

LES MÉTABASITES DE SIDI MOHAMED (EDOUGH, NE ALGÉRIEN): CARACTÉRISTIQUES PÉTROGRAPHIQUES, MINÉRALOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES

Soraya HADJ ZOBIR *; Rabah LAOUAR* et Roland OBERHÄNSLI**

RÉSUMÉ

Les metabasites de Sidi Mohammed, localisées sur le flanc NE du massif cristallophyllien de l'Edough, forment un affleurement au sein de formations ultramafiques (péridotites). La composition minéralogique de ces metabasites consiste en minéraux métamorphiques progrades (pyroxènes avec environ 20% de jadéite et grenats de type almandin) et en minéraux rétrogrades (amphiboles représentées principalement par de la hornblende édénitique et de la hornblende pargasitique) et des plagioclases (An_{27-36}) interstitiels.

Les diagrammes discriminants en éléments majeurs et en traces montrent que les metabasites ont un caractère tholéiitique. L'allure relativement plate des spectres des terres rares normalisés au Manteau Primitif ainsi que les fortes teneurs en Cr et Ni indiquent une similitude avec les basaltes océaniques mis en place dans un bassin arrière arc.

Mots Clés - Metabasites - Tholéiites - Basaltes océaniques - Bassin arrière arc - Edough (NE algérien).

THE METABASITES OF SIDI MOHAMED (EDOUGH, NE ALGERIA): PETROGRAPHICAL, MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS.

ABSTRACT

The Sidi Mohammed metabasites of one meter thick outcrop within the ultramafic formations (peridotites) on the northeastern part of the Edough metamorphic complex. They are composed of prograde minerals (pyroxenes with about 20% jadeite and almandine) and retrograde minerals (amphiboles mainly edenitic and pargasitic hornblendes) and interstitial An_{27-36} plagioclases.

Discriminant diagrams of major and traces elements show that the metabasites have a tholeiitic character. REE patterns show relatively flat curves; this, together with the observed high Cr and Ni contents, indicate that the metabasites are derived from oceanic basalts which are emplaced within back arc basins.

Key words - Metabasites - Tholeiites - Oceanic Basalts - Back-arc basin - Edough (NE Algeria)

* Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar Annaba, B.P. 12, 23200 Annaba.

**Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Postfach 601553 14415 Potsdam, Berlin, Germany.

- *Manuscrit déposé le 30 Octobre 2005, accepté après révision le 25 Mars 2006.*

I - INTRODUCTION

Le massif cristallophyllien de l'Edough, situé dans la partie orientale du littoral algérien, est un antiforme «core complex» (Caby et Hammor, 1992) dissymétrique allongé NE-SW sur une longueur d'environ 50 km et une largeur de 20 km. Ce massif est constitué essentiellement par un socle métamorphique où le noyau est composé de gneiss, considérés comme d'âge Néoprotérozoïque (Hammor et Lancelot, 1998), d'amphibolites (Voile Noire) et de roches ultramafiques (péridotites et metabasites de Sidi Mohamed). La couverture, d'âge Paléozoïque (Hlavsky et Snopkova, 1987), est formée par des micaschistes à grenat, disthène, andalousite, sillimanite, etc., de marbres et de quartzites. Pour certains auteurs le massif de l'Edough est considéré comme le prolongement des massifs internes de Grande et Petite Kabylie (Durand-Delga, 1969; Bouillin, 1977), alors que d'autres auteurs le considèrent comme un massif externe (Vila, 1970; Latouche et *al.*, 1978). Récemment Caby et *al.*, (2001) considèrent que le métamorphisme de haute température de ce massif est d'âge miocène. De nombreuses études ont été consacrées à la géologie de ce massif sur le plan pétrologique, structural, géochimique et géochronologique (ex: Hilly, 1962; Vila, 1970; Bossière et *al.*, 1976; Hlavsky et Snopkova, 1987; Gleizes et *al.*, 1988; Monié et *al.*, 1992; Ahmed-Said et Leake, 1993; Caby et *al.*, 2001; Laouar et *al.*, 2002). Le pointement ultramafique de Sidi Mohamed a été décrit pour la première fois par Bossière et *al.*, (1976). Au sein de ce pointement affleure un banc de metabasites qui a été décrit par Caby et *al.*, (2001) comme étant des éclogites retro-morphosées. Cette association metabasites-péridotites a été également décrite dans les séries ophiolitiques du bassin méditerranéen (Ligurie (Ottonello et *al.*, 1984), les Apennins (Tribuzio et *al.*, 1997) en Italie et Naxos en Grèce (Katzir et *al.*, 1999; Katzir et *al.*, 2002)).

Le but de cet article est de caractériser pétrographiquement, minéralogiquement et chimiquement les metabasites de Sidi Mohamed et de déterminer le contexte géotectonique de leur mise en place.

II - CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le massif de l'Edough est constitué de formations métamorphiques diverses formant une structure antiforme de direction NE-SW (fig. 1). Le cœur de l'antiforme, dite «unité inférieure» est composé de gneiss à biotite et de gneiss ocellés à deux micas datés Néoprotérozoïque (Hammor et Lancelot, 1998), avec parfois des bancs de leptynites et de marbres (Hilly, 1962; Gleizes et *al.*, 1988; Ahmed-Said et Leake, 1993). Au-dessus des gneiss vient une unité dite «intermédiaire» composée de micaschistes à grenat, disthène, sillimanite et andalousite avec des bancs métriques de marbres. L'unité supérieure, dite «des alternances», est composée principalement par des séricitoschistes, chloritoschistes et schistes graphiteux avec des bancs centimétriques à métriques de quartzites. Cette unité a été attribuée à l'Ordovicien-Dévonien sur la base d'acritarches par Hlavsky et Snopkova, (1987). Les roches mafiques et ultramafiques se sont mises en place au sein des gneiss et affleurent au niveau de leur partie supérieure. Elles sont largement composées d'amphibolites, métapyroxénites, métapéridotites et metabasites (fig. 1).

L'enveloppe sédimentaire du massif métamorphique est allochtone. Elle est représentée par des nappes de flyschs: les flyschs créacés composés principalement d'argilites schisteuses bleues sombres, en alternance avec des bancs (20 à 50 cm) de calcaire gréseux et de calcaire microbrèche gris-bleu (Maestrichtien; Marniac et Zimmermann, 1983; Marniac, 1985) et la nappe numidienne (Oligo-Miocène; Lahondère et *al.*, 1979) qui correspond à des

LES MÉTABASITES DE SIDI MOHAMED (ÉDOUGH, NE ALGÉRIEN): CARACTÉRISTIQUES PÉTROGRAPHIQUES, MINÉRALOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES

