

Signification des ferruginisations des formations néoproterozoïques du Nord-Burkina Faso (Afrique de l'Ouest)

Alain Blot

IRD–Orstom, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso

Reçu le 3 avril 2002 ; accepté le 1^{er} août 2002

Présenté par Georges Pédro

Abstract – Meaning of ironstones in the sedimentary Neoproterozoic formations of the northern Burkina Faso (western Africa). There are many small ferruginous outcrops of different facies, often breccia-like, in the Neoproterozoic sedimentary formations in northern Burkina. These outcrops are made up of goethite and quartz, and are often along with high grades of various elements. It could be a question of gossans. Their large distribution in this part of the Taoudéni Basin offers it prospects as a province geochemically rich in Cu, Pb, Zn, Mo, As, Cd, Co... This basin would be a geochemical bin for ancient formations, which would have been evacuated before the Neoproterozoic. The ironstones would be the mark of further concentrations. *To cite this article: A. Blot, C. R. Geoscience 334 (2002) 909–915.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

iron breccias / iron stones / gossans / Neoproterozoic / geochemically rich province / supergene metallogeny / Burkina Faso

Résumé – De nombreux affleurements ferrugineux, de petites dimensions, marquent les formations néoproterozoïques du Nord-Burkina. Ils affectent notamment les formations siliceuses, avec des faciès variés et souvent bréchiques. Constitués de goethite et de quartz, ces ferruginisations, avec de fortes anomalies en plusieurs éléments métalliques, évoquent des chapeaux de fer. Leur large répartition ouvre à cette partie du bassin de Taoudéni des perspectives en tant que province métallogénique à Cu, Pb, Zn, Mo, As, Cd, Co... Si l'origine lointaine de ces métaux est attribuable à l'érosion des formations du Paléoproterozoïque ayant alimenté le bassin, les ferruginisations supergènes sont la signature de concentrations ultérieures. *Pour citer cet article : A. Blot, C. R. Geoscience 334 (2002) 909–915.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

brèches ferrugineuses / chapeaux de fer / Néoproterozoïque / province métallogénique / altération supergène / Burkina Faso

Abridged version

1. Location of ferruginous outcrops in the Taoudéni Basin of northern Burkina

The Neoproterozoic sedimentary sequences of northern Burkina Faso lie unconformably on the granitoids and volcano-sedimentary formations of the Palaeoproterozoic bedrock.

The presence of ferruginous breccias was noted by Delfour [9] during survey works and during the UNDP prospecting campaigns in 1971–1972 [15], where they performed as sinks for metallic elements.

In this note are added the observations made since then on the ferruginous rocks.

2. Ferruginous outcrops in the Tin Akof region: extension and features

Small patchy outcrops of ferruginous rocks have been recorded in the Tin Akof area (Fig. 1). These outcrops are located in the silicified breccias and jasperites of the Ydouban Group.

They are similar to the previous descriptions [15], notably at Kabia and to the south of Toussougou (Fig. 1, sites 2 and 3), where the ferruginous breccias are located

in interstratified mudstone to the east, and in the quartzitic sandstones and breccias of the dolomitic sequence of Irma to the west.

The ferruginous body description is inspired from previous works [1, 4, 5, 7, 11–13, 17–19] and ongoing research.

2.1. Geometry and physical properties

Outcrops are small, in patches, arranged in a chain-linked pattern. Many of these bodies are currently known on a 150 kilometre east–west trend (Fig. 1, sites 2 to 3).

The ferruginous outcrops, whose formation remains to be fully understood [8], are often associated with jasperoidal siliceous breccias.

The ferruginous outcrops are decametrical to hectometrical, bodies apparently arranged in a chain-linked pattern. No magnetic anomalies are associated to these bodies. The electric and electromagnetic signatures of the site 1 (Fig. 1) identify a conductor body that seems to underlie the ferruginous outcrops. Previous works [15] have shown that a ferruginous breccia creates a polarisation anomaly, which is subvertical and apparently discordant to the sedimentary beds geometry (site 3 in Fig. 1).

2.2. Facies and mineralogy

Facies are varied, but the breccia facies is the most typical, with siliceous elements (quartz, jasper, chert, agate) and with fragments of argillaceous rock in a goethite matrix.

