

Caractérisation de l'origine géogénique/anthropique des anomalies en ETM au Cap de Garde, Massif de l'Edough, Annaba (NE algérien)

Characterization of the geogenic/anthropic origin of the MTE anomalies in the Cap de Garde, Edough Massif, Annaba (NE Algeria)

S. HADJ ZOBIR¹, M. DAIF², S. DJORFI³

¹*Badji Mokhtar-Annaba University, Laboratory of Soils and Sustainable Development, P.O. Box 12, 23000 Annaba, Algeria.
E-mail : shadjzobir@yahoo.fr*

²*Badji Mokhtar-Annaba University, Laboratory of LGRN, P.O. Box 12, 23000 Annaba, Algeria.
E-mail : daifmenana@yahoo.fr*

³*Badji Mokhtar-Annaba University, Laboratory of Natural Resources and Management, P.O. Box 12, 23000 Annaba, Algeria.
E-mail : djorfi2001@yahoo.fr*

RÉSUMÉ: Les éléments traces métalliques (ETM) sont naturellement présents en faibles ou très faibles concentrations dans les roches. Cependant, certains processus géologiques, tels que l'altération par l'eau, les fluides hydrothermaux et/ou l'érosion, peuvent conduire à leur accumulation. L'altération fragilise la roche, permettant ainsi la formation de minéraux argileux qui sont considérés comme pièges à éléments chimiques. Le site du Cap de Garde (Algérie) a connu, cette décennie, une importante urbanisation (construction d'hôtels, d'un centre de vacances et autres). Dans cette étude, les échantillons prélevés à proximité des constructions ont été comparés à ceux prélevés loin de celles-ci. Les premiers se caractérisent par des teneurs en Ni, Cr, Pb et Cu en dessous des normes internationales, les seconds se distinguent, contre toute attente, par de fortes concentrations. L'étude géochimique détaillée des différents faciès lithologiques et minéralogiques des zones de prélèvement a permis de mettre en évidence: (i) les fortes teneurs en ETM sont localisées dans les formations particulièrement affectées par la tectonique cassante et ayant un fort taux d'altération hydrothermale, (ii) les faibles concentrations en ETM sont particulières aux zones urbanisées géologiquement pauvres en structures cassantes et à faible taux d'altération hydrothermale. Ces résultats permettent de conclure que les fortes concentrations en ETM des zones urbanisées du Cap de Garde sont géogéniques.

MOTS-CLÉS: géogénie, anthropie, anomalie, ETM, Annaba, Algérie

Abstract: The metallic trace elements (MTE) are naturally present in low or very low concentration in rocks. However, some geological processes such as weathering and/or erosion, may lead to their accumulation causing natural concentration. In the studied region, the alteration has weakened the rock, facilitating the formation of clay minerals that are good traps for chemical elements. The Cap de Garde (Algeria) has experienced during this decade a significant urbanization with many big buildings. In this study, samples collected near the urban zones were compared with those collected

from remote areas. The first samples show concentrations of Ni, Cr, Pb and Cu below international standards, while those taken away from constructions show, paradoxically, high concentrations. A detailed geochemical study of different lithological and mineralogical facies of the sampling areas has pointed out that high levels of MTE are located in outcrops particularly affected by brittle tectonics and with a high rate of hydrothermal alteration, while low concentrations of MTE are specific to non urbanized areas which are poor in brittle structures and without hydrothermal alteration. These results show that the MTE chemical anomaly in urbanized Cap de Garde region is geogenic.

KEYWORDS: geogenic, anthropic, anomaly, MTE, Annaba, Algeria.

La présence d'éléments métalliques en traces (ETM) peut avoir plusieurs origines. A proximité des zones urbaines, elle est souvent anthropique, liée à l'activité humaine: urbanisation et industrialisation. Une origine géogénique peut également être la cause de teneurs élevées en ETM. Ces éléments chimiques sont naturellement présents en faible ou très faible concentration dans les roches. Cependant certains processus géologiques, tels que l'altération météorique ou hydrothermale et/ou l'érosion, peuvent conduire à leur accumulation et provoquer ainsi une anomalie chimique. L'altération fragilise la roche et permet par conséquent la formation de minéraux argileux qui sont considérés comme des pièges à éléments chimiques. Ce travail a pour but de caractériser l'origine des fortes concentrations en éléments traces trouvées dans les formations rocheuses du Cap de Garde, (Algérie). Deux groupes d'échantillons ont été étudiés: le premier groupe correspond aux échantillons prélevés dans la partie Nord du Cap de Garde. Cette zone est non urbanisée, à forte pente. Les formations rocheuses y sont très altérées et accidentées. Le second groupe a été prélevé dans la zone Sud. Cette dernière se caractérise par un relief à pente douce et est relativement plus pauvre en structures cassantes que la zone Nord. Le degré d'altération des roches y est moins poussé. Les échantillons prélevés à proximité des constructions ont été comparés à ceux prélevés loin de celles-ci.

Cadre géologique

La zone d'étude (Cap de Garde), localisée dans la partie NE du massif de l'Edough et plus précisément au NE de la ville d'Annaba, se prolonge dans la mer méditerranée avec une longueur de 1785 m et une largeur de 785 m. La zone est limitée au Nord-Ouest et Sud-Est par la mer méditerranéenne et au Sud-Ouest par le prolongement du

massif de l'Edough proprement dit. Ce dernier correspond à un vaste ensemble anticlinal en forme de dôme asymétrique d'environ 50 km de long et 20 km de large. Il s'allonge du Sud-Ouest au Nord-Est entre le Cap de Garde et la dépression de la plaine des Senhadja. La partie Nord-Est du massif de l'Edough, y compris le Cap de Garde, se caractérise par une topographie fortement accidentée, à forte pente ($P = 30-40\%$). La zone Sud-Est est par contre moins abrupte et est à pente plus douce ($P = 10-15\%$). Le massif de l'Edough qui a subi une évolution géologique très particulière, est considéré comme d'âge Néoprotérozoïque (Hammor et Lancelot, 1998). Il se distingue par une lithologie très variée (Fig. 1a). (i) Un socle métamorphique «Unité inférieure» où le noyau est composé de gneiss altérés de nature arkosique (Hadj Zobir 2012; Hadj Zobir et Mocek, 2012) et parfois de bancs de leptynites et de marbres (Hilly, 1962; Gleizes et al., 1988; Ahmed-Said et al., 1993). L'ensemble de cette unité est en association complexe avec des roches ultramafiques-mafiques: des amphibolites de la Voile Noire (Ahmed-Said et Leake, 1992) et des roches ultramafiques (péridotites et metabasites de Sidi Mohamed) (Bossière et al., 1976; Hadj Zobir et al., 2007). (ii) Une «Unité intermédiaire» constituée par une alternance de micaschistes et de bancs de marbres ou, le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des skarns de réaction, et (iii) une «Unité supérieure» dite «Série des alternances» (Gleizes et al., 1988) qui n'affleure largement qu'au Nord et Nord-Ouest de la ville de Annaba. Cette unité est constituée d'une alternance de micaschistes alumineux parfois riches en grenat, tourmaline et graphite (ce qui confère à la roche une couleur sombre) et de bancs centimétriques à métriques de quartzites feldspathiques. Dans les