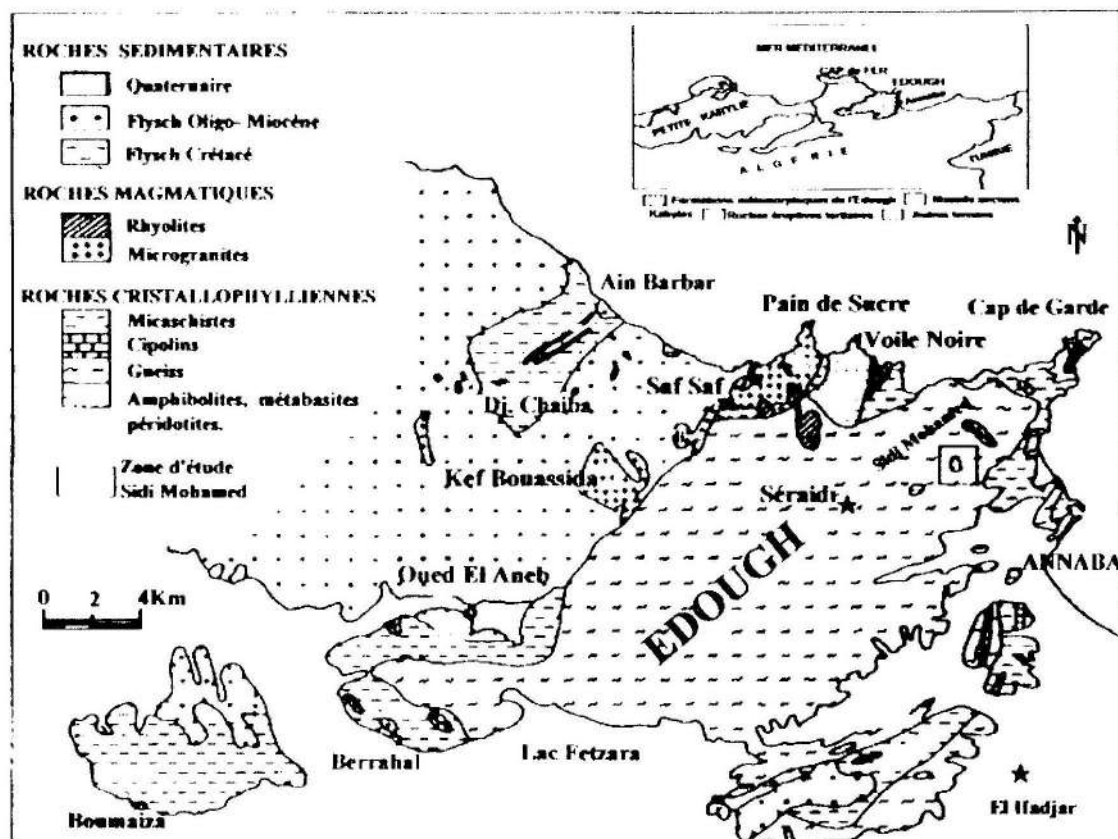


Fig. 1 - Carte géologique schématique du massif de l'Edough (D'après Hilly, 1962; Caby et Hammor, 2001; Laouar et al., 2002; modifiée).

Geological sketch map of the Edough Massif
(By Hilly, 1962; Caby et Hammor, 2001; Laouar et al., 2002; modified).

formations gréseuses massives silicifiées et de minces niveaux argileux (Hilly, 1962; Maignac, 1985). Ces nappes sont bien exposées dans la région de Ain Barbar et à un degré moindre au niveau d'El-Mellaha (fig. 1).

Le complexe métamorphique et la couverture sédimentaire ont été intrudés ou recoupés durant le Miocène (Langhien) par des magmas de composition acide à intermédiaire avec la mise en place de roches volcaniques rhyolitiques massives et filoniennes et des roches sub-volcaniques microgranodioritiques (fig. 1). La mise en place de ces roches ignées est

le résultat de la subduction-collision durant l'Oligo-Miocène dans le bassin méditerranéen ouest, entre les plaques européenne et africaine (Auzende et al., 1975; Bouillin, 1979; Cohen, 1980; Carminati et al., 1998a; Maury et al., 2000; Laouar et al., 2002; Laouar et al., 2005).

Le massif de l'Edough a subi un métamorphisme polycyclique caractérisé par trois événements majeurs (i) un métamorphisme de haut degré (HT-HP) correspondant localement aux conditions du faciès granulites, (ii) un métamorphisme prograde de moyen degré (MP-MT) et (iii) un métamorphisme de basse pression

et de haute température (Brunel *et al.*, 1988; Ahmed Saïd et Leake, 1993; Caby *et al.*, 2001). Les différentes unités métamorphiques ont subi dans leur ensemble une première déformation tangentielle caractérisée par des plis couchés synmétamorphiques suivie de déformations souples ayant abouti à des plis droits de direction N140°, à des anticlinaux de direction N50-60° et des déformations cisailantes suivant des directions N120° à N160°.

Les metabasites de Sidi Mohamed se rencontrent au sein du pointement péridotitique, au «km 7» sur la route Annaba-Seraïdi (fig. 1 et 2), sous forme d'un affleurement massif d'environ 15 m de long et d'une épaisseur apparente variable entre 20 et 120 cm (fig. 2). La limite nord des metabasites se caractérise par la présence d'un filon de pegmatite à tourmaline et un affleurement de phlogopite à grenat. Le contact des metabasites avec les formations péridotitiques est souvent net, mais à certains endroits il est matérialisé par la présence de

minces filonnets (2-3 cm) de pegmatites calciques (fig. 3). Les metabasites sont généralement massives et peu altérées.

III - PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE

L'étude pétrographique des échantillons représentatifs des metabasites a montré une légère hétérogénéité dans la composition minéralogique. Deux groupes principaux peuvent être distingués : un premier groupe (Métab I) faiblement rétrotransformé et un second (Métab II) à rétrotransformation plus poussée.

Les metabasites montrent des minéraux primaires représentés par des grenats et des clinopyroxènes et des minéraux secondaires tel que l'amphibole, le rutile le plagioclase et le quartz (fig. 4). La rétrotransformation est de degré variable, lorsqu'elle est de faible intensité (ex: Métab I), les grenats sont limpides, de taille millimétrique et de forme globuleuse et autour

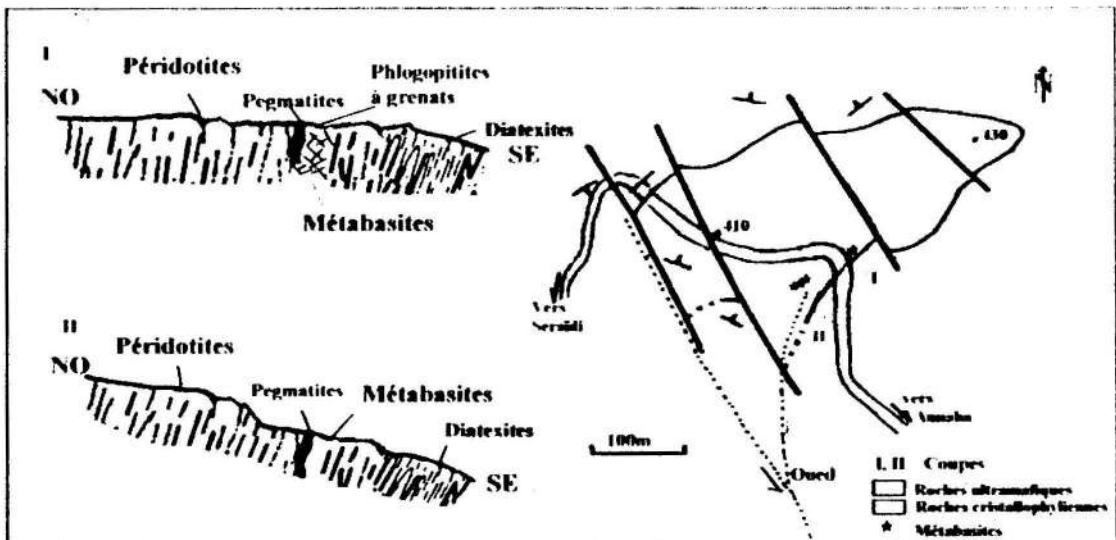


Fig. 2 - Carte et coupes géologiques (I et II) de l'affleurement péridotites-métabasites de Sidi Mohamed (D'après Bossière *et al.*, 1976; modifiée). L'échelle des coupes est exagérée afin de faire ressortir les détails.

*Map and cross-sections (I and II) of the Sidi Mohamed peridotites-metabasites. (By Bossière *et al.*, 1976; modified). The scale of the cross-sections is enlarged to show details.*

LES MÉTABASITES DE SIDI MOHAMED (EDOUGH, NE ALGÉRIEN): CARACTÉRISTIQUES PÉTROGRAPHIQUES, MINÉRALOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES

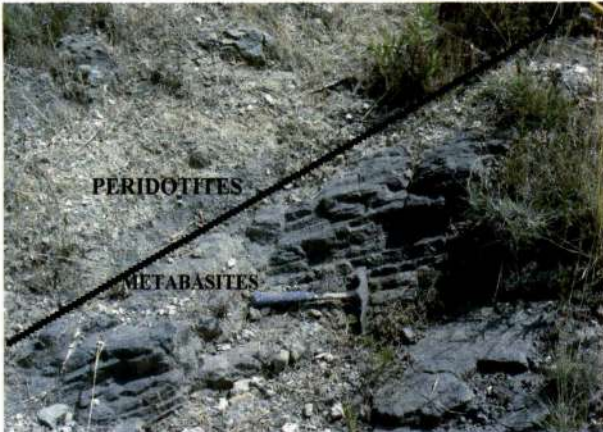


Fig. 3 - Photo montrant le contact entre les metabasites et les formations ultramafiques de Sidi Mohamed.

