

Métallogénie/Ore deposits

La sidérite de Pagala (Togo); son évolution en chapeau de fer

Kodjo TOGBÉ, Yves BÉSNUS et Alain BLOT

Résumé – A Pagala, a été trouvée, dans un profil, une sidérite massive surmontée d'un épais niveau ferrugineux représentant le chapeau de fer. Les investigations menées permettent de conclure que ce chapeau de fer est issu directement de l'altération météorique de la sidérite. Cette transformation s'effectue avec héritage de microtextures caractéristiques, lessivage massif et sélectif des éléments et bonne conservation des micas. Les similitudes texturales et géochimiques de nombreux chapeaux de fer de la région de Pagala avec celui de la Cascade conduisent à privilégier l'hypothèse d'une origine carbonatée pour ces chapeaux de fer.

The siderite of Pagala (Togo); its evolution to gossan

Abstract – At Pagala (Togo), was found in a profile a massive siderite overlain by a thick ferruginous cap representing the gossan. The investigations done allow us to conclude that this gossan is the direct weathering product of the siderite. This transformation is carried out with inheritance of microtextures, massive and selective leaching of elements and good conservation of micas. Textural and geochemical similarities of many gossans of the area with the one of Cascade favour a carbonaceous origin for these gossans.

Abridged English Version – I. INTRODUCTION. – Recently discovered at Pagala (Togo, central region) (Blot, 1983), the gossans are well identified in terms of their facies, chemical composition, mineralogic constitution and morphologic characteristics (Togbé, 1987; Blot and Magat, 1989 and 1990). Nevertheless, these formations are not well defined with respect to any weathering profile accessible to observation; which leads to many genetic assumptions. But now, from a profile done on one site, a carbonaceous origin is very much favoured (Togbé, 1991).

II. DESCRIPTION OF A TYPICAL PROFILE: GENESIS OF THE GOSSANS. – It is an incomplete profile (figs. 1 and 2) with, from bottom to top, a massive sideritic level and a thick ferruginous cap which represents the gossan. The transition between these two levels is relatively abrupt with a blurred contact.

1. *The massive siderite.* – It is a massive, hard rock, with yellow pale to sandy colour when it is fresh, or dark brown when oxidizing. With the naked eye or the binocular lens, it presents a brecciated aspect underlined by the presence of fragments of quartzites, schists and micaschists enveloped in a sideritic cement. Otherwise are seen flakes of micas, some scattered quartz and millimetric inclusions of pyrite. Microscopic study indicates that it is a micrite (size of grain between 20 and 50 μm), with sparitic nodules (about 150 μm) usually located in the vicinity of fractures or associated with quartz veins, including quartzo-micaceous rock fragments, quartz and micas scattered or ranged in two secant trends as in micaceous rock fragments with S_1 and S_2 schistositities. Otherwise, millimetric sulfide grains are sometimes abundant. Accessory micrometric grains of rutile and zircon are seen associated in preference with micaceous rock fragments.

The chemical study of mineral composition by electronic microprobe (CAMEBAX) (table I α) shows that only siderite and muscovite have specific characteristics in their composition and in the distribution of anomalies of some elements such as Zn, Mn and Ba. In fact, Ba is

Note présentée par Georges PÉDRO.



specific to muscovite in conjunction with constant and relatively high contents in Fe and Mg and the richness in silicon with Si/Al ratio higher than in ordinary muscovites. In siderite, Zn and secondarily Mn and Mg, are very abundant and not uniformly distributed in the siderite grains, but they tend to be irregularly concentrated in internal grain haloes on the one hand and at the side of grains on the other (*fig. 3*). In the same way, the abundances of Mn and Mg almost depend on these haloes.

