

L'OR, LE ZIRCON ET LA TOURMALINE : TRACEURS DE L'ORIGINE DES MATERIAUX DES PROFILS LATÉRIQUES D'AFRIQUE

Ouangrawa, M.¹ et Yongue, F.R.².

¹Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

²Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun.

RÉSUMÉ: *Les épais profils latéritiques des zones tropicales sont reconnus comme de vieux sols ayant subi plusieurs cycles d'évolution au cours du temps. Néanmoins, ils contiennent des minéraux peu altérables comme l'or, le zircon et la tourmaline qui résistent au fil des différents processus dynamiques de la surface. Ces minéraux résiduels, utilisés comme traceurs de leur genèse et de leur évolution, permettent d'identifier les matériaux des profils et de démontrer la filiation ou l'absence de filiation avec le substratum basal. En zone soudano-sahélienne au Burkina Faso, dans un environnement aurifère, les transports mécaniques à plus ou moins grande distance ont accumulé l'or et le zircon au dessus de granites stériles. Les transferts chimiques ferrugineux ont cimenté et protégé ce matériel allochtone, formant une cuirasse. En zone tropicale humide au Cameroun, dans un environnement ultrabasique, les transferts chimiques précisément alumineux, à partir des roches acides avoisinantes, ont favorisé l'individualisation des phases manganésifères porteuses de cobalt et de nickel. Ils s'accompagnent de transferts mécaniques mis en évidence par la présence de tourmaline résiduelle dans la partie supérieure des profils, révélée ainsi remaniée semi-autochtone.*

Mots-clés : Altération supergène – transferts – or – zircon – tourmaline – profil latéritique.

ABSTRACT: *The thick lateritic cover of tropical zones are often considered as old soils which have undergone several evolutionary cycles throughout time. Nevertheless, they contain some resistant minerals like gold, zircon and tourmaline which remain after surficial processes. These residual minerals, used as tracers of the genesis and evolution of laterites, have enabled us to identify the different layers of the profile. They are also useful in demonstrating the presence or absence of filiation with the substratum. In an auriferous region of the soudano-sahelian zone of Burkina Faso, gold and zircon have been accumulated on non-mineralized granites, by physical transport. The chemical transfer of iron has cemented and protect this allochthonous material, forming an iron crust. In the ultrabasic region of the humid tropical zone of Cameroon, chemical transfers made up mainly of aluminium from acid country rocks, have favoured the individualization of manganiferous phases bearing cobalt and nickel. Physical transport also occur and is revealed by the presence of residual tourmaline grains, mainly in the upper part of the profiles, thus reworked and semi-autochthonous.*

Key-words : Weathering - transfers – gold - zircon – tourmaline – lateritic profile.

INTRODUCTION

En zone tropicale, l'épais manteau d'altération latéritique a fait l'objet de très nombreuses recherches. Les différents résultats s'accordent pour reconnaître l'existence de trois principaux ensembles qui se succèdent de bas en haut. Ce sont, un ensemble inférieur ou altérite, un ensemble médian nodulaire meuble ou induré en cuirasse et un ensemble supérieur meuble argilo-sableux. Cependant les

mécanismes mis en jeu lors de la différenciation de ces ensembles sont loin de faire l'unanimité. Pour les uns (Blot et al., 1978; Leprun, 1979; Pion, 1979; Bocquier et al., 1984 ; Boeglin, 1990), l'origine autochtone du matériel cuirassé est démontrée par la lithodépendance verticale. Les horizons d'altération superposés s'enfonceraient alors progressivement les uns les autres. Pour les autres (Lamotte et Rougerie, 1956 ; Levêque, 1975 ; Grandin, 1976). En fait, altération chimique et phénomènes dynamiques externes

se relaient et se superposent au cours des temps géologiques, au gré des changements climatiques (Tardy, 1993).

Des travaux récents ont à nouveau précisé la contribution combinée de processus géochimiques in situ et de transferts particuliers dans l'élaboration des matériaux latéritiques (Colin et al., 1993; Sanfo, 1994; Parisot et al., 1995). Qu'il s'agisse du milieu équatorial ou du milieu subsaharien, l'or s'est révélé un traceur excellent au côté du zircon et de la tourmaline (Colin et al., 1997). Des études en milieu alluvial (Haubauer et Utter, 1977; Hérial, 1984; Hérial et al., 1990) ou en milieu latéritique (Freyssinet, 1993; Fressiney et al., 1987; Edou-Minko, 1988; Edou Minko et al., 1992; Sanfo et al., 1993; Sanfo, 1994; Zang et Fyfe, 1993; Parisot et al., 1995; Ouangrawa et al., 1996; Ouangrawa et al., 2000) ont montré l'existence de relations entre la forme des particules d'or et leur distance de transport à partir de la source primaire.

En vue d'établir les filiations des différents ensembles d'altération, le présent travail vise à rechercher les minéraux résistants à l'altération, véritables traceurs minéralogiques de leur histoire. Dans un premier exemple, pris dans un contexte de roches acides, en régime climatique soudano-saharien, le traçage s'appuiera sur l'or et le zircon; dans un deuxième exemple, en contexte ultrabasique, sous régime climatique tropical humide, la tourmaline servira de traceur.

L'ORET LE ZIRCON DANS LE CONTEXTE AURIFERE DE BILANGA-PIELA (Est du Burkina Faso)

Aperçu géologique et description des profils

Les profils étudiés sont situés sur le prospect aurifère de Bilanga-Piéla. Le climat est de type tropical soudano-saharien avec une longue saison sèche (9-8 mois) et une courte saison de pluie de pluviométrie annuelle d'environ 700 mm. Dans un contexte birrimien (protérozoïque inférieur) fortement schistose et cataclase, l'or est associé à des filons de quartz atteignant 100 m de long. Ces filons sont localisés dans une large zone de déformation progressive importante, ce qui correspond à un gisement de type de shearzone (Bourges et al., 1994). Les principales roches encaissantes sont des métalaves (basaltes et andésites) et des formations volcano-sédimentaires (tufs, pélites et schistes sériciteux).

La région de Bilanga-Piéla a été modélisée par la succession d'aplanissements donnant des glacis (Michel, 1973; Grandin, 1976; Boulet, 1968, 1978; Boulangé, 1983) et on y distingue plusieurs unités géomorphologiques (fig.1). L'unité haute (haut glacis) d'altitude moyenne 350 m, est

cuirassée sur de grandes étendues pouvant atteindre 2 km de long. L'unité moyenne (moyen glacis), d'altitude inférieure à 340 m, se présente souvent sous forme de vastes plateaux cuirassés légèrement en pente. L'unité basse (bas glacis), très rarement cuirassée constitue avec la plaine alluviale, la surface fonctionnelle.

Les profils étudiés sont situés respectivement sur un moyen glacis et dans la plaine alluviale (fig.1).

Le profil cuirassé (B4) situé sur le rebord du moyen glacis présente de bas en haut (fig.2):

- l'altérite, atteinte à partir de 4,10 m est friable, blanc tacheté orange. Elle comporte de gros cristaux de quartz (jusqu'à 5 mm) emballés dans une matrice kaolinitique. Des alignements de minéraux altérés, des quartz fissurés et non disloqués montrent que la structure de la roche est conservée dans une partie de l'horizon. Les structures s'effacent dans les 10 cm supérieurs sous l'horizon gravillonnaire; les domaines ferrugineux deviennent plus importants. Les observations microscopiques et les diffractogrammes de RX montrent la présence de minéraux relictuels outre le quartz, l'épidote, la muscovite qui s'altère en kaolinite. La matrice kaolinitique est localement imprégnée en rouille par les oxydes de fer;
- l'horizon gravillonnaire, de 60 à 90 cm d'épaisseur, friable est constitué de gravillons ferrugineux, des débris de quartz anguleux, subanguleux à arrondis enrobés dans une matrice kaolinitique peu abondante (environ 20 % du poids total de l'échantillon). La majorité des éléments grossiers a une taille inférieure à 1 cm; quelques blocs (environ 10 %) atteignent 15 cm de diamètre, ce qui donne un aspect hétérogène à cet horizon. Les gravillons ferrugineux sont à hématite et goéthite entourés d'un cortex goéthitique (fig.2) ou sont essentiellement goéthitiques. Par rapport à l'altérite, on remarque une très forte augmentation des oxyhydroxydes de fer et une importante diminution de la muscovite. Le passage vers l'horizon supérieur est marqué par une légère induration d'ensemble;
- la carapace, épaisse de 1,1 à 1,25 m présente deux types de nodules ferrugineux: des nodules bruns à brun sombre à hématite et goéthite entourés d'un mince cortex goéthitique jaune brun et des nodules jaune brun essentiellement goéthitiques. Ces nodules et le squelette quartzeux sont cimentés par une matrice ferrugineuse jaune, jaune brun à brun. Les vides sont tapissés par des argilanes jaune brun ou des ferranes goéthitiques jaunes à jaune orangé;