The ferruginous rocks are mainly made up of goethite, quartz (veinlets, jasper, chert) and rare hematite, confirmed by XRD. Kaolinite is only found as residual weathered rocks in breccias.

2.3. Geochemistry

The main major elements are SiO_2 , Fe_2O_3 and H_2O (Table 1).

Trace elements frequently are abundant, except for Cs, Hf, Li, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta and Zr, which are depleted, due to the leaching of Al, Ti, Na, K, Ca and Mg (Table 1). The most frequent occurring trace elements are As, Au, Be, Bi, Cd, Co, Cu, Mo, Pb, Pd, Pt, Re, Sb, Se, Te, U, V, Y and Zn, whereas Ag, B, Ba, Cr, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Ni, P, S, Th, Tl, Re and W have more erratic concentrations (Table 2).

This association of elements in a complex population provides evidence of hydrothermal sulphides [14], whose relicts are preserved in the ferruginous outcrops from the Tin Akof area, like gossans from several ore deposits (Table 3).

3. Interpretation

The high concentration of metals and other elements characterise the ferruginous outcrops. This retention of elements, previously assigned to the role of oxi-hydroxides iron sink [15], can as well be interpreted as an evidence of the sulphide mineral alteration. Indeed, ferruginous outcrops are essentially constituted of iron neoformations, and present all usual features of mature gossans (cutting, morphology, facies, composition and simple constitution, absence of Al and Ti, high trace elements concentrations...). The spectrum of the trapped elements appears typical of an association of sulphide-style mineralisation [14] (Table 3), though the analysed samples come from different bodies.

4. Findings and perspectives

The abundance of rich metallic ferruginous bodies, probably of sulphide origin, allows us to consider the southern part of the Taoudéni Basin as an original geochemically rich province. The association of almost systematic breccia facies with high concentration in several elements could suggest an initiation of mineralisation in the period of tectonic activity.

This situation would be similar to that which has been proven in Togo in the structural unit of Atacora, which was for a long time neglected by the mineral exploration companies [2]. The underlining of gossans is believed now to be prospective for base metals as well as for other elements [3–6].

Thus, Neoproterozoic basins represent sinks for elements and metals that have been removed from Palaeoproterozoic formations and are well expressed in domains such as supergene enrichments, gossans, ferruginous outcrops, and the ferruginous breccias. The concentration itself requires different mechanisms, where tectonic events and magmatic and hydrothermal inflows should play a role.

In conclusion, nothing can justify a statement that prospects for metals and other economically important elements are lower in the Basin of Taoudéni of northern Burkina Faso than in the Atacora (Togo), or in the Birimian basement. Finally, the signatures of metallic mineralisations are the simple shaped ferruginous bodies that are well distinct from the cuirass environment, parts of ironstones being gossans.

1. Place des ferruginisations dans le bassin de Taoudéni du Nord-Burkina

Les formations sédimentaires du Nord du Burkina Faso, attribuées au Néoprotérozoïque, appartiennent à la partie méridionale du bassin de Taoudéni. Elles sont discordantes sur les complexes magmatiques et méta-

volcano-sédimentaires du socle paléoprotérozoïque et constituent le groupe d'Ydouban [10, 16]. D'après Delfour [9], ce groupe comprend, de bas en haut, des conglomérats et grès quartzites, une formation pélitique (schistes), une formation siliceuse (cherts et jaspés) et une formation carbonatée (calcaires et dolomies, localement stromatolitiques). La formation

siliceuse a été cartographiée en tant que « brèches silicifiées et jaspes ».

La présence de brèches ferrugineuses a été signalée dans les travaux de reconnaissance de Delfour, mais n'est pas retenue dans la notice de la carte géologique au 1:200 000 [10]. Elle est signalée à nouveau lors des prospections du PNUD en 1971–1973 [15], qui attribuent aux ferruginisations un rôle de collecteur de métaux.

Dans cette note sont présentées les observations effectuées récemment sur de nombreux affleurements de roches ferrugineuses à proximité de Tin Akof.

2. Les ferruginisations dans la région de Tin Akof : caractéristiques et extension

De petits affleurements chaotiques de roches ferrugineuses ont été mis en évidence près de Tin Akof, dans la formation siliceuse du groupe d'Ydouban (Fig. 1, site 1). Celle-ci s'étend sur environ 60 km et se présente en bandes est-ouest, délimitées, soit par des cordons dunaires, soit par les autres formations sédimentaires du groupe. Au nord et à l'ouest de Tin Akof, cette formation siliceuse supporte directement des roches carbonatées.