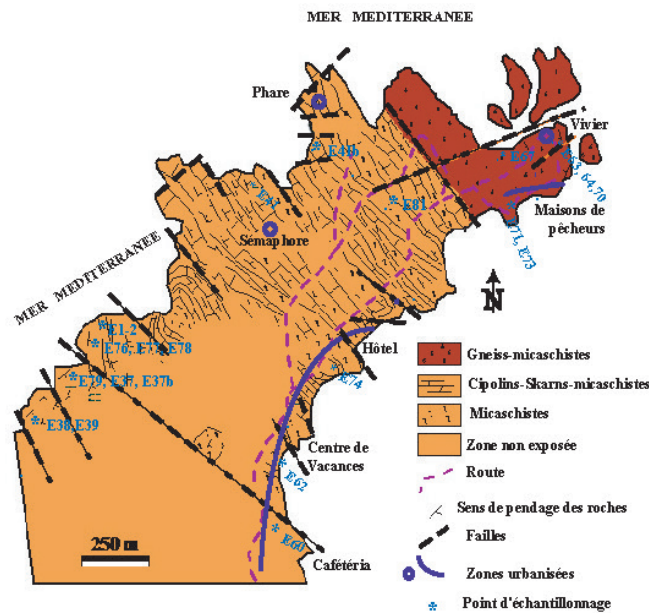
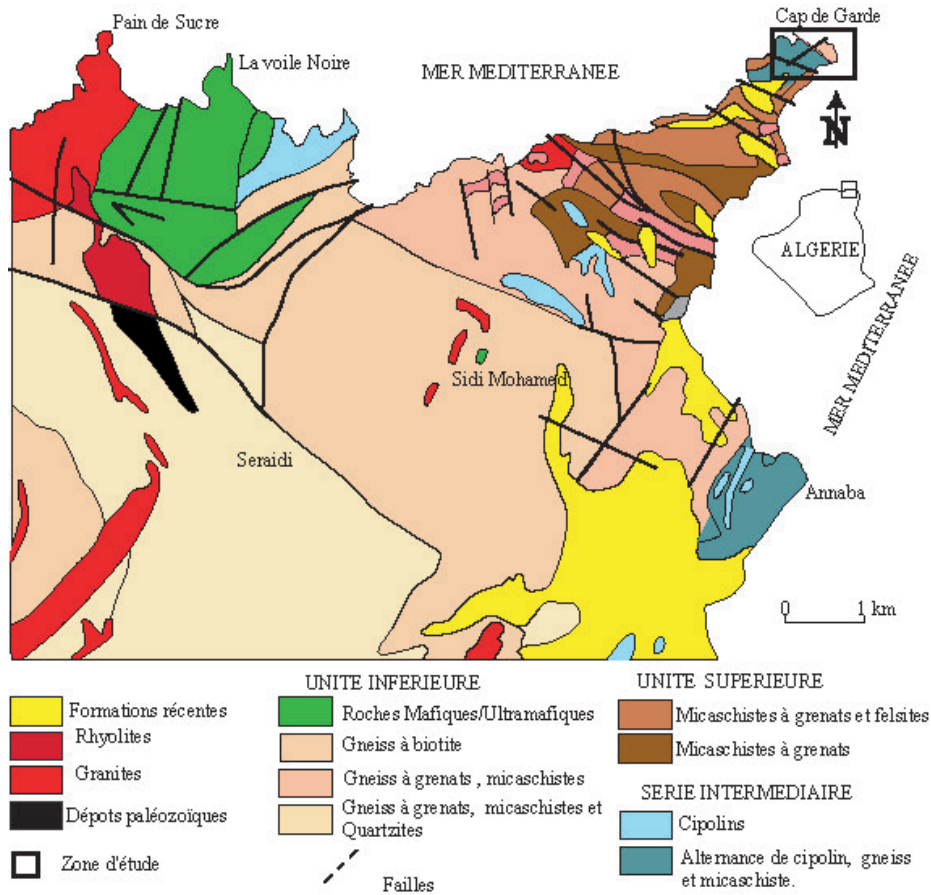


Figure 1. Cartes géologiques simplifiées: a) du massif de l'Edough avec les principaux indices miniers et accidents tectoniques (modifiée sur la base des travaux de: Ex SONAREM «Société Nationale de la Recherche Minière» 1980, et autres) et (b) du Cap de Garde avec localisation des échantillons et des zones urbanisées.

micaschistes à muscovite et/ou à biotite, s'intercalent des «lydiennes» noires en lits d'épaisseur centimétrique à décimétrique. La découverte d'acritarches par Ilavsky et Snopkova (1987) précise que cette série est d'âge Paléozoïque (Ordovicien supérieur à Dévonien). Les micaschistes alumineux présentent des poches de quartz associés à de l'andalousite rose.

De nombreux accidents tectoniques affectent le massif de l'Edough. Les éléments ductiles sont représentés essentiellement par des plis isoclinaux que l'on rencontre dans tout le massif et dont les axes de plis ont une direction moyenne N130° à N140°. Les accidents cassants forment un système dont l'orientation générale varie de NO-SE à ONO-ESE avec une direction variant de N120° à N150° et de N150° à N160°. Ces failles contrôlent les minéralisations polymétalliques hydrothermales. L'orientation générale de certaines failles est NNE-SSO avec une direction fréquente N30-40° en moyenne. Ce système de failles est responsable de la formation de fractures secondaires. La plupart des formations géologiques sont affectées par des diaclases à extensions plus ou moins importantes.

L'ensemble du massif de l'Edough a subi un métamorphisme polycyclique caractérisé par plusieurs événements majeurs : un métamorphisme de haut degré (HP-HT) correspondant aux conditions du faciès granulites, un métamorphisme prograde de moyen degré (MP-MT) et un métamorphisme de basse pression et de haute température (BP-HT) (Brunel et al., 1988; Caby et Hammor, 1992; Ahmed Said et al., 1993).

Du point de vue lithologique, au Cap de Garde, il n'y a pas de différences significatives entre la zone Nord et celle Sud. Les roches sont principalement des micaschistes (micaschistes à muscovite, à muscovite+biotite, séricitoschistes et chloritoschistes), des cipolins plus ou moins bien cristallisés et des gneiss que l'on rencontre, soit sous forme de bancs ou d'îlots et ce, presque exclusivement, que dans la zone extrême Est. L'ensemble des formations géologiques du Cap de Garde a subi plusieurs déformations: on y rencontre des déformations ductiles (plis en fourreaux, plis couchés et parfois subverticaux), ainsi que cassantes (failles subverticales de direction générale N150° à N160°). Certaines de

ces failles traversent le Cap de Garde de part en part. La figure 1b représente les différents faciès, les failles qui les recoupent ainsi que la localisation des zones urbanisées.