Photograph showing the contact between the metabasites and the ultramafic formation of Sidi Mohamed

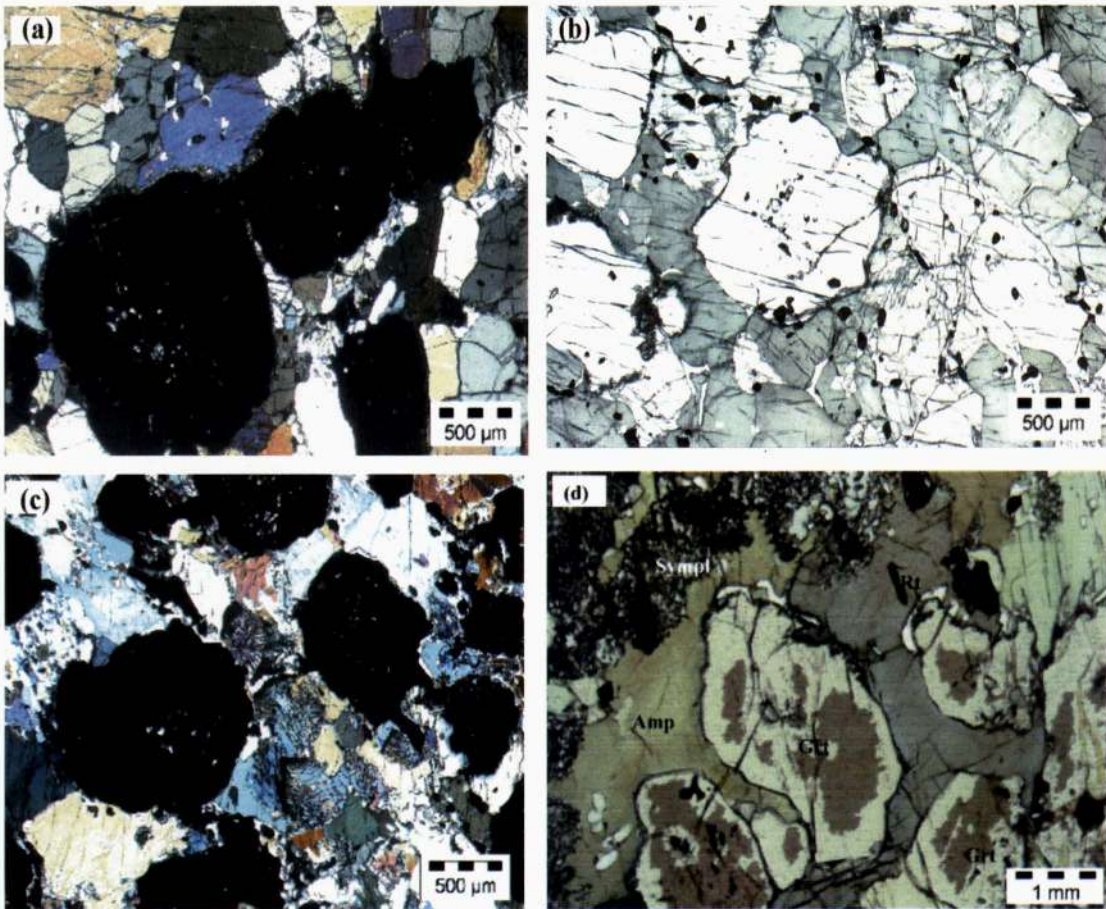


Fig. 4 - Microphotographie des metabasites en LP (gauche) et LN (droite). (a) - metabasite peu rétromorphosée (Métab I); (b) - grenats non zonés (Métab I), (c) - metabasite très rétromorphosée (Métab II), (c) - grenats zonés (Métab II).

Microphotographs of the metabasites in PL (left) and NL (right). (a) - weakly retromorphosed metabasite (Métab I); (b) - non-zoned garnet (Métab I); (c) highly retromorphosed metabasite (Métab II); (d) - zoned garnet (Métab II).

de ces grenats se développe une auréole d'amphibole bleu-verdâtre (fig. 4a et 4b). Lorsque la rétro-morphose est plus marquée, les grenats deviennent légèrement étirés et zonés (Métab II) et des symplectites apparaissent d'une manière ubiquiste (fig. 4c et 4d).

Des analyses à la microsonde électronique automatisée CAMECA SX-100 et SX-50 sur les minéraux ont été exécutées au laboratoire de GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) Allemagne. Les résultats sont consignés dans le tableau I.

Les grenats

Des grenats représentatifs des deux types de metabasites ont été analysés et des profils de concentrations des éléments majeurs ont été construits (fig. 5). Dans les Métab I, la composition moyenne du cœur des grenats est $Alm_{50}Pyr_{21}$

$Gros_{25}Spe_4$ et celle du bord est $Alm_{49}Pyr_{32}Gros_{24}Spe_1$. Ces grenats ne présentent pas de zonage et montrent un profil typique des conditions progrades, soit une augmentation de Mg et une diminution de Mn et Ca du centre vers la périphérie du minéral (fig. 5a). Les grenats des Métab II sont très faiblement zonés avec des compositions $Alm_{48-49}Pyr_{20-18}Gros_{27-28}Spe_6$ au centre et $Alm_{48-49}Pyr_{18-26}Gros_{28-24}Spe_{5-1}$ vers la périphérie (fig. 5b). Ces zonages traduisent des conditions rétrogrades enregistrées par le cœur et des conditions progrades enregistrées par le bord du minéral.

Les pyroxènes

Les pyroxènes sont des clinopyroxènes souvent prismatiques, parfois à bords corrodés, leur composition chimique indique les types calco-ferromagnésien et calco-sodique. Sur le diagramme de classification de Morimoto (1988),

Tableau I - Résultats d'analyses à la microsonde des grenats, clinopyroxènes, amphiboles et plagioclases des metabasites de Sidi Mohamed.

Microprobe analyses of garnets, clinopyroxenes, amphiboles, and plagioclases

Grenat (Métab I)																
	Centre													Bord		
SiO ₂	38,7	38,86	39,02	38,98	38,98	38,91	38,97	39,22	39,31	39,28	39,33	39,53	39,62	39,41	39,55	
TiO ₂	0,17	0,15	0,12	0,17	0,13	0,14	0,1	0,09	0,07	0,09	0,08	0,12	0,11	0,11	0,1	
Al ₂ O ₃	20,53	20,82	20,65	20,87	20,72	20,69	20,58	20,81	20,99	20,76	20,79	20,76	20,91	21,08	20,95	
FeO	23,88	23,7	23,77	23,5	24,08	23,66	23,87	23,41	23,32	23,61	23,41	22,67	22,25	22,13	22,07	
MnO	1,8	1,81	1,53	1,21	1,16	1,05	1,01	0,99	0,85	0,78	0,73	0,62	0,62	0,57	0,64	
MgO	5,51	5,56	5,81	6,23	6,5	6,44	6,24	6,35	6,76	7,4	7,84	7,96	8,37	8,61	8,64	
CaO	9,3	9,22	9,14	8,69	8,49	8,4	8,54	8,57	8,72	8,07	7,44	7,9	7,27	7,41	7,38	
Total	99,89	100,12	100,04	99,65	100,05	99,29	99,3	99,43	100	99,98	99,61	99,56	99,15	99,32	99,33	
Py	20,71	20,97	21,86	23,66	24,27	24,44	23,68	24,23	25,41	27,52	29,32	29,81	31,67	32,29	32,39	
Alm	50,34	50,14	50,16	50,03	50,46	50,39	50,84	50,12	49,2	49,27	49,11	47,62	47,23	46,54	46,38	
Gro	25,12	25,01	24,71	23,7	22,8	22,91	23,31	23,51	23,58	21,57	20,01	21,25	19,77	19,95	19,86	
Spe	3,83	3,88	3,27	2,62	2,47	2,27	2,17	2,14	1,81	1,64	1,56	1,32	1,33	1,22	1,37	
Grenat (Métab II)																
	Centre													Bord1		Bord2
SiO ₂	38,81	38,75	38,42	38,6	38,68	38,56	38,49	38,59	38,73	38,66	39,05	38,88	38,91	39,2	39,06	
TiO ₂	0,22	0,16	0,14	0,09	0,25	0,17	0,16	0,17	0,2	0,09	0,1	0,06	0,09	0,09	0,08	
Al ₂ O ₃	20,14	20,34	20,29	20,48	20,18	20,23	20,2	20,38	20,73	20,39	20,37	20,79	20,72	20,86	20,52	
FeO	21,43	22,36	22,14	21,71	21,56	21,83	21,82	22,07	22,04	22,01	22,13	22,84	22,44	22,83	22,37	
MnO	2,52	2,94	3,17	2,99	2,98	2,94	2,91	2,53	2,27	2,03	1,78	1,46	1,06	0,75	0,63	
MgO	4,97	4,69	4,59	4,44	4,38	4,1	4,11	4,51	4,69	4,73	4,96	5,35	5,85	6,14	6,55	
CaO	9,37	9,26	9,23	9,74	9,79	10,09	9,99	9,97	10,1	9,98	9,71	9,54	9,34	8,94	8,69	
Total	97,45	98,5	97,98	98,05	97,82	97,91	97,67	98,21	98,75	97,9	98,09	98,92	98,4	98,81	97,92	
Py	19,75	18,34	18,04	17,54	17,37	16,23	16,32	17,7	18,32	18,63	19,55	20,71	22,71	23,81	25,49	
Alm	47,8	49,09	48,82	48,09	47,98	48,47	48,6	48,57	48,29	48,61	48,95	49,56	48,9	49,64	48,81	
Gro	26,77	26,03	26,08	27,66	27,93	28,69	28,51	28,11	28,35	28,23	27,52	26,51	26,06	24,9	24,29	
Spe	5,68	6,54	7,07	6,72	6,72	6,61	6,56	5,63	5,04	4,54	3,99	3,22	2,33	1,65	1,4	