Les prospections du PNUD (Fig. 1, sites 2 et 3), notamment à Kabia et au sud de Toussougou, tout en décrivant des brèches ferrugineuses, semblables à celles de Tin Akof, se situent dans les schistes de la formation pélitique à intercalation de grès-quartzites,

de brèches, de calcaires et de dolomies, à l'est, et dans les intercalations de grès-quartzites et de brèches, dans la série dolomitique d'Irma, à l'ouest.

La définition des traits caractéristiques des corps ferrugineux est inspirée de travaux antérieurs [1, 4, 5, 7, 11–13, 17–19] et des recherches en cours sur la distinction entre chapeaux de fer et cuirasses latéritiques : ces formations sont distinguées suivant une succession de critères ascendants dépendant du degré d'investigation, prenant en compte la morphologie des affleurements, les faciès macroscopiques, les microstructures, la constitution minéralogique, la composition géochimique (majeurs et traces), la composition de la goëthite et, bien entendu, la spécificité du cortège d'altération.

2.1. Caractères physiques des corps ferrugineux

Les affleurements des corps ferrugineux sont tous de petite taille, décamétriques à hectométriques, sans mesure d'orientation possible, mais avec un allongement est-ouest, et une organisation en chapelets. Plusieurs dizaines de ces corps sont actuellement connus, sans recherche systématique. Ils débordent largement la seule formation siliceuse du groupe d'Ydouban et ont été rencontrés sur environ 150 km, de 0° 15' E à 1° 15' W.

En plusieurs points d'observation, les ferruginisations apparaissent au sein de cuirasses latéritiques, avec un épaississement net de celles-ci et des faciès enrichis en goëthite. Il existe également des jaspes hématitiques passant à des hématites et des lits fer-

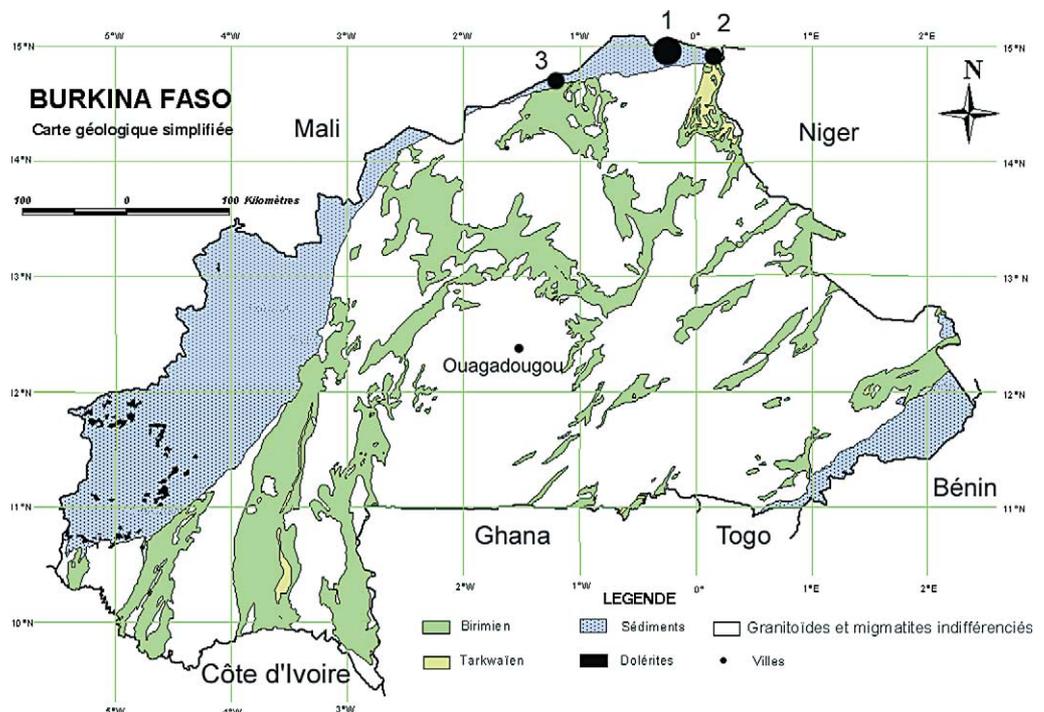


Figure 1. Localisation des points d'observation dans l'ensemble du Burkina : 1, Tin Akof; 2, Kabia; 3, Toussougou (mare de Soum).