Méthodes analytiques

Les échantillons ont été prélevés dans la partie superficielle des roches les plus altérées du Cap de Garde (Figure 1b). Le premier groupe correspond à des échantillons prélevés dans les zones urbanisées, le second groupe à ceux prélevés dans des zones vierges de tout signe d'urbanisation. Tous les échantillons ont été prélevés dans le même type de lithologie (micaschistes). Les analyses des éléments chimiques ont été réalisées au laboratoire GeoForschungs Zentrum Potsdam (GFZ) et à l'Institut des Sciences de l'Université de Potsdam, Allemagne. Les éléments majeurs (Tableau 1) ont été analysés par un spectromètre à fluorescence X automatique sur des pastilles préparées avec Spectromelt A12 (Merck). Les éléments traces et les terres rares ont été déterminés par ICP-MS (Plessen, 1997; Grabe-Schönberg, 1993) et ICP-AES (Zuleger et Erzinger, 1988). La détermination des minéraux argileux a été faite par radiocristallographie au laboratoire RX du Centre de Recherche et du Développement (CRD) de la SONATRACH, Boumerdès, Algérie.

Pétrographie-minéralogie du Cap de Garde

Le Cap de Garde représente la partie extrême Nord-Est du massif de l'Edough. Géologiquement, il est caractérisé par l'affleurement de presque toutes les formations métamorphiques du massif : différents types de gneiss plus ou moins migmatisés, des micaschistes à grenat, disthène, sillimanite et andalousite, des bancs de marbre et de skarns, des séricitoschistes, chloritoschistes et quartzites.

Les gneiss: sont représentés par divers types: gneiss clairs, gneiss sombres et gneiss migmatitiques. Les gneiss clairs sont rubanés avec parfois des yeux quartzo-feldspathiques (Fig. 2a); les lits blancs riches en quartz, feldspath et mica blanc alternent avec des lits sombres de biotite. Les gneiss sombres montrent de rares niveaux quartzo-feldspathiques (Fig. 2b). Les gneiss migmatitiques ont subi une fusion partielle plus poussée et sont par conséquent plus riches

Tableau 1. Récapitulatif des concentrations (en %) en éléments majeurs des roches du Cap de Garde. Les échantillons sont classés selon leur ordre de prélèvement, d'Ouest en Est.

Type de zones		N° Ech	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fetot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
Non urbanisées	E38	66,89	0,95	16,64	4,82	0,06	0,94	0,41	1,08	2,96	0,10	3,90	
	E39	71,29	0,70	13,55	6,08	0,02	1,02	0,26	0,50	2,08	0,16	2,50	
	E79	80,32	0,61	10,23	4,30	0,04	0,54	0,21	0,10	1,80	0,08	1,90	
	E37	63,91	0,96	17,98	6,64	0,05	1,06	0,46	0,93	3,25	0,07	4,00	
	E37b	63,25	0,92	17,33	6,79	0,04	1,09	0,34	1,54	3,38	0,07	4,00	
	E76	60,12	1,01	20,00	8,11	0,09	1,96	0,28	0,24	3,99	0,16	2,80	
	E77	59,51	1,10	21,26	7,92	0,08	1,80	0,32	4,61	0,58	0,17	3,10	
	E78	57,40	0,96	18,87	12,33	0,14	2,37	0,38	2,99	0,62	0,17	3,30	
	E1-2	53,41	0,39	36,33	3,88	0,02	0,85	0,57	0,20	1,85	0,26	3,00	
	E41	47,46	0,43	38,69	2,06	0,00	0,98	0,66	1,06	4,80	0,17	3,40	
	E41b	60,65	1,00	19,31	5,68	0,04	1,89	1,49	2,28	4,13	0,17	3,40	
	E81	62,70	0,95	19,57	7,87	0,04	1,45	0,39	1,20	3,19	0,09	2,90	
	E67	54,85	1,15	23,47	8,47	0,09	1,74	0,49	0,44	5,62	1,16	4,20	
	Urbanisées	E63	75,54	0,15	12,57	1,68	0,02	0,21	0,51	1,65	6,18	0,14	0,80
E64		60,60	0,94	20,65	4,79	0,04	1,32	1,29	1,82	4,83	0,19	2,10	
E70		62,00	0,81	19,49	5,83	0,08	1,36	1,68	1,52	3,73	0,14	2,50	
E71		58,15	0,95	20,86	7,70	0,12	1,69	1,00	0,92	3,72	0,26	2,70	
E73		60,86	0,85	19,61	7,34	0,15	1,81	1,48	1,68	2,83	0,34	2,80	
E74		71,00	0,76	14,01	5,04	0,03	1,06	0,26	0,30	3,35	0,10	3,40	
E62		58,20	1,01	21,48	8,23	0,07	1,50	0,44	0,49	4,52	0,23	3,50	
E60		66,22	0,16	17,34	5,79	0,05	1,00	0,11	0,35	3,66	0,08	3,90	

