

GÉOLOGIE ET GÉOCHIMIE DES FORMATIONS FERRIFÈRES DE L'EDOUGH (ANNABA, NE ALGÉRIEN).

Bachir HENNI* et Djamel Eddine AÏSSA**

RÉSUMÉ

Les minéralisations à magnétite \pm hématite du massif de l'Edough, connues jusqu'à l'heure actuelle, ceinturent la partie méridionale de ce dernier. Les corps minéralisés, montrent une continuité à l'échelle régionale. Ils se présentent sous forme de couches ferrifères stratiformes plus ou moins lenticulaires de composition générale calcitique et calco-silicatée encaissés dans des micaschistes à Staurotide-Grenat (Disthène) au voisinage de marbres. Les minéraux précoces sont affectés par un métamorphisme Mn+2 se traduisant à l'affleurement par la présence d'une linéation N130-N140 sur la surface des corps minéralisés et en lame mince par une foliation concordante aux schistes encaissants. L'interprétation des analyses des éléments majeurs et en trace des échantillons montre que les minéralisations ont une origine métasédimentaire (volcano-sédimentaire) et correspondent à un mélange suivant des proportions variables entre un pôle carbonato-ferrifère \pm siliceux d'origine chimique et un pôle pélitique d'origine détritique ; ou un pôle carbonato-ferrifère et un pôle volcano-sédimentaire. Ces résultats ont une incidence positive pour la mise en évidence de nouveaux gisements.

Mots clés - Magnétite - Edough - Métamorphisme - Métasédimentaire - Formations ferrifères.

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF EDOUGH IRON FORMATIONS (ANNABA, NE OF ALGERIA).

ABSTRACT

The Edough magnetite \pm hematite ore deposits surround the southern area of this massif. The ore bodies which display a regional continuity appear as iron lenticular stratiform layers with a calcitic or calc-silicate global composition, and are hosted by Garnet-Staurolite (Kyanite) micaschists close to marbles. The early minerals are affected by Mn+2 metamorphism expressed by a N130-140 lineation on the surface of ore bodies, and a concordant foliation with hosting micaschists observing in thin sections. The geochemical data show that iron deposits are of metasedimentary origin (or volcano-sedimentary), and correspond to a mixing, in variable proportions, of a chemical iron-calcic pole with a pelitic detrital pole; or an iron-calcic pole with a volcano-sedimentary pole. These results have a positive effect for prospecting a new ore deposits.

Keywords - Magnetite - Edough - Metamorphism - Metasedimentary - Iron formations.

*Département des Sciences Naturelles. Ecole Normale Supérieure B.P. 92 Kouba 16050 Alger-Algérie

**Département de Géologie Minière. F.S.T.G.A.T (U.S.T.H.B) B.P. 32 El Alia 16111 Alger-Algérie.

- Manuscrit déposé le 09 Février 2006, accepté après révision le 21 Janvier 2007.

I - INTRODUCTION

Le massif de l'Edough, constitue le témoin le plus oriental des massifs cristallins du littoral algérien ; il est célèbre par la présence d'anciens gisements de magnétite dont certains ont été exploités et d'autres ont fait l'objet de réévaluation (fig. 1). Ces minéralisations demeurent encore mal connues car très peu de travaux ont été entrepris sur la nature des formations englobant ces gisements et indices de fer. Dans ce présent travail, nous apportons plusieurs précisions, d'ordre pétrographique, minéralogique et géochimique, qui permettront de mieux comprendre la genèse de ces minéralisations. Les formations ferrifères du massif de l'Edough, connues jusqu'à l'heure actuelle, se répartissent sur une quarantaine de kilomètres, de Bou Hamra passant par Béléliéta et Berrahal jusqu'à Bou Maïza (fig. 1). L'analyse du comportement des éléments majeurs et en trace permettra d'avoir une idée sur la nature des formations géologiques de départ avant le métamorphisme. Les résultats des analyses géochimiques sont discutés dans des diagrammes

susceptibles de caractériser la minéralisation et d'apporter les éléments qui nous permettront de faire une approche sur la nature géochimique des roches de départ à l'origine des minéralisations ferrifères.

II - ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE DES CORPS MINÉRALISÉS

Les formations métamorphiques du massif de l'Edough sont caractérisées par une série gneissique que surmonte un complexe micaschisteux (Hilly, 1962; Aïssa, 1985, 1996; Hammor, 1992).

L'étude de la série des schistes encaissant les corps minéralisés du massif de l'Edough montre ce qui suit :

1 - une série inférieure englobant les corps minéralisés à magnétite \pm hématite, composée de micaschistes à grenat-staurotite (présence sporadique de disthène) à la base, avec des intercalations de niveaux de marbre

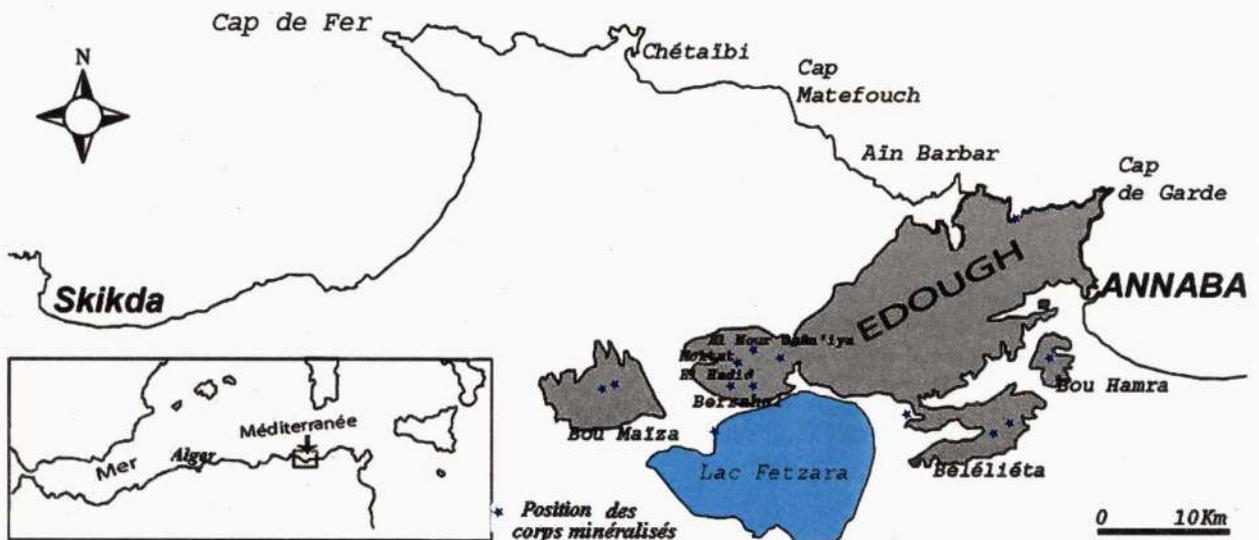


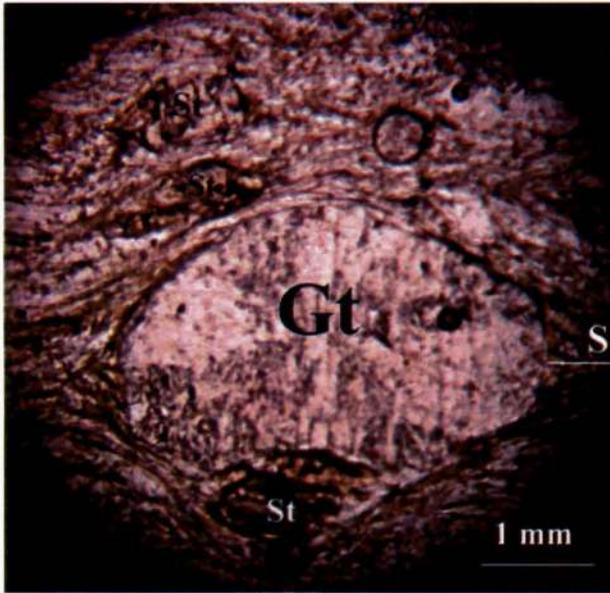
Fig. 1 - Localisation des formations ferrifères du massif de l'Edough.

Location of Edough iron formations.

rosâtre. Les micaschistes à grenat-staurotide (\pm disthène) sont surmontés par des schistes grenatifères.

2 - une série supérieure à prédominance de séricitoschistes avec intercalations de niveaux de marbres rubanés de couleur bleutée, de calcschistes, de talcschistes et des lentilles de roches amphibolitiques (à Béléliéta et Bou Maïza).

L'analyse paragenétique des formations schisteuses qui encaissent les corps minéralisés, a permis de déceler deux associations minérales distinctes (Henni et Aïssa, 1999) :



Gt: Grenat
St: Staurotide
S: Trace de la schistosité

Fig. 2 - Section en lame mince montrant la relation entre l'association à grenat-staurotide et la schistosité principale S. Schistes à grenat-staurotide-disthène du massif de l'Edough

Thin section showing a relationship between garnet-staurolite association and S main schistosity (Garnet-Staurolite-Kyanite micaschists).

- une première association plus ou moins conservée, antérieure à la schistosité principale caractérisée par le grenat, le disthène, la staurotide et attribuée à un métamorphisme Mn+1 (fig. 2).

- une deuxième association synschisteuse, superposée à la première, caractérisée essentiellement par biotite + micas blancs + quartz. Cette association est liée à un deuxième métamorphisme Mn+2 responsable de la foliation «S» régionale affectant toutes les roches métamorphiques. Cette foliation est porteuse d'une linéation d'étirement minéral de direction moyenne N130-140 et issue de cisaillements ductiles tangentiels avec un transport vers le NW.