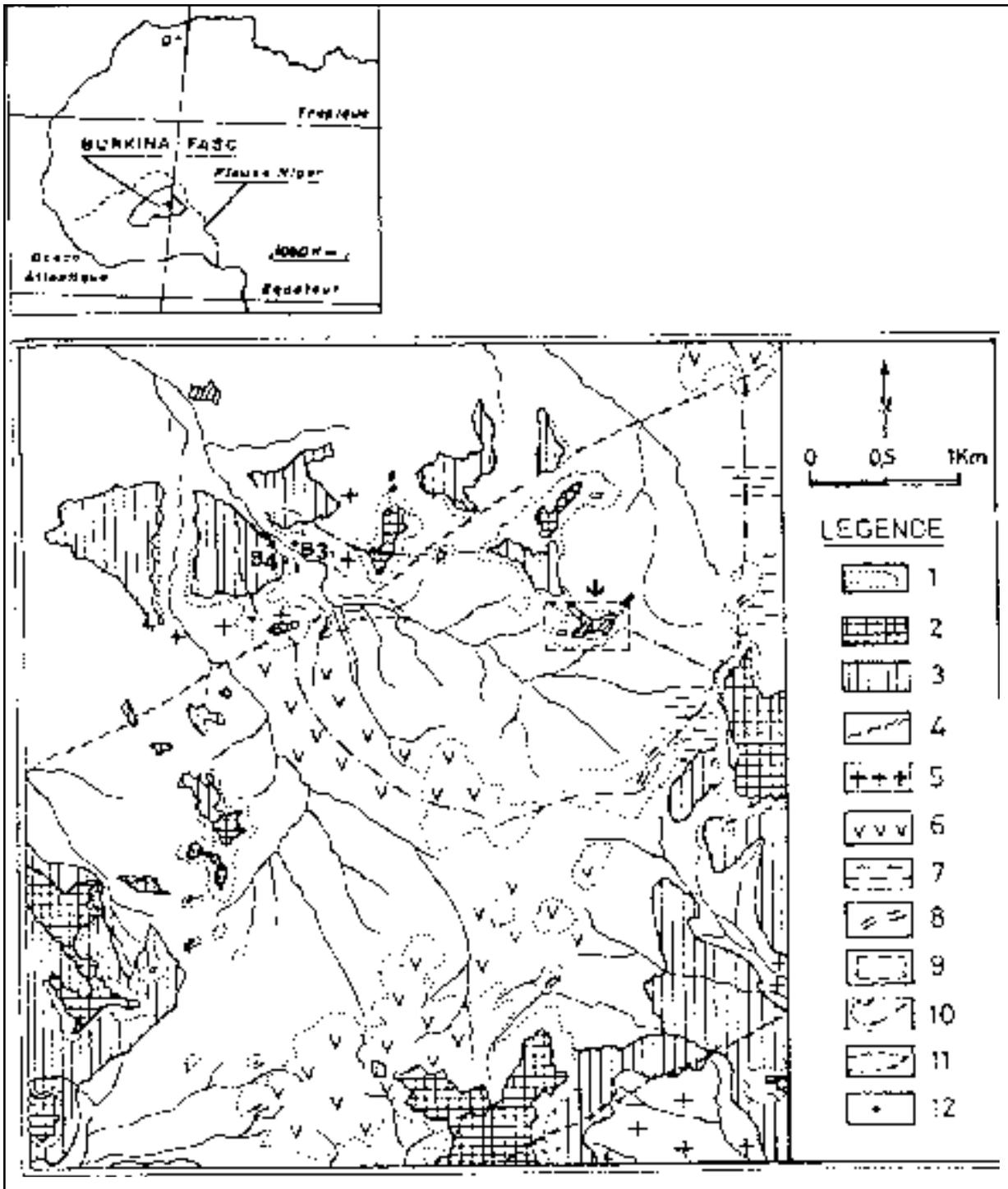


Figure 1: Situation et carte géomorphologique de la zone étudiée au Burkina Faso .

1: limite entre les reliefs et partie basse(bas glacis et plaines). 2: haut glacis cuirassé. 3: moyen glacis cuirassé. 4: limites approximatives de la zone de cisaillement. 5: granite. 6: roche volcanique basique. 7: Schistes. 8: filon de quartz. 9: zone minéralisée principale. 10: limite de bassin versant. 11: limite du flat alluvial. 12: profils étudiés.

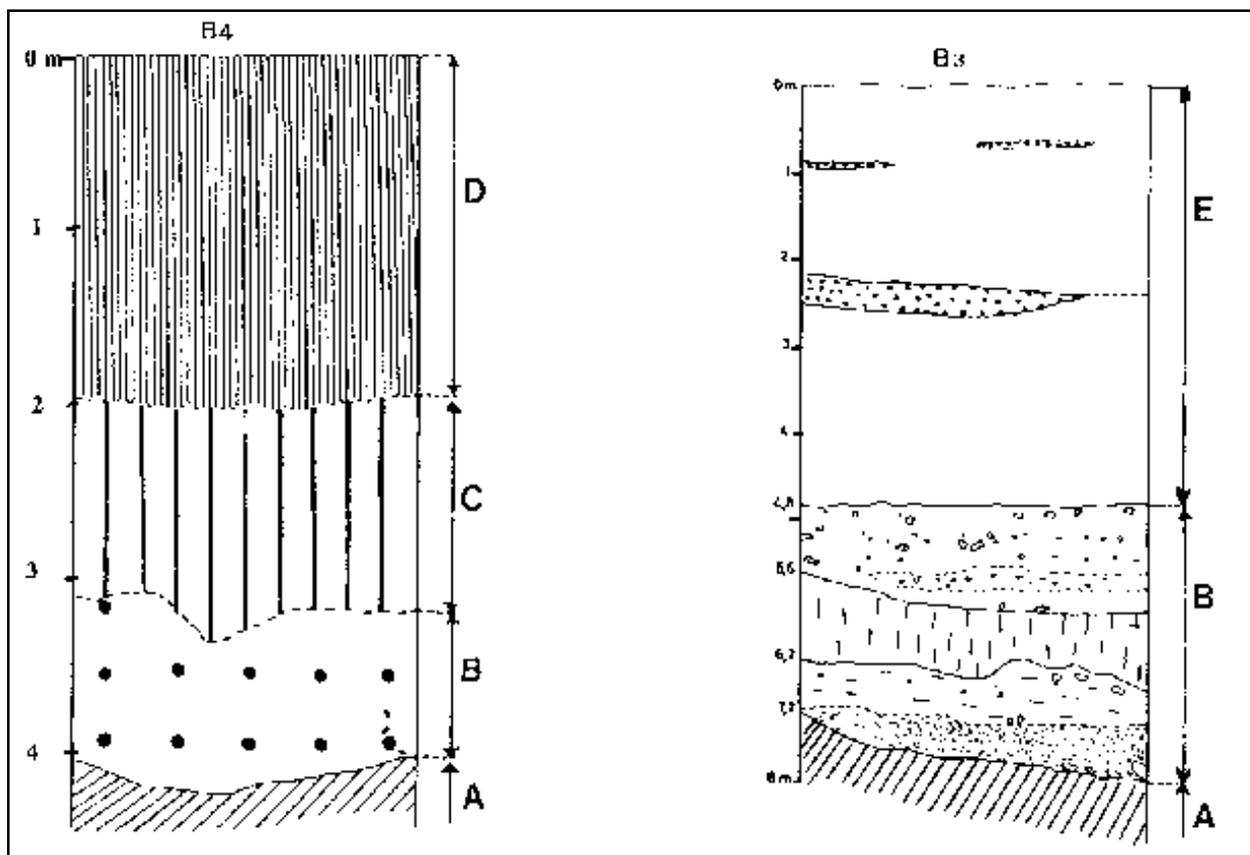


Figure 2: Organisation des profils étudiés sur le prospect aurifère de Bilanga- Piela.

A- altérite; B- horizon à cailloutis et graviers; C- carapace ferrugineuse; D- cuirasse ferrugineuse; E- recouvrements argileux.

- la cuirasse, épaisse de 2 à 2,15 m, présente un faciès conglomératique plus grossier que celui de la carapace. Les éléments grossiers sont des nodules ferrugineux bruns à violets (quelques mm à environ 2 cm de diamètre). Les cailloux de quartz sont anguleux, subanguleux, quelques fois arrondis et de même taille que les nodules ferrugineux. On observe également des concrétions et taches manganésifères noires ainsi que des morceaux de roche verte altérée. L'organisation microscopique est identique à celle de la carapace mais les nodules brun sombre sont tapissés par de kaolinite blanc jaune ou soulignés par des cutanes goethitiques bruns. La composition minéralogique de la cuirasse qui est à goethite, hématite, kaolinite et quartz, est identique à celle de la carapace avec cependant une présence plus abondante de kaolinite dans la carapace.

Le passage de l'altérite aux horizons supérieurs est marqué par une augmentation des teneurs en Fe_2O_3 (tabl.1) et une diminution des teneurs en Al_2O_3 , MgO et K_2O . Les teneurs en or différencient nettement l'altérite des horizons supérieurs.

Dans le profil d'altération de la plaine alluviale (B3), de la base vers le sommet on distingue (fig.2):

- l'altérite friable, de couleur blanchâtre tachetée d'orange, contenant beaucoup de grains de quartz anguleux pouvant atteindre 5 mm et emballés dans une matrice argileuse abondante à kaolinite et smectite. Outre le quartz, les minéraux résiduels sont la muscovite, l'épidote, la hornblende, le sphène et le grenat. Il s'agit d'une altérite de roche granitique ;
- les horizons à cailloutis et graviers ont comme éléments grossiers des pisolites et nodules ferrugineux, des cailloux de cuirasses anciennes dont la taille peut atteindre 15 cm de diamètre, des morceaux de roche

Tableau 1: Compositions chimiques moyennes en roche totale (% d'oxydes)

1-Altérite du puits de la plaine alluviale. 2- Altérite dans le puits du moyen glacis. 3,4, 5- Fraction fine de l'horizon à cailloutis. 6- Fraction fine de l'horizon gravillonnaire sous la cuirasse du moyen glacis. 7 et 8- Recouvrements argileux dans la plaine alluviale. 9- Cuirasse du moyen glacis.