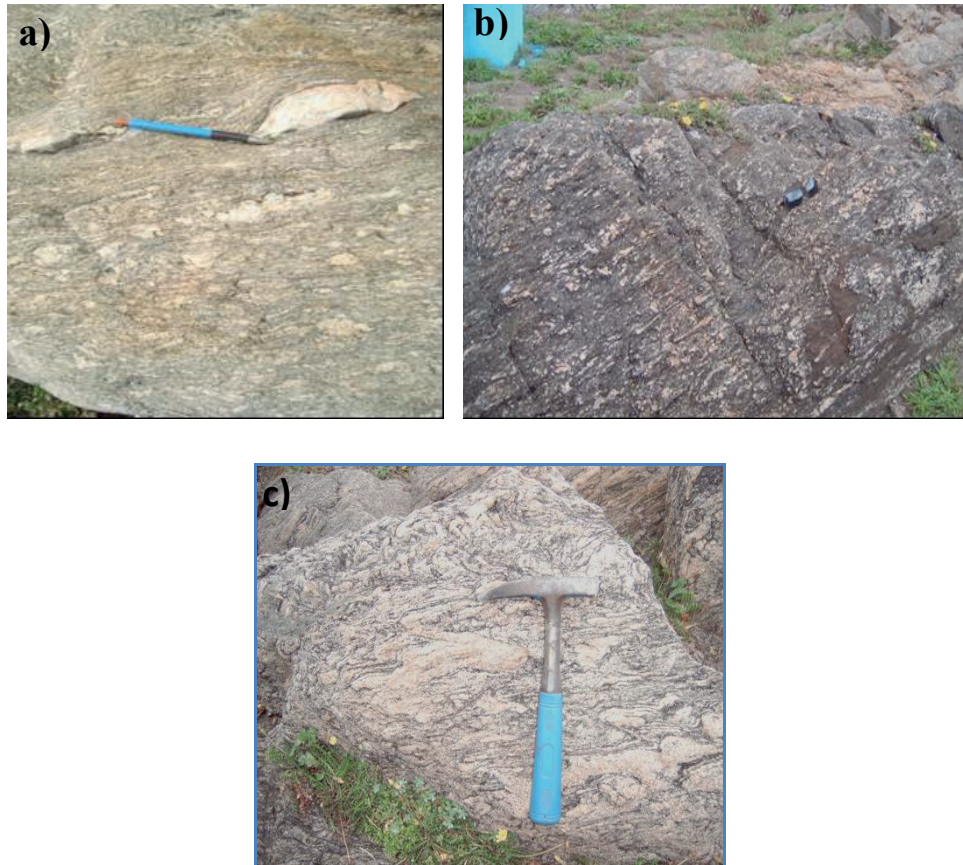


Figure 2. Photos des différents types de gneiss: a) gneiss clairs oeuillés rubanés, b) gneiss sombre avec des lits de biotite, et c) gneiss migmatitiques.

en niveaux quartzo-feldspathiques à épaisseur centimétrique. Ils se caractérisent par une forte abondance de quartz (Fig. 2c).

Les micaschistes: c'est le faciès le plus répandu au Cap de Garde. Ils apparaissent souvent en contact anormal avec les gneiss ou les cipolins. Les micaschistes sont à grains généralement moyen, foliés et riches en lamelles de micas qui leur donnent leur couleur. Les micaschistes peuvent être à andalousite rose (Fig. 3a), ou à grenats bien visibles à l'œil nu (Fig. 3b). Ces roches sont parfois traversées par des diaclases en réseaux (Fig. 3c).

Les séricitoschistes et les chloritoschistes: ces roches, qui apparaissent couramment au Cap de Garde, sont composées essentiellement de séricite, chlorite, avec parfois des noyaux riches en andalousite rose et en quartz (Fig. 3d).

Les cipolins: même en plus petite quantité, ils sont omniprésents au Cap de Garde (Fig. 4a). Ce sont des roches souvent foliées à nuance grisâtre, blanche, bleutée, très riches en blastes de calcite. Ces formations sont plissées et sont en contact avec des micaschistes. Le contact peut être franc, mais parfois on y rencontre des skarns de réaction (Fig. 4b).

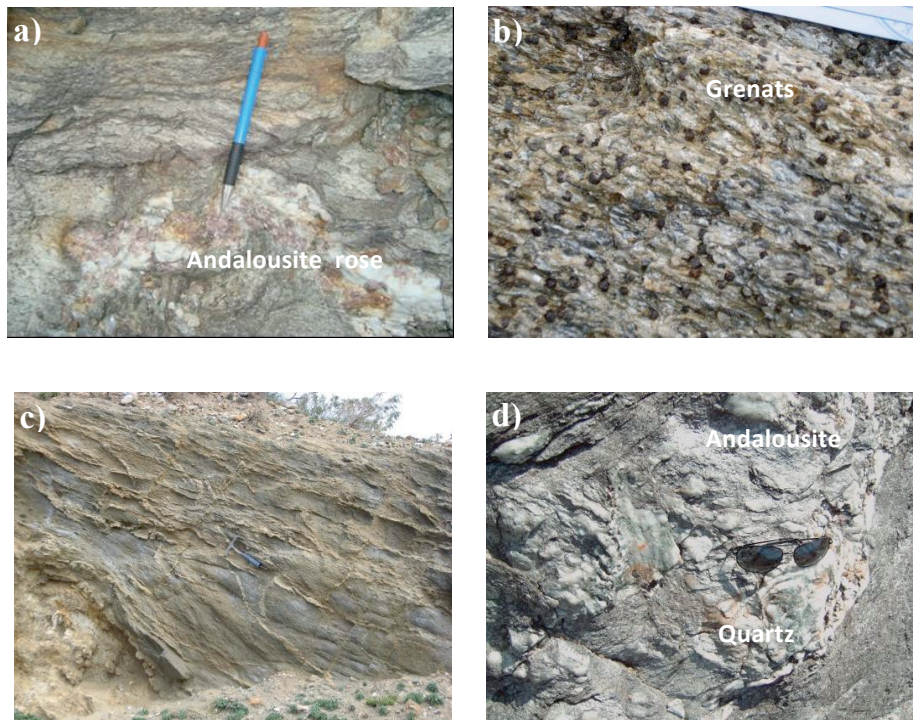


Figure 3. Photos des différents types de micaschistes : a) micaschiste à andalousite rose, b) micaschiste à grenats globuleux, c) micaschiste recoupé par un réseau de diaclases et d) micaschiste à andalousite et nodules de quartz.

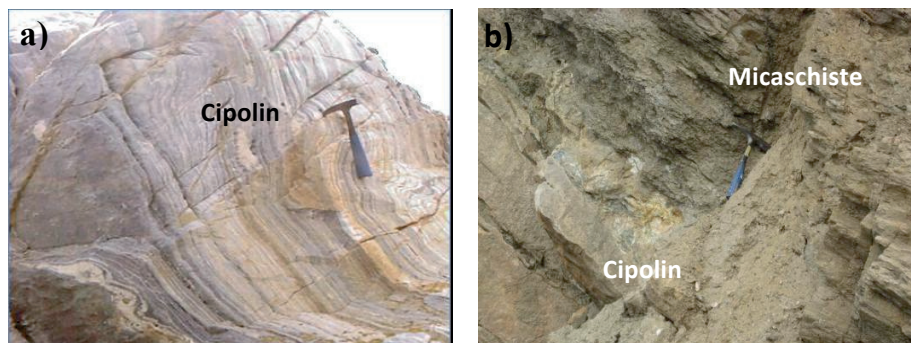


Figure 4. Photos d'affleurements de cipolins : a) banc de cipolin déformé, et b) contact micaschiste-cipolin.

Les skarns: il s'agit de skarns de réaction (Fig. 5). Leur extension est limitée, on les rencontre dans les zones de contact entre les cipolins et les micascistes. Ils sont durs, de texture clairement grenue et contiennent de l'épidote, du pyroxène, du grenat, des amphiboles et quelques rares sulfures (pyrite).

L'étude minéralogique du site du Cap de Garde a révélé la présence de minéraux silicatés frais généralement primaires tels le quartz, les feldspaths, les micas et parfois les grenats (Fig. 6a, 6b) et de minéraux d'altération hydrothermale et de minéraux argileux (déterminés par diffractométrie) telles que la séricite et la chlorite (Fig. 6c, 6d).