Figure 1. Geographical location of observations in northern Burkina Faso: 1, Tin Akof; 2, Kabia; 3, Toussougou (mare de Soum).

romanganésifères dans les schistes. Mais, si les ferruginisations ne sont donc pas toutes de même origine, avec une typologie encore à réaliser [8], elles sont le plus souvent associées à des brèches siliceuses à jaspe, dont l'origine est interprétée de façon peu convaincante [9, 10, 16].

Des mesures géophysiques ont été exécutées sur un site situé à 10 km au SSE de Tin Akof (centre du dispositif : 14°52'24"N et 00°07'40"W).

Les mesures magnétiques ne présentent aucune anomalie, ce qui est conforme à la prospection aéromagnétique régionale de la bordure du bassin de Taoudéni. Les mesures électriques montrent un conducteur sous-jacent au corps ferrugineux, situé à partir d'une vingtaine de mètres de profondeur. Les mesures électromagnétiques (MaxMin) définissent un double corps peu résistant, directement au sud-ouest du terrain électriquement conducteur, évoquant ainsi une structure discordante par rapport aux roches sédimentaires à pendage nord. La prospection du PNUD [15] avait mis également en évidence une anomalie de polarisation provoquée sur des brèches ferrugineuses au sud de Toussougou, anomalie subverticale et discordante par rapport aux formations sédimentaires.

2.2. Faciès et minéralogie

Les faciès sont variés, bréchiqes, gréseux, massifs ou scoriacés, voire en pelure d'oignon. Ils sont parfois composites. Le faciès bréchiqes est le plus typique, avec, dans une matrice de goëthite, des éléments siliceux abondants (quartz, jaspe, chert, agate) et des restes de roches complètement argilifiées.

La goëthite et le quartz, quelle que soit la nature de l'expression de silice, sont les minéraux essentiels confirmés par DRX. Sur cinq échantillons, les teneurs en Fe₂O₃ et H₂O permettent d'estimer la teneur de goëthite entre 65 et 90 %. L'hématite est rare, en dehors des jaspes hématitiques. La kaolinite, déterminée par DRX, peut être exprimée dans des poches résiduelles d'altération, à côté de restes de quartz ou de jaspe.

Les prospections antérieures n'ont pas précisé la minéralogie des brèches ferrugineuses, mais les mêmes traits y ont été observés, avec prépondérance de la goëthite.

2.3. Composition chimique et cortège géochimique

Les analyses complètes des éléments majeurs, effectuées sur cinq échantillons, montrent qu'ils sont essentiellement composés de SiO₂, Fe₂O₃ et H₂O. La teneur en aluminium est très faible, ainsi que celle en titane, ce qui distingue nettement ces ferruginisations des cuirasses latéritiques (Tableau 1). Par ailleurs, 140 échantillons ont été analysés, pour 58 éléments chimiques. Le cortège des éléments en traces est fort contrasté, avec de fortes et faibles teneurs relativement au *clarke* (moyenne de l'écorce terrestre, prise comme référence). As, Au, Be, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Pb, Pd, Pt, Re, Sb, Se, Te, U, V, Y et Zn sont fréquemment présents en fortes teneurs (Tableau 2). Celles en Ag, B, Ba, Cr, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Ni, P, S, Th, Tl, TR et W sont beaucoup plus variables. Al, Ca, Cs, Hf, K, Li, Mg, Na, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Ti et Zr sont présents en teneurs faibles à très faibles, ce qui témoigne du lessivage intense des éléments lithophiles dans la constitution des ferruginisations.

Les prospections géochimiques du PNUD [15], sur sols et sur roches affleurantes, donnant de fortes teneurs en Cu, Mo et Zn et plus rarement en Ni et Co, apparaissent ainsi validées.

Ces caractéristiques de composition et d'association d'éléments à fortes teneurs sont très proches du domaine des sulfures d'origine hydrothermale, dont l'association la plus générale est Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Te, U, V et Zn [14]. Cette association se retrouve habituellement conservée en partie dans les teneurs typiques des chapeaux de fer et, ici, dans les ferruginisations régionales (Tableau 3).