Les corps minéralisés à magnétite \pm hématite se présentent sous forme de couches stratiformes plus ou moins lenticulaires composées par des roches calcitiques et calcosilicatées; l'ensemble est encaissé dans les schistes à disthène - staurotide - grenat au voisinage de marbres (Henni, 1994, 2006; SONAREM, 1972; ORGM, 1997). Les minéraux précoces composant les corps minéralisés sont affectés par le métamorphisme Mn+2. L'enregistrement des déformations associées à ce métamorphisme peut s'observer à l'affleurement, par la présence de la linéation N130-N140 sur la surface des corps minéralisés et en lame mince par une foliation concordante aux schistes encaissants, ainsi que, des indices d'aplatissement et d'étirement qui affectent les minéraux précoces (Henni et al., 2002) indiquant un type de déformation non coaxiale avec une vergence vers le NW, attestant d'un même type de cisaillement ductile noté dans les schistes encaissants et à l'échelle du massif de l'Edough (Brunel et al., 1988; Caby et Hammor 1992; Caby et al., 2001).

III- DONNÉES GÉOCHIMIQUES ET PÉTROGRAPHIQUES:

Les analyses des éléments majeurs et en trace des échantillons de corps minéralisés de Berrahal et de Béléliéta ont été réalisées par fluorescence X (XRF) et par spectrométrie d'émission à source d'excitation plasma (ICP-AES) à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne. Les analyses des éléments majeurs de Bou Maïza ont été réalisées par le laboratoire central de l'ORGM de Boumerdes (1997).

Les analyses chimiques (tab.I), sur roche totale, des différents échantillons analysés montrent des teneurs en éléments majeurs et en trace assez variables d'un échantillon à un autre (tab.II). Certains éléments sont en très faibles quantités et malgré l'éloignement de plusieurs dizaines de kilomètres des sites minéralisés, il existe une grande ressemblance entre les tendances géochimiques globales (fig.3). Ces similitudes géochimiques s'accompagnent aussi de similitudes pétrographiques, d'après nos propres observations, à Berrahal et

Tableau I a - Tableau montrant les compositions chimiques (présente étude) en éléments majeurs (%poids) des formations ferrifères de Berrahal.

Chemical compositions (this study) in major elements (wt %) from Berrahal iron formations.

	bh1	br1	br13m	br2	br20	br3	br4	br7	brm1	brm2a	brm2b	brsk	hb12	hb18	hb20b	hb34	hb39	hb42
SiO ₂	1,32	1,38	3,12	21,29	7,37	6,8	33,56	22,02	22,3	31,74	29,47	14,54	20,59	22,04	7,41	6,02	2,54	3,2
TiO ₂	0,00	-	0,05	-	-	-	0,01	-	-	0,03	0,14	-	0,04	0,06	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	1,41	0,13	1,63	0,13	nd	0,64	0,49	nd	0,24	0,89	3,83	0,11	1,41	1,84	nd	0,29	0,2	0,25
Fe ₂ O ₃	61,28	44,24	30,88	46,56	39,28	47,23	37,97	48,92	49,06	38,97	33,69	47,9	46,97	44,73	39,39	53,47	31,27	42,5
FeO	27,58	19,91	13,9	20,95	17,67	21,25	17,09	22,01	22,07	17,54	15,16	21,56	21,14	20,13	17,72	24,06	14,07	
19,12																		
MnO	2,98	3,2	3,09	4,32	2,53	4,95	2,43	6,4	2,73	2,29	1,98	3,84	3,94	3,93	2,54	4,26	1,81	3,87
MgO	0,03	2,99	1,2	2,19	1,74	1,36	1,86	1,96	2,39	1,84	1,63	2,21	1,38	1,53	1,76	2,31	1,3	1,06
CaO	0	12,77	24,3	3,83	17,15	9,51	8,97	1,2	2,12	8,02	11,14	5,69	2,74	1,74	17,2	4,31	25,8	15,9
Na ₂ O	0,12	0,15	0,3	0,47	0,26	0,25	0,38	0,27	0,24	0,38	0,44	0,31	0,43	0,46	0,26	0,33	0,23	0,26
K ₂ O	0,05	0,03	0,11	0,06	0,03	0,03	0,12	0,03	0,04	0,17	0,36	0,03	0,1	0,15	0,03	0,05	0,06	0,05
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04
PF	4,34	14,62	20,96	0,35	13,54	8,32	-2,22	-2,75	-1,28	-1,39	1,89	2,79	1,28	2,85	13,61	4,16	21,95	13,18
Total	99,13	99,45	99,58	100,2	99,59	100,36	100,68	100,09	99,94	100,5	99,76	99	100,04	99,49	99,94	99,29	99,26	99,43

nd= non dosé

- : sous la limite de détection

Tableau I b - Tableau montrant les compositions chimiques (présente étude) en éléments en trace (ppm) des formations ferrifères de Berrahal.

Chemical compositions (this study) in trace elements (ppm) from Berrahal iron formations.

	bh1	br1	br13m	br2	br20	br3	br4	br7	brm1	brm2a	brm2b	brsk	hb12	hb18	hb20b	hb34	hb39	hb42
Rb	4,1	1,4	7	3,4	-	2,6	3,7	4,5	4,1	4,7	12	4	5,1	7,3	1,8	nd	1,9	2
Sr	74,3	62,9	219	24,3	782	63,5	37,3	10,1	14	40,7	84	36	176,2	83	84	nd	167,7	165
Ga	5	1,4	7,9	5,6	6	5,3	6,4	4,9	6	7,6	9,6	6,9	7,2	5,9	6,9	nd	6,1	6,7
Zr	3,1	2,8	14,9	nd	16,1	2,4	2,4	nd	0,2	4	24,2	0,8	123	12,2	1,4	nd	5,7	5,6
Y	2,9	12,2	25,3	1,3	11,6	1,4	1,5	1,3	0,2	2,1	5,7	1,6	1,3	3,4	13	nd	6,1	7,6
Th	1,8	9,3	1,1	7,2	0,7	2	4	4,1	5,5	6	3,9	4,1	2,4	3,8	3,5	nd	3,3	nd
U	2,9	1,1	1,9	-	1,9	2,3	-	-	-	3,8	0,7	2,5	4,8	2,3	-	nd	0,6	0,4
Cr	31,8	27,5	22,7	4,3	28,9	10,1	6,5	2,9	12,6	11,9	58,5	6,2	170,3	135,7	5,6	nd	78,8	79
Ni	20,2	259,6	25,1	8,6	7,8	7,9	15,7	5,9	18,9	23,9	32	12,8	58,1	65,4	6,3	nd	7,2	7,2
Co	29,2	50,2	22,1	17,2	13,5	17,8	18,5	16,8	17,3	16,6	17,8	19,2	20	17,9	9,6	nd	13,5	12,6
V	7,9	12,3	14,2	2	3,1	3,6	9,2	2,5	7,6	14,7	44	5,7	13,1	16,3	1,6	nd	7,1	5
Cu	88,4	236,2	182,7	47	96,7	94,9	102	54,3	204,3	127,3	85,5	58,5	170	160,8	81,4	nd	54,9	56
Pb	18,3	10,5	39,4	21,3	32,4	58,6	18,8	9,8	9,6	21,5	33,8	26,8	45,3	50,9	52,5	nd	134,1	133

nd= non dosé

- : sous la limite de détection

GÉOLOGIE ET GÉOCHIMIE DES FORMATIONS FERRIFÈRES DE L'EDOUGH (ANNABA, NE ALGÉRIEN).

Tableau I c - Tableau montrant les compositions chimiques (présente étude) en éléments majeurs (%poids) et en trace (ppm) des formations ferrifères de Béléliéta.**Chemical compositions (this study) in major elements (wt %) and trace elements (ppm) from Belelieta iron formations.**

	Majeurs (%poids)			Traces (ppm)			
	bl01	bl36a	bl36b	bl01	bl36a	bl36b	
SiO ₂	4,22	13,43	8,66	Rb	2,6	11,6	28,6
TiO ₂	0,14	0	-	Sr	80,4	24,1	20,1
Al ₂ O ₃	1,86	0,67	1,27	Ga	7,6	36,7	43,5
Fe ₂ O ₃	46,03	57,49	61,58	Zr	23,9	2,5	2
FeO	20,71	25,87	27,71	Y	8,3	16,6	14,3
MnO	3,19	0,1	0,09	Th	3,6	2,5	3,1
MgO	2,32	0,87	0,4	U	0,8	-	-
CaO	8,58	1,52	0,77	Cr	26,7	45,8	16,1
Na ₂ O	0,21	0,36	0,27	Ni	16,9	17,7	14,9
K ₂ O	0,03	0,11	0,14	Co	24,2	26,9	25,1
P ₂ O ₅	0,03	0,05	0,04	V	27,1	9,3	9,6
PF	12,18	-0,6	-1,59	Cu	40,6	50,4	52,4
Total	99,5	99,87	99,34	Pb	12,9	244,4	27,1
				Zn	22,3	75,6	40,5
				Sn	10,5	20496	4341
				W	6,3	141,1	181,8
				Mo	1,2	1,9	1,7
				La	14	5,5	17,8
				Ce	16,9	51,5	49,5

nd= non dosé

- : sous la limite de détection

Tableau II a - Tableau résumant les compositions chimiques en éléments majeurs des formations ferrifères de Berrahal, Bou Maïza et Béléliéta.**Selected chemical compositions in major elements (wt %) from Berrahal, Bou Maïza and Béléliéta iron formations.**

