placent les sédiments recevant une part importante d'éléments terrigènes (rapport $Al/(Al+Fe+Mn)$ supérieur à 0.7).

Les pélites étudiées ici se situent en dehors de ces 3 zones ; il apparaît deux groupes nettement opposés :

— un groupe restreint montrant des forts enrichissements en manganèse et un rapport Fe/Mn faible ;

— un groupe dans lequel entrent la majorité des échantillons et qui présente de forts enrichissements en fer ; le rapport Fe/Mn peut être très élevé ; il est extrêmement variable d'un échantillon à l'autre.

Par contre, les valeurs du rapport $Al/(Al+Fe+Mn)$ sont relativement homogènes (entre 0.5 et 0.7) et correspondent à un environnement pélagique normal, sans influence détritique prépondérante.

Le premier groupe se distingue donc par des

teneurs en manganèse, par rapport au fer, supérieures à celles des sédiments associés aux rides océaniques. Le second groupe s'oppose au premier par des teneurs « anormales » en fer. Tout se passe comme s'il y avait ségrégation du fer et du manganèse et concentrations ponctuelles de ce dernier élément.

Origine du fer et du manganèse

Il semble peu probable que le fer soit d'origine détritique. En effet, les calcarénites, calcaires gréseux, grès, ainsi que les bancs de calcaires à radiolaires à caractères de turbidites, qui se rencontrent dans ces pélites, sont de couleur grise ou blanche et on ne relève que quelques traces de goéthite dans certaines calcarénites. De même, les calcaires de plate-forme qu'elles remanient ne sont pas pigmentés par des oxydes de fer. Par contre, les calcaires se trouvant directement en contact avec le volcanisme per-alkalin sont riches en hématite (2.05 % de Fe_2O_3 à Mazraa) (fig. 1, nos 11-12).

Différents auteurs (CORLISS, 1971 ; BISCHOFF and DICKSON, 1975 ; SEYFRIED and MOTTI, 1982) ont montré que l'altération par l'eau de mer de la croûte basaltique se traduit par un départ de Fe, Mn, Ni, Cu qui se retrouvent incorporés aux sédiments.

Les termes inférieurs du volcanisme per-alkalin sont relativement riches en fer : en effet, alors que le volcanisme tholéitique du Trias supérieur, lié à la fracturation océanique, avait une teneur en Fe_2O_3 de 8,66 %, les basanites formant les termes inférieurs de la série per-alkaline ont une teneur moyenne en Fe_2O_3 de 11,37 % et les monchiquites qui les surmontent une teneur moyenne de 11,53 % (d'après PARROT, 1977). Ce volcanisme est donc susceptible d'avoir fourni ces excès de fer dans les sédiments.

Ce type d'enrichissement en fer, lié au volcanisme, a été signalé dans des formations océaniques anciennes (sédiments pélagiques siliceux du Pinde : BALTUCK, 1982 ; cherts jurassiques des Apennins : MITEE SALAZAR, 1978 et BARRETT, 1980) et récentes (STEINBERG *et al.*, 1983).

Il faut noter que le phénomène touche à la fois les pélites du groupe 1 directement associées au volcanisme et les pélites du groupe 2, mais dans des proportions légèrement plus faibles.

Quant au manganèse, dont l'origine semble liée plutôt aux phénomènes hydrothermaux, il migre et se concentre en minces niveaux. Il peut également imprégner des bancs de grès, des calcaires à radiolaires, etc.

Ainsi, dans ce cas, l'utilisation de la corrélation Fe/Al ne permet pas de définir une polarité au sein de cette série océanique. Les comparaisons basées sur l'évolution des teneurs en fer ne sont pas fiables compte tenu des concentrations anormales de cet

éléments liées à la présence locale de manifestations volcaniques.

Nous avons donc utilisé la silice pour mettre en évidence les polarités sédimentaires.

Déjà le rapport $Si/Si+Al+Fe$ qui permet de déterminer la part de silice biogène par rapport aux éléments d'origine détritique est nettement plus élevé (0.820) pour la moyenne des échantillons du groupe 2 que pour la moyenne des échantillons du groupe 1 (0.680).

Des calculs pétrochimiques donnant un pourcentage des différents constituants minéraux des sédiments vont confirmer cet enrichissement en silice, soit une diminution en apports terrigènes, dans le groupe 2.