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO	LOI	Total
Altérite 1	30.40	0.02	6.54	2.50	0.65	0.01	0.01	0.01	47.57	0.65	11.24	99.62
2	30.80	0.20	3.88	2.33	0.62	0.01	<0.01	0.01	49.69	0.47	11.55	99.58
Horizon 3	19.42	0.21	22.56	0.83	0.46	0.31	0.01	0.09	41.61	1.15	12.98	99.63
4	14.97	0.76	18.64	0.52	0.52	0.18	0.05	0.05	52.97	0.65	9.91	99.22
à 5	21.08	1.03	11.01	0.65	0.78	0.85	0.01	0.03	50.02	1.26	12.64	99.34
cailloutis 6	23.40	0.06	11.33	0.92	0.38	0.01	0.02	0.04	51.77	0.76	11.01	99.73
Recouv- 7	16.70	1.11	9.24	0.85	0.68	0.06	0.16	0.03	57.73	1.37	11.32	99.28
rements argileux 8	12.27	1.64	7.64	0.82	0.86	0.09	0.19	0.03	65.37	1.20	8.88	98.99
Cuirasse 9	15.26	0.03	24.54	0.30	0.15	0.11	<0.01	0.20	49.26	0.71	9.11	99.70

plus ou moins altérés, des cailloux de quartz anguleux, subanguleux et arrondis, des concrétions manganésifères. La matrice est argilo-limoneuse ou sableuse. La proportion des éléments grossiers supérieurs à 10 cm est peu importante (7 % du poids total). Par contre les fractions comprises entre 2 cm et 2 mm sont importantes et peuvent atteindre 60 % du poids total des échantillons. Les fractions inférieures à 1 mm sont également bien représentées (30 à 45 %). On y rencontre des niveaux essentiellement argilo-sableux avec moins de 5 % d'éléments supérieurs à 1 mm, des alternances de strates bien lavées à éléments grossiers (jusqu'à 4 cm de diamètre) et de strates mal lavées à éléments moins grossiers ;

- les recouvrements argileux de surface, atteignant jusqu'à 5 m, sont gris en surface, jaune brun et brun en profondeur. Cette coloration est liée à la présence de la matière organique dont le taux diminue de la surface vers la profondeur. La texture est argilo-sableuse. Des pisolites ferrugineux et des débris de quartz sont dispersés dans ces recouvrements et s'organisent localement en lentilles ou en lits de quelques centimètres d'épaisseur. On observe aussi des concrétions manganésifères, des racines d'arbre, des traces de charbon végétal.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les particules d'or et les zircons ont été récoltés après débouillage puis tamisage de 30 à 100 kg d'échantillon, représentatif des différents horizons. Les fragments de carapace, les cailloutis de quartz et de cuirasse anciennes

ont été concassés modérément puis panés. Les particules d'or et les grains de zircon ont ensuite été triés sous la loupe binoculaire. Une partie de ces minéraux a été étudiée en détail sous le microscope électronique à balayage. Sur la fraction granulométrique comprise entre 500 et 50 µm, préalablement lavée et débarrassée de tout enduit argileux ou ferrugineux, une séparation densimétrique au bromoforme des minéraux lourds a été effectuée. Les minéraux ont ensuite été montés en lames frottis pour leurs études et les calculs de pourcentage pour chacun des horizons. Les résultats montrent que les principaux minéraux lourds du profil étudié sont le zircon, les oxydes de fer, l'ilménite, le rutile, la tourmaline. La staurotide, l'anatase sont sous forme de traces. Ces minéraux lourds ont été décrits dans l'environnement géologique proche (Baras, 1992; Wédraogo et Napon, 1987) dans des granites à biotite et amphibole, des gneiss à grenat, des amphibolites et des schistes.

les zircons: un total de 96 zircons triés dans les différents horizons a été étudié en détail sous le microscope électronique à balayage (MEB). Les zircons provenant de l'altérite présentent des vides de dissolution plus ou moins importants (fig.3a) et ne montrent pas de marques de transport. Dans les horizons superficiels (horizon gravillonnaire, carapace et cuirasse), on observe un mélange de zircons d'états d'usure différents. Au sein d'un même horizon, on observe des formes primaires automorphes très peu altérées avec quelques vides de dissolution (fig.3b), des formes très émoussées « en bille » par un transport mécanique (fig.3c) et des formes très altérées présentant de très nombreux vides de dissolution. Ceci traduit une complexité des transits avec une origine différente pour ces minéraux; les marques observées montrent une certaine altérabilité du zircon (Colin et al., 1993; Parisot et al., 1995). La forme des zircons marque une

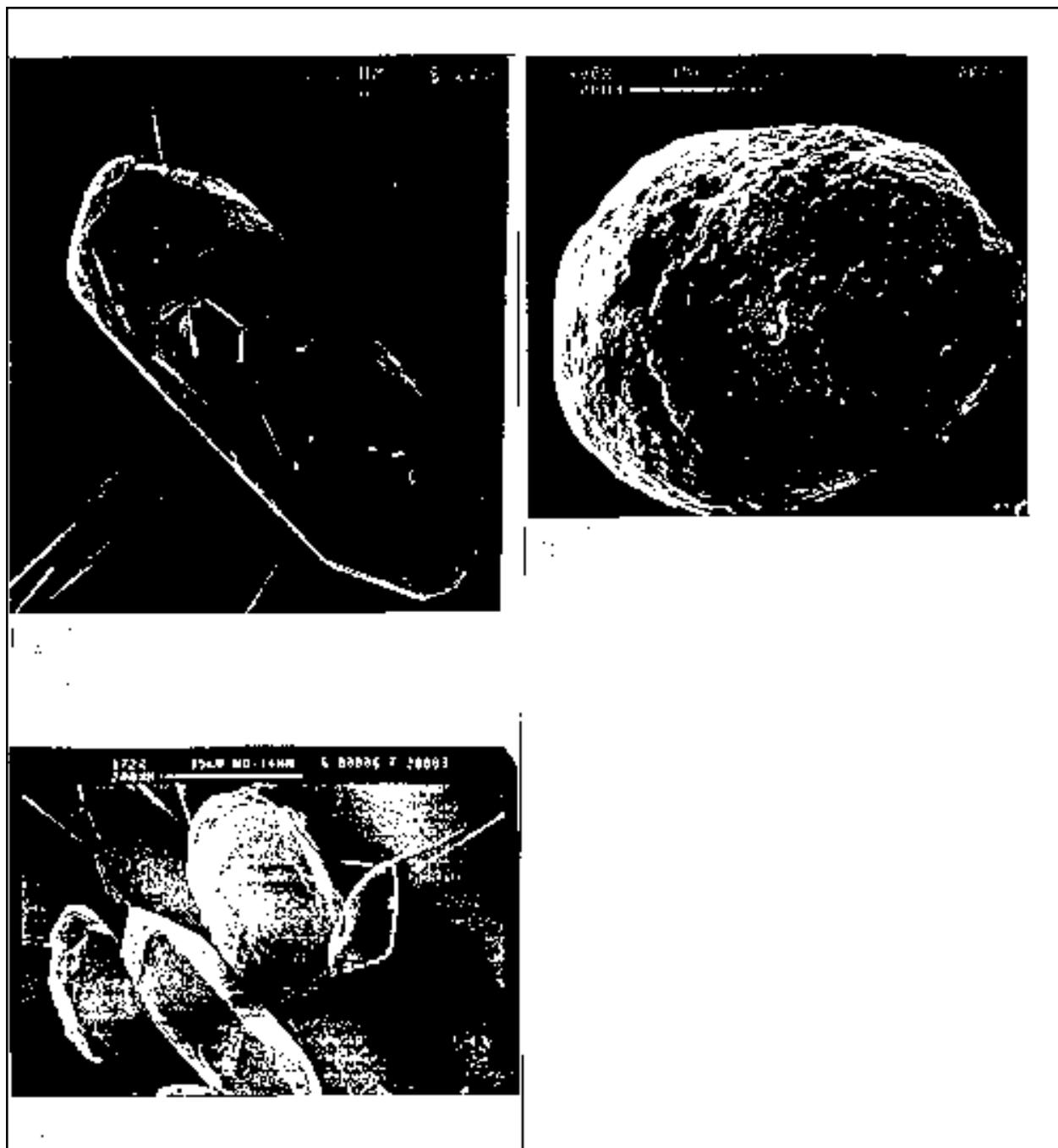


Figure 3: Morphoscopie des grains de zircons.

A- Zircon de l'altérite du puits B4. B- Zircon très usé sous forme de bille dans l'horizon à cailloutis du puits B3. C- Zircon avec différents états d'usure de la cuirasse du puits B4.