3. Interprétation

Les corps ferrugineux observés au Nord-Burkina sont secondaires ; les seules reliques primaires non transformées par l'altération météorique sont les éléments siliceux (quartz et jaspes), qui donnent un faciès bréchiqes fréquent. L'abondance de la goëthite témoigne de l'importance des minéraux de fer altérables dans la formation parentale. Ces corps se distinguent nettement des roches ferrugineuses climatiques,

Tableau 1. Comparaison des compositions médianes de roches ferrugineuses supergènes du Nord-Burkina : **1**, cuirasse de Gangaol (collection Parisot ; $n = 17$) ; **2**, ferruginisations de Tin Akof ($n = 5$).

Table 1. Comparison between median composition of surficial ironstones from northern Burkina Faso: **1**, Gangaol laterite ($n = 17$); **2**, Tin Akof ironstones ($n = 5$).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF
cuirasse	22,23	19,84	39,25	0,06	0,06	0,01	0	0,06	0,74	0,07	11,66
ferruginisation	17,39	2,25	69,90	0,07	0,17	0,23	0	0,04	0,12	0,35	11,14

Tableau 2. Les principaux éléments à fortes teneurs exprimées en ppm et en ppb (*): **1**, maximum ; **2**, moyenne arithmétique ($n = 140$) ; **3**, clarke ; **4**, nombre d'échantillons présentant une teneur supérieure à deux fois le clarke.

Table 2. Main high level elements, in ppm and ppb (*): **1**, maximum; **2**, arithmetic mean ($n = 140$); **3**, clarke from Emsley; **4**, number of samples higher than two clarkes.

	Mn	V	Zn	Pb	As	Ni	Cu	Co	Mo
1	137000	2540	1720	646	472,1	284	290	706	66,9
2	1769	339	237	59	49,3	68	56	39	5,8
3	950	160	75	14	1,5	80	50	20	1,5
4	13	48	61	65	119	17	20	35	57
	Sb	Be	U	Bi	Se	Te	Cd	Au*	Pt*
1	43,1	34,2	24,5	1,40	43,4	0,76	2,02	70	46
2	3,3	5,7	5,6	0,11	0,8	0,04	0,17	3	3,5
3	0,2	2,6	2,4	0,048	0,05	0,005	0,11	1,1	1
4	125	56	74	38	53	48	24	43	42
	Ag	W	Tl	In	Cr	Ba	Ga	Pd*	Hg*
1	0,53	6,0	4,53	0,14	532	3640	66,7	21	493
2	0,05	0,2	0,13	0,01	46	127	3,8	1	32
3	0,07	1	0,6	0,049	100	500	18	0,6	50
4	13	6	4	3	2	2	1	24	7

Tableau 3. Teneurs comparées des ferruginisations de Tin Akof (TA1 = moyenne, TA2 = maximum), avec quelques teneurs moyennes de chapeaux de fer.

Table 3. Geochemical comparison between Tin Akof ironstones (TA1 = mean, TA2 = maximum) and some gossans (means).

		As	Ba	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	TA1	49	127	39	56	6	68	59	9	340	237
	TA2	470	3600	700	300	67	280	650	80	2500	1700
1	Tambo Grande	434	2624	5	338	–	4	493	308	163	76
2	Bodenec	393	126	38	1907	–	5	883	15	48	123
3	Rouez	333	113	5	256	–	7	1593	23	46	116
4	Chizeuil	271	2336	5	850	–	28	171	238	11	3
5	Sain Bel	31	4558	13	216	–	33	300	308	109	40
6	Jabal Sayid	350	200	20	2400	3	15	200	–	–	880
7	Wadi Wassat	40	550	20	17	18	20	6	–	–	16
8	Hadbah	80	360	40	70	200	400	7	–	–	80
9	Salvador 1	121	790	41	607	10	64	260	11	26	3738
10	Salvador 2	218	554	5	229	12	14	2519	35	49	2793
11	Pagala CF3	–	2888	91	55	–	196	–	18	65	4385
12	Pagala CF 81	18	141	49	9	1	174	14	10	73	2739
13	Pagala famille 2	10	1839	1	17	–	8	82	19	66	2423
14	Pagala famille 1	12	290	63	343	–	130	43	19	66	1563
15	Perkoa	820	4200	20	74	19	14	2600	90	177	780

Wilhelm et Kosakevitch [17] : **1**, Tambo Grande ; **2**, Bodenec ; **3**, Rouez ; **4**, Chizeuil ; **5**, Sain Bel. Ryall et Taylor [15] : **6**, Jabal Sayid ; **7**, Wadi Wassat ; **8**, Hadbah.