2. *The oxidized part.* – It is formed by very dense, hard, massive materials dark in colour. These materials show a tendency to spheroidal organization. With the naked eye or lens, quartz of variable size, muscovites and fragments of schists are seen sometimes with oxidized pyrite aggregates especially in less oxidized facies, the whole enveloped in dark cement. On outcrop, coarse white grains of exudation quartz can be seen. The presence of rock fragments confers to it a brecciated aspect. Micrographic study (Togbé, 1991) shows that these materials have a reticulated matrix essentially formed by goëthite and hematite, blending residual minerals scattered or crowded to form rock fragments. As opposed to Batère (Sornein, 1980), the weathering of iron carbonates is here more goëthitic than hematitic. The cavities thus bounded are occupied by slightly crystallized iron hydroxides. Two types of reticulation are seen: coarse reticulations (100 to 350 μm) derived from quartz grains and fine reticulations (20 to 50 μm) interpreted as corresponding to the pseudomorph of siderite grains by iron oxi-hydroxides. Essentially, residual minerals are quartz and especially micas which present the same concordance of range as in the rock fragments. Results of microprobe analyses (table I *b*) show that the main anomaly of the siderite (Zn) is scavenged in the iron oxi-hydroxides especially in goëthite. Likewise muscovites conserve the same specific chemical composition and abundance in Fe, Mg and Ba.

3. *Siderite-gossan transition.* – The observed change in thin section (sample 74) can be seen at the centimetric scale. At the first stage, are seen at the edges of siderite grains, dissolution fissures in which precipitate iron oxi-hydroxides. Afterwards, the removal of the remaining grains leaves cavities edged by well crystallized goëthite and hematite. It is in this way that goëthite and hematite form a micro-reticulation traced on the joints of ancient siderite grains.

4. *The comparative geochemistry of the siderite and its gossan.* – When comparing compositions of the two facies (table II), it appears that besides Fe, most lithophile elements are more abundant in the gossan than in the siderite. These high contents can be explained by the apparent increase of micas in the gossan, due to the fall in the density of gossan material and the persistence of micas. This had already been noted in ferruginisations developed on siderite in Australia (Taylor, 1973). The persistence of micas in the gossan material allows one to calculate the loss of element contents using Streng's method (1868). Results show that weathering of siderite involves an impoverishment in many elements especially Fe and the minor elements which are in anomaly in the siderite facies: Zn, Mn and Ba. The rare earth elements are also affected, but more the heavy than the light ones; that leads to a noticeable variation of the La/Yb ratio which rises from 3 in the siderite to 6 in the oxidized facies.

III. CONCLUSION. – Weathering of Zn bearing siderite of Pagala directly generates gossan formation, with inheritance of typical microtextures: fine reticulation derived from siderite grains and the coarse form quartz, massive and selective leaching of elements and good conservation of micas. Many of gossans in this region show exactly the same textural and geochemical features as the oxidized ferruginous facies described above, and consequently they can have the same carbonaceous origin as this one.

I. INTRODUCTION. – Les chapeaux de fer du Togo, d'invention récente (Blot, 1983), sont assez bien identifiés par leur faciès, leur composition chimique, leur constitution minéralogique et par leurs caractéristiques morphologiques (Togbé, 1987; Blot et Magat, 1989 et 1990). Cependant, ces formations restent généralement mal calées dans un profil d'altération non accessible à l'observation. Cette ambiguïté sur le protore a pu nourrir différentes hypothèses génétiques. Mais à partir d'une coupe réalisée sur un site (Togbé, 1991), l'origine carbonatée est maintenant fortement privilégiée. Cette coupe correspond au profil de la Cascade de la rivière Anamanié.

II. ÉTUDE DU PROFIL TYPE, GENÈSE DES CHAPEAUX DE FER. – Un profil incomplet a été observé sur un seul site, celui de la Cascade (fig. 1 a et b). Il est schématisé par la figure 2 et se compose d'un niveau de base de sidérite massive surmonté d'un épais niveau ferrugineux oxydé qui est un chapeau de fer. La transition entre les deux apparaît macroscopiquement brutale bien que s'effectuant de manière graduelle sur quelques millimètres.