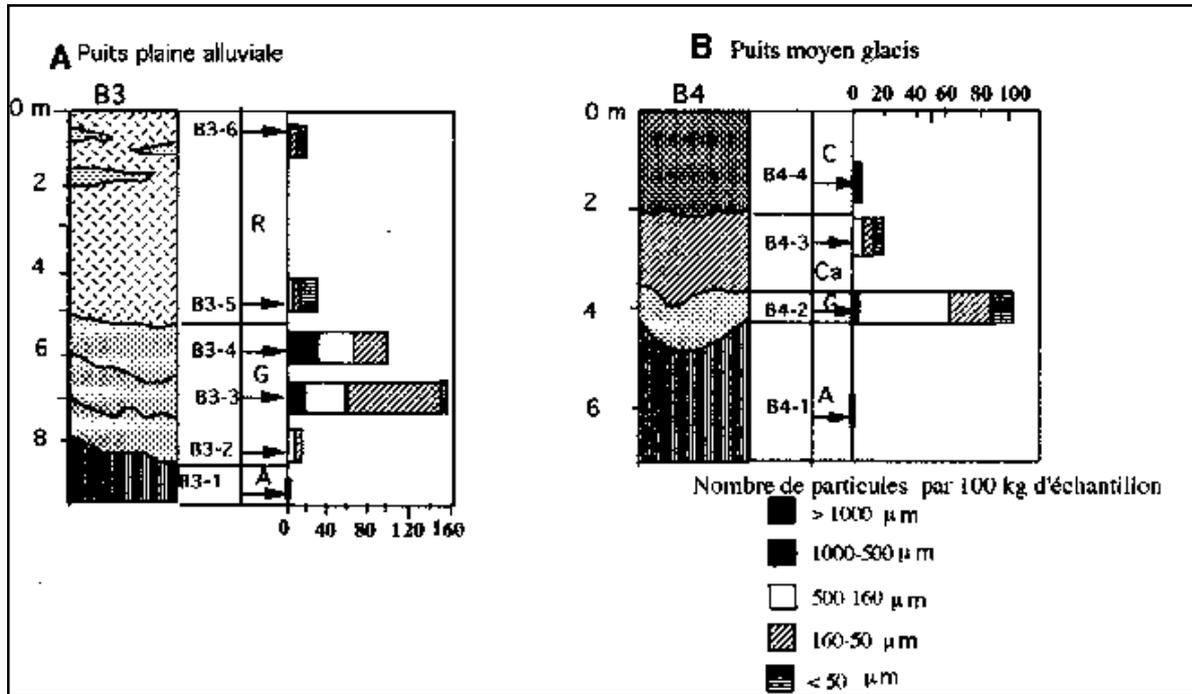


Figure 4 A et B: Répartition et distribution des particules d'or dans les profils d'altération des puits B3 et B4 R: Recouvrements de surface. C: Cuirasse. Ca: Carapace. G: horizon gravillonnaire ou horizon à cailloutis et graviers. A: altérite.

discontinuité entre l'altérite qui comporte essentiellement des zircons euhédraux et les horizons supérieurs, où on observe plusieurs zircons présentant un arrondi dû à un transport mécanique. Ainsi, la présence des zircons avec des états d'usure différents démontre la réalité des transports mécaniques de matériaux dans le moyen glacis ; cela supposerait que celle-ci devait être à une époque donnée une zone de drainage avec transport et dépôt de matériaux d'origine lointaine et proximale.

Les particules d'or: la distribution des particules d'or dans les différents horizons est représentée sur la figure 4 a et b. On peut retenir les faits suivants : les altérites ne montrent pas de particules d'or ; les horizons cuirassés contiennent très peu de particules d'or ; c'est dans la plaine alluviale qu'on observe un nombre plus important de particules d'or, c'est là également qu'on rencontre les particules les plus grosses notamment dans les horizons à cailloutis et graviers ; les recouvrements argilo-limoneux de surface de la plaine alluviale comportent essentiellement de fines particules d'or.

Les particules de l'horizon gravillonnaire montrent au MEB des formes émoussées avec reliques de surface primaire et des formes très émoussées avec surface régulière (fig. 5). Comme pour les zircons, on observe un mélange de particules à des degrés d'usure différents. Toutes les particules présentent des marques de transport mécanique (Yend, 1975; Hérial, 1990) avec des bordures repliées à fortement repliées ou sandwich, des traces de stries, des formes écrasées (talochées). Les vides de dissolution, parfois très nombreux, sont tapissés par des argiles, des oxydes de fer ou des carbonates. Dans l'ensemble induré (carapace et cuirasse), on retrouve les mêmes types de particules que dans l'horizon sous-jacent mais les formes émoussées avec reliques de surface primaire sont plus importantes. On observe une augmentation de la taille des particules d'or du bas vers le haut du profil; ce qui est l'inverse dans les profils d'altération in situ, sur roche mère minéralisée, où la proportion et la taille des particules diminuent du bas vers le haut (Edou Minko, 1988; Colin et al., 1997). Dans le puits de la zone alluviale, on reconnaît une seule famille de particules. Ces particules présentent dans leur grande majorité des caractéristiques assez

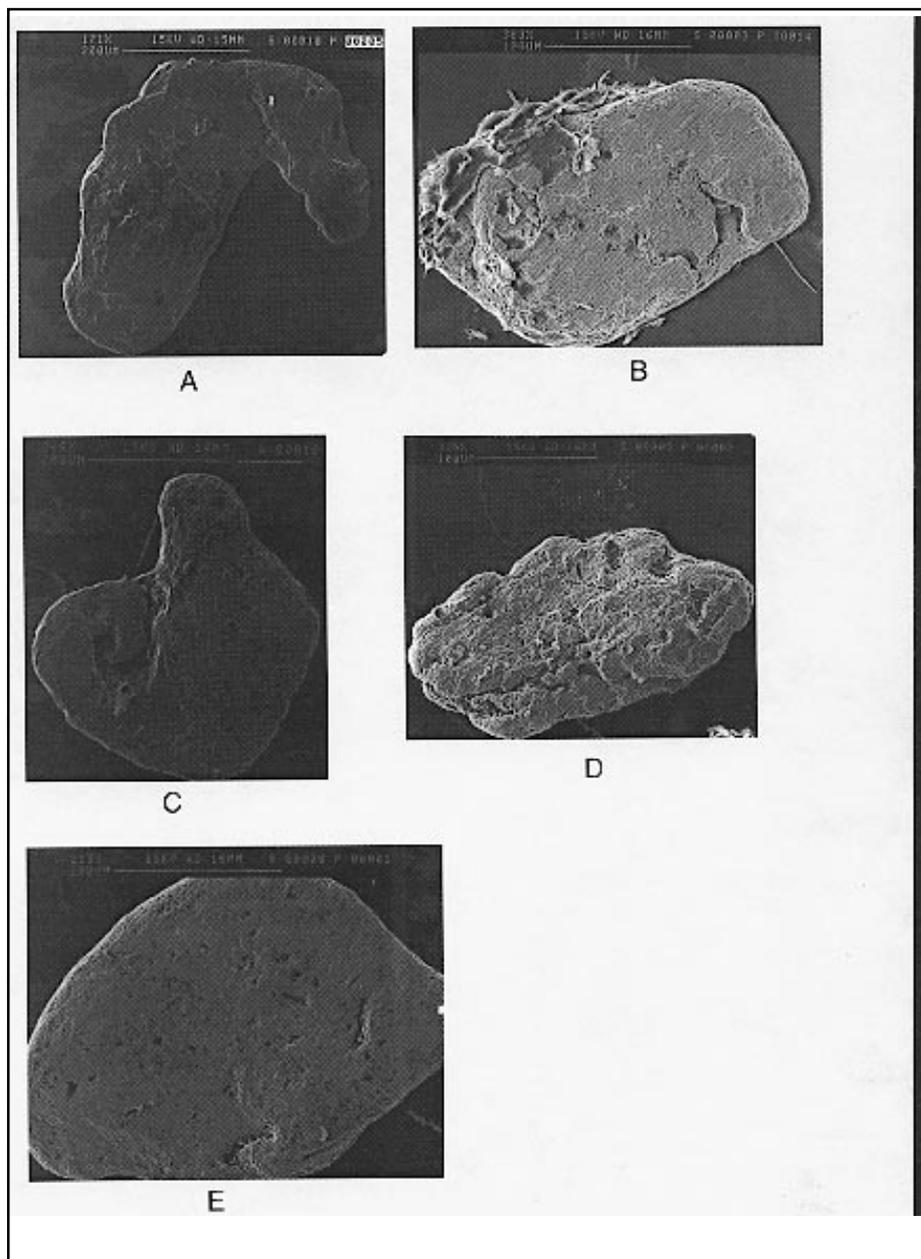


Figure 5: Morphoscopie des particules d'or.