Collection Blot (Brésil) : **9**, Salvador1 ; **10**, Salvador2.

Collection Blot (Togo, Burkina) : **11**, Pagala CF3 ; **12**, Pagala CF81 ; **15**, Perkoa.

BRGM (Togo) : **13**, Pagala famille 2 ; **14**, Pagala famille 1.

– : Absence de données.

les cuirasses latéritiques, bien représentées dans la région, qui reflètent l'importance et l'intensité de l'altération climatique générale, et corrélativement, le lessivage des éléments. Les traits descriptifs de ces corps ferrugineux donnent une image de ce qui pourrait correspondre à la formation parentale, avec une extension régionale de petits corps distincts, grosso modo

en chapelets, composés de silice et de minéraux ferrugineux fortement altérables, accompagnés de minéraux également très altérables et riches en de nombreux métaux.

La constatation de l'existence de nombreux éléments, métalliques ou non, associés aux oxyhydroxydes de fer est une validation des résultats antérieurs.

Les prospecteurs du PNUD avaient mis en avant le rôle collecteur des oxydes de fer, avec une possible origine téléthermale, suggérant ainsi le rôle d'une source primaire située à quelque distance. Dans un contexte d'altération forte, donc de lessivage intense, c'est plus une rétention d'éléments par les minéraux de fer qu'un apport qui est connu, aussi bien pour les cuirasses que pour les chapeaux de fer.

C'est le mécanisme typique de la constitution des chapeaux de fer, avec lesquels ils ont beaucoup de traits communs, comme la désorganisation des affleurements, leur petite taille et la variété des faciès rencontrés. Leurs composition et constitution sont simples, sans alumine et sans argile, mais avec un piégeage bien marqué de nombreux éléments indicateurs. Dans ces conditions, les ferruginisations seraient le produit d'altération de corps sulfurés ou carbonatés ferri-fères, donc des chapeaux de fer, et pourraient correspondre, directement ou non, à des équivalents primaires non affleurants.

Bien que l'extrême variabilité des faciès et des compositions doivent tempérer l'approche comparative [18], l'ordre de grandeur des teneurs en éléments traces est compatible avec celui de nombreux chapeaux de fer de différentes régions du monde et de différents types de minéralisations (Tableau 3). Soulignons aussi que les éléments symptomatiques des chapeaux de fer de la zone tropicale y sont présents en teneurs fortement lessivées : par exemple, les chapeaux de fer ne dépassent pas quelques centaines à quelques milliers de ppm à Perkoa (Burkina Faso) et à Pagala (Togo) avec 20 % de Zn dans l'amas sulfuré (Tableau 3).

Bien que les échantillons analysés proviennent de corps différents, le spectre des éléments piégés corres-

pond à une association de type minéralisation sulfurée [14], bien conservée dans les roches ferrugineuses issues des altérations.

4. Conclusions et perspectives

La présence de nombreux affleurements ferrugineux, présentant des anomalies métalliques dont l'association évoque une origine sulfurée, autorise à considérer la partie méridionale du bassin de Taoudéni comme une province d'intérêt métallogénique. L'association quasi systématique des faciès bréchiques présentant des teneurs élevées en plusieurs éléments suggère la mise en place de minéralisations à la faveur d'événements tectoniques de plus grande ampleur que l'existence de brèches intraformationnelles ou que des mouvements de faible intensité, qui ont seuls été pris en compte dans les travaux antérieurs [9, 10, 15, 16].

À certains égards, cette abondance de corps ferrugineux est à mettre en parallèle avec la grande extension des chapeaux de fer du Togo, dans l'unité structurale de l'Atacora, longtemps considérée sans intérêt pour la recherche minière [2], comme tout le Néoproterozoïque ouest-africain des bassins de Taoudéni et des Volta. Le diagnostic de chapeaux de fer y a été déterminant pour créer des perspectives pour la prospection des métaux de base ainsi que pour d'autres éléments, comme l'or ou les phosphorites [3–6].