Résultats et discussions

Détermination des anomalies géochimiques en ETM

Cette dernière décennie, le Cap de Garde a fait l'objet d'importants projets de construction de grands ensembles immobiliers. Dans cette étude, les échantillons prélevés à proximité des constructions ont été comparés à ceux prélevés loin de celles-ci. Toutes les formations géologiques sont très altérées et sont riches en minéraux argileux. Ces derniers, de part leur structure en feuillets, peuvent être de bons réceptacles aux éléments traces métalliques. La détermination des anomalies géochimiques passe par la comparaison des teneurs en ETM de la zone étudiée avec le fond géochimique naturel régional ou local. L'absence de données sur le fond géochimique de notre zone d'étude, nous a conduits à utiliser comme bruit de fond les valeurs du clarke (Taylor, 1964). Si les concentrations naturelles en ETM sont significativement supérieures aux concentrations naturelles (clarke), on les considère comme des anomalies géochimiques. Les concentrations en ETM des échantillons, ainsi que celles du clarke sont résumées dans le tableau 2.

La comparaison des teneurs des échantillons en Cr, Pb, Cu, Zn et Ni avec les clarkes respectifs, montre que toutes les roches altérées du Cap de Garde, quel-que-soit le lieu de prélèvement, se caractérisent par des concentrations en Cr et Ni supérieures au clarke (clarke : Cr=100 à 200 ppm et Ni=100 ppm) (Fig. 7a, 7b). Par contre, on constate que quelques

concentrations en plomb (Pb) dans les zones non urbanisées sont supérieures au clarke (clarke : Pb=16 ppm), alors que celles des zones urbanisées ont des valeurs égales au clarke (Fig. 7c). Trois échantillons sur un total de vingt-et-un (21) montrent des teneurs en zinc (Zn) faiblement supérieures au clarke (clarke : Zn= 70-132 ppm) (Fig. 7d). Dans les zones non urbanisées, le cuivre (Cu) a des concentrations variables mais généralement en dessous du clarke (clarke: Cu= 50-70 ppm), alors que dans les zones urbanisées, cet élément est très faiblement présent (Fig. 7e).

Caractérisation de l'altération

L'Est algérien se caractérise par la présence de nombreuses sources froides et les sources thermo-minérales n'y sont pas rares. Ces sources se caractérisent par des eaux chaudes pouvant atteindre 98°C et renferment des teneurs importantes en éléments traces métalliques (Dib, 2008). Dans le massif de l'Edough les sources sont froides (18 – 25 °C), on distingue: (i) à Seraidi: source Ain Achour, source des Romains, source El Gab, source Ain Berda, source du Curé, source Onser et source Om H'kim, et (ii) au Cap de Garde: source Zaoui, source Ain Bent Soltane et source Ain Achir.

Le massif de l'Edough renferme également d'innombrables indices miniers (Aissa et al., 1998). Ces derniers sont de bons indicateurs de la circulation de fluides hydrothermaux minéralisateurs. Les minéra-



Figure 5. Skarns de réaction en sandwich entre les micascistes (côté droit de la photo) et les cipolins (côté gauche de la photo). L'épaisseur moyenne des skarns est de 1m.

Tableau 2. Récapitulatif des concentrations en éléments traces métalliques des roches du Cap de Garde et des valeurs du clarke. Les échantillons sont classés selon leur ordre de prélèvement, d'Ouest en Est.

Type de zones	Clarke	100-200	16	50-70	70-132	75-80
	N° Ech	Cr	Pb	Cu	Zn	Ni
Non urbanisées	E38	479	125	43	6	78
	E39	460	78	27	10	78
	E79	390	16	4	81	258
	E37	373	112	76	23	101
	E37b	496	75	56	12	89
	E76	300	15	10	188	281
	E77	330	14	42	123	268
	E78	290	14	10	138	266
	E1-2	467	151	36	34	100
	E41	532	104	12	19	142
	E41b	460	92	10	14	132
	E81	220	14	8	129	258
	E67	330	14	10	97	266
Urbanisées	E63	230	17	10	66	241
	E64	310	15	10	82	257
	E70	350	15	10	221	245
	E71	270	15	10	162	326
	E73	250	15	10	139	209
	E74	260	15	10	87	242
	E62	260	16	20	116	288
	E60	220	16	10	137	270

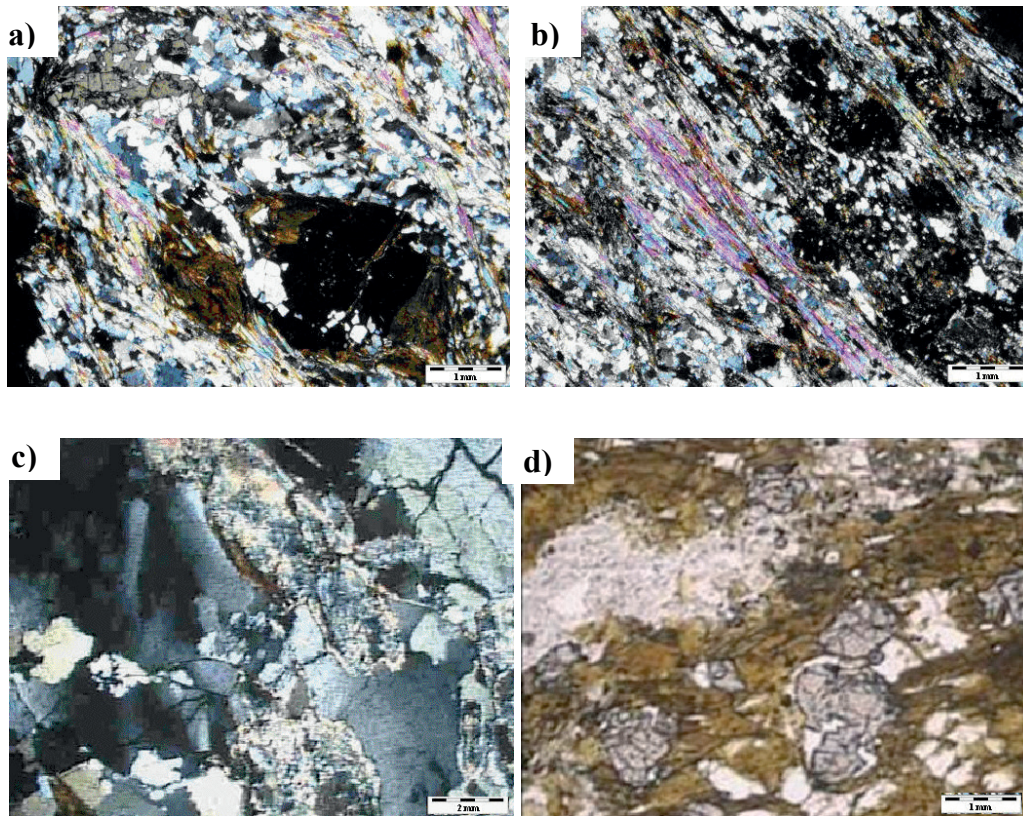


Figure 6. Photomicrographies de lames minces à : a) minéraux peu altérés (quartz, biotite) et gros cristaux de grenats, b) lamelles de muscovite et grenats, c) séricite altérée (illite) et d) chlorite et grenats.