1. La sidérite massive. – C'est une roche massive, dure, de couleur jaune pâle à beige lorsqu'elle est à l'état frais, ou de couleur brun sombre lorsqu'elle est en voie d'oxydation. A l'œil nu, tout comme à la loupe binoculaire, elle a un aspect bréchoïde souligné par la présence d'éléments lithiques (quartzites, schistes, micaschistes) pris dans un ciment sidéritique. Outre ces éléments de roches, se reconnaissent noyés dans la sidérite, un semis de paillettes de micas, quelques quartz dispersés et de nombreuses inclusions millimétriques de pyrite.

Au microscope optique, la sidérite, principal minéral (environ 80%), se présente en grains enchevêtrés de taille préférentiellement comprise entre 20 et 50 μm . Dans ce fond essentiellement micritique, se rencontrent quelques gros grains de sidérite dont la taille varie de 50 à 150 μm . Ces derniers sont souvent localisés à proximité de fractures ou associés

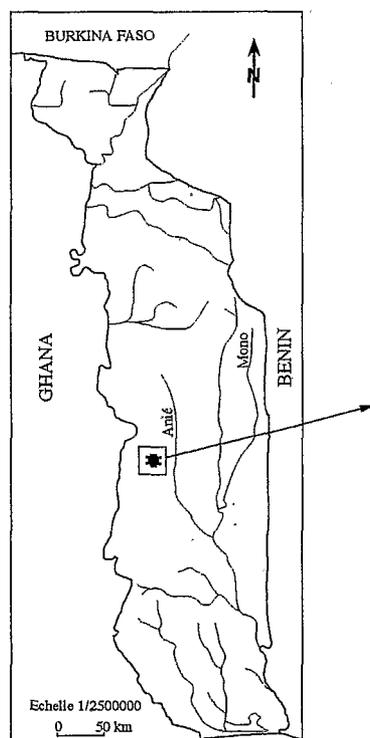
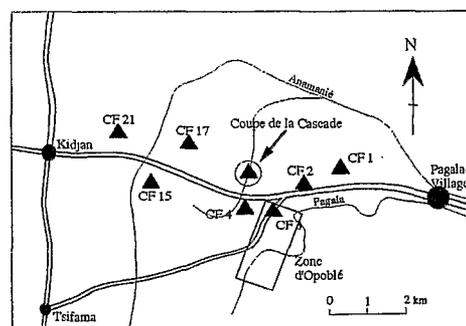


Fig. 1. – Carte de localisation.

Fig. 1. – Location map.



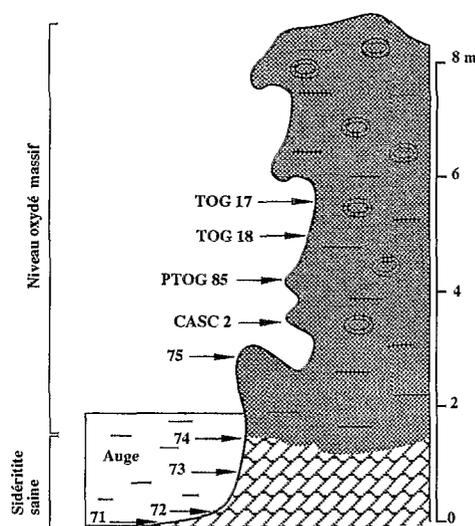


Fig. 2. — Schéma de l'affleurement et localisation des échantillons.

Fig. 2. — Outcrop diagram and sample locations.

à des quartz à caractère filonien. Les micas, lorsqu'ils sont alignés, sont fréquemment disposés suivant des directions qui se recoupent, à l'image de leur disposition dans les éléments lithiques micacés où les deux phases S_1 et S_2 sont marquées par deux schistosités sécantes. A l'extrême, des microplis micacés sont nettement visibles. Par ailleurs, les quartz et les micas présentent des figures de dissolution qui sont des cavités, dans la plupart des cas occupées partiellement ou totalement par de la sidérite.