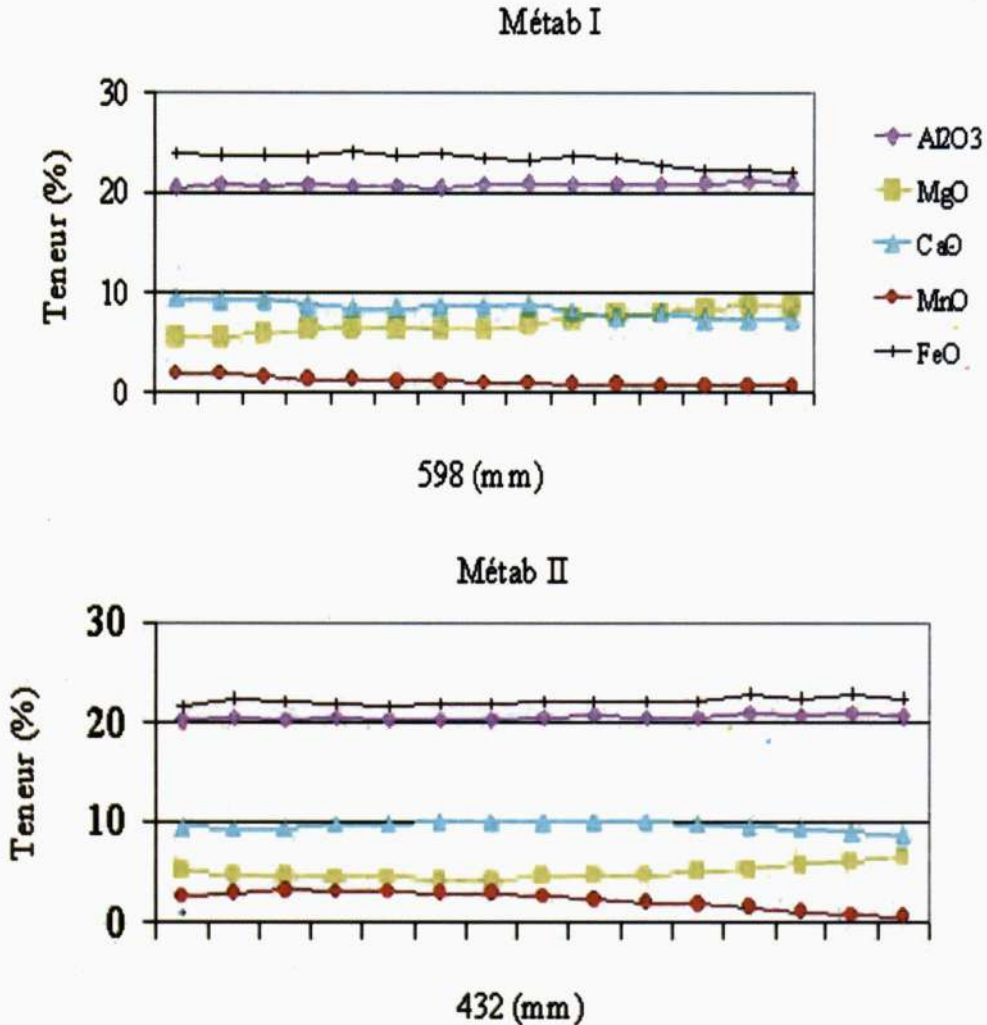


Fig. 5 - Profils en éléments majeurs des grenats représentatifs des metabasites de Sidi Mohamed.
Major element contents across garnets from the Sidi Mohamed metabasites.

- (a) - grenats des metabasites peu rétomorphosées (Métab I)
(garnets from the weakly retromorphosed metabasites (Métab I));
 (b) - grenats des metabasites très rétomorphosées (Métab II)
(garnets from the highly retromorphosed metabasites (Métab II)).

ces clinopyroxènes se projettent dans les domaines des diopsides et des augites (fig. 6a). Pour déterminer la composition des pyroxènes sodiques, le diagramme discriminant WEF-Jd-Ae (Wollastonite + Enstatite + Ferrosilite – Jadéite – Aegyrine) de Morimoto (1988) a été utilisé; ces

clinopyroxènes se projettent entre le domaine des omphacites et des augites (fig. 6b). Sur le diagramme Al^{VI} vs Al^{IV} de (Aoki et Shiba, 1973), les clinopyroxènes sodiques se projettent dans le domaine des pyroxénites; aucun échantillon ne se situe dans le domaine des écolgites (fig. 7).

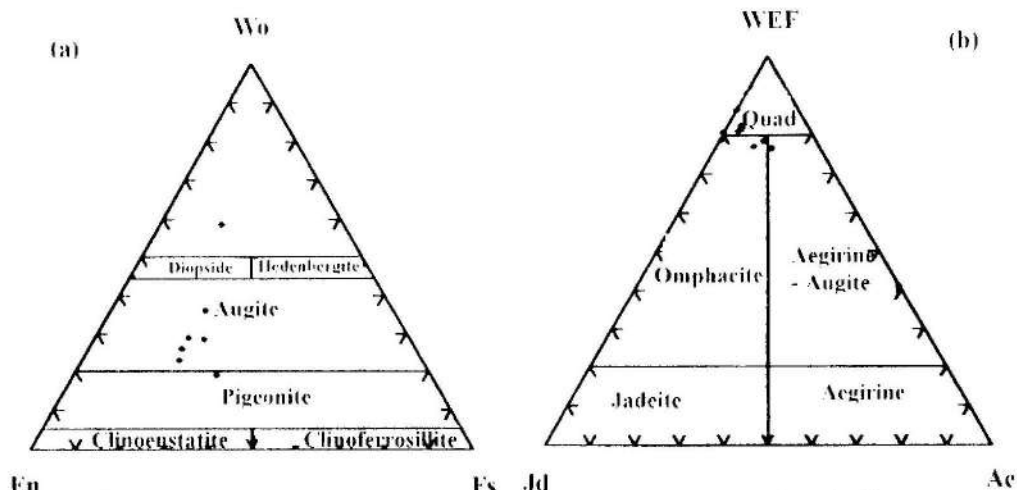


Fig. 6 - Classification des pyroxènes des métabasites de Sidi Mohamed sur le diagramme

Pyroxenes classification from the Sidi Mohamed metabasites on diagrams

- (a) wollastonite (Wo) – enstatite (En) – ferrosilite (Fs) et le diagramme
 (the wollastonite (Wo) – enstatite (En) – ferrosilite (Fs) and the diagram)
 (b) WEF (Wo+En+Fs) – jadéite (Jd) – aegyrine (Ae) de Morimoto (1988)
 (The WEF (Wo+En+Fs) – jadéite (Jd) – aegyrine (Ae) diagrams of Morimoto (1988)).