	Berrahal			Bou Maïza (d'après analyses ORGM (1996-97))			Béléliéta		
	Min (% poids)	Max (% poids)	Moy (% poids)	Min (% poids)	Max (% poids)	Moy (% poids)	Min (% poids)	Max (% poids)	Moy (% poids)
SiO ₂	1,32	33,56	17,17	1,61	31,16	10,25	4,22	13,43	8,77
TiO ₂	0	0,14	0,02	0,05	0,83	0,21	-	0,14	0,07
Al ₂ O ₃	0	3,83	0,86	0,34	16,74	3,86	0,67	1,86	1,27
Fe ₂ O ₃	30,88	61,28	42,58	15,24	72,24	36,26	46,03	61,58	55,03
FeO	13,9	27,58	19,16	1,29	29,03	18,64	20,71	27,71	24,76
MnO	1,81	6,4	3,25	0,29	2,16	1,11	0,09	3,19	1,13
MgO	0,03	2,99	1,73	0,53	3,52	2,41	0,4	2,32	1,2
CaO	0	25,8	9,12	0,93	35,86	14,37	0,77	8,58	3,62
Na ₂ O	0,12	0,47	0,3	0,08	0,3	0,17	0,21	0,36	0,28
K ₂ O	0	0,36	0,09	0,06	1,5	0,49	0,03	0,14	0,09
P ₂ O ₅	0,01	0,04	0,02	0,04	0,68	0,27	0,03	0,05	0,04

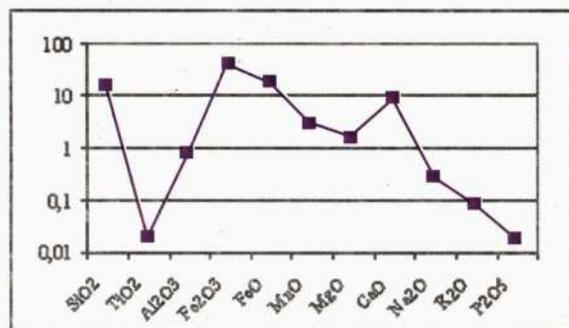
	Berrahal			Béléliéta		
	Min (ppm)	Max (ppm)	Moy (ppm)	Min (ppm)	Max (ppm)	Moy (ppm)
Rb	1	14	5	2,6	28,6	14,27
Sr	10	782	106	20,1	80,4	41,53
Ga	1	10	6	7,6	43,5	29,27
Zr	0	123	17	2	23,9	9,47
Y	0	25	5	8,3	16,6	13,07
Th	0,7	9,3	3,92	2,5	3,6	3,07
U	0	4,8	1,94	-	0,8	-
Cr	3	170	41	16,1	45,8	29,53
Ni	2	260	30	14,9	17,7	16,5
Co	10	50	19	24,2	26,9	25,4
V	2	44	10	9,3	27,1	15,33
Cu	47	2362	237	40,6	52,4	47,8
Pb	10	134	39	12,9	244,4	94,8
Zn	16	540	146	22,3	75,6	46,13
Mo	0,7	6,8	2,04	1,2	1,9	1,6
La	2,1	172,5	34,02	5,5	17,8	14
Ce	12,4	247,1	48,72	16,9	51,5	49,5

Tableau II b - Tableau résumant les compositions chimiques en éléments en trace des formations ferrifères de Berrahal et Béléliéta.**Selected chemical composition in trace elements (ppm) from Berrahal and Béléliéta iron formations.**

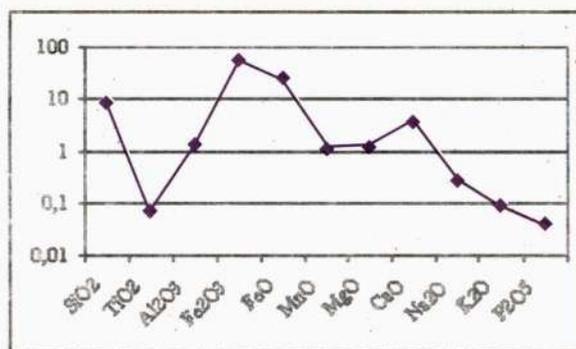
Béleliéta, et celles des rapports de SONAREM (1972), ORGM (1997) sur les carottes des sondages effectués à Bou Maïza qui laissent penser que la minéralisation est héritée de formations originelles ou protolithes, à caractère sédimentaire ou volcano-sédimentaire (formations ferrifères anciennes), à cause de son uniformité et de son étendue régionale sur des dizaines de kilomètres.

Les courbes graphiques de la figure 3 montrent des allures proches entre elles, à quelques détails près. En effet, on peut noter un relatif enrichissement en MnO à Berrahal par rapport aux autres localités alors que pour le MgO ainsi que K₂O, TiO₂ et P₂O₅ c'est à Bou Maïza qu'il y a un relatif enrichissement.

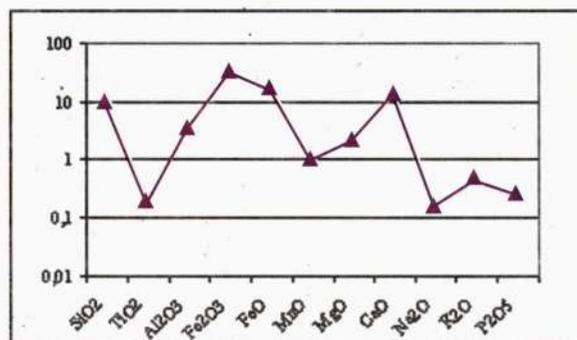
Les analyses présentées dans ce travail montrent des teneurs très importantes en fer et reflè-



Berrahal



Béleliéta



Bou Maïza

Fig. 3 - Représentation graphique des tendances géochimiques moyennes (% poids) des formations ferrifères des régions de Berrahal, Béleliéta et Bou Maïza.

Graphical sketch of average geochemical trends (wt %) of Berrahal, Belelieta and Bou Maïza Iron formations.

tent la richesse du minerai en cet élément notée au niveau de tous les échantillons analysés. L'abondance de la silice (surtout dans les corps minéralisés à gangue silicatée) s'accompagne généralement d'une baisse, quelquefois importante, dans la teneur en fer.

Les teneurs en CaO sont aussi assez variables d'un faciès à un autre. On note toutefois une corrélation entre les teneurs en Fe et celles en CaO. Cette corrélation ne suit pas toujours de règle précise du fait des variations notées au niveau des échantillons dans les proportions de la gangue carbonatée par rapport au minerai.

La projection des échantillons représentatifs des corps minéralisés à magnétite de Berrahal et de Bou Maïza dans le diagramme de Beukes (1973) montre une affinité avec des formations ferrifères (Iron formations) (fig. 4). La répartition des échantillons montre des variations entre des pôles ferrifères assez purs à plus ou moins siliceux avec une fraction carbonatée importante induisant des formations carbonato ferrifères (Calcareous iron formations) et une fraction alumineuse relativement faible.

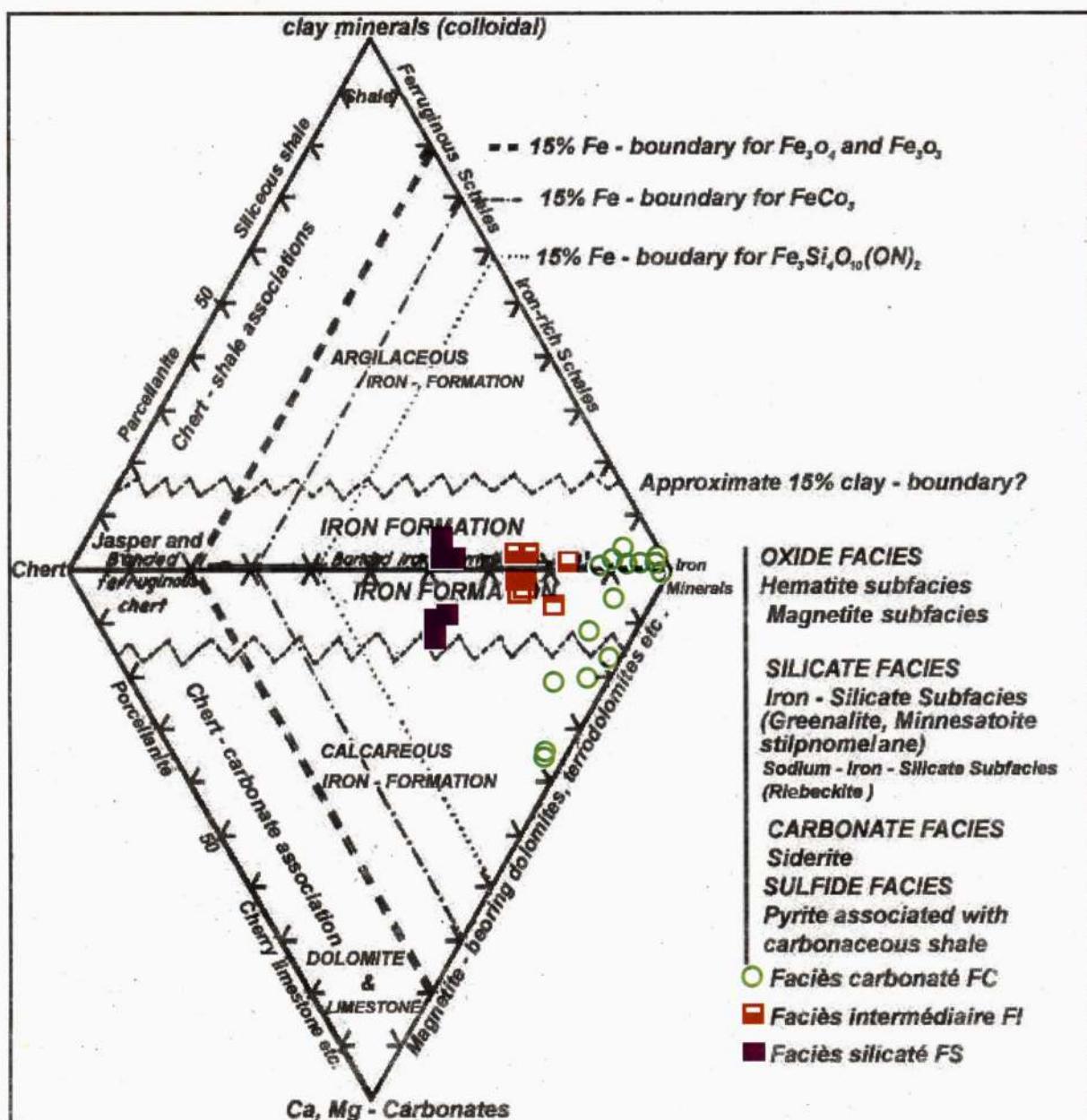


Fig. 4a - Formations ferrifères de Berrahal dans le diagramme de classification des formations ferrifères et des roches associées de Beukes (1973).