MINÉRALOGIE DES PÉLITES

Calculs pétrochimiques

A partir de l'analyse chimique d'un sédiment donnant les pourcentages en oxydes ainsi que les teneurs en eau de constitution (H_2O^+) et en CO_2 (calcul des carbonates) on détermine une suite de minéraux virtuels. Cette méthode a été mise au point par VAN DER PLAS et VAN SCHULENBORH (1970) à partir des calculs pétrochimiques de Niggli pour étudier les sols et les produits d'altération. Mais elle peut également s'appliquer aux sédiments avec des modifications permettant le calcul des chlorites (PARROT, en préparation).

Les minéraux virtuels formés sont les suivants :

1. TiO_2 ne se combine pas à d'autres oxydes et donne du rutile.
2. Des phosphates (apatite : $P_2O_5, 3CaO$, puis éventuellement lorsque les teneurs en P_2O_5 sont importantes de la strengite : $Fe_2O_3, P_2O_5, 4H_2O$ et de la variscite : $Al_2O_3, P_2O_5, 4H_2O$).
3. Des hydroxydes (pyrochroïte : MnO, H_2O ; goethite : $Fe_2O_3, 2H_2O$).
4. Des carbonates (calcite : CO_3Ca ; giobertite : CO_3Mg ; sidérose : CO_3Fe ; rhodocrosite : CO_3Mn).
5. De la gibbsite.
6. Des minéraux argileux : kaolinite, smectites, illite, chlorites.
7. Des feldspaths : albite, orthose.
8. Du quartz.

A la fin du calcul il peut arriver que des minéraux normatifs transitionnels se maintiennent sans que leurs constituants en oxydes se répartissent totalement dans les minéraux argileux. Il s'agit le plus souvent de calcite normative virtuelle, liée à un excès de CaO et dont la formation entraîne un déficit en CO_2 , de talc ($4SiO_2, 3MgO, 2H_2O$) et de minnesotaïte

($4SiO_2, 3FeO, 2H_2O$) qui traduisent, dans le sédiment, l'existence de minéraux primaires tels que des ferromagnésiens.

Il faut noter également que dans la suite de transformations que comporte le programme la formation d'anorthite n'a pas été prise en compte et qu'un excès de calcite normative virtuelle peut très bien correspondre à la présence de plagioclase, notamment s'il apparaît de l'albite en fin de calcul.

Les minéraux argileux

Hormis pour la kaolinite et les chlorites on a la possibilité, pour les autres minéraux argileux, d'inclure à la formule de base des éléments interfoliaires tels que $Ca, Na, Fe+Z$.

Minéraux normatifs des pélites

Dans les sédiments pélitiques du Crétacé basal du Baër-Bassit les minéraux calculés à partir des analyses chimiques (tabl. I et II) sont les suivants :

- apatite (s'y ajoutent localement strengite et variscite)
- rutile
- pyrochroïte
- goethite
- quartz
- albite
- kaolinite
- montmorillonite s.s. sodique, calcique et ferrière
- illite s.s. et calcique
- carbonates (calcite, dolomite, sidérose rare et rhodocrosite très rare)
- éventuellement des excès en CaO, MgO, FeO, SiO_2 , sous forme de calcite virtuelle excédentaire, de talc et de minnesotaïte.

Par diffractométrie et microscopie électronique la présence effective de ces minéraux a été vérifiée sauf en ce qui concerne la goethite, la dolomie, la sidérose ainsi que les hydroxydes et carbonates de manganèse.

La dolomie (maximum calculé : 4,95 %) et la sidérose (maximum calculé : 0,92 %) peuvent exister en proportions importantes dans ces pélites. Les concentrations de ces minéraux, observées localement (15 % pour la sidérose ; 32 % pour la dolomie), s'apparentent à des « paléoévents » hydrothermaux (SOLER, BERNARD et NESTEROFF, 1982). Leur formation au cours des calculs correspond bien à une présence effective dans les sédiments.

Les hydroxydes de manganèse sont en quantités trop faibles pour être détectés aux rayons X. Les hydroxydes de fer calculés (goethite normative) correspondent en réalité à de l'hématite (pic à 2.71 Å).

*Comparaison des deux groupes**Groupe 1*

Ce sont les minéraux argileux qui dominent ; la kaolinite est présente dans la majorité des échantillons, parfois en quantité importante (31,89 %) mais l'association dominante est surtout constituée de smectites et d'illite (tabl. III).

Parmi les autres minéraux il faut noter des enrichissements locaux en phosphates. Les teneurs en rutile

sont assez fortes (jusqu'à 1,75 %). La calcite est présente (0,18 à 3,54 %) ; la sidérose et la dolomie sont rares.