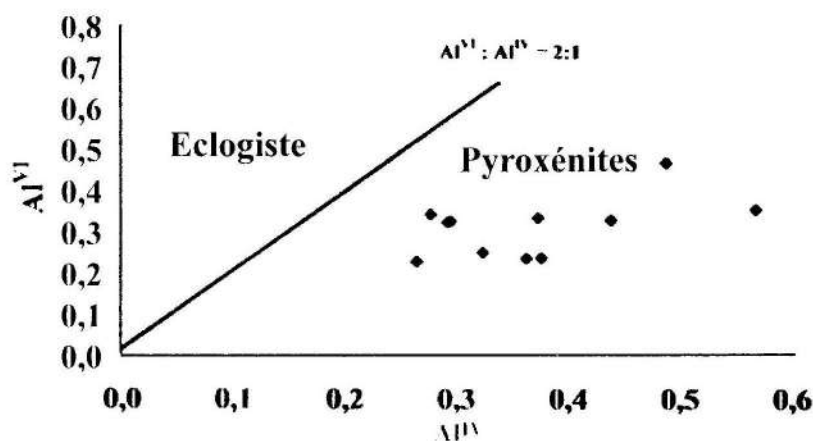


Fig. 7 - Position des clinopyroxènes des métabasites de Sidi Mohamed sur le diagramme discriminant de Aoki et Shiba, (1973).

Plot of the clinopyroxenes of the Sidi Mohamed metabasites on the discriminant diagram of Aoki et Shiba, (1973).

L'amphibole

Dans les métabasites l'amphibole est omniprésente, elle est souvent subautomorphe et montre une texture granoblastique. Ces amphiboles dérivent probablement de la déstabilisation de phases précoces tel que le

pyroxène. Leur composition chimique montre de faibles variations. Dans la nomenclature de Leake et al., (1997), elles sont représentées principalement par de la hornblende édénitique et de la hornblende pargasitique (fig. 8). L'absence du dosage du lithium n'a pas permis de donner un nom plus précis d'après la nomenclature de Leake et al., (2004).

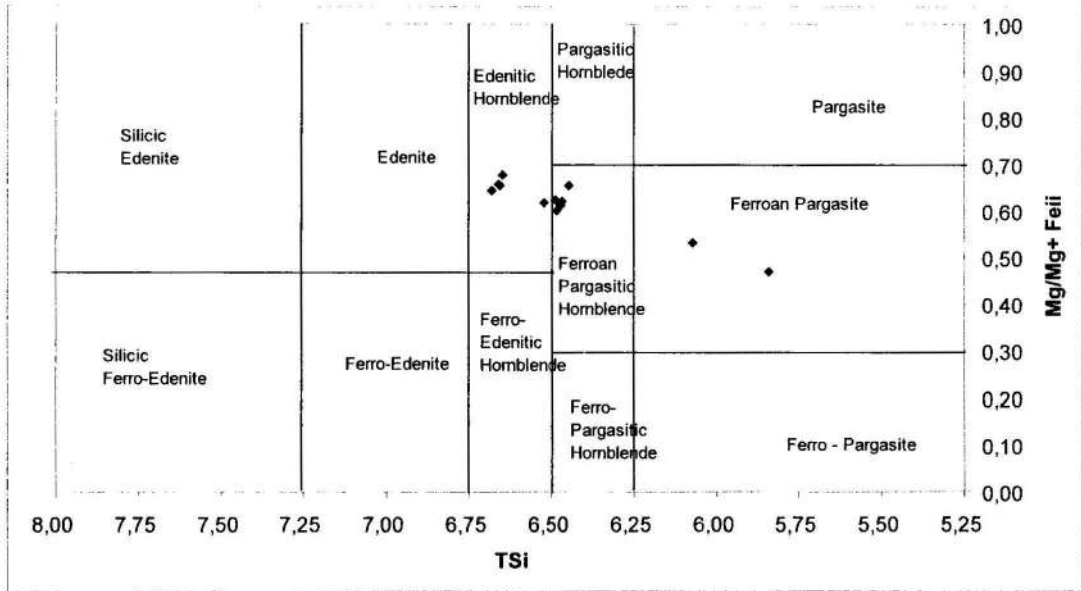


Fig. 8 - Diagramme montrant la composition des amphiboles des métabasites de Sidi Mohamed sur les diagrammes de classification de Leake et al., (1997).

Plot of amphiboles of the Sidi Mohamed metabasites on the chemical composition and nomenclature diagram of Leake and al. (1997)

Le plagioclase

Il est légèrement altéré et ne s'observe que sous forme de petites taches maclées interstitielles entre les pyroxènes et les grenats. Les teneurs relativement faibles en CaO (5,76 – 6,6%) permettent de le classer dans le type oligoclase-andésine avec une composition oscillant entre An_{27} à An_{36} (fig. 9).

Le rutile et la zoïsite

Le rutile et la zoïsite sont des phases accessoires ubiquistes dans les métabasites. Le rutile apparaît parfois en inclusion dans les grenats. La zoïsite se présente en grains xénomorphes.

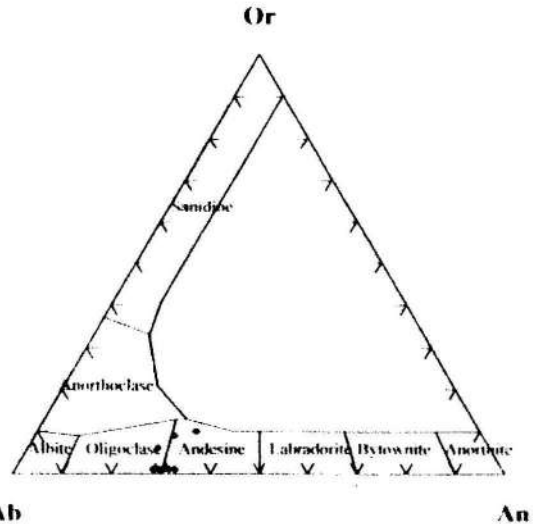


Fig. 9 - Composition des plagioclases des métabasites de Sidi Mohamed sur le diagramme Or (orthose) – Ab (albite) – An (anorthite).

Plagioclases composition of the Sidi Mohamed metabasites on the Or-Ab-An diagram.

IV - GÉOCHIMIE ET ENVIRONNEMENT TECTONIQUE

Cinq échantillons représentatifs frais, à l'exception de l'échantillon MB3 (qui montre des traces de métasomatisme), prélevés dans les metabasites ont été analysés en éléments majeurs, traces et terres rares. L'analyse des éléments majeurs

et en trace a été exécutée par XRF au laboratoire GeoForschungs Zentrum Potsdam (GFZ) et l'Institut de Geowissenschaften Universität Potsdam, Allemagne, les éléments, Ba, Sc et Y et les terres rares ont été analysés par ICP-MS et ICP-AES. Les résultats sont consignés dans le tableau II.

Tableau II - Analyses chimiques (majeurs, traces et terres rares) des metabasites (roche totale) de Sidi-Mohamed.