A: Particule d'or avec relique de surface primaire dans la cuirasse du puits B4. B: Particule aplatie, talochée avec trace de stries dans l'horizon de carapace du puits B4. C: Particule très émoussée de l'horizon à cailloutis et graviers de B3. D: Particule en forme de sandwich de l'horizon à graviers du puits B4. E: Particule à contours très arrondis de l'horizon à cailloutis et graviers de B3.

semblables qui se retrouvent dans les différents horizons. Elles sont émoussées à très émoussées, avec des formes plus ou moins arrondies, ovoïdes ou allongées. Quelques rares particules présentent des reliques de surface primaire. Dans l'ensemble, les particules présentent des caractéristiques que l'on retrouve dans les deux puits. Une soixantaine de particules d'or a été analysée à la microsonde électronique; les teneurs moyennes en argent des particules

d'or sont plus faibles que celles des particules d'or primaire de la zone minéralisée (tabl. 2). On note, comme l'ont déjà signalé plusieurs travaux, une déplétion de l'argent vers les bordures des particules d'or. Les particules de l'horizon de carapace semblent être en moyenne plus évoluées avec des teneurs en argent inférieures à 3%. Une fois de plus, ce chimisme plus évolué des particules de la partie basale du profil contraste avec celui de l'or résiduel des profils

d'altération in situ dans lesquels les particules chimiquement très évoluées s'observent en haut dans la cuirasse (Mann, 1984; Colin et Vieillard, 1991; Edou Minko et al., 1992; Sanfo et al., 1992; Freyssinet, 1993). A Bilanga-Piéla, dans la cuirasse, le caractère peu évolué des particules d'or peu usées, présentant des reliques de surface primaire, indique que le cuirassement a joué un rôle de protection pour les minéraux. Ce rôle protecteur a déjà été évoqué par Parisot et al. (1995) qui a décrit des sulfures sains dans une cuirasse de l'unité haute au Nord-Est du pays et dont le matériel originel est en grande partie allochtone.

Tableau 2: Compositions chimiques moyennes au centre et au bord (●) de particules d'or dans les différents horizons. n = nombre de particules; chiffres entre parenthèses = écart -type.

Horizon	Au	Ag	Total
Or filonien n = 11	88.07 (1.84)	10.61 (2.10)	98.68
Horizon à cailloutis et Gravieres puits B3 n=13 ●	92.24 (2.08) 94.95 (2.10)	5.34 (2.08) 3.51 (2.42)	97.58 98.46
Recouvrements de surface puits B3 n=6 ●	91.15 (3.08) 95.08 (2.72)	6.75 (2.93) 3.43 (2.63)	97.9 98.51
Cuirasse moyen glaciais Puits B4 n=10 ●	90.56 (2.90) 94.39 (1.40)	6.51 (3.01) 3.26 (1.60)	97.07 97.65
Gravillons sous cuirasse moyen glaciais Puits B4 n=7 ●	92.56 (1.45) 95.75 (1.04)	5.27 (1.77) 2.07 (1.12)	97.83 97.82
Carapace moyen glaciais Puits B4 n = 5 ●	91.72 (2.07) 90.66 (2.01)	6.09 (2.72) 5.64 (2.13)	97.81 96.3
Cuirasse moyen glaciais Puits B4 n = 5 ●	90.56 (2.90) 94.39 (1.40)	6.51 (3.01) 3.26 (1.60)	97.07 97.65

La morphologie et la répartition des minéraux lourds dans le profil étudié met en évidence une discontinuité très nette entre l'altérite qui ne contient pas de particules d'or et les horizons supérieurs. Sur le moyen glaciais, la présence de particules d'or dans l'horizon gravillonnaire directement sus-jacent à l'altérite, les marques d'usures, signe d'un transport physique assez important, dénotent le caractère allochtone de cet horizon et de ceux qui le surmontent (carapace et cuirasse). Ainsi, dans l'ensemble du profil,

l'induration se serait faite de haut en bas sur du matériel en grande partie transporté et n'a pas atteint l'horizon gravillonnaire en contact avec l'altérite. L'or dans le profil étudié (fig. 1) proviendrait vraisemblablement en grande partie de la zone principale filonienne minéralisée qui se situe en amont à environ 2.5 km.

LA TOURMALINE DANS LE CONTEXTE ULTRABASIQUE DE LOMIE (Sud-Est du Cameroun)

Aperçu géologique et description des profils

Au Cameroun, les formations latéritiques couvrent toute la zone comprise entre 2° et 8° de latitude Nord. Généralement très épaisses (plus d'une dizaine de mètres) et souvent cuirassées, ces formations se sont développées, évoluent et se renouvellent depuis le Crétacé inférieur à nos jours (Eno Belinga et al., 1999).

Dans le Sud-Est du pays (fig. 6), le substratum est constitué des formations métamorphiques de la zone mobile: il s'agit de micaschistes, schistes chloriteux et sériciteux, de quartzites micacés, avec par endroit des gneiss, des amphibolites et des intrusions basiques et ultrabasiques. Les roches ultrabasiques auraient cristallisé sous forme de diapir en système clos et mis en place tectoniquement dans la croûte au cours du cycle panafricain (650 - 550 M.a) dans un environnement correspondant à un arc insulaire (Seme Mouangue, 1998). Elles seraient issues soit d'un fractionnement précoce du magma lors de son ascension dans le manteau, soit d'un mélange entre un magma picritique et les phases résiduelles solides.

Dans la région de Lomié, où se regroupe l'essentiel de ces massifs ultrabasiques connus, dans la succession des collines d'altitude comprise entre 700 et 800 m, les formations latéritiques se distinguent en fonction de la nature lithologique: sur roches acides et sur roches basiques, elles sont relativement peu épaisses (moins de 10 m) et non cuirassées, montrant un horizon nodulaire peu développé; par contre sur roches ultrabasiques, elles sont très épaisses et fortement cuirassées (Yongue Fouateu, 1995).

L'étude pétrologique de deux profils d'altération situés respectivement sur les massifs ultrabasiques de Kongo (Nkamouna) et de Mang-Nord a été effectuée. Le profil de Kongo est au sommet d'une colline dissymétrique culminant à 780 m; tandis que celui de Mang se trouve au milieu du versant ouest d'une colline d'altitude 726 m (fig.7).

Le profil sommital de Kongo présente de bas en haut:

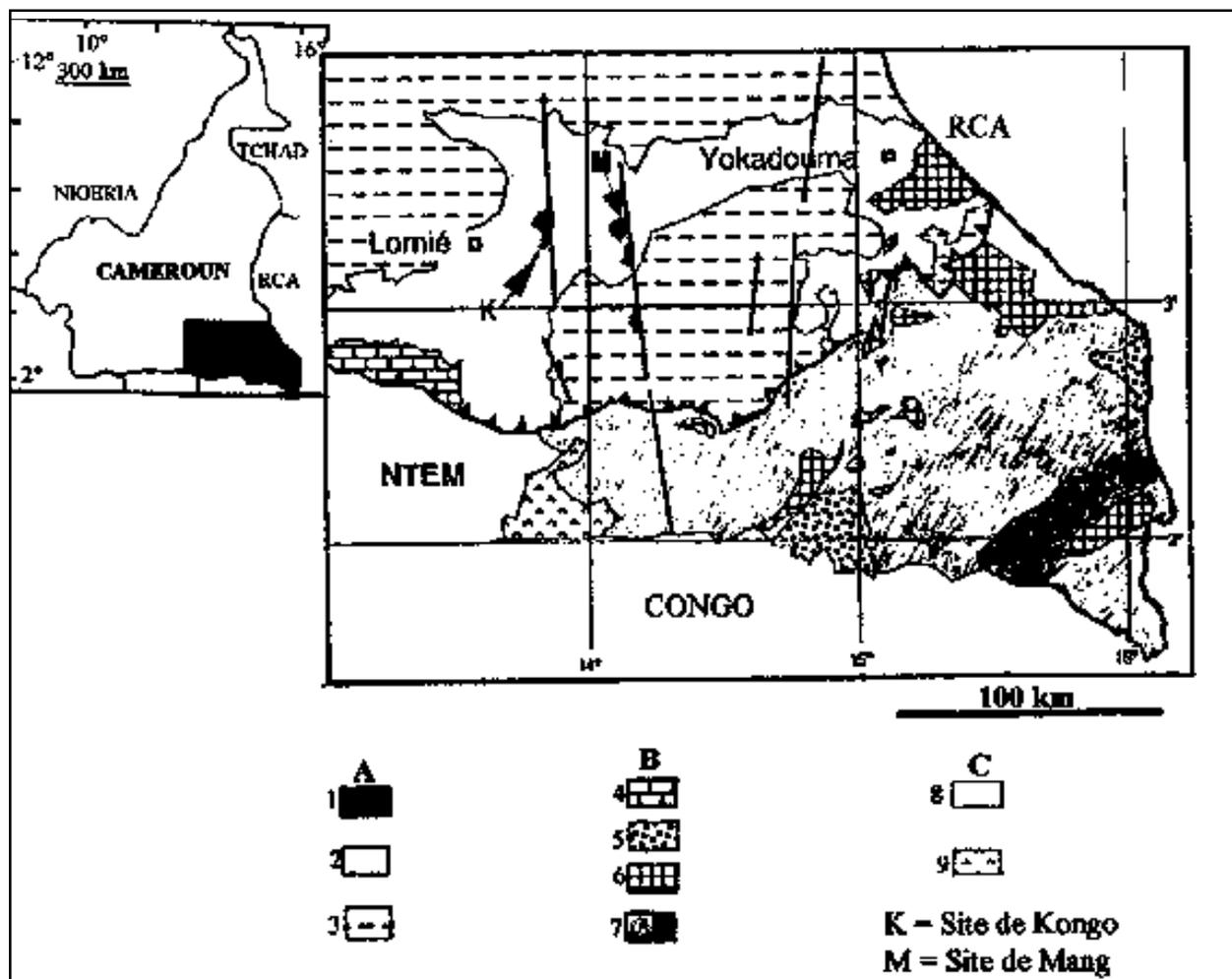


Figure 6: Situation et esquisse géologique de la zone étudiée au Cameroun.