L'albite normative se retrouve dans la plupart des échantillons, parfois avec un fort pourcentage (22,57 %).

Il y aurait également des traces de ferromagnésiens correspondant en certains points aux excès de calcite normative, talc et minnesotaïte (pyroxènes ou, peut-être, amphiboles sodiques très abondantes dans certains niveaux du volcanisme per-alcalin).

TABLEAU III

Composition minéralogique virtuelle des niveaux pélitiques du groupe 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QUARTZ	38,28	23,26	35,77	11,64	8,72	32,59	48,10	11,60	11,51	31,61	32,71	8,34	43,66	46,94	34,96
MINÉRAUX ARGILEUX															
kaolinite	1,60	18,81	8,29		4,79		1,80	31,89	4,83			11,93		9,44	15,61
smectite	31,51	24,76	28,09	42,02	42,60	33,00	16,94	15,50	26,00	25,65	27,50	33,55	21,58	18,35	20,01
illite	12,53	12,04	7,28	15,87	17,19	10,26	11,55	6,77	11,09	15,40	17,01	16,26	12,27	8,52	9,20
MINÉRAUX ACCESSOIRES															
apatite	0,13	0,22	0,11	0,15	0,15	2,23	0,11	0,72	1,00	2,10	0,11	1,20	0,26	0,11	0,26
strengite						4,02		6,06	13,68	5,28					
variscite						2,56									
rutile	0,80	1,75	0,68	1,17	0,93	0,73	0,91	0,77	0,59	0,94	0,94	0,94	0,54	0,61	1,00
pyrochroïte	0,06	0,08	0,03	0,06	0,10	0,04	2,98	0,01	0,03	0,34	0,04	0,05	0,21	0,06	0,40
goethite	5,34	10,71	5,45	5,95	6,35		6,62	10,24	1,28	6,66	5,91	13,02	5,06	5,76	10,57
calcite	0,34		0,18		1,11		2,98				1,92	0,16	3,54	0,89	1,14
dolomie													2,80		
sidérose				0,92							0,35				
rhodocrocite															
albite	1,35	1,52	6,59		8,87		0,85	9,55	22,57			5,32		3,38	0,85
excès de NaOH										0,23					
calcite normative				0,50							0,76		2,00		
talc										3,71	1,73		2,52		
minnesotaïte				5,61		5,29				0,62	0,53		0,82		

Groupe 2

La kaolinite tend à disparaître, sauf en un point (12,8 %) (tabl. IV). La proportion de smectites est plus faible que dans le groupe 1 : en effet le rapport moyen smectites/illites est de 2,29 dans le groupe 1 et de 1,56 dans le groupe 2.

Ces faits nous conduisent à envisager, dans le cas du premier groupe, la présence d'une certaine proportion de smectites authigènes ou provenant de l'altération du volcanisme.

Au niveau des « minéraux accessoires » on observe toujours des enrichissements locaux en phosphates,

TABLEAU IV
Composition minéralogique virtuelle des niveaux pélitiques du groupe 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
QUARTZ	45,81	45,23	56,17	56,33	53,99	46,94	63,22	43,85	64,17	57,05	65,92	58,99	55,99
MINÉRAUX ARGILEUX													
kaolinite		0,54					0,10	17,80	8,94				0,65
smectites	24,67	18,62	17,14	19,16	21,23	18,67	12,34	20,74	0,24	13,92	13,94	13,62	21,37
illite	14,21	9,71	11,33	11,43	10,54	14,55	10,37	6,94	6,84	13,60	7,98	11,66	9,08
MINÉRAUX ACCESSOIRES													
apatite	0,11	0,11	0,17		0,11	0,11	0,28	0,22	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
strengite				2,49	2,49								
variscite													
rutile	0,62	0,47	0,55	0,40	0,55	0,51	0,39	0,93	0,53	0,48	0,41	0,41	0,44
pyrochraïte	0,14	8,62	0,33	0,01	0,06	5,01	0,24	0,31	0,30	0,03	0,04	0,06	0,06
goëthite	6,42	4,65	4,49	3,80	5,18	5,99	3,77	5,91	2,31	4,48	3,30	5,15	5,91
calcite		0,25	0,05			0,66	0,34	1,39	0,10		0,14		0,34
dolomie				1,27						4,95			
sidérose													
rhodocroïte				0,05									
albite	0,56	3,21			1,21			0,85	4,39				1,44
excès de NaOH													
calcite normative						0,10			1,93		0,22	0,20	
calc.			1,87	0,42		0,31				1,93		1,72	
mimésotrite			0,82	0,73						0,62	1,66	1,03	

ainsi qu'en manganèse. La calcite est toujours présente en faibles quantités ; il y a des concentrations locales en dolomie. On relève également des traces d'albite et de ferromagnésiens.