A ces principaux minéraux, s'ajoutent par ordre d'importance décroissante, de la pyrite, du rutile et du zircon en grains micrométriques (10 à 30 μm). Les grains de pyrite souvent automorphes à subautomorphes sont isolés ou groupés en plages amiboïdes. Le rutile et le zircon sont préférentiellement associés aux éléments lithiques micacés. Il s'agit donc d'une micrite à rognons sparitiques, incluant d'une part des éléments lithiques quartzo-micacés ainsi que des quartz et des micas dispersés et d'autre part des sulfures parfois abondants.

La composition des minéraux a été étudiée à la microsonde électronique (tableau 1a). Les minéraux accessoires ne présentent aucune particularité dans leur composition : dolomite, pyrite, rutile et zircon ont des compositions chimiques normales. Par contre, la sidérite et la muscovite ont des traits spécifiques dans leur composition et dans la répartition des éléments typiques des anomalies : Zn, Mn et Ba. La sidérite est le piège exclusif de Zn et Mn. Ba est spécifique de la muscovite laquelle est aussi caractérisée par des teneurs relativement élevées en Fe et en Mg et une richesse notable en SiO_2 (le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est significativement plus élevé que dans les muscovites ordinaires).

Dans la sidérite, Zn n'est pas distribué de manière homogène dans les grains de carbonate, mais tend à se concentrer, de manière d'ailleurs irrégulière, dans des auréoles intragrains et sur les bords des grains (fig. 3). De même Mn ainsi que Mg ont des teneurs dépendant souvent de ces auréoles sans jamais être enrichis de manière notable en bordure des grains.

2. *Le niveau oxydé.* — Ce sont des matériaux très denses, durs et massifs, de couleur noire ou sombre. Ils présentent une tendance à une organisation en cendriers, concentriques en boules irrégulières de dimension variant entre une fraction de millimètre et plusieurs décimètres. A l'œil nu ou à la loupe s'observent, emballés dans un ciment noir, des quartz de taille variable, des micas blancs, des fragments de schistes et quelquefois des restes d'agrégats de pyrite oxydée. Sur l'affleurement, on observe de gros quartz d'exsudation

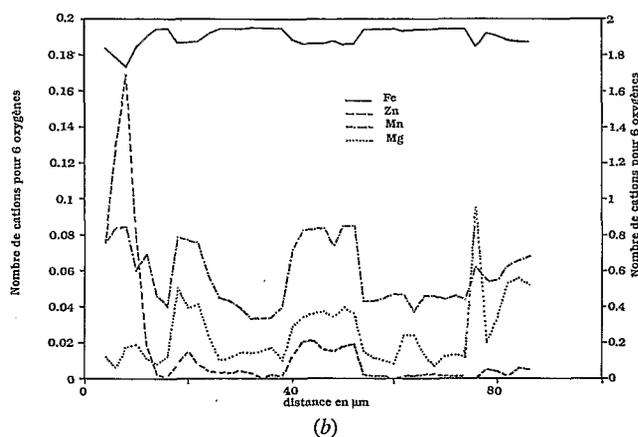
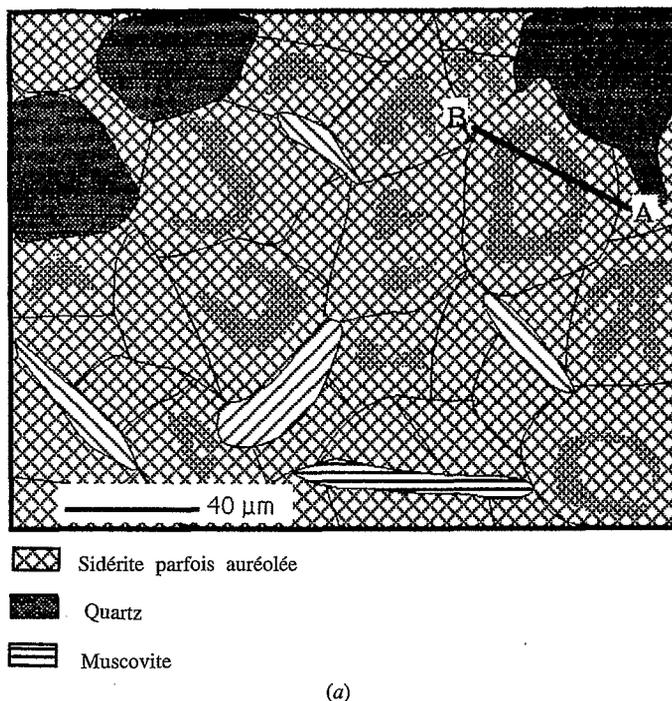


Fig. 3. – Profil de teneurs de Fe, Zn, Mn, et Mg (b) à travers un grain de sidérite (a).