A-Nappe panafricaine de Yaoundé = 1: ultrabasites. 2: Formations épizonales . 3: Micaschistes, gneiss, amphibolites. B- Couverture du craton du Congo = 4: Série du Dja supérieur. 5- Complexe tillitique. 6- Complexe doléritique. 7- Série du Dja inférieur et ride de Lobéké. C- Craton du Congo = 8-Socle archéen du Ntem. 9- ceinture de roches vertes de Mbalam. K = site de Kongo. M = site de Mang.

- la serpentinite saine, de couleur gris verdâtre homogène, plus ou moins fissurée, à épontes plus claires par endroits, acquiert une coloration blanc verdâtre à sa partie supérieure au contact de l'altérite;
- l'horizon d'altération est épais de 6 m et présente à la base, sur une épaisseur de 3 m, la serpentinite faiblement altérée blanc à jaune verdâtre, encore cohérente au contact avec la roche saine (altérite cohérente); elle devient gris blanchâtre tachée de rouille, jaune, rouge et noirâtre, friable puis de plus en plus rouge avec une tendance litée quand elle est plus altérée (altérite friable litée);
- une grande épaisseur (33-35 m) de matériau argileux plus ou moins lité surmonte le matériau d'altération. Cet horizon argileux inférieur, bariolé à rouge jaunâtre présente localement des lits et des tâches centimétriques blanches, plus argileux. Vers le haut, l'ensemble de moins en moins lité devient à dominance jaunâtre à rares nodules millimétriques noirâtres; la proportion et la taille des nodules augmentent vers le haut au passage à l'horizon cuirassé sus-jacent;
- l'horizon cuirassé affleurant et épais (13 m) est constitué d'un matériau nodulaire meuble (5,5 m) et d'une cuirasse ferrugineuse (8 m) fragmentée.

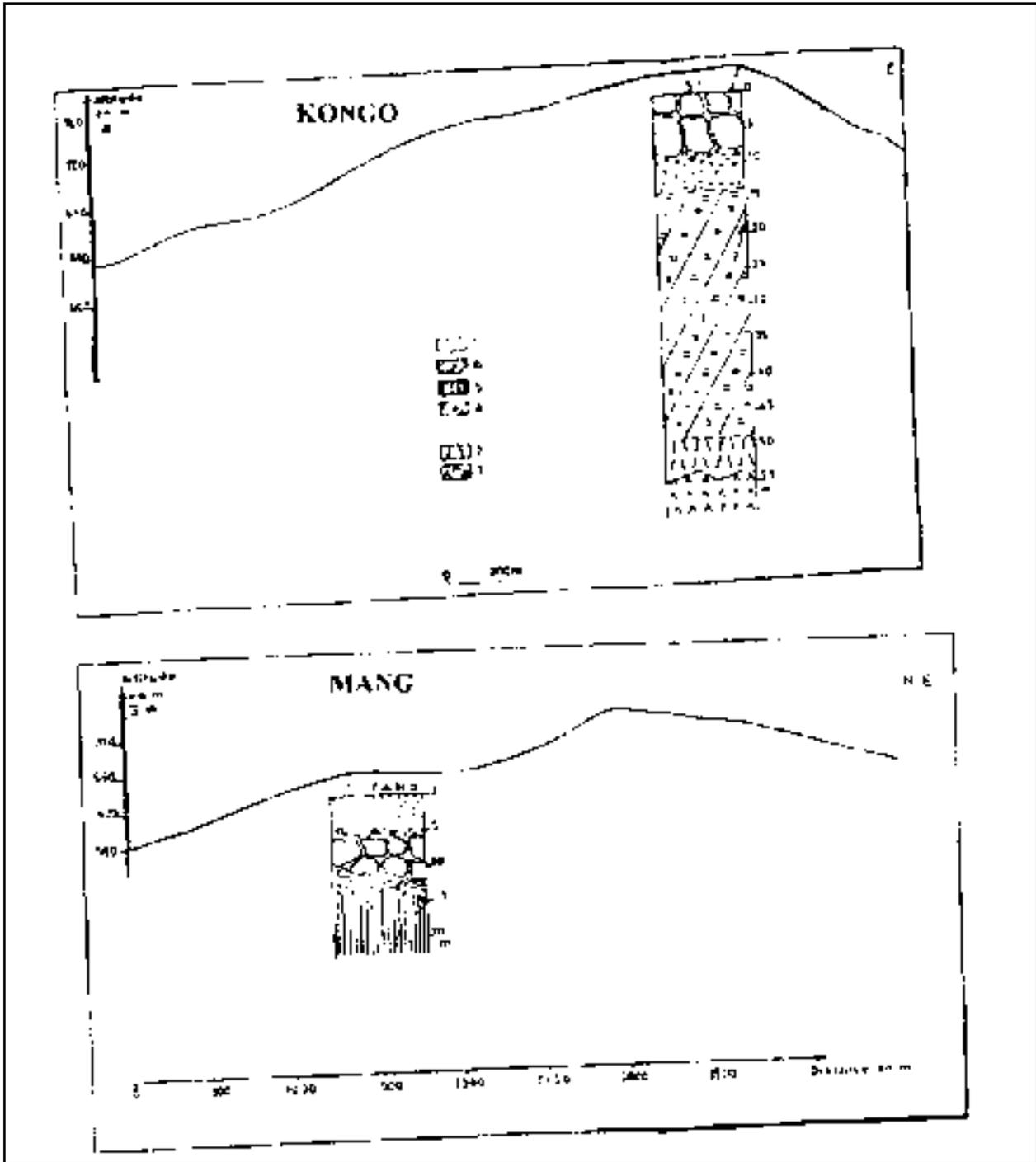


Figure 7: Organisation des profils étudiés à Kongo et à Mang.

1. Serpentinite; 2. Horizon d'altération; 4. Kongo argileux inférieur bariolé à rouge jaunâtre; 5. Horizon argileux inférieur bariolé à jaunâtre lité à lits et volumes noirâtres; 6. Horizon à cuirasse ferrugineuse fragmentée; 7. Horizon argileux meuble supérieur

Dans le profil de Mang, l'horizon d'altération n'a pas été atteint. Néanmoins, de bas en haut, on peut distinguer:

- un horizon argileux inférieur meuble (9 m) gris sombre à bariolé faiblement lité, à nodules centimétriques et millimétriques épars plus ou moins indurés manganésifères. Au passage vers l'horizon cuirassé sus-jacent, il devient brun, recoupé par une matrice plus rouge contenant des nodules ferrugineux bien indurés brun sombre;
- un horizon cuirassé (9 à 10 m) présentant un niveau médian à blocs de cuirasse ferrugineuse; vers le sommet les éléments grossiers sont de plus en plus petits, et peu abondants par rapport à la matrice argileuse brun rouge. La limite entre l'horizon cuirassé et l'horizon meuble sus-jacent est nette et marquée par un niveau de cailloux divers (cuirasse ferrugineuse, quartz, roche sombre);
- un horizon argileux meuble supérieur brun rouge épais de quatre à cinq mètres avec des nodules ferrugineux millimétriques épars.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Du point de vue minéralogique, ces latérites se composent de goethite dominante, de maghémite, de magnétite - ferritchromite résiduelle, de traces d'hématite, de quartz et de kaolinite. La gibbsite s'observe vers le haut des profils dans l'horizon argileux lité et dans la cuirasse ferrugineuse; elle est mieux exprimée au sommet de l'interfluve que sur les versants. Dans l'horizon argileux lité, partie la plus enrichie des profils, les minéraux du groupe asbolane - lithiophorite seraient avec la goethite les principaux hôtes du nickel et du cobalt. Comme le montrent les variations chimiques le long des profils (fig.8), les éléments majeurs présentent le comportement classique observé en milieu ferrallitique: au cours de l'altération, les alcalins et alcalino-terreux, et dans une moindre mesure le silicium sont globalement éliminés tandis que le fer et l'aluminium se concentrent de façon résiduelle. Certains éléments mineurs (Ti- Mn- Cr) et en traces (Ni- Co) se concentrent aussi. Cependant, seuls les horizons d'altération et argileux inférieur sont enrichis en nickel et en cobalt (en moyenne moins de 2% de NiO pour 0,2 à 0,4% de CoO). La partie supérieure (horizon cuirassé et horizon argileux meuble supérieur) est ferrugineuse et alumineuse, relativement riche en titane, mais pauvre en nickel et cobalt; elle se distingue ainsi de la base du profil.