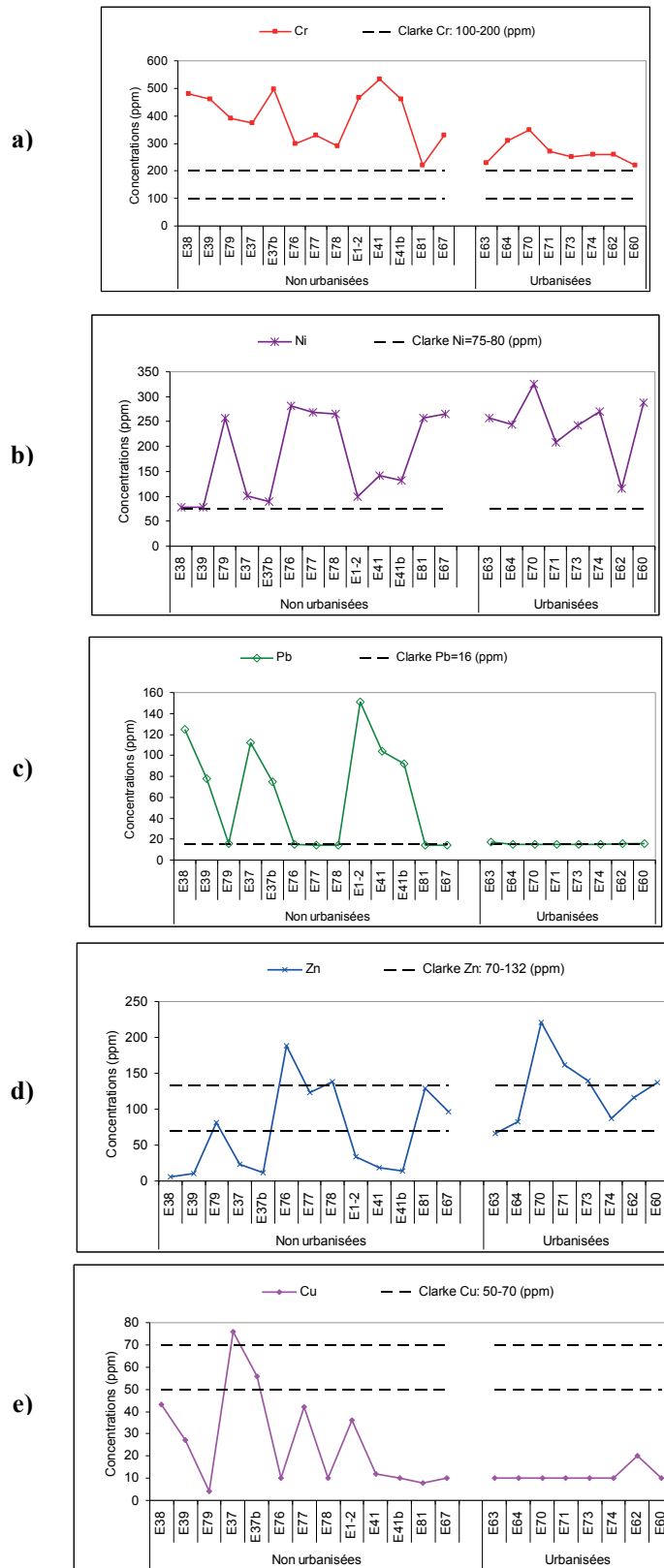


Figure 7. Diagrammes comparatifs des éléments traces métalliques au clarke: a) du chrome, b) du nickel, c) du plomb, d) du zinc, et e) du cuivre. Les échantillons sont classés selon leur ordre de prélèvement, d'Ouest en Est.

lisations polymétalliques sont associées à un hydrothermalisme miocène d'âge (15 Ma) (Marignac et Zimmerman, 1983). On distingue: (a) les gîtes à (Fe-Pb-Zn-Cu) liés aux marbres et skarns d'infiltrations (exemples: ceux de Berrahal et Boumaiza), (b) filons à minéralisation polymétallique encaissés dans les flyschs crétaqués (exemples: Ain Barbar et El-Mellaha), (c) gîtes à (W-As-Au) liés aux skarns d'infiltrations et gneiss (exemple: Belelieta) et (d) filons à (Sb-Au) situés à travers le complexe métamorphique (exemples: Koudiat El-Ahrach, Saf-Saf et Ain Barbar).

La configuration tectonique du massif de l'Edough et du Cap de Garde a favorisé la circulation des fluides (Aissa et al., 1998). Ces derniers ont très fortement altérés les différentes lithologies. Cette altération s'est traduite par un profond changement de la composition minéralogique et chimique de la roche, ce qui a permis le développement de minéraux argileux tels que la kaolinite, l'illite, la montmorillonite, ainsi que des interstratifiés. L'altération hydrothermale s'exprime également par la présence de nombreux affleurements de skarns de différents types (skarns de réaction, skarns d'infiltration liés au magmatisme et hydrothermalisme miocène) et par une forte chloritisation ainsi que par une intense propylitisation des roches. Les skarns de réactions sont caractéristiques de la zone d'étude (Cap de Garde).

De nombreux auteurs ont mis au point des méthodes qui permettent de caractériser l'altération. La plupart des ces méthodes se basent sur l'étude des variations des éléments majeurs, à titre d'exemple on distingue: l'indice d'altération météorique (CIW) de Harnois (1988); l'indice d'altération chimique (CIA) de Nesbitt et Young (1984) et l'indice de fraîcheur (IFRAIS) (Piché, 2001; Piché et Jébrak, 2004).

Vu que les roches du Cap de Garde ont été fortement affectées par l'altération hydrothermale, nous avons opté pour la détermination de l'indice de fraîcheur (IFRAIS), déterminé par la méthode NORMAT (Piché et Jébrak, 2004). Cette méthode est établie autour d'un logiciel de calcul des minéraux normatifs d'altération hydrothermale. NORMAT calcule les altérations en transformant les données analytiques des éléments majeurs en minéraux normatifs. Ces derniers permettent de déterminer l'indice de fraîcheur (IFRAIS) de la roche étudiée. Cet indice est déterminé par la formule suivante:

$$IFRAIS = 100 * [Ab + Or + An + Cpx] / ((Hchl + Hser + Hpar + Hpyr) + (Ab + Or + An + Cpx)) \quad (1)$$

où Ab= albite, Or=Orthose, An= anorthite, Cpx= clinopyroxène, Hchl= chlorite hydrothermale, Hpar= paragonite hydrothermale, Hser= séricite hydrothermale et Hpyr= pyrophyllite hydrothermale.