Fig. 3. – Contents profile of Fe, Zn, Mn, and Mg (b) through a siderite grain (a).

de couleur blanc nacré et des fragments de roches qui confèrent à ces matériaux un aspect bréchoïde.

Au microscope, ces matériaux ne diffèrent pas des faciès typiques des chapeaux de fer (Togbé, 1991), avec une matrice réticulée constituée essentiellement de goéthite et d'hématite englobant des minéraux résiduels dispersés ou groupés en fragments lithiques. Contrairement à ce que l'on connaît à Batère (Sornerin, 1980), l'altération des carbonates ferrifères est ici plus goéthitique qu'hématitique. Ces deux minéraux apparaissent très souvent sous forme microcristalline, avec une meilleure perception des cristallites pour la goéthite. Les cavités ainsi délimitées sont occupées par des hydroxydes de fer mal cristallisés.

TABLEAU I

Composition chimique des principaux minéraux de la sidérite (a) et du faciès oxydé massif (b) mise en évidence à la microsonde électronique « CAMEBAX » (%).

Chemical composition of main minerals of siderite (a) and gossan (b) determined by microprobe CAMEBAX (%).

	a							
	MgO	SiO ₂	CaO	MnO	FeO	CuO	ZnO	BaO
Sidérite (n=131)	0,57	0,41	0,38	1,43	49,54	–	0,86	–
	Mg	Si	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Ba
Pyrite (n=28)	n. d.	n. d.	53,40	45,73	0,01	0,01	–	n. d.
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	FeO _t	CuO	ZnO	BaO
Muscovite (n=20)	3,55	49,75	29,30	9,80	1,20	–	–	1,58
	MgO	–	CaO	MnO	FeO _t			
Dolomite (n=1)	22,03	–	27,94	0,12	2,87			
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO _t			
Rutile (n=3)	–	0,95	0,27	95,44	0,24			
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	FeO _t	ZrO	CaO	TiO ₂
Zircon (n=5)	–	30,88	0,57	2,64	0,53	61,09	0,37	0,86
	b							
	Mg	Al	Si	S	Fe	Cu	Zn	Ba
Pyrite (n=31)	0,13	0,34	0,50	53,66	46,72	0,01	0,01	0,01
	MgO	SiO ₂	CaO	MnO	FeO _t	CuO	ZnO	BaO
Goëthite (n=29)	–	1,8	–	0,28	71,33	–	0,74	–
	MgO	SiO ₂	CaO	MnO	FeO _t	CuO	ZnO	BaO
Hématite (n=3)	–	2,02	–	–	84,76	–	–	–
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	FeO _t	CuO	ZnO	BaO
Muscovite (n=4)	3,2	51,0	31,8	9,50	1,40	–	–	1,3

n. d. = non dosé; FeO_t : Fe total exprimé en FeO.

Les minéraux résiduels sont essentiellement des quartz et des micas. Ils se présentent sous forme de grains dispersés ou d'éléments lithiques tels que ceux observés dans la sidérite. Des plages constituées uniquement de gros quartz à caractère filonien ont été observées. Les quartz, les micas et les éléments lithiques sont corrodés et envahis par des oxydes de fer. Les micas isolés sont souvent disposés selon une direction préférentielle parfois doublée par une seconde direction sécante. De même, dans les éléments lithiques quartzo-micacés, deux directions d'alignement des micas correspondant à deux phases tectoniques S₁ et S₂ peuvent être notées. Un fait important est la concordance d'alignement observée parfois entre les micas isolés et ceux des fragments lithiques. Les minéraux accessoires sont rares et seule la pyrite en voie d'oxydation a été observée dans un échantillon (éch. 75) proche de la zone de transition.