Berrahal iron formations in the Beukes (1973) iron formation classification diagram.

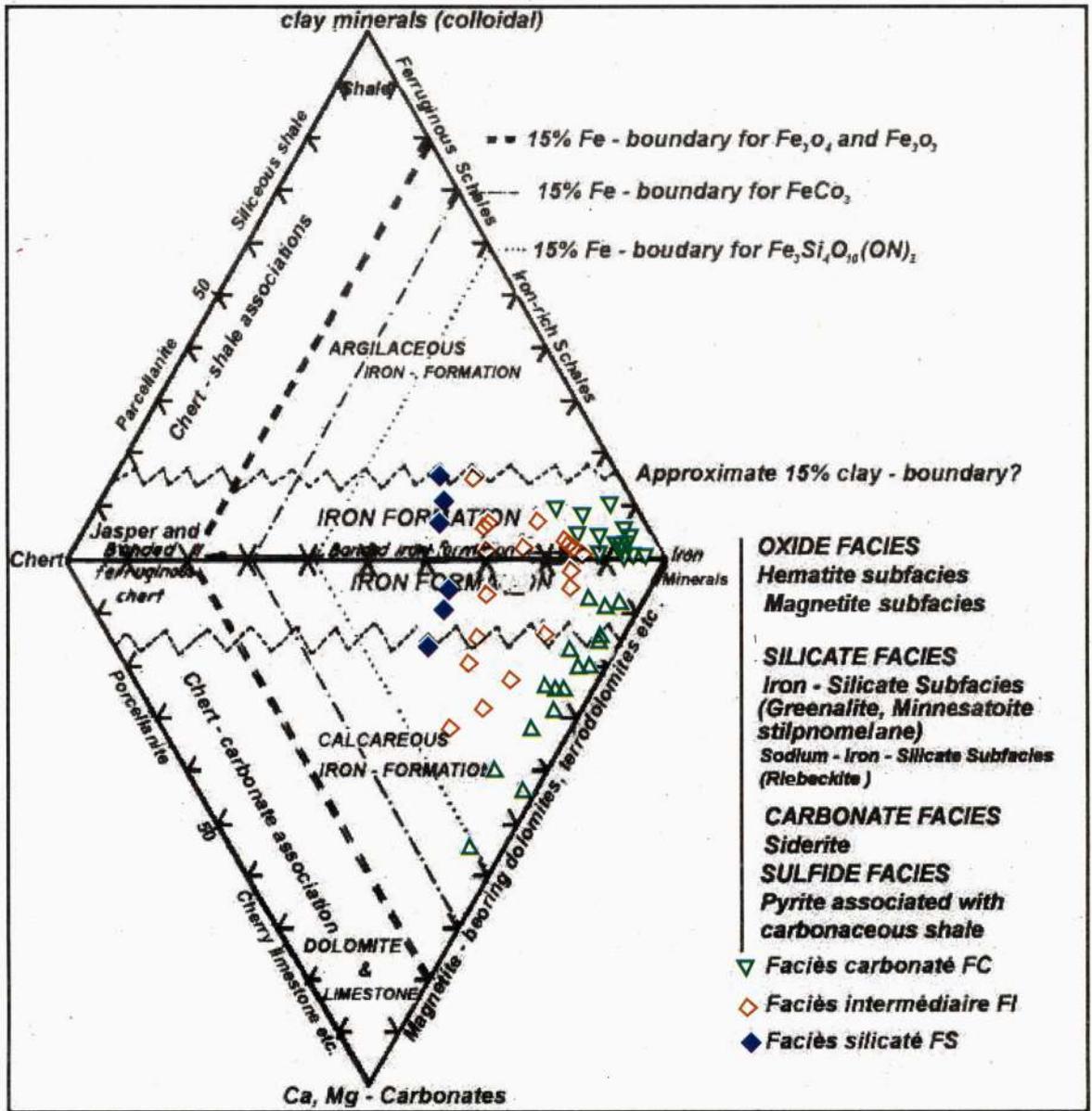


Fig. 4b - Formations ferrifères de Bou Maïza dans le diagramme de classification des formations ferrifères et des roches associées de Beukes (1973).

Bou Maïza iron formations in the Beukes (1973) iron formation classification diagram.

Les teneurs en alumine sont en général basses; seules les roches à grenat (almandin, d'après les analyses à la microsonde) montrent des teneurs notables et parfois importantes en alumine (jusqu'à 3.83% à Berrahal). L'enrichissement relatif en alumine est surtout noté à Bou Maïza (jusqu'à 16.74%). Dans le diagramme Al_2O_3/TiO_2 (fig. 5), nous observons une bonne corrélation entre ces deux éléments qui ont la réputation d'être inertes lors de processus de transformations métamorphiques et d'altérations hydrothermales ($r = 0.96$ et 0.94 pour Berrahal et Bou Maïza respectivement) avec un rapport Al_2O_3/TiO_2 des divers échantillons assez constant aussi bien dans les faciès carbonatés que silicatés, ce qui suggère que ces constituants sont portés par une fraction détritique de shales plus ou moins abondante dans les formations ferrifères initiales à l'origine des corps minéralisés, en référence aux travaux effectués dans ce domaine (Gross, 1980; Klein et Beukes, 1989; Garcia *et al.*, 1991; Hortsmann et Hälbig, 1995; Adekoya, 1998). La bonne

corrélation entre l'alumine et le TiO_2 est bien connue dans les shales (Goldschmidt, 1954) et s'explique par une incorporation en substitution du TiO_2 dans l'argile et varie aussi en fonction du type d'argile. La bonne corrélation entre Al_2O_3 et TiO_2 au niveau des différents sites étudiés nous indique aussi que les corps minéralisés en fer du massif de l'Edough sont d'origine métasédimentaire et peuvent correspondre à un mélange suivant des proportions variables entre un pôle carbonato-ferrifère \pm siliceux d'origine chimique et un pôle pélitique d'origine détritique ou un pôle carbonato-ferrifère et un pôle volcano-sédimentaire puisque les rapports Al_2O_3/TiO_2 peuvent être les mêmes (Gross, 1980, 1993; Dubru, 1986).

La fraction détritique, introduite dans la séquence des formations à l'origine des corps minéralisés en fer de l'Edough, semble être plus importante à Bou Maïza. Aussi, elle s'exprime par un relatif enrichissement en Al_2O_3 et TiO_2 accompagné de teneurs relativement élevées

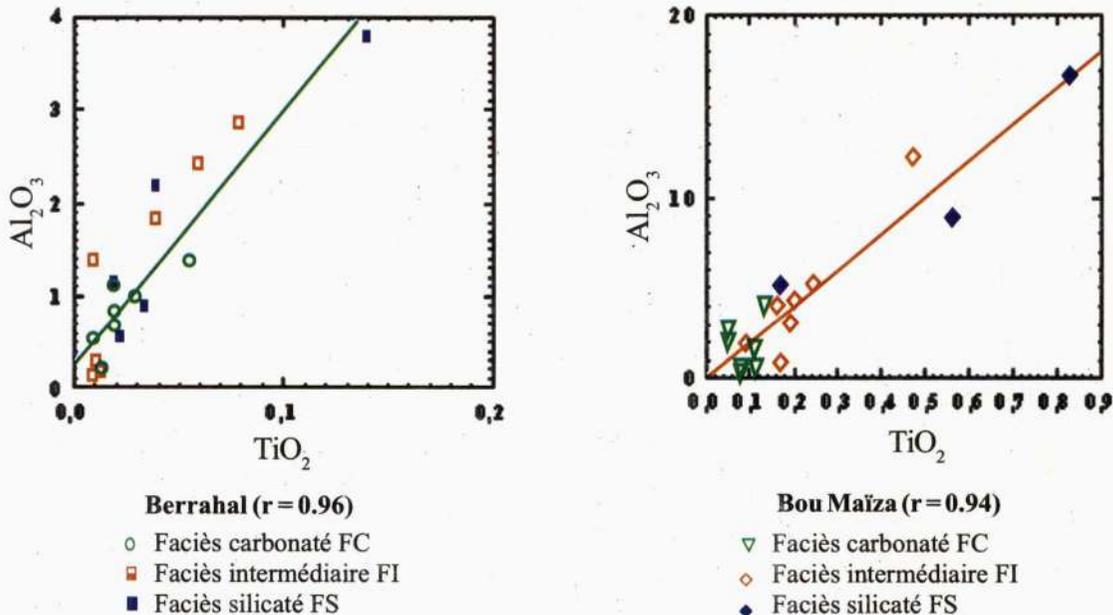


Fig. 5 - Projection des points représentatifs des faciès des formations ferrifères des régions de Berrahal et de Bou Maïza dans le diagramme Al_2O_3/TiO_2 (% poids).