Whole-rock chemical analysis (major, trace and REE) of the Sidi Mohamed metabasites

Oxydes (% en poids)	Métab I			Métab II	
	sm1P	sm6P	sm8P	MB4-5	MB3
SiO ₂	43,71	42,85	43,94	42,40	41,80
TiO ₂	2,07	2,60	2,43	1,83	2,47
Al ₂ O ₃	15,34	14,88	14,20	16,20	16,60
FeO _t	12,10	13,30	12,30	12,51	13,74
MnO	0,19	0,22	0,15	0,29	0,29
MgO	11,57	11,46	12,18	12,09	9,51
CaO	9,89	11,70	11,63	10,00	11,22
Na ₂ O	2,90	1,76	2,20	2,15	2,03
K ₂ O	0,17	0,19	0,19	0,25	0,25
P ₂ O ₅	0,13	0,24	0,18	0,13	0,30
P.Feu	1,34	0,71	0,71	1,66	1,58
Total	99,40	99,90	100,11	99,51	99,79
Traces (ppm)					
Ba	15,00	40,00	10,00	13,00	22,00
Cr	336,70	208,50	298,50	349,00	192,00
Ni	136,00	140,10	149,80	213,00	141,00
Rb	2,30	4,70	5,10	/	/
Sr	78,20	207,30	196,00	110,00	343,00
V	289,60	335,30	345,30	320,00	379,00
Zn	85,90	70,70	76,20	83,00	71,00
Zr	109,10	173,00	164,40	103,00	171,00
Y	36,00	52,00	37,00	36,00	49,00
Sc	43,00	55,00	49,00	53,00	48,00
Nb	/	4,10	3,30	/	/
Terres rares (ppm)					
La	4,40	7,90	6,40	11,00	7,60
Ce	16,00	25,00	20,00	27,00	21,00
Pr	2,20	3,60	3,00	3,50	3,00
Nd	14,00	23,00	19,00	14,00	12,00
Sm	4,20	6,70	5,40	5,60	5,30
Eu	1,40	2,30	1,90	2,20	1,90
Gd	5,90	9,00	7,40	6,90	7,40
Tb	1,00	1,50	1,20	1,00	1,00
Dy	6,60	9,60	7,30	6,50	8,50
Ho	1,40	2,00	1,40	1,40	1,90
Er	4,20	6,40	4,40	4,10	5,70
Tm	0,64	0,94	0,67	0,67	0,91
Yb	4,00	6,00	4,30	4,10	5,50
Lu	0,59	0,89	0,63	0,60	0,81

Les metabasites se caractérisent par des teneurs relativement homogènes en Na_2O (1,76% - 2,9%) et K_2O (0,17% - 0,25%). La similitude des teneurs en Na_2O et K_2O , ainsi que d'autres éléments mobiles des échantillons sains (Métab I) et ceux de l'échantillon rétro-morphosé (Métab II), indique que ces metabasites ont subi un métasomatisme isochimique. Les teneurs en Al_2O_3 sont par contre assez variables (14,2-16,6%). Les valeurs en MgO sont généralement homogènes (11,57 - 12,18%) dans le premier groupe de metabasites; le second groupe (Métab II) montre la plus faible concentration (9,51%). Les variations des teneurs en éléments majeurs dans les deux groupes de metabasites reflètent leur diversité minéralogique ainsi que leur degré de rétro-morphose.

Sur le diagramme discriminant "TAS" de Le Bas *et al.*, (1986) (fig. 10) et sur le diagramme AFM de Irvine et Baragar, (1971) (fig. 11a), les échantillons se projettent respectivement

dans le domaine des basaltes magnésiens et dans le domaine des tholéiites. Les concentrations en éléments compatibles Cr et Ni permettent de caractériser le protolithe. La concentration moyenne en Cr des protolithes du type MORB et en Ni des protolithes du type tholéiites océaniques varie selon les auteurs: la teneur en Cr est de 318 ppm (Seim et Tischendorf, 1990) et de 346 ppm selon (Wilson, 1989) alors que la teneur en Ni est de 110 ppm (Seim et Tischendorf, 1990) et 117 ppm (Wilson, 1989). Les metabasites de Sidi Mohamed ont des teneurs en Cr variables entre 349 et 208 ppm (moyenne 298 ppm) et en Ni entre 231 et 136 ppm (moyenne 159 ppm) et sont relativement semblables à celles des MORBs et Tholéiites océaniques.

Les magmas de souche tholéiitique sont très répandus et se rencontrent dans de nombreux environnements tectoniques. Quelques diagrammes ont permis de discriminer avec plus de précision l'environnement tectonique des

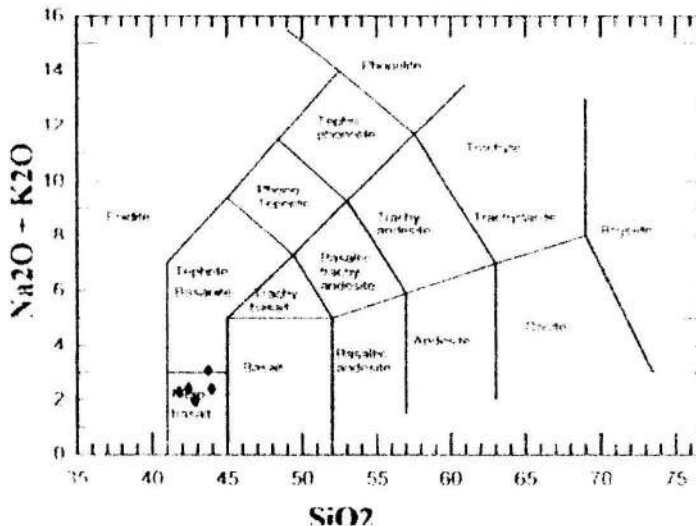


Fig. 10 - Classification chimique et nomenclature des metabasites de Sidi Mohamed (D'après Le Bas *et al.*, (1986)).

Chemical classification and nomenclature of the Sidi Mohamed metabasites (By Le Bas and *al.* (1986)).

métabasites de Sidi Mohamed. Sur le diagramme discriminant des basaltes de Pearce et Canne, (1973) (Ti-Zr-Y*3), les métabasites se projettent dans le domaine des basaltes des Rides Médio-Océaniques (MORB) (fig. 11b), sur le diagramme discriminant (V vs Ti/1000) de Shervais, (1982), les métabasites se projettent dans le domaine des MORBs et des basaltes des bassins arrière

arc (BAAB) (fig. 11c) et sur celui Ti/Zr vs Zr de Woodhead et *al.*, (1993), elles se projettent dans le domaine des basaltes des bassins arrière arc (BAAB) (fig.11d). Les différentes projections permettent de proposer une mise en place des métabasites de Sidi Mohamed dans un environnement de bassin arrière arc (BAAB).