Si l'indice de fraîcheur (IFRAIS) de la roche est égale à zéro (IFRAIS=0) la roche est totalement altérée et si IFRAIS=100 la roche est totalement fraîche. La détermination du taux et de la nature de l'altération passe par le calcul des indices des minéraux normatifs tels que, par exemple, l'indice de paragonite (IPARA), de séricite (ISER) et l'indice de chlorite (ICHL). Ces indices permettent d'estimer le taux de paragonitisation, de séricitisation et de chloritisation affectant les roches au cours de l'altération hydrothermale. L'application de la méthode NORMAT aux roches du Cap de Garde montre que la quasi totalité des échantillons sont très altérés et ont des valeurs d'IFRAIS=0, ainsi que de forts indices d'altération hydrothermale (Tableau 3a).

Les échantillons sont riches en minéraux d'altération qui sont représentés par les silicates argileux (Tableau 3b). La distribution des éléments traces métalliques dans la zone d'étude montre des différences de concentrations en ETM entre zone non urbanisée et celle urbanisée. La figure 8, montre que la zone urbanisée se caractérise par des concentrations en Cr, Pb et Cu inférieures à celles déterminées dans les zones non urbanisées. Dans celles-ci on remarque que les fortes teneurs en Cr, Pb, Cu, Zn et Ni se concentrent dans la partie Nord-Ouest du Cap de Garde. Alors que dans les zones non urbanisées, les hautes concentrations en Cr, Ni, Cu et Zn se rencontrent dans la partie Nord-Est (région du Vivier). Les teneurs en Pb y sont très faibles. Ces résultats confortent l'hypothèse de l'origine naturelle et géologique de ces éléments. Les éléments Zn et Ni ne montrent pas de différences significatives dans les deux secteurs échantillonnés.

Sur le diagramme triangulaire IPARA-ISER-ICHL on remarque que pratiquement tous les échantillons se projettent près du centre du diagramme (Fig. 9a), avec une légère tendance vers le pôle ISER. L'altération multiple (paragonitisation, séricitisation et chloritisation) suggère que les roches ont enregistré soit: (i) un

Tableau 3. Récapitulatif des: a) valeurs de l'indice de fraîcheur (IFRAIS) des roches du Cap de Garde, ainsi que des indices de paragonite (IPARA), de séricite (ISER) et de chlorite (ICHL) et b) concentrations en silicates argileux: kaolinite, l'illite, montmorillonite et intersratifiés. Les échantillons sont classés selon leur ordre de prélèvement, d'Ouest en Est.

a)

Type de zones	Indices d'altération				
	N° Ech	IFRAIS	IPARA	ISER	ICHL
Non urbanisées	E38	16	28,99	52,28	18,66
	E39	0	16,2	44,34	29,22
	E79	0	4,24	50,24	25,22
	E37	0	23,15	52,23	23,4
	E37b	0	37,89	54,71	0
	E76	0	5,3	57,98	30,11
	E77	15	77,95	6,45	0
	E78	0	69,38	9,47	21,16
	E1-2	0	2,65	16,11	8,31
	E41	0	13,83	41,22	6,1
	E41b	0	30,46	36,39	0
	E81	0	26,96	47,15	25,64
	E67	46	8,18	68,76	22,96
Urbanisées	E63	23	5,64	53,89	0
	E64	16	27,7	48,37	0
	E70	0	32,13	51,88	0
	E71	0	19	52,96	27,07
	E73	3	38,56	42,74	14,91
	E74	0	9,31	68,43	22,26
	E62	0	10,35	62,84	26,69
	E60	0	9,17	63,09	22,97

b)

Type de zones	N° Ech	IFRAIS	Minéraux Argileux			
			Kaolinite	Illite	Montmorillonite	Interstratifiés
Non urbanisées	E38	16	10	60	20	10
	E39	0	15	85	Traces	5
	E79	0	10	50	traces	40
	E37	0	20	60	10	10
	E37b	0	20	60	Traces	20
	E76	0	10	60	traces	30
	E77	15	10	50	traces	40
	E78	0	25	70	traces	5
	E1-2	0	10	75	traces	15
	E41	0	15	80	Traces	5
	E41b	0	25	70	Traces	5
	E81	0	10	50	Traces	40
	E67	46	10	50	traces	40
Urbanisées	E63	23	10	60	20	10
	E64	16	10	60	20	10
	E70	0	25	65	5	5
	E71	0	25	70	Traces	5
	E73	3	25	65	Traces	10
	E74	0	20	60	10	10
	E62	0	5	80	10	5
	E60	0	5	90	Traces	5

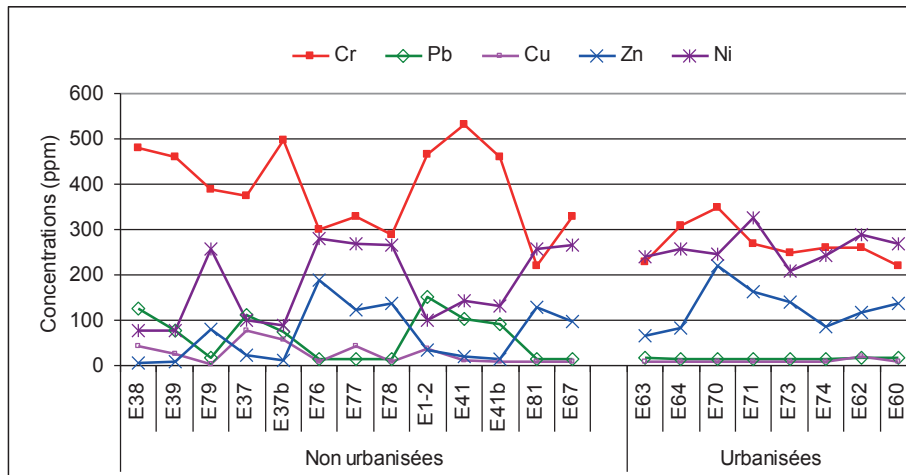


Figure 8. Distribution des éléments traces métalliques dans les zones non urbanisées et urbanisées. Les échantillons sont classés selon leur ordre de prélèvement, d'Ouest en Est.

événement hydrothermale ayant produit une zonation de l'altération hydrothermale de compositions variées en fonction de la distance par rapport à la source des fluides, soit (ii) au moins trois événements hydrothermaux de différents degrés, à séricitisation dominante. Sur le diagramme triangulaire kaolinite-interstratifiés-illite, tous les échantillons se projettent près du pôle illite (Fig. 9b). La zone non urbanisée se caractérise par la prédominance de la séricitisation, une forte concentration en éléments argileux de type illite, ainsi que par des concentrations élevées en Cr, Pb et Cu. Les éléments chimiques se sont probablement mis en place au cours de la circulation des fluides hydrothermaux dans la roche. L'altération intense de la roche a abouti à la formation de l'illite dans lequel le Cr, le Pb et Cu se sont préférentiellement accumulés.