Mise en évidence de la tourmaline et de la tourmalinite

A Kongo, l'analyse pétrographique révèle, dans le haut de cet horizon argileux lité, en sommet d'interfluve, noyé dans la matrice brun rouge à goethite dominante des grains

épars de tourmaline relictuelle associés au quartz (fig. 9 a). Au sein des profils étudiés, le matériau nodulaire et l'horizon argileux meuble supérieur présentent un fond matriciel à plasma rouge sombre non structuré et à squelette quartzueux noyé, localement abondant, en grains moyens à grossiers fragmentés. Parmi les grains du squelette s'observent aussi quelques rares grains de tourmaline (fig.9 b) et quelques paillettes micacées (muscovite). La porosité de plus en plus forte vers le sommet du profil est liée au développement des vides d'origine biologique et localement à une légère agrégation du matériau. Dans ce fond matriciel, on distingue un petit nombre de reliques ferrugineuses indurées de forme irrégulière, de très petite taille (généralement millimétrique), et dont le nombre et la taille diminuent vers la surface. Les limites avec le fond matriciel environnant sont généralement diffuses. Il s'agit de reliques analogues aux faciès reconnus dans le matériau cuirassé sous-jacent. A Mang-Nord, la limite inférieure de l'horizon meuble supérieur est soulignée par une nappe d'éléments grossiers dont les fragments ferrugineux ressemblent aux faciès cuirassés décrits précédemment. La roche sombre, faisant partie du cortège d'éléments grossiers, est finement grenue, constituée de grains fins et xénomorphes de tourmaline verte. Le diffractogramme de rayons X (fig. 10) montre qu'elle est composée de dravite (90%; pics 4,62- 3,99- 3,49- 2,97- 2,58 Å) et de quartz (10%; pics 4,24- 3,39 Å); il s'agit d'une tourmalinite (fig.9c). Sa présence parmi des fragments ferrugineux et à une profondeur non négligeable atteste des remaniements au sein du matériau meuble supérieur. Si, d'une part la magnétite partiellement altérée en maghémite, est directement héritée de la serpentinite, et d'autre part le quartz en grande partie secondaire résidu de l'altération de la roche ultrabasique, la tourmaline et les micas sont étrangers à la paragenèse de la serpentinite. La tourmaline est un minéral accessoire fréquent dans plusieurs types de roche notamment dans différentes roches métamorphiques et dans les aplites, pegmatites et auréoles hydrothermales en relation avec les intrusions granitiques. Des études minéralogiques et chimiques détaillées de ce minéral ont permis à divers auteurs de l'utiliser comme indicateur pétrogénétique (Henry et Guidotti, 1985). Il a ainsi servi à interpréter des séquences de cristallisation et de différenciation des pegmatites (Jolliff et al., 1986), ou à suivre les stades de métamorphisme hydrothermal (Cavarreta et Puxeddu, 1990). C'est un minéral lourd résistant du point de vue mécanique et chimique qu'on retrouve comme minéral détritique dans les roches sédimentaires clastiques (Pettjohn et al., 1973 in Henry et Guidotti, 1985). La présence de tourmaline permet de distinguer l'horizon argileux lité de l'altérite au sommet de la colline à Kongo; elle marque l'intervention des formations acides (non ultrabasiques).

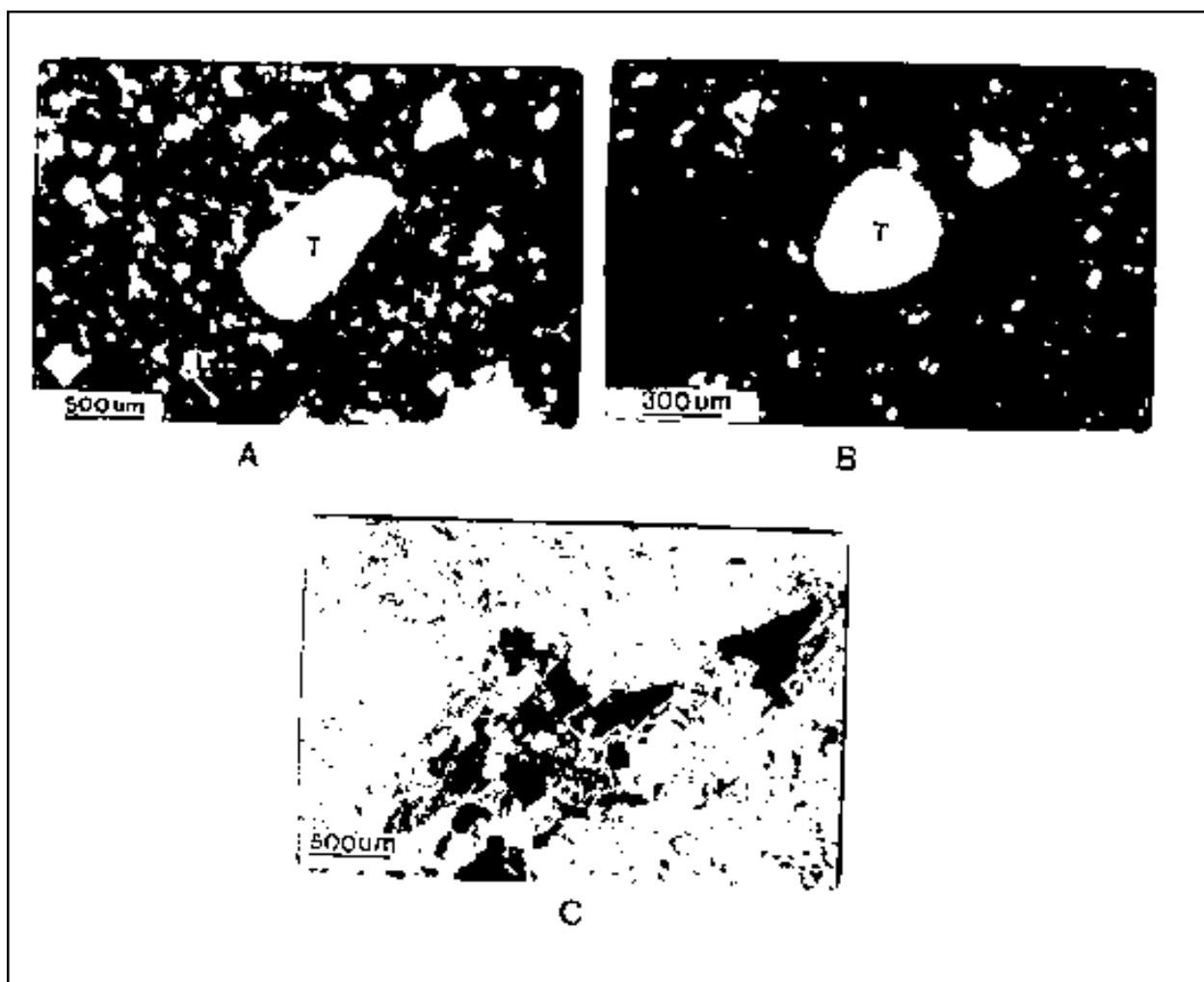


Figure 9: Vue au microscope polarisant.

A: grain de tourmaline (T) relictuelle dans la matrice argilo-ferrugineuse de l'horizon argileux inférieur. B: Grain de tourmaline (T) relictuelle dans la matrice argilo-ferrugineuse de l'horizon argileux supérieur. C: Tourmalinite constitué de tourmaline en cristaux fins entourant des cristaux plus grossiers.

Pour de nombreux auteurs dont Jolliff et al. (1986), la tourmalinite est associée à des intrusions granitiques; elle peut aussi se former par métamorphisme de dépôts de tourmaline. Fieremans et Paepe (1982) montrent que cette roche peut résulter d'une altération hydrothermale métagénétique à partir de roches acides diverses. Les indices nickélo-cobaltifères du Sud-Est du Cameroun sont en étroite relation avec les massifs de roches ultrabasiques (Yongue Fouateu, 1995). Il s'agit de roches riches en Ni et Co du fait de leur origine mantellique, et serpentinisées. L'essentiel du nickel est dans les silicates (dans l'antigorite qui constitue 90 % de la roche) tandis que le cobalt initial est concentré dans les oxydes et les sulfures d'origine hydrothermale. L'altération supergène va conduire à la concentration de ces éléments au dessus des ultrabasites.

Dans les profils, une discontinuité minéralogique apparaît entre les horizons inférieurs d'altération et les horizons cuirassé et argileux supérieurs. Cette discontinuité est liée à la présence de minéraux, tels que la tourmaline et la muscovite, absents de la serpentinite. Elle est soulignée aussi par l'expression du titane et l'abondance en aluminium associée à la présence de gibbsite. Cette observation n'est pas le seul fait des profils du Cameroun; en effet, la plupart des couvertures d'altération surmontant les complexes ultrabasiques du monde se sont révélées hétérogènes et remaniées (Trescases, 1975; Golightly, 1981; Schellmann, 1989; Freidrich et al., 1990; Marker et al., 1991). La base, autochtone, est issue de l'altération de la roche sous-jacente; alors que la partie sommitale semi-autochtone est un mélange de produits ferrugineux issus