La concentration de ces métaux nécessite différents mécanismes, dans lesquels événements tectoniques et venues hydrothermales jouent un rôle. La résultante dans le domaine supergène se traduit par des ferruginisations, dont certaines sont des chapeaux de fer, avec notamment des faciès de brèches ferrugineuses, connus précédemment.

Remerciements. Ces résultats s'inscrivent dans une recherche menée par convention entre l'IRD (UR037), le BUMIGEB (Burkina Faso) et l'université de Ouagadougou.

Références

- [1] S. Barros de Oliveira, P. Magat, A. Blot, O gossan de Irecê-Lapão (BA), *Geochim. Brasil.* 7 (2) (1993) 131–150.
- [2] B. Bessoles, R. Trompette, *Géologie de l'Afrique. La chaîne panafricaine « zone mobile d'Afrique centrale et zone mobile soudanaise »*, Mém. BRGM n° 92, 1980.
- [3] A. Blot, *L'Atacorien du Togo : une province précambrienne à zinc, fer, phosphore*, 1^{re} RAIST–Unesco, Dakar, 1986.
- [4] A. Blot, P. Magat, *Les chapeaux de fer du Togo*, 1^{re} RAIST–Unesco, Dakar, 1986.
- [5] A. Blot, P. Magat, *Les chapeaux de fer polymétalliques à zinc du Togo (Afrique de l'Ouest)*, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II 309 (1989) 371–376.
- [6] A. Blot, P. Affaton, K.F. Seddoh, A.P. Aregba, K.S. Gobonou, F. Lenoir, J.J. Drouet, N.K. Simpara, P. Magat, *Phosphates du Protérozoïque supérieur dans la chaîne des Dahomeyides (circa 600 Ma) de la région de Bassar (Nord-Togo, Afrique de l'Ouest)*, *J. Afr. Earth Sci.* 7 (1) (1988) 159–166.
- [7] C.R.M. Butt, R.E. Smith, *Conceptual models in exploration geochemistry*, *J. Geochem. Explor.* 12 (1980) 89–365.
- [8] L. Chauris, J. Garreau, *Typologie des gisements de fer du district de Belle-Isle-en-Terre (Côtes-d'Armor, France)*, *Chron. Rech. Min.* 505 (1990) 23–31.
- [9] J. Delfour, *Géologie de la partie nord du cercle de Dori, Haute Volta*, BRGM, 1965, 205 p., multigraphie, 7 pl. HT.
- [10] J. Delfour, M. Jeambrun, *Notice explicative de la carte géologique au 1:200 000, Oudalan*, BRGM, 1970.
- [11] R.A.L. Imbernon, *Os chapéus de ferro associados aos depósitos de Canoas (Pb–Zn–Ag), Adrianópolis (PR) e O'Toole (Cu–Ni–EGP), Fortaleza de Minas (MG)*, thèse, université de São Paulo, 1998, 120 p.

[12] R. Imbernon, A. Blot, S. Barros de Oliveira, P. Magat, Os chapéus de ferro associados ao depósito de Pb–Zn–Ag na região de Canoas, Adrianópolis (PR) – Evolução geoquímica e mineralógica, *Geochim. Brasil.* 13 (2) (2000) 145–161.

[13] A. Kosakevitch, Chapeaux de fer : problème de définition et de nomenclature pratique, *Bull. BRGM, sect. II* (1979) 141–149.

[14] A.A. Levinson, *Introduction to Exploration Geochemistry*, Applied Publishing Ltd, Maywood, IL, 1974, 614 p.

[15] PNUD, Rapport annuel et rapport technique UPV 71/516, 1973–1974.

[16] R. Reichelt, Géologie du Gourma (Afrique occidentale), un seuil et un bassin du Précambrien supérieur, *Mém. BRGM n° 53*, 1971.

[17] W.R. Ryall, G.F. Taylor, Gossan evaluation manual for use in the Kingdom of Saudi Arabia, Technical record IR-01-3, 1981, 146 p., 108 photos.

[18] K.A. Togbé, Les chapeaux de fer du Togo. Étude pétrographique, minéralogique et géochimique, thèse, université de Poitiers, 1991, 204 p.

[19] E. Wilhelm, A. Kosakevitch, Utilisation des chapeaux de fer comme guide de prospection, *Bull. BRGM, sect II* (1979) 109–140.