Conclusion

L'étude géochimique des différents faciès lithologiques et minéralogiques des zones de prélèvement a montré que les fortes teneurs en ETM sont localisées dans les formations à fort taux d'altération hydrothermale. Alors que les faibles concentrations en ETM sont particulières aux zones urbanisées, géologiquement pauvres en structures cassantes. Ces résultats nous permettent de conclure que la présence du Cr, du Pb et du Cu liée aux roches altérées du Cap de Garde est par conséquent géogénique. En ce qui concerne les éléments Ni et Zn, leur origine est à relier à la présence du Cr et Pb. Au Cap de Garde l'impact de l'urbanisation récente est présentement négligeable.

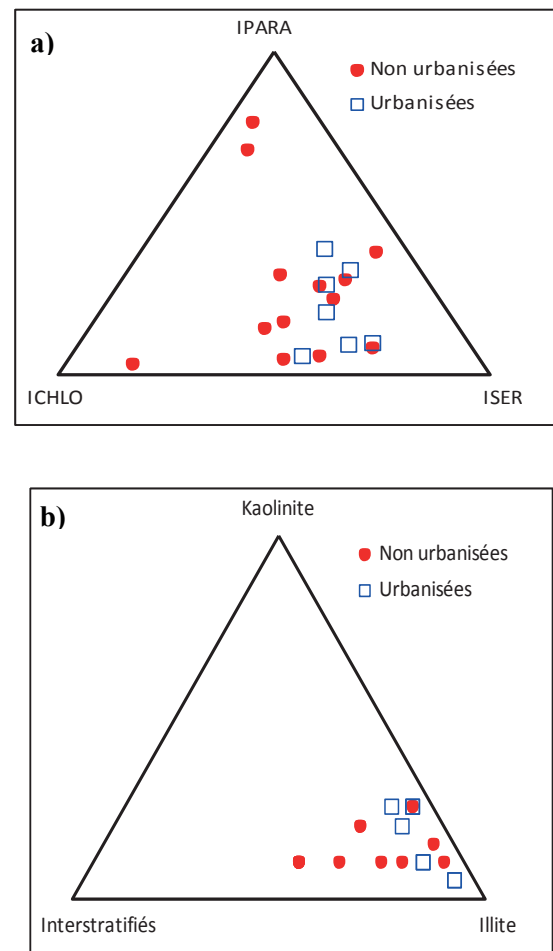


Figure 9. Diagrammes triangulaires: a) IPARA-ISER-ICHL montrant que tous les échantillons se projettent près du centre du diagramme et b) kaolinite-interstratifiés-illite, montrant que tous les échantillons se projettent près du pôle illite.

Remerciements

Les auteurs remercient le personnel des laboratoires du GFZ Potsdam, l'Institut des Sciences de la Terre et de l'Environnement de l'Université de Potsdam (Allemagne) ainsi que ceux du laboratoire RX du CRD Boumerdes (Algérie). Les auteurs remercient également la D.A.A.D pour son aide financière ainsi que les correcteurs pour leurs commentaires constructifs.

Références

- Ahmed-Said, Y. et Leake, B.E. (1992): The composition and origin of the Kef Lakhal amphibolites and associated amphibolites and olivine-rich enclaves, Edough, Annaba, NE Algeria. *Mineralogical Magazine*, 56 (4): 459 – 468.
- Ahmed-Said, 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 Sciences*, 17 (1): 111-123.
- Aissa, D.E., Marignac, Ch., Cheilletz, A., Gasquet, D. (1998): Géologie et métallogénie sommaires du massif de l'Edough (NE Algérie). *Mémoires du Service Géologique d'Algérie*, 9: 7-55.
- Bossière, G., Collomb, P. et Mahdjoub, Y. (1976): Sur un gisement de Péridotites découvert dans le massif cristallophyllien de l'Edough (Annaba, Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 283: 885-888.
- Brunnel, M., Hammor, D., Misserie, M., Gleizes, G et Bouleton, J. (1988): Cisaillements synmétamorphiques avec transport vers le Nord-Ouest dans le massif cristallin de l'Edough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 306: 1039-1045.
- Caby, R. et Hammor, D. (1992) : Le massif cristallin de l'Edough (Algérie): un «metamorphic core complex» d'âge Miocène dans les maghrébides. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 314: 829 - 835.
- Dib, H. (2008): *Guide pratique des sources thermales de l'Est algérien*,» Editions du Service Géologique National, Alger, 15, 106 p.
- Gleizes, G., Bouleton, G., Bossière, J. et Collomb, P. (1988): Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le Massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 306: 1001-1008.
- Grabe-Schönberg, C.D. (1993): Simultaneous determination of thirty-seven trace elements in twenty eight international rock standards by ICP-MS. *Geostandards Newsletter*, 17 (1): 81-98.
- Hadj Zobir, S., Laouar, R. et Oberhänsli, R. (2007): Les métabasites de Sidi Mohamed Edough NE Algérien: Caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques. *Editions du Service géologique national*, 18: 25-41.
- Hadj Zobir, S. (2012): Impact de l'altération sur le bilan chimique des diatexites du massif de l'Edough (Annaba, N.E Algérien). *Estudios Geológicos*, 68 (2): 203-215.
- Hadj Zobir, S. et Mocek, B. (2012): Determination of the source rocks for the diatexites from the Edough Massif (Annaba, NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 69: 26–33.
- Hammor, D. et Lancelot, J. (1998): Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le Massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 327: 391-396.
- Harnois, L. (1988): The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55: 319- 322.
- Hilly, J. (1962): Etude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois). *Publications du Service de la Carte Géologique de l'Algérie*, 19: 1-408.
- 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*, 305: 881-884.
- Marignac, C et Zimmerman, J. L. (1983): Ages K-Ar de l'événement hydrothermal et des intrusions associées dans le district minéralisé Miocène d'Ain-Barbar (Algérie (Est Constantinois, Algérie). *Mineralium Deposita*, 18: 457-467.
- Nesbitt, H.W. et Young, G.M. (1984): Prediction of some weathering trends of plutonique and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1523- 1534.
- Plessen, H.G. (1997): Analytik und Geochemie der Platingruppenelemente in magmatischen Gesteinen. *Scientific Technical Report STR97/11*, Geoforschungszentrum, Potsdam, 135 p.
- Piché, M. (2001): Atelier de géochimie – Une introduction à l'utilisation des minéraux normatifs pour quantifier l'altération hydrothermale associée aux gisements de SMV et aurifères. Association des Prospecteurs du Québec, 27e Congrès annuel, 11-13 septembre 2001, Val-d'Or, Québec. Cours intensifs, 30 p.
- Piché, M. et Jebrak, M. (2004): Normative minerals and alteration indices developed for mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 82: 59-77.
- Sonarem (Société Nationale De la Recherche Minière) (1980): Projet Edough. Données non publiées.
- Taylor, S.R. (1964): The abundance of chemical element in the continental crust – a new table. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 28: 1273-1285.
- Zuleger, E. et Erzinger, J. (1988): Determination of REE and Y in silicate materials with ICP-AES. *Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie*, 332: 140-143.