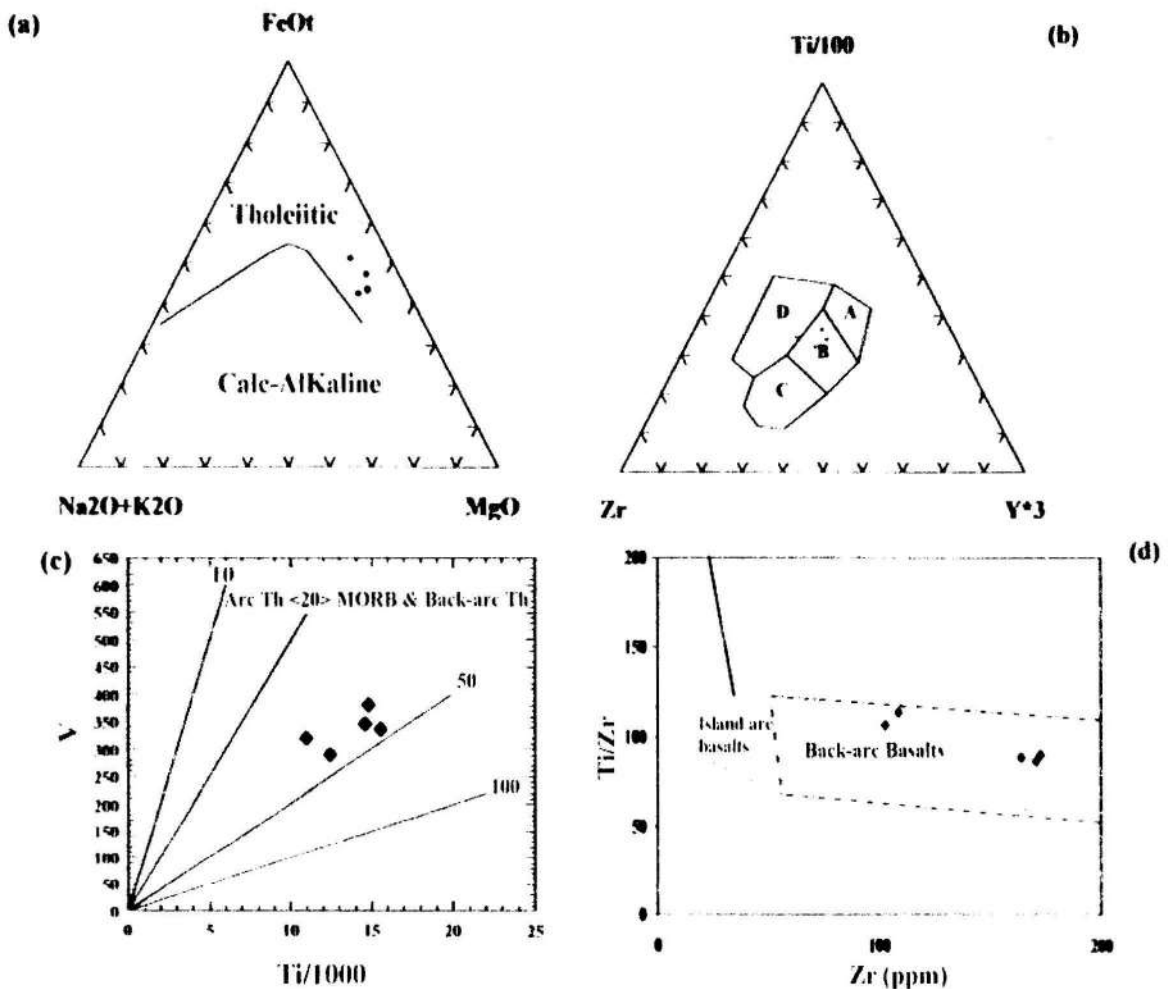


Fig. 11 - Projection des métabasites de Sidi Mohamed sur les diagrammes discriminants de:

Plot of the Sidi Mohamed metabasites on the discriminant diagrams of:

(a) AFM de Irvine et Baragar (1971) (*AFM of Irvine et Baragar (1971)*); (b) Pearce et Canne (1973), (A- Tholeiites d'îles Océaniques, B - Basaltes des Rides Médio-Océaniques, C - Basaltes Calco-alcalins, D - Basaltes Intra-Plaques) (*Pearce et Canne (1973) (A- Ocean Island Tholeiites, B - Mid-Ocean Ridge Basalts, C - Calc-alkaline Basalts, D - Within Plate Basalts)*); (c) Shervais (1982) (*Shervais (1982)*); et (d) Woodhead et *al.*, (1993) (*Woodhead and al. (1993)*).

Les spectres multi-éléments normalisés à ceux du Manteau Primitif (Sun et Mc Donough, 1989) des métabasites de Sidi Mohamed sont relativement plats et sensiblement semblables (fig. 12a). La plupart des échantillons montrent des anomalies négatives en Nb et Ti, caractéristiques des magmas d'arc (Saunders et Tarney, 1984; Hawkins et Melchior, 1985; Spadea et al., 1996). Les spectres des terres rares des métabasites comparés à ceux des MORBs (fig. 12b) montrent un léger enrichissement en REE des métabasites de Sidi Mohamed par rapport

aux MORBs, ce qui est caractéristique d'un magmatisme d'arc (Hawkins et Melchior, 1985; Fryer et al., 1990). Toutes ces caractéristiques confortent la mise en place des métabasites de Sidi Mohamed dans un environnement d'arrière arc (BAAB).

V - CONCLUSION

Les métabasites de Sidi Mohamed se rencontrent au sein de péridotites. La composition minéralogique consiste en des clinopyroxènes à faible teneur en jadéite (diopside sodique), des grenats de type almandin, des minéraux rétro-morphiques représentés par des amphiboles (hornblende pargasitique et hornblende édénitique) et des plagioclases sodiques interstitiels. Cette composition minéralogique ainsi que les caractéristiques chimiques des pyroxènes ne permet pas d'attribuer le nom d'éclogite au sens strict du terme à ces roches. La richesse de ces métabasites en MgO (9-12%) suggère par contre, un protolithe basaltique magnésien de source mantellique probablement par fusion partielle faible (<10%) des péridotites de Sidi Mohamed. Les métabasites de Sidi Mohamed ont une affinité tholéiitique, des similitudes avec les basaltes des rides médio-océaniques (MORB) et les basaltes des bassins arrière arc (BAAB). Les fortes teneurs en Zr ont permis de les différencier des MORBs et de les placer dans le domaine des BAAB. Les caractéristiques géochimiques des métabasites permettent de dire que ce sont des équivalents métamorphiques de basaltes tholéiitiques de bassins arrière arc qui ont enregistré des conditions P-T élevées traduisant des conditions métamorphiques voisines de la transition des amphibolites-éclogites.

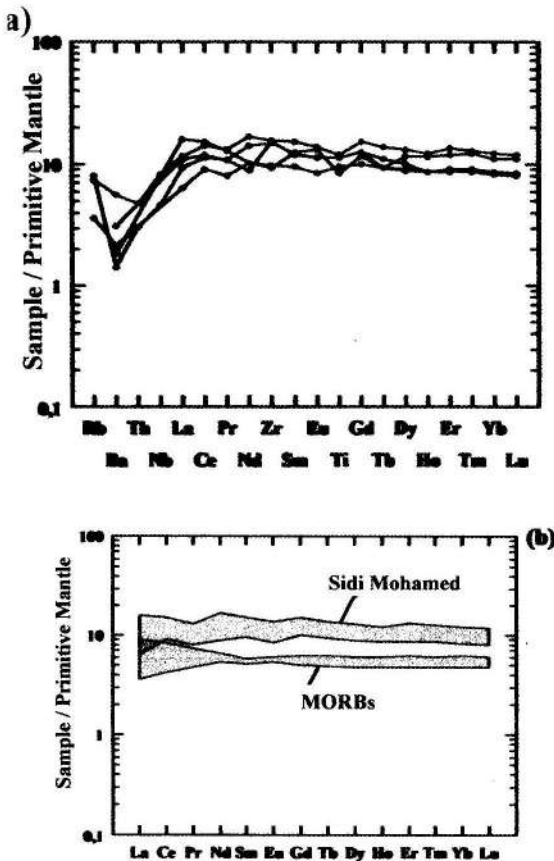


Fig. 12 - (a) - Diagrammes multi-éléments des métabasites de Sidi Mohamed normalisés au Manteau Primitif (Sun et Mc Donough, 1989); (b) - comparaison des spectres de REE des métabasites avec les spectres des MORBs.

(a) Normalized REE spider diagrams of the Sidi Mohamed metabasites; (b) Comparison with MORB's spectra.

Remerciements : Les auteurs remercient le personnel du laboratoire de microsonde du GFZ Potsdam, le personnel des laboratoires de lames minces et d'analyses chimiques de l'Institut de Geowissenschaften Universität Potsdam, Allemagne. Nos remerciements vont également à P. O'Brien pour ses conseils et commentaires, ainsi qu'à nos collègues

qui nous ont aidé lors des travaux de terrain. L. R. a été financé par l'accord programme Tassili 05 HCV003.