Al_2O_3/TiO_2 (wt %) diagram of selected iron formations from Berrahal and Bou Maïza.

en K_2O . Les diagrammes de corrélation positive entre ces constituants montrant leurs étroites relations avec cette fraction détritifique sont présentés dans les figures 11 et 12.

Fe_2O_3 (+FeO), CaO et SiO_2 sont les trois principaux constituants critiques sur lesquels on s'est basé pour la classification des formations ferrifères de la région de l'Edough en trois principaux faciès : formations ferrifères à faciès carbonaté (FC), formations ferrifères à faciès intermédiaire (FI) et formations ferrifères à faciès silicaté (FS) (fig. 6).

Le faciès carbonaté (FC) apparaît très pauvre en silice. On note un étalement des points entre les pôles Calcite (Ca) et Magnétite-Sidérite (Fe). Cet étalement est dû aux variations des proportions des bandes à calcite (claires) et des bandes à calcite + magnétite ± Sidérite (sombres) relevées au niveau des différents échantillons (fig. 7A). La composition

minéralogique globale de ce faciès est: magnétite (± sidérite), calcite ± quartz.

La composition chimique du faciès silicaté (FS) est moins variable en raison de la relative homogénéité de ce faciès (fig. 7B).

Les faciès FS et FI sont relativement riches en silice et le quartz apparaît en très fins cristaux engrenés et souvent interstitiels entre les minéraux silicatés, alors que dans le faciès carbonaté FC, il apparaît en cristaux disséminés parmi les cristaux de calcite et magnétite ou bien il constitue parfois des bandes relativement riches en quartz finement cristallisé et intercalées à des bandes à calcite-magnétite (±sidérite) (fig. 8). L'étude des lames minces montre qu'il présente un aspect d'origine détritifique en constituant parfois de véritables bandes quartzitiques ou, montrant l'aspect de chert finement recristallisé (dans les faciès silicatés essentiellement).

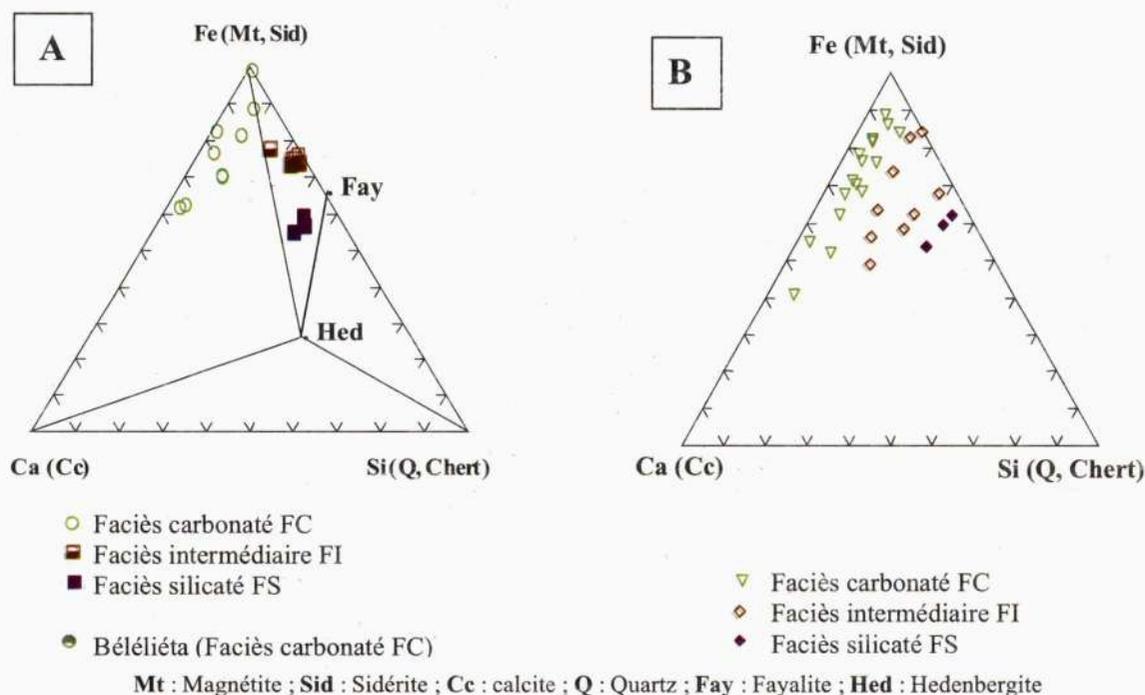
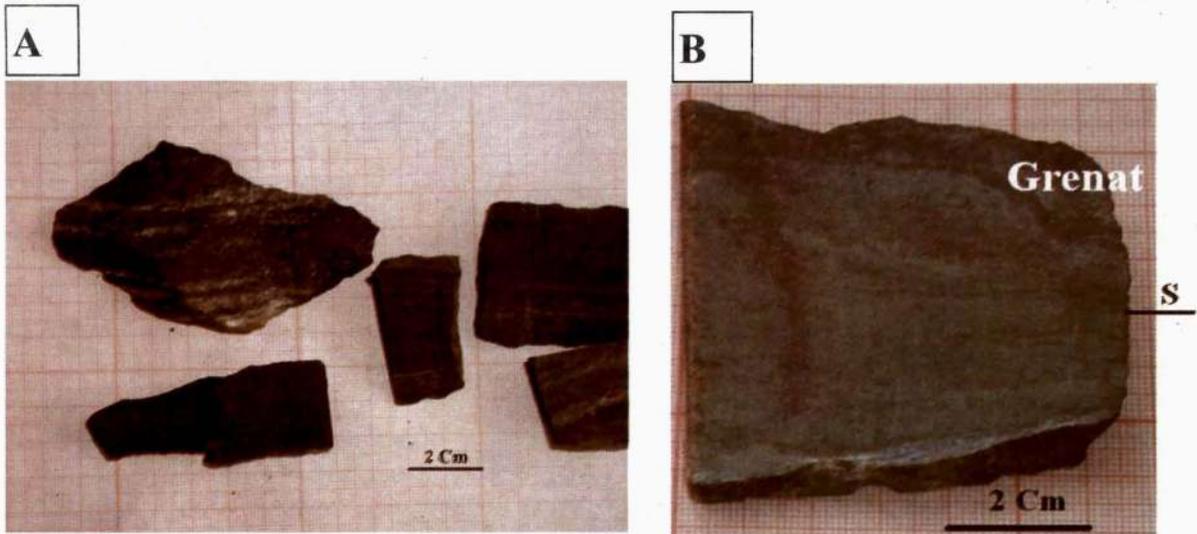


Fig. 6 - Différents faciès des formations ferrifères de Berrahal-Béléliéta (A) et de Bou Maïza (B) dans le diagramme Ca/Fe/Si (%poids).

Various iron formations facies from Berrahal-Béléliéta (A) and Bou Maïza (B) in Ca/Fe/Si diagram (wt %). FC : Carbonate facies, FI : intermediate facies, FS : silicate facies.



S : Trace de la foliation

Grenat : Bandes à grenat (Almandin)

Fig. 7 - Rubanement (soulignant les plans de foliation) du faciès carbonaté (FC) (A) et du faciès silicaté (FS) (B) des formations ferrifères de l'Edough. Ancienne mine d'El Mour Ouan'ya (région de Berrahal).

Metamorphic bands of carbonate facies (FC) (A) and silicate facies (FS) (B) from Edough iron formations. Former El Mour Ouan'ya mine.

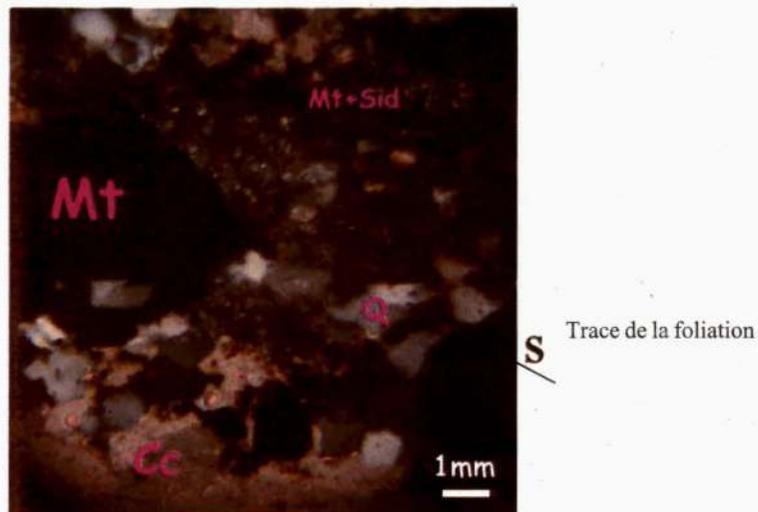


Fig. 8 - Faciès carbonaté (FC) avec des niveaux relativement riches en quartz. Ancienne mine de Béliéliéta. Section en lame mince. L.P.A

Carbonate facies (FC) with quartz rich levels. Former Belelieta Mine. Thin section, crossed nicols view.

Le faciès FS est principalement formé par un mélange de Fayalite, Hédenbergite, Hornblendes ferro-édinitique et hastingsitique (d'après la classification de Leake, 1978) et magnétite (avec présence de quartz interstitiel finement cristallisé ou de calcite). Fe est essentiellement porté par ces silicates (Fayalite et Hédenbergite) étant donné que la magnétite est moins abondante. Le faciès FS est caractérisé aussi par l'apparition de bandes à grenat (Almandin, d'après des analyses à la microsonde) marquant l'enrichissement relatif de la fraction alumineuse dans les formations ferrifères. Le faciès FI apparaît intermédiaire entre FS et FC pour les teneurs en Si avec une teneur relativement faible en Ca pour les échantillons analysés de Berrahal mais de composition intermédiaire pour ceux de Bou Maïza. On peut donc considérer ces roches comme étant des mélanges entre les compositions des deux

groupes précédents (FC et FS); en effet, certains échantillons du faciès intermédiaire contiennent des bandes à dominance calcitique encadrées par des bandes silicatées. La composition minéralogique de ce faciès est essentiellement à Fayalite ±Hédenbergite, Magnétite, Hornblendes ferro-édinitique et hastingsitique et Calcite (Henni et al., 2002).