Les différences qui apparaissent entre les deux groupes ne se font pas au niveau de la composition minéralogique mais au niveau des pourcentages des minéraux calculés (diminution des teneurs en argiles dans le groupe 2 par exemple). Ce phénomène déjà visible sur les tableaux III et IV peut être visualisé sur un diagramme.

Diagrammes triangulaires

Pour chacune des deux zones les minéraux normatifs calculés dans les échantillons ont été regroupés en trois lots en fonction de leur origine.

Le premier lot comprend les minéraux argileux. La kaolinite et l'illite ont une origine détritique ;

on les suit depuis les séries détritiques (grès) et les marnes du Trias supérieur. L'origine de la smectite est plus discutable, surtout dans la zone II, car une partie peut provenir de l'altération du volcanisme (dans certains niveaux les calculs font apparaître de la smectite ferrifère).

En contrepartie il paraît difficile, compte tenu des forts pourcentages présentés par ce minéral argileux, de le faire provenir uniquement de néogène. De plus, les séries triasiques possédaient déjà des smectites ou un interstratifié smectite/illite. Ainsi le cortège détritico argileux est composé d'illite, de smectite et accessoirement de kaolinite.

Le second lot comprend le quartz ; il exprime le pourcentage de silice d'origine biochimique et, *pro parte*, biologique (tests de radiolaires).

Enfin, dans le dernier lot, entrent les minéraux considérés comme autochtones. Certains sont liés au volcanisme ; il s'agit des phosphates, hydroxydes

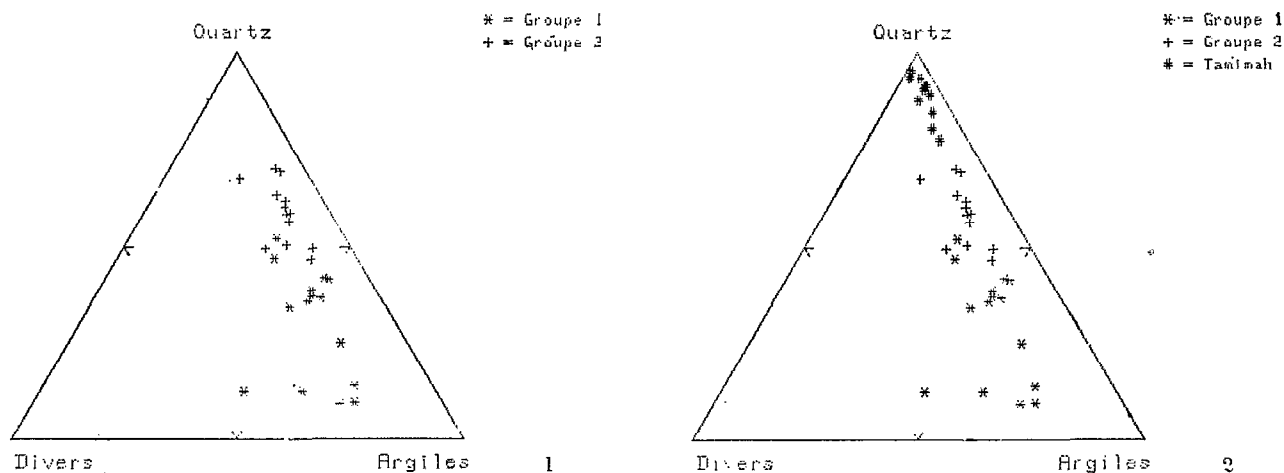


FIG. 5 (1). — Répartition des trois groupes de minéraux présents dans les pélites en fonction de leur position géographique
 FIG. 5 (2). — Dilution des apports détritiques par la silice biogénique dans les radiolarites. Comparaison des radiolarites du secteur de Tamimah^h (DELAUNE-MAYÈRE, 1978) avec les pélites du Crétacé basal

et carbonates de Mn, dolomie, sidérose. La calcite peut être, soit d'origine hydrothermale, soit d'origine détritique, apportée par des courants et préservée par un enfouissement rapide. L'albite et les ferromagnésiens proviennent de l'altération du volcanisme. Le fer exprimé sous forme de goethite, est lui aussi d'origine océanique.