Les résultats d'analyses ponctuelles (tableau I b) montrent que la principale anomalie de la sidérite, Zn, se retrouve dans les oxy-hydroxydes de fer, en particulier dans la goëthite.

Les muscovites ont les mêmes particularités chimiques que celles de la sidérite : même richesse en Si, Fe, Mg et Ba.

Les cavités composant la matrice réticulée peuvent être regroupées en deux classes en fonction de leurs dimensions, conduisant à définir deux types de réticulations. La macro-réticulation est constituée de cavités de 100 à 350 μm , dans lesquelles subsiste parfois du quartz résiduel. Elle se rencontre assez rarement et peut être interprétée comme correspondant à la pseudomorphose de nodules ou filons de quartz. La micro-réticulation est formée de cavités nettement plus petites, 20 à 50 μm le plus souvent. C'est la texture typique généralisée du faciès oxydé. L'étude du faciès de transition présentée ci-après montre qu'il correspond à la pseudomorphose des grains de sidérite par la goëthite et l'hématite.

3. *La transition sidérite-chapeau de fer.* – Le passage observé en lame mince (éch. 74), se fait à l'échelle centimétrique. Les réticulations résultent d'un processus dont la première étape est une dissolution des grains de sidérite sur leurs pourtours créant des fissures dans lesquelles précipitent des oxy-hydroxydes de fer. Ces derniers dessinent ainsi les contours des grains qui disparaissent ensuite, ménageant des cavités bordées de goëthite et d'hématite bien cristallisées, cavités qui se remplissent partiellement ou totalement d'hydroxydes mal cristallisés. C'est ainsi que goëthite et hématite forment une micro-réticulation calquée sur les joints d'anciens grains de sidérite. Parallèlement peuvent se former localement des fissures intra-grains qui séparent les grains en deux ou trois morceaux plus petits et s'emplissent elles aussi d'oxy-hydroxydes de fer.

4. *Géochimie comparée de la sidérite et de son faciès oxydé.* – En comparant les compositions de deux roches entre elles (tableau II), on note une plus grande abondance de nombreux éléments dans le faciès oxydé que dans la sidérite : Fe, Si, Al, Ti, Na, K, V, Cr, Cu, Sc, Zr et Nb. D'autres apparaissent appauvris : Mn, Ni, Co, Zn, Y, Eu et Yb. Les teneurs élevées en éléments « lithophiles » dans le niveau oxydé s'expliquent par l'augmentation apparente des micas dans ce dernier, due à la résistance des micas à l'altération. La persistance des micas, déjà observée ailleurs (Taylor, 1973), de la sidérite au matériau oxydé autorise à faire le calcul à iso-alumine (Al constant) par la méthode de Streng (1868) avec la formule suivante :

$$x = \frac{a * B}{b * A} * 100$$

où A et a sont les teneurs d'un élément donné dans les niveaux respectivement sain et altéré, B et b les teneurs du composant de référence (ici Al_2O_3) dans ces niveaux et x le gain ou perte subi par l'élément, en pourcentage de sa teneur dans le niveau sain.

Ces résultats permettent de conclure que l'altération météorique de la sidérite se fait avec une perte importante pour de nombreux éléments : sur les 27 éléments dosés, 16 ont une perte supérieure à 30%. Parmi ceux-ci se trouvent Fe et les éléments en anomalie notable dans la sidérite, Zn, Mn, Ba. S'y trouvent également les terres rares, le lessivage affectant cependant plus les lourdes que les légères, ce qui se traduit par un rapport La/Yb passant de 3 dans la sidérite à 6 dans le faciès oxydé.