Nous n'observons aucune corrélation positive entre Al_2O_3 et MgO (fig. 9), ce qui laisse suggérer que le MgO ne peut pas être apporté par cette composante détritique mais qu'il faut chercher son origine ailleurs. Les teneurs en MgO des corps minéralisés sont assez faibles. MgO ayant le plus souvent un comportement inerte lors du métamorphisme et des processus d'altération hydrothermale, peut indiquer que ces teneurs en MgO sont vraisemblablement primaires et représentatives du matériel de

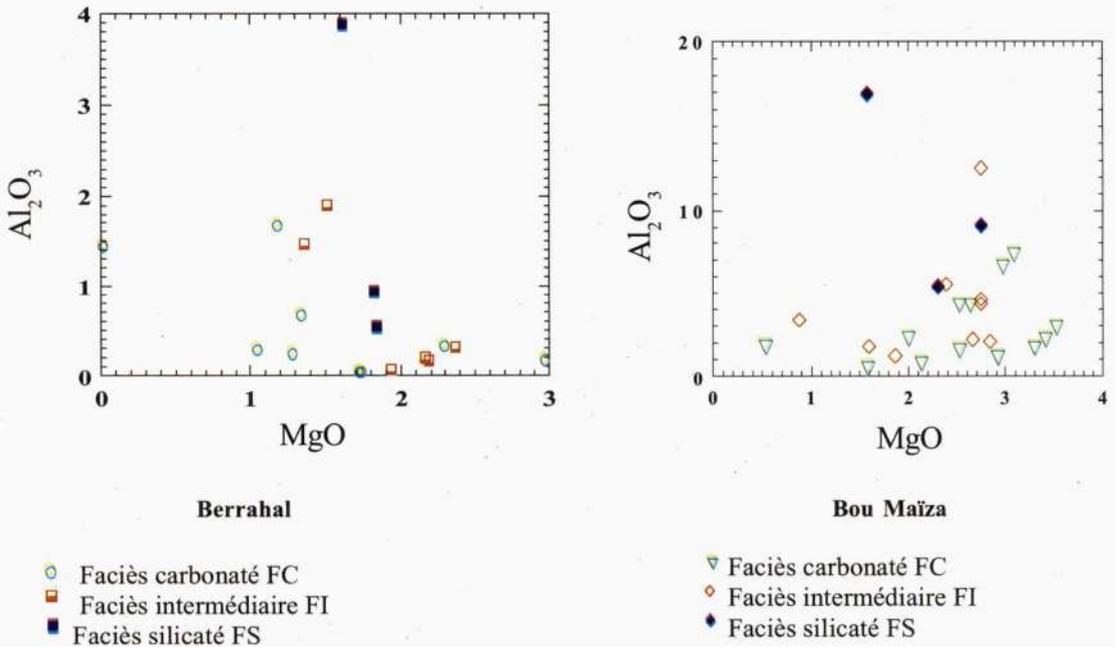


Fig. 9 - Projection des formations ferrifères des régions de Berrahal et de Bou Maïza dans le diagramme Al_2O_3/MgO (%poids).

Berrahal and Bou Maïza iron formations plotted in diagram Al_2O_3/MgO (wt %).

départ; ceci nous amène à discuter le diagramme Ca/Fe/Mg+Mn (fig. 10). Dans ce diagramme sont reportés les points représentatifs des corps minéralisés et on observe ce qui suit : Tous les échantillons analysés, aussi bien à Berrahal qu'à Bou Maïza, se répartissent entre un pôle riche en Ca (et pauvre en Fe, Mn, Mg) qui est le pôle Calcite et un pôle ferrifère contenant du Mg et du Mn. Le magnésium et le manganèse semblent donc se substituer au fer des minéraux constitutifs du matériel de départ, ce qui suggère que la plus grande partie du fer n'était pas portée par des oxydes de fer de type hématite (Fe_2O_3) renfermant du fer trivalent mais plutôt par des carbonates de fer (Sidérite) contenant du magnésium et du manganèse en solution solide avec des proportions variables où le Mn prédomine par rapport au Mg à Berrahal alors qu'à Bou Maïza c'est le Mg qui prédomine par rapport au Mn.

Ceci, suppose un mélange initial de calcite et sidérite (contenant Mg et Mn) pour le minerai

du fait que Ca, Fe, Mg et Mn se comportent, en général, de façon inerte. Le fer en teneurs très élevées semble donc, avant le métamorphisme, être exprimé sous forme de carbonates de fer, notamment sidérite. La présence en abondance de la composante carbonatée dans les corps minéralisés et l'association de la sidérite (en reliques) avec la magnétite est en faveur de cette dernière possibilité.

En ce qui concerne la fraction détritique mélangée aux formations ferrifères initiales; il est possible d'apporter des précisions quant à sa caractérisation à travers l'étude des figures 11 et 12.

Les diagrammes de la figure 11, concernant les formations ferrifères de Bou Maïza, montrent que les constituants qui sont incorporés dans la fraction détritique et portés partiellement ou totalement par celle-ci, en plus de TiO_2 et Al_2O_3 , sont K_2O et SiO_2 et présentent tous les deux une assez bonne corrélation avec

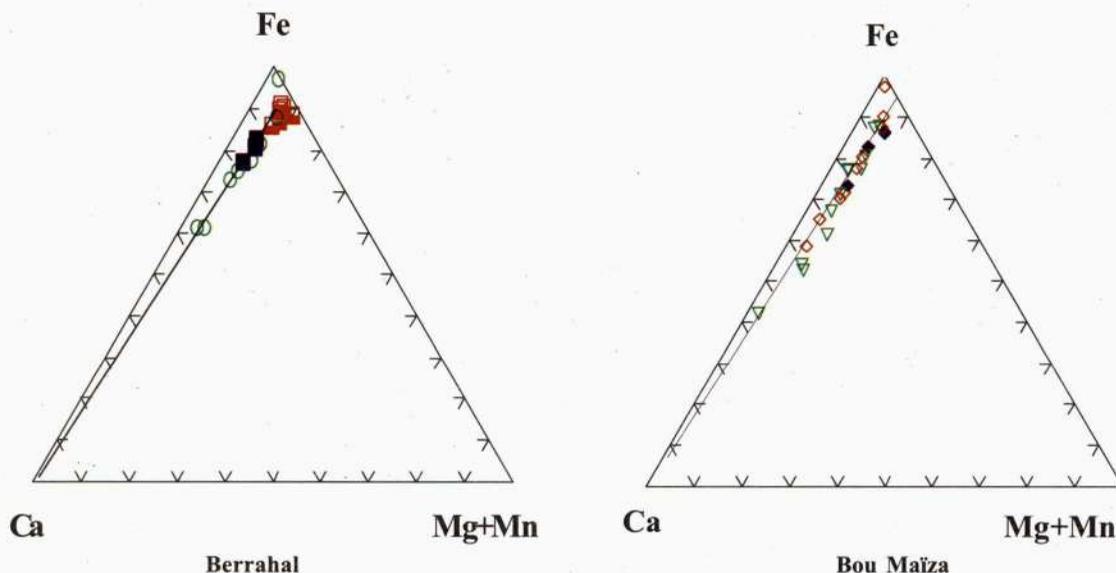


Fig. 10 - Projection des points représentatifs des faciès des formations ferrifères des régions de Berrahal et de Bou Maïza dans le diagramme Ca/Fe/Mg+Mn (%poids). Légende: idem que fig. 9.

Ca/Fe/Mg+Mn (wt %) diagram of selected iron formations from Berrahal and Bou Maïza. same caption than fig. 9.

Al_2O_3 où $r = 0.78$ et 0.69 respectivement pour K_2O et SiO_2 . La corrélation entre Al_2O_3 et SiO_2 n'est pas très élevée, ce qui peut vouloir dire qu'une partie de la silice peut être d'origine chimique ou biochimique. On observe une bonne corrélation entre K_2O et Al_2O_3 , TiO_2 et SiO_2 , ce qui montre sa liaison avec la fraction détritique et reflète probablement l'incorporation de débris de nature micacée dans les échantillons riches en K_2O et de débris volcanoclastiques dans les échantillons riches en K_2O et Na_2O .