Le rutile a été incorporé à ce lot pour des raisons de commodité mais en fait il est, comme les minéraux argileux d'origine détritique, bien qu'une partie du titane puisse entrer dans la composition des ferromagnésiens.

La représentation sur diagramme triangulaire du pourcentage des minéraux normatifs constituant les trois lots définis ci-dessus (somme des trois lots ramenée à 100) permet de suivre l'évolution des deux groupes. Le groupe 1 est hétérogène, la proportion d'argiles est importante et variable d'un point à un autre. Par opposition le groupe 2 est homogène et les teneurs en quartz normatif sont plus importantes [fig. 5 (1)].

Il faut remarquer que les teneurs en minéraux « autochtones » varient peu d'un groupe à l'autre (deux points sont aberrants dans le groupe 1 ; l'un par sa teneur en albite, l'autre par sa teneur en phosphates).

Ce comportement pouvait déjà être perçu sur le diagramme de la fig. 3 pour le fer et le manganèse ; mais il se vérifie également pour les autres minéraux. L'évolution a surtout porté sur le rapport quartz/minéraux argileux et le diagramme met en évidence une dilution des apports détritiques par la silice.

Sur le diagramme (2) [fig. 5 (2)] nous avons figuré

la composition virtuelle de cherts rouges, plus récents que les pélites (Hauterivien) et associés étroitement au volcanisme per-alcalin (séries de Qastal Maaf et de Tamimah^h ; DELAUNE-MAYÈRE, 1978). Leur position par rapport aux pélites illustre bien le phénomène de dilution des apports continentaux par la silice dans le domaine océanique (MPODOZIS, 1977). Il y a une évolution régulière entre les sédiments du groupe 1 montrant encore une forte proportion de minéraux détritiques, ceux du groupe 2 enrichis en silice et plus éloignés de la marge et ceux des cherts du secteur de Tamimah^h presque totalement soustraits aux influences continentales.

CONCLUSION

Les calculs normatifs effectués sur des sédiments océaniques siliceux, couplés avec les déterminations aux rayons X et au microscope électronique permettent d'avoir une bonne estimation de la composition minéralogique de ces sédiments, de les comparer entre eux, et de mettre en évidence au sein de séries homogènes et bien calées stratigraphiquement des polarités géochimiques. Ce procédé présente l'avantage de s'appliquer aux cas où la sédimentation est perturbée par des phénomènes volcaniques locaux, et où les gradients basés sur le comportement du fer ne peuvent être utilisés.

Ces calculs pétrographiques peuvent également apporter une aide pour corrélérer entre elles des séries le plus souvent azoïques et monotones par la mise

en évidence de niveaux particuliers, par exemple dans cette série pélagique des niveaux à dominance de kaolinite ou de montmorillonite ferrifère.

Au niveau des nappes radiolaritiques de Méditerranée orientale ils permettraient la comparaison des différents secteurs et une meilleure compréhens-

sion de la sédimentation dans le bassin océanique téthysien le long de la marge nord de la plate-forme arabe.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.,
le 1^{er} février 1983.*