BIBLIOGRAPHIE

- AHMED SAÏD, Y., LEAKE B. E. ET ROGERS G., 1993.** The petrology, geochemistry and petrogenesis of the Edough igneous rocks, Annaba, NE Algeria. *Journal of African Earth Science*, 17, (n°1), 111-123.
- AOKI, K. ET SHIBA, I., 1973.** Pyroxenes from lherzolite inclusions of Hinomegata, Japan. *Lithos*, 6, 41-51.
- AUZENDE, J. M., BONNIN, J. ET OLIVET, J. L., 1975.** La marge nord-africaine considérée comme marge active. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7, 486-495.
- BOSSIÈRE, G., COLLOMB, P. ET MAHDJOUB, Y., 1976.** Sur un gisement de Péridotites découvert dans le massif cristallophyllien de l'Édough (Annaba, Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 283, 885-888.
- BOULLIN, J. P., 1979.** La transversale de Collo et d'El Milia (Petite Kabylie): une région-clef pour l'interprétation de la tectonique alpine de la chaîne littorale d'Algérie. *Mémoires de la Société Géologique de France*, 57, (135), 84 p.
- BOULLIN, J. P., 1977.** Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris VI*.
- BRUNNEL, M., HAMMOR, D., MISSERIE, M., GLEIZES, G. ET BOULETON, J., 1988.** Cisaillements syn-synmétamorphiques avec transport vers le Nord-Ouest dans le massif cristallin de l'Édough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 306, 1039-1045.
- CABY, R. ET HAMMOR, D., 1992.** Le massif cristallin de l'Édough (Algérie): un «metamorphic core complex» d'âge Miocène dans les maghrébides. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 314, 829 - 835.
- CABY, R., HAMMOR, D. ET DELOR, C., 2001.** Metamorphic evolution, partial melting and Miocene exhumation of lower crust in the edough metamorphic core complex, west mediterranean orogen, eastern Algeria. *Tectonophysics*, 342, 239-273.
- CARMINATI, E., WORTEL, M. J. R. ET SABADINI, R., 1998a.** The role of slab detachment processes in the opening of the western-central Mediterranean basins: some geological and geophysical evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 160, 651-665.
- COHEN, C. R., 1980.** Plate tectonic model for the Oligo-Miocene evolution of the western Mediterranean. *Tectonophysics*, 68, 283-311.
- DURAND-DELGA, M., 1969.** Mise au point sur la structure Nord-Est de la Berbérie. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie*, 39.
- FRYER, P., TAYLOR, B., LANGMUIR, C. H. ET HOCHSTAEDTER, A.G., 1990.** Petrology and geochemistry of lavas from the Sumisu and Orishima back-arc rift. *Earth and Planetary Science Letters*, 100, 161-178.
- GLEIZES, G., BOULETON, J., BOSSIÈRE, G. ET COLLOMB P., 1988.** Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Édough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 306 (II), 1001-1008.
- HAMMOR, D. ET LANCELOT, J., 1998.** Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le massif de l'Édough (Nord-Est de l'Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 327, série II, 391-396.
- HAWKINS, J. W. ET MELCHIOR, J., 1985.** Petrology of Mariana and Lau trough basalts. *Journal of Geophysical Research*, 90, (11), 431-468.
- HILLY, J., 1962.** Etude géologique du massif de l'Édough et du Cap de Fer (Est Constantinois). *Publications du Service de la Carte Géologique de l'Algérie (nouvelle série)* 19, 408.

- ILAVSKY, J. ET SNOPKOVA, P., 1987. Découverte d'acritarches paléozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 305, 881-884.
- IRVINE, T. N. ET BARAGAR, W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-548.
- KATZIR, Y., AVIGAD, D., MATTHEWS, A., GARFUNKEL, Z. ET EVANS, B. W., 1999. Origin and metamorphism of ultrabasic rocks associated with a subducted continental margin, Naxos (Cyclades, Greece). *Journal of Metamorphic Geology*, 17, 301-318.
- KATZIR, Y., VALLEY, J. W., MATTHEWS, A., ET SPICUZZA, M. J., 2002. Tracking fluid flow during deep crustal anatexis: metasomatism of peridotites (Naxos, Greece). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 142, 700-713.
- LAHONDÈRE, J.-C., FEINBERG, H. ET HAQ, B. U., 1979. Datation des grès numidiens d'Algérie orientale: conséquences structurales. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 289, 383-386.
- LAOUAR, R., BOYCE, A.J., AHMED - SAID, Y., OUABADI, A., FALICK, A.E., ET TOUBAL, A., 2002. stable isotope study of the igneous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough complex, Annaba, northeast Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 35, 271-283.
- LAOUAR, R., BOYCE, A.J., ARAFA, M., OUABADI, A., ET FALICK, A.E., 2005. Petrological, geochemical, and stable isotope constraints on the genesis of the Mioocene igneous rocks of Chetaibi and Cap de Fer (NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, (sous presse).
- LATOUCHE, L., BOSSIÈRE, G. ET CONQUERE, F., 1978. Le socle et les roches ultrabasiques du massif de l'Edough. Comparaison avec une série charnokitique éburnéenne de l'Ahaggar central (Algérie). *6° RAST Orsay*, 234p.
- LEAKE, B. E., WOOLLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LARID J., MANDARINO, J. A., MARESCH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C. N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W. ET YOUZHI, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- LEAKE, B. E., WOOLLEY, A. R., BIRCH, W. D., BURKE, E. A. J., FERRARIS, G., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F. C., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., SCHUMACHER, J. C., STEPHENSON, N. C. N. ET WHITTAKER, E. J. W., 2004. Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. *American Mineralogist*, 89, 883-887.
- LE BAS, M. J., LE MAÎTRE, R. W., STRECKEISEN, A. ET ZANETTIN, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- MARIGNAC, C. ET ZIMMERMANN, J. L., 1983. Age K-R de l'événement hydrothermal et des intrusions associées dans le district minéralisé Miocène d'Ain Barbar (Est Constantinois). *Mineralium Deposita*, 18, 457-467.
- MARIGNAC, C., 1985. Les minéralisations filoniennes d'Ain Barbar (Algérie): un exemple d'hydrothermalisme lié à l'activité géothermique alpine en Afrique du Nord. *Thèse de Doctorat d'Etat. I.N.P.L Nancy*, 2 volumes, 1163p
- MAURY, R.C., FOURCADE, S., COULON, C., EL AZZOUZID, M., BELLON, H., COUTELLE, A., OUABADI, A., SEMROUD, B., MEGARTSI, M., COTTEN, J., BELANTEUR, O., LOUNI-HACINI, A., PIQUE, A., CAPDEVILA, R., HERNANDEZ, J., ET REHAULT, J.-P., 2000. Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab breakoff. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Série IIA - Earth and Planetary Sciences*, 331 : 159-173.

LES MÉTABASITES DE SIDI MOHAMED (EDOUGH, NE ALGÉRIEN): CARACTÉRISTIQUES PÉTROGRAPHIQUES, MINÉRALOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES

- MONIÉ, P., MONTIGNY, R. ET MALUSKI, H., 1992.** Age burdigalien de la tectonique ductile extensive dans le massif de l'Edough (Kabylies, Algérie). Données radiométriques $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 163, 571-584
- MORIMOTO, M., 1988.** Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550.
- OTTONELLO, G., JORDON, J.L. ET PICCARDO, G. B., 1984.** Rare Earth and 3d Transition Element Geochemistry of Peridotitic Rocks: Ligurian Peridotites and Associated Basalts. *Journal of Petrology*, 125, 373-393.
- PEARCE, J. ET CANNE, J. R., 1973.** Tectonic setting of basic volcanic rocks using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300.
- SAUNDERS, A. D. ET TARNEY, J., 1984.** Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. *Geological Society of American Bulletin*, Special Publication 16, 59-76.
- SEIM, R. ET TISCHENDORF, G., 1990.** Grundzüge der Geochemie. *Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie*, 632 p
- SHERVAIS, J. W., 1982.** Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 101-118.
- SPADEA, P., D'ANTONIO, M. ET THIRWALL, M. F., 1996.** Source characteristic of the basement rocks from the Sulu and Celebes Basins (western Pacific): Chemical and isotopic evidence. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 123, 159-176.
- SUN, S. ET McDONOUGH, W. F., 1989.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In A. D. Saunders, and M. J. Norry (Eds.) *Magma-tism in the Ocean Basins. Geological Society of London, London, United Kingdom*, 313-345.
- TRIBUZIO, R., RICCARDI, M. P. ET MESSIGA, B., 1997.** Amphibolitization of Mg- and Fe-rich gabbroic dykes within mantle-derived serpentinites (Northern Apennine ophiolite, Italy). Evidence for high temperature hydration of the oceanic lithosphere. *Ophioliti*, 22, (1), 71.
- VILA, J. M., 1970.** Le Djebel Edough: un massif cristallin externe du N.E. de la Berbérie. *Bull. de la Soc. Géol. de France*, 7, (XII), 805-812.
- WILSON, M., 1989.** Igneous Petrogenesis. *Chapman and Hall, London*, 466 p
- WOODHEAD, J., EGGINS, S. ET GAMBLE, J., 1993.** High field strength and transition element systematic in island arc and back-arc basin basalt: evidence for multi-phase melt extraction and a depleted mantle wedge. *Earth and Planetary Science Letters*, 114, 491-504.