Les diagrammes de la figure 12, concernant les formations ferrifères de Berrahal montrent qu'en plus de la bonne corrélation entre Al_2O_3 et TiO_2 , il ya une bonne corrélation entre TiO_2 et K_2O comme dans le cas de Bou Maïza. Nous observons, également, une très faible corrélation de SiO_2 par rapport à la fraction détritique ($r = 0.32$) ce qui nous laisse supposer que la plus grande partie de la silice (à Berrahal en comparaison de Bou Maïza) ne semble pas être d'origine détritique ; ce qui est confirmé par le diagramme SiO_2/Zr de la figure 13. On observe

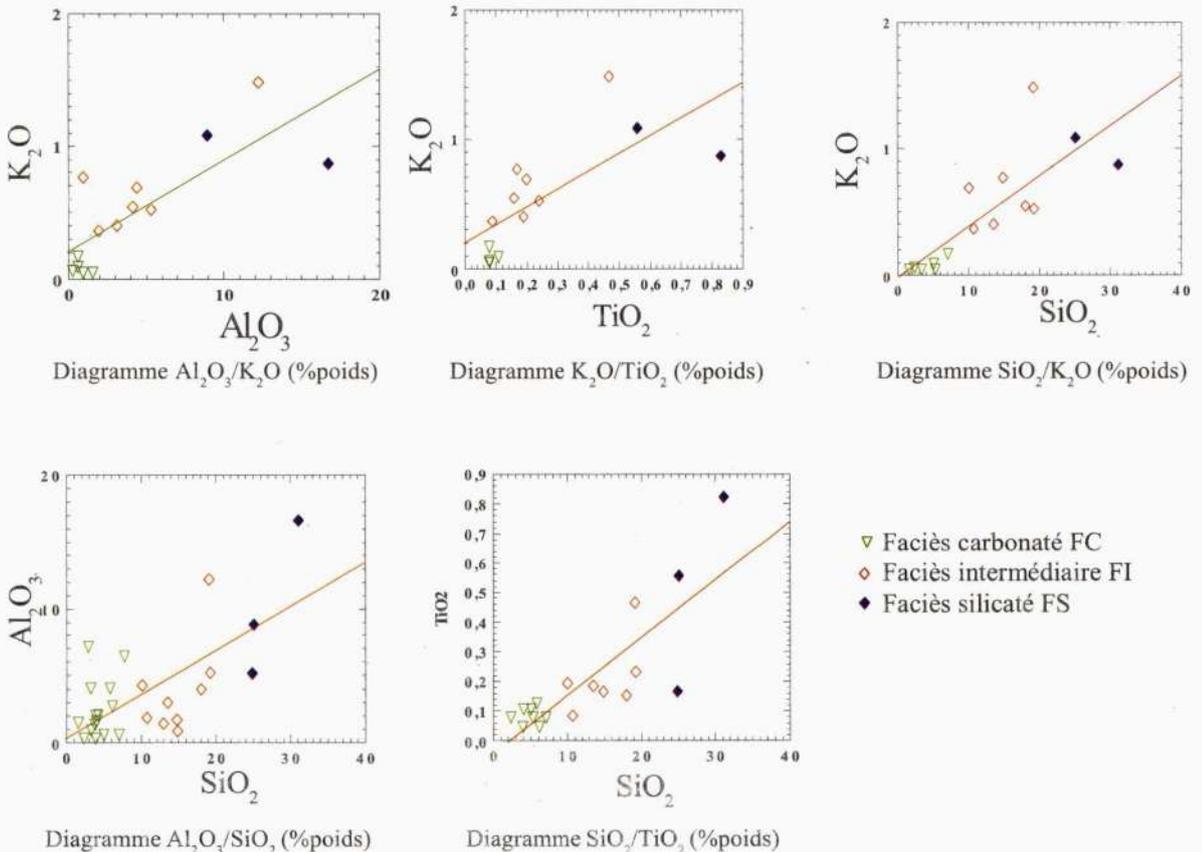


Fig. 11- Caractérisation géochimique de la fraction détritique des formations ferrifères de la région de Bou Maïza.

Geochemical characterisation of detrital fraction from Bou Maïza iron formations.

GÉOLOGIE ET GÉOCHIMIE DES FORMATIONS FERRIFÈRES DE L'EDOUGH (ANNABA, NE ALGÉRIEN).

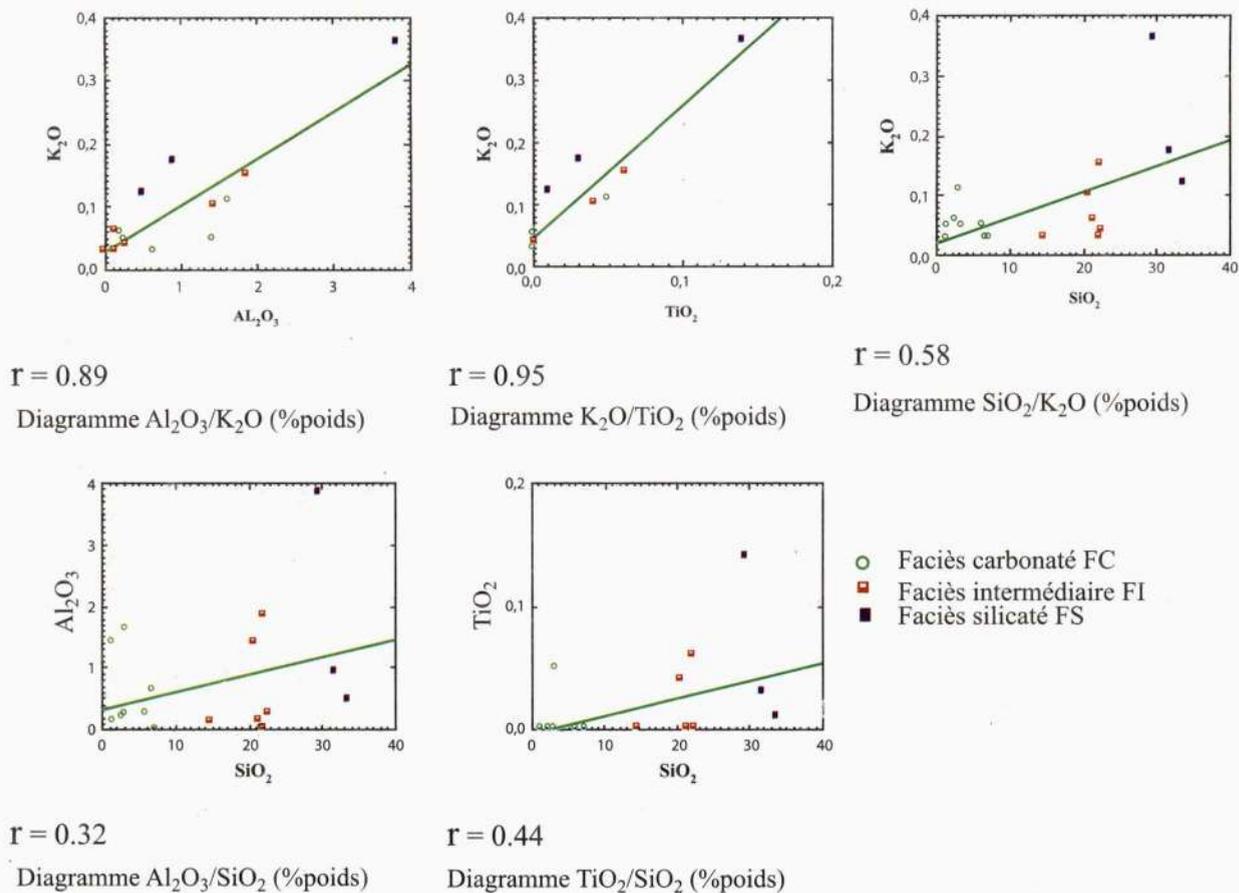


Fig. 12 - Caractérisation géochimique de la silice et sa relation avec la fraction détritique. Formations ferrifères de la région de Berrahal

Geochemical characterisation of silica and its relationship with the detrital fraction. Berrahal iron formations

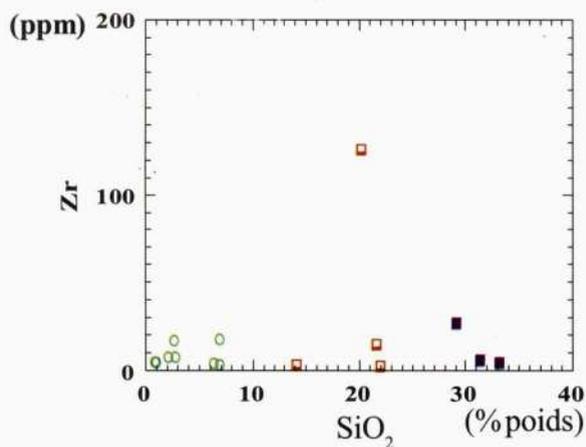


Fig. 13 - Diagramme SiO_2/Zr . Formations ferrifères de Berrahal

SiO_2/Zr diagram from Berrahal iron formations

de bonnes corrélations de K_2O avec Al_2O_3 et TiO_2 , ce qui démontre sa liaison avec la fraction détritique et reflète un type de fraction détritique proche ou similaire à celle de Bou Maïza.

Les teneurs en Zr sont très faibles et les rapports SiO_2/Zr sont assez variables (fig. 13), cela ne permet pas d'avoir une bonne corrélation entre ces deux éléments; ceci implique que la plus grande partie de la silice peut être d'origine chimique à biochimique (Garcia *et al.*, 1991) ou métasomatique; mais non détritique. La structure microcristalline du quartz interstitiel observé dans les faciès à silicates est en faveur de l'origine chimique à biochimique de la silice (chert finement recristallisé).

Les diagrammes de la figure 14 montrent une bonne corrélation du Vanadium avec Al, Ti et K. Il est connu que les éléments Cr, Ni, Co, V sont réputés avoir une source de roches basiques et ultra basiques et peuvent être incorporés dans les formations ferrifères par voie de lessivage et d'érosion de roches basiques-ultra basiques ou par le biais d'un volcanisme synsédimentaire synchrone au dépôt de formations ferrifères (Khan et Naqvi, 1996). En ce qui concerne le Ni, les teneurs élevées

en cet élément sont liées à la phase à sulfures. En effet, l'étude d'échantillons à la microsonde montre la présence de la löllingite nickélique, à El Mour Ouân'ya, liée à la phase à sulfures dont le caractère tardif et fissural est bien net (Henni *et al.*, 2000; Laouar *et al.*, 2002). Le Vanadium montre de bonnes corrélations avec Al_2O_3 , TiO_2 et K_2O qui représentent la fraction détritique incorporée dans la séquence des formations ferrifères ce qui montre aussi que le Vanadium est lui même incorporé dans la fraction détritique par le biais de minéraux issus de roches mafiques/ultramafiques ou de la contribution d'un matériel volcano sédimentaire dans les formations ferrifères à l'origine des corps minéralisés. La présence de grenats amphibolites ou de roches mafiques et ultramafiques dans les environs immédiats des formations ferrifères renforce cette dernière éventualité.