BIBLIOGRAPHIE

- BALTUCK (M.), 1982. — Provenance and distribution of Tethyan pelagic and hemipelagic siliceous sediments, Pindos Mountains, Greece. *Sedimentary Geology*, 31 : 63-88.
- BARRETT (T. J.), 1980. — The Pb isotopic composition of Jurassic cherts overlying ophiolites in the North Apennines, Italy. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 49 : 193-204.
- BISCHOFF (J. L.) and DICKSON (F. W.), 1975. — Seawater-basalt interaction at 200 °C and 500 bars : implication for origin of sea-floor heavy-metal deposits and regulation of sea water chemistry. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 25 : 385-397.
- BOSTROM (K.), PETERSON (M. N.), JOENSUU (O.) and FISCHER (D.), 1969. — The origin of aluminium poor ferromanganous sediments in areas of high heat flow in the East Pacific Rise. *Mar. Geol.*, 7 : 427-447.
- CORLISS (J. B.), 1971. — Mid Ocean Ridge basalts. I. The origin of submarine hydrothermal solution. II. Regional diversity along the Mid Atlantic Ridge. Thesis ; Univ. California, 147 p.
- DELAUNE-MAYÈRE (M.), MARCOUX (J.), POISSON (A.) et PARROT (J. F.), 1977. — Modèle d'évolution mésozoïque de la paléomarge téthysienne au niveau des nappes radiolaritiques et ophiolitiques du Taurus lycien, d'Antalya et du Baër-Bassit Intern. Symp. on the Struct. Hist. of Mediter. basins, Split. Ed. Technips, Paris, 1977 : 79-94.
- DELAUNE-MAYÈRE (M.), 1978. — Cherts mésozoïques du bassin téthysien oriental : minéralogie et géochimie des sédiments siliceux du secteur de Tamina^b (N W syrien). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 2 : 191-202.
- DELAUNE-MAYÈRE (M.) et SAINT-MARC (P.), 1979/80. — Données stratigraphiques nouvelles sur les sédiments océaniques mésozoïques associés aux nappes ophiolitiques du Baër-Bassit (N W syrien). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. XI, n° 2 : 151-164.
- EALEY (P. J.) and KNOX (G. J.), 1975. — The pre-tertiary rocks of SW cyprus. *Geol. en Mijnb.*, vol. 54, I : 85-100.
- LAPIERRE (H.), 1975. — Les formations sédimentaires et éruptives des nappes de Mamonia et leur relation avec le massif du Troodos (Chypre orientale). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n° 54 : 123-322.
- MARTIN (A.), MARCOUX (J.), POISSON (A.) et STEINBERG (M.), 1981. — Mise en évidence de gradients géochimiques dans une série radiolaritique mésozoïque des Taurides occidentales (Turquie), conséquences paléogéographiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 292, sér. II : 525-530.
- MITEE SALAZAR (L. M.), 1978. — Contribution à l'étude de l'Apennin septentrional : la région de Braeco (province de Gènes et de La Spezia, Italie). Thèse Doct. Ing. Univ. Paris VI.
- MPODOZIS MARIN (C.), 1977. — Étude géologique de la région d'Agrophi (Pinde, Grèce) : Essai de classification géochimique des sédiments hypersiliceux marins ; application à l'étude des formations radiolaritiques du Pinde. Thèse de 3^e cycle. Univ. Paris VI, 108 p. *multigr.*
- PARROT (J. F.), 1977. — Assemblage ophiolitique du Baër-Bassit et termes effusifs du volcano-sédimentaire. Pétrologie d'un fragment de la croûte océanique téthysienne charriée sur la plate-forme syrienne. *Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M.*, n° 72, 333 p.
- PARROT (J. F.), 1983, en préparation. — Formation de minéraux virtuels d'altération d'après la méthode de Van der Plas et Van Schulenburg à partir des données analytiques de sols et d'horizons d'altération. Programme « LOIVA » pour HP 67/97 et HP 9845.
- RANGIN (C.), STEINBERG (M.) and BONNOT-COURTOIS (C.), 1981. — Geochemistry of the Mesozoic bedded cherts of Central Baja California (Vizcaino-Cedros — San Benito) : implications for paleogeographic reconstruction of an old oceanic basin. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 54 : 313-322.
- RICOU (L. E.), 1971. — Le croissant ophiolitique péri-arabe ; une ceinture de nappes mises en place au Crétacé supérieur. *Rev. Géogr. Phys. Géol. dyn.*, 13 : 327-349.
- SEYFRIED (W. E.) and MOTTI (M. J.), 1982. — Hydrothermal alteration of basalt by seawater under seawater-dominated conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 46 : 985-1002.
- SOLER (E.), BERNARD (A. J.) et NESTEROFF (W. D.), 1982. — Activité hydrothermale sulfurée de dorsale : comparaison entre dépôts contemporains (EPR, 21° N) et dépôts anciens (Chypre). *Oceanol. Acta*, vol. 5, n° 1 : 105-120.
- STEINBERG (M.) et MPODOZIS MARIN (C.), 1978. — Classification géochimique des radiolarites et des sédiments siliceux océaniques ; signification paléo-géographique. *Oceanologica Acta*, vol. I, n° 3 : 359-367.
- STEINBERG (M.), BONNOT-COURTOIS (C.), TLIĞ (S.), 1983. — Geochemical contribution to the understanding of bedded cherts. In siliceous deposits of the Pacific Region (J. Q. Hein and Q. Siever Ed.). *Developments in Sedimentology (sous presse)*.
- VAN DER PLAS (L.) and VAN SCHULENBORGH (J.), 1970. — Petrochemical calculations applied to soils with special reference to soil formation. *Geoderma*, 4 : 357-385.
- ROBERTSON (A. H. F.) and WOODCOCK (N. H.), 1979. — The Mamonia Complex, southwest Cyprus : evolution and emplacement of a Mesozoic continental margin. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Part I, v. 90 : 651-665.