III. CONCLUSION. – L'altération météorique de la sidérite de Pagala, porteuse d'anomalies importantes en zinc notamment, conduit directement à la formation de faciès typiques des chapeaux de fer régionaux. Les héritages induisent directement des microtextures caractéristiques, avec les plus fines issues du carbonate et les plus grossières du quartz. Cette transformation s'effectue dans un contexte d'élimination massive et sélective des

TABLEAU II

Compositions chimiques moyennes de la sidérite et du faciès oxydé estimées par les médianes (en pourcentage de SiO₂ à P₂O₅ et parties par million de Sr à Lu). Pertes calculées à alumine constante : Δ (Al) en pourcentage des teneurs dans la sidérite.

Mean chemical compositions of siderite and gossan.

Éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂
Sidérite (n=10) . . .	-15,3	2,9	0,7	0,3	50,7	1,32	0,16
Ferrugin (n=12) . . .	25,1	4,9	0,6	0,1	58,5	0,4	0,23
Δ (Al)	- 3	-	-49	-80	-32	-82	-15
Éléments	Ni	Zn	Zr	Co	Cr	Cu	Sc
Sidérite	118	5 413	81	92	26	10	5
Ferrugin	93	2 261	123	61	58	15	6
Δ (Al)	- 54	-75	- 10	-61	+32	-12	-30
Éléments	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sr	Ba	V	
Sidérite (n=10) . . .	0,04	1,0	0,15	15	1 713	31	
Ferrugin (n=12) . . .	0,07	1,7	0,15	14	1 780	45	
Δ (Al)	+3	0	-49	-45	-39	-14	
Éléments	Nb	Y	La	Ce	Eu	Yb	Lu
Sidérite	7	65	17	55	2	5,7	0,2
Ferrugin	10	44	19	52	1,4	3	0,12
Δ (Al)	-16	-60	-34	-44	-59	-69	-65

éléments avec une bonne conservation des micas. L'organisation supérieure du chapeau de fer de la Cascade, macrostructurale, avec les faciès d'affleurement en cendrier ou en pelure d'oignon, non étudiée ici, semblerait dans la même filière, un héritage de la fracturation de la roche de départ.

Le faciès oxydé observé à la Cascade, et dont l'origine carbonatée est sur ce site démontrée, présente les mêmes caractères très particuliers microtexturaux, macrostructuraux et géochimiques qu'un grand nombre de chapeaux de fer dispersés sur l'intervalle de la région de Pagala. Pour ces chapeaux de fer, un protore carbonaté est donc probable, hypothèse qui semble par conséquent s'appliquer assez largement dans la région étudiée.

Note remise le 3 mai 1993, acceptée après révision le 3 septembre 1993.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A. BLOT et Ph. MAGAT, Les chapeaux de fer polymétalliques à zinc du Togo (Afrique de l'Ouest). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, 1989, p. 371-376.
- A. BLOT et Ph. MAGAT, Les chapeaux de fer du Togo, de l'affleurement à la région. *Séminaire ORSTOM 90*, Bondy, 1990, p. 157-170.
- J. F. SORNEIN, Altération supergène de minéralisations ferrières : les chapeaux de fer de sidérite de Batere (Pyrennées-Orientales) et du gisement de pyrite de St-Bel (Rhône). *Thèse Doct. Ing. ENSMP*, 1980, 150 p., déposée à la Bibliothèque de l'ENSMP.
- G. F. TAYLOR, The geochemistry of siderite in relation to ironstone in the Paradise Creek Formation, North Queensland. *J. Geochem. Explor.*, 2, n° 4, 1973, p. 367-383.
- K. A. TOGBÉ, Contribution à l'étude des chapeaux de fer du Togo. Pétrographie, Minéralogie et Géochimie, *DEA*, Strasbourg, 1987, 29 p., déposé à la Bibliothèque de l'Institut de Géologie de Strasbourg.
- K. A. TOGBÉ, Les chapeaux de fer du Togo. Étude pétrographique, minéralogique et géochimique. *Thèse de Doctorat d'Université*, Poitiers, 1991, 204 p. déposée à la Bibliothèque de l'Université de Poitiers.

K. T. : Département de Géologie, BP n° 1515, Lomé, Togo;

Y. B. : Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France;

A. B. : Centre ORSTOM, 72, route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex, France.