IV - CONCLUSION

L'étude géologique et l'interprétation des analyses des éléments majeurs et en trace des échantillons montrent que les corps minéralisés sont d'origine métasédimentaire (métavolcano-sédimentaire) et correspondent à un mélange suivant des proportions variables entre un pôle

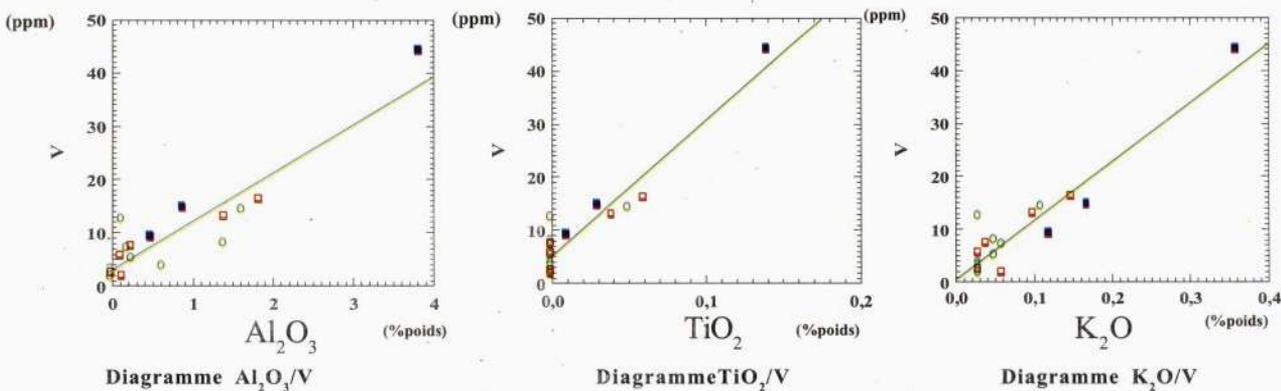


Fig.14 - Diagrammes géochimiques montrant la relation du V avec la fraction détritique. Formations ferrifères de la région de Berrahal.

Geochemical Diagram showing the relationship of V with a detrital fraction from Berrahal area.

carbonato-ferrifère ±siliceux d'origine chimique et un pôle pélitique d'origine détritique ; ou un pôle carbonato-ferrifère et un pôle volcano-sédimentaire. Une forte proportion de roches mafiques et ultramafiques a été mise en évidence dans l'environnement immédiat des corps minéralisés, notamment à Béléliéta, Berrahal et Bou Maïza. On note, une grande uniformité dans les compositions géochimiques moyennes des échantillons de Béléliéta (à l'Est) passant par Berrahal jusqu'à Bou Maïza (à l'Ouest) indiquant des conditions de formation dans des environnements géochimiques très similaires. L'uniformité régionale dans les caractères géochimiques d'une part, et la caractérisation de la fraction détritique (à partir de corrélations inter-éléments) d'autre part, montrent l'origine métasédimentaire des corps minéralisés et leurs formations à partir de transformations métamorphiques de formations ferrifères initiales. Le métamorphisme régional a contribué au départ de certains éléments tels que les volatils et à une reconcentration d'autres éléments tels que le fer et l'or. Ce dernier élément a fait déjà l'objet d'une étude préliminaire (Aïssa et Henni, 1997; Henni et al., 2000). L'origine métasédimentaire des minéralisations ainsi que leur uniformité et leur continuité à l'échelle régionale laisse présager une forte probabilité de mise en évidence de nouveaux gisements cachés.

Remerciements: Les auteurs remercient vivement, le Pr. Gordon G. Gross (Geological Survey of Canada) pour ses précieuses appréciations sur les formations ferrifères de l'Edough ainsi qu'aux reviewers (MM. O. Kollı et A. Boutaleb) pour leurs critiques et remarques. Vifs remerciements, également, à tous les membres du laboratoire de Géochimie (centre SPIN, Ecole des mines de Saint Etienne).

BIBLIOGRAPHIE

- ADEKOYA, J. A. 1998.** The geology and geochemistry of the Maru banded Iron-Formation, northern-western Nigéria. *Journal of African Earth Sciences*, vol.27, n°2, 241-257.
- AÏSSA, D. E. 1985.** Etude géologique et métallogénique du massif de l'Edough. - *Thèse de Doctorat 3° cycle.*, Alger.
- AÏSSA, D. E. 1996.** Les minéralisations du massif cristallophyllien de l'Edough, Annaba. Caractérisation géologique, géochimique, minéralogique, métallogénique et évolution des phases fluides mises en jeu. *Thèse de Doctorat d'Etat*, 420p. U.S.T.H.B – Alger.
- AÏSSA, D. E. AND HENNI, B. 1997.** Presence of Gold and its relation with the iron formations in Edough massif (NE Algeria) - *Act of Congress of mining geology- Amman*, pp. 43-56.
- BEUKES, N. J. 1973.** Precambrian Iron-formation of southern Africa. *Economic Geology*, 68. pp. 960-1004.
- BRUNEL, M., HAMMOR, D., MISSERI, M., GLEIZES, G. ET BOULOTTON, J. 1988.** Cisaillements syn-métamorphiques avec transport vers le NW dans le massif cristallin de l'Edough (wilaya d'Annaba, Algérie). Une faille normale ductile hercynienne ?. *C. R. Acad. Sc., Paris, Série II.*, t. 306, pp. 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. *C. R. Acad. Sc., Paris, Série II.*, t. 314, pp. 829-835.
- CABY, R., HAMMOR, D. AND 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.
- DUBRU, M. 1986.** Pétrologie et géochimie du marbre à Brucite et des borates associés au gisement du tungstène de Costabonne (Pyrénées orientales, France). *Thèse de Doctorat en Sciences*, 437p.
- GARCIA, D., COELHO, J. AND PERRIN, M. 1991.** Fractionation between TiO₂ and Zr as a measure of sorting within shale and sandstone series (Northern Portugal). *European Journal of Mineralogy*, 3, pp. 401, 414.

- GOLDSCHMIDT, V. 1954.** *Geochemistry*, Clarendon Press, p.759
- GROSS, G. A. 1980.** A preliminary assessment of the chemical composition of iron-formations in Canada. *Canadian Mineralogist*, Vol.18. pp.223-229.
- GROSS, G. A. 1993.** Iron-formation metallogeny and facies relationships in stratafer sediments. *Proceedings of the eighth quadrennial IAGOD symposium*. pp.541-550.
- HAMMOR, D. 1992.** Du Panafricain au Miocène. 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie NE) retracés par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$). *Thèse de Doctorat Univ. Montpellier II*.
- HENNI, B. ET AÏSSA, D. E. 1999.** Les gisements de magnétite du sud du massif de l'Edough (Annaba) : Un type de minéralisations générées par un métamorphisme Mn+1 et affectées par un métamorphisme Mn+2. *4^{ème} Journées Scientifiques, des Sciences de la Terre, USTHB, Alger*.
- HENNI, B. 1994.** La minéralisation ferrifère de Berrahal et ses environs (massif de l'Edough, Algérie). Caractérisation et approche génétique. *Thèse de Magister, U.S.T.H.B – Alger*. 186 p.
- HENNI, B. 2006.** Les formations ferrifères du massif de l'Edough (Annaba, NE algérien). Etude géologique, géochimique et approche thermodynamique. *Thèse de Doctorat d'Etat, U.S.T.H.B-Alger*. 231 p.
- HENNI, B., GUY, B. ET AÏSSA D. E. 2000.** Caractérisation de la phase à sulfures en relation avec les gisements de magnétite de la région de Berrahal (Massif de l'Edough – NE Algérien). *5^{èmes} Journées Scientifiques des Sciences de la Terre de la FSTGAT-USTHB, Alger, 20-21 Juin 2000*, p.43.
- HENNI, B., GUY, B., AÏSSA, D. E. ET GARCIA, D. 2002.** Les anciens gisements et indices de magnétite de Berrahal et ses environs. Massif de l'Edough (NE algérien). Environnement géologique et données pétrographiques. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, vol. 13, pp. 33-48.
- HILLY, J. 1962.** Etude géologique du massif de l'Edough et du cap de fer. *Publications du Service de la Carte Géologique de l'Algérie*, Bull.19.
- HORTSMANN, U. E. AND HÄLBICH, I. W. 1995.** Chemical composition of banded Iron-Formation of the Griqualand West sequence, Northern Cape Province, South Africa, in comparaison with other Precambrian Iron-Formations. *Precambrian research*, vol. 72, 109-145.
- KHAN, R.M.K. AND NAQVI, S.M. 1996.** Geology, geochemistry and genesis of BIF of Kushtagi belt, Archaen Dharwar Craton, India. *Mineralium Deposita*, 31, 123-133.
- KLEIN, C. AND BEUKES, N. J. 1989.** Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to Iron-Formation deposition in the early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. *Economic Geology*, vol.84, n°7. 1733-1774.
- LAOUAR, R., BOYCE, A.J., AHMED-SAÏD, Y., OUABADI, A., FALICK, A.E. AND 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
- LEAKE, B. E. 1978.** Nomenclature of amphiboles. *Bull. Mineral.* 101, n°4, pp. 453-468.
- ORGM, 1997.** Travaux d'évaluation préliminaire du fer sur les flancs du gisement de Bou Maïza (Tébeïga). *Rapports internes inédits*.
- SONAREM, 1972.** Travaux de recherches et de prospection réalisés sur les gisements de minerai de magnétite de Bou Maïza (Tébeïga). *Rapports internes inédits*.