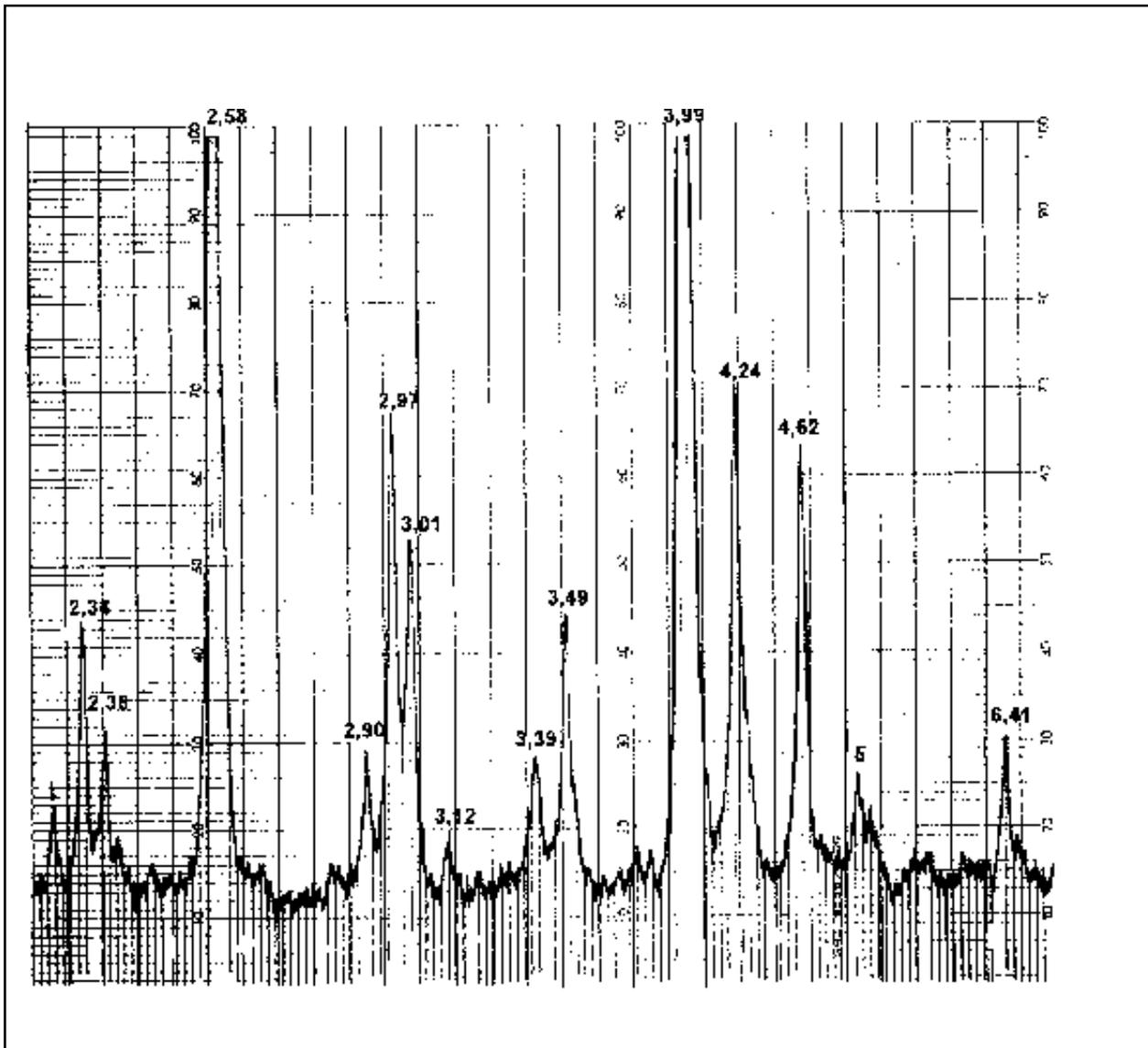


Figure 10: Diffractogramme de rayon X de la tourmalinite

de la roche ultrabasique et de minéraux provenant des roches acides. Dans les sites étudiés ici, les contacts entre le corps ultrabasique et l'encaissant acide seraient très irréguliers, induisant une hétérogénéité du substratum, cause des contaminations en grande profondeur. Tout au long de la phase d'aplanissement et de cuirassement, les transports mécaniques par colluvionnement à proximité de l'encaissant acide, doublés de transferts chimiques ont accentué cette contamination. La masse formée est pour l'essentiel d'origine serpentinite (richesse en fer, présence de magnétite) mais porte les traces d'une parenté acide. Les remobilisations ont favorisé l'individualisation des produits manganésifères noirâtres du groupe asbolane-lithiophorite, porteurs de cobalt et de nickel. Les indices

de type oxydé, ici plus cobaltifères que nickelifères, trouvent ainsi leur originalité dans l'hétérogénéité de leur substrat.

CONCLUSION

Les milieux latéritiques sont reconnus pour leur agressivité climatique qui conduit généralement à une altération intense des roches. Certains minéraux denses et relativement stables (or, zircon, tourmaline) résistent à cette attaque et peuvent porter les marques successives des processus dynamiques externes. En milieu soudano-sahélien, la présence et les caractéristiques des particules d'or, la morphologie des zircons, ont révélé la nature allochtone

de toute la partie supérieure des profils au-dessus des altérites stériles dérivant des granites. Dans les deux profils (rebord du moyen glacis et plaine alluviale), les marques de transport identifiées sur les particules d'or et les grains de zircon indiquent que le matériau est essentiellement d'origine alluvionnaire. Le rebord du moyen glacis serait alors une ancienne terrasse alluviale cuirassée. Le rôle joué par les phénomènes de transport mécanique (à plus ou moins grande distance) est doublé ici de celui des transferts chimiques, notamment à l'origine des accumulations absolues de fer qui cimentent le matériel allochtone, protégeant les minéraux résiduels.

En milieu tropical humide, dans un contexte ultrabasique, la présence de tourmaline et de tourmalinite dans les profils indique une contamination du protore ultrabasique. A grande profondeur, elle serait liée au fait que les contacts de l'ultrabasite avec l'encaissant sont à contours capricieux et irréguliers; les parties périphériques des massifs devaient présenter quelques intercalations non ultrabasiques (soit par le jeu de la tectonique, soit sous forme de filons hydrothermaux). L'altération météorique de ce substrat hétérogène et l'homogénéisation progressive a produit une masse pour l'essentiel d'origine serpentineuse, mais dans laquelle on retrouve encore quelques minéraux résistants (tourmaline, muscovite) et les marques géochimiques (Al, Ti) qui signent un environnement de formation plutôt acide à basique (mais non ultrabasique). Mais de plus, à proximité de l'encaissant acide, cette contamination a été favorisée par des transports mécaniques (à faible distance); elle explique la nature semi-autochtone de toute la partie supérieure des profils. Ainsi au cours de la formation des profils latéritiques, l'altération chimique et les transferts mécaniques à plus ou moins grande distance interfèrent; ils sont concomitants avec les transferts chimiques dont le rôle peut devenir déterminant au cours de la différenciation.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par l'ORSTOM (actuel IRD: Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération). Au Burkina Faso, il a reçu une contribution du projet Campus « Cartographie géologique appliquée à la recherche minière au Burkina Faso.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARAS, E. (1992) - Rapport de fin de campagne 1991-1992, mission Piéla, Province de la Gnagna, 91 p.
BEAUDET, G. et COQUE, R. (1986) - Les modelés cuirassés des savanes du Burkina faso (Afrique de l'Ouest). *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 27, 3-4, p. 213-224.

BLOT A., LEPRUN J.C., PION J.C. (1978) -Corrélations géochimiques entre les cuirasses ferrugineuses et les roches du socle cristallin au Sénégal et en Haute Volta. *Lithodépendance et héritage géochimique. V.R.acad.Sci.Paris*, 286, D, p. 1331-1334.
BOEGLIN J.L (1990) - Evolution minéralogique et géochimique des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua (Burkina Faso). *Thèse Université Louis Pasteur Strasbourg*.191 p.
BOULANGE, B. (1983). Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. *Thèse Sci.paris VII et ORSTOM, Trav. et doc.*, 175, 363 p.
BOULET, R. (1968) - Etude pédologique de la Haute Volta, région centre nord. *Rapport ORSTOM, Dakar, multigr.*, 351p.
BOULET, R. (1978). Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. *Thèse Sci. Strasbourg et Mém. ORSTOM*, 85, 272 p.
BOURGES, F., DEBAT, P., TOLLON F. (1994). Rapport final du programme C.A.M.P.U.S. « Cartographie géologique appliquée à la recherche minière au Burkina faso ». 43 p.
CAVARRETA. G. et PUXEDDU M. (1990). -Schorl-dravite ferridravite tourmalines deposited by hydrothermal magnetic fluids during early evolution of the laderello geothermal field, Italy. *Econ. Geo. vol. 85*, p 1236-1251.
COLIN F., ALARCON C. and VIEILLARD P. (1993) - Zircon : an immobile index in soils ? *Chemical Geology*, 107, p. 273-276.
COLIN F., VIEILLARD Ph. and AMBROSI J.P. (1993) - Behavior of gold in lateritic equatorial environment : Mass balance transfer and thermodynamic study. *Earth and Planetary sciences letters*, 114, p. 269-285.
COLIN F. and VIEILLARD, Ph. (1991) - Behavior of gold in the lateritic equatorial environment : weathering and surface dispersion of residual gold particles, at Dondo Mobi. *Applied Geochemistry*, vol.6, p. 279-290.
COLIN F., SANFOZ., BROWNE., BOURLES D. et EDOU MINKO A. (1997) - Gold : a tracer of the dynamics of tropical laterites. *Geology* ;v.25,n°1, p.81-84.
EDOU-MINKO, A., COLIN, F., LECOMTE, P., et TRESCASES, J.J. (1992) - Altération latéritique du gîte aurifère d'Ovala (Gabon) et formation d'une anomalie superficielle de dispersion. *Mineralium Deposita*, 25, p. 90-100.
EDOU-MINKO, A. (1988). Pétrologie et géochimie des latérites à « stone-line » du gîte d'or d'Ovala. Application à la prospection en zone équatoriale humide (Gabon). *Thèse Université Poitiers*147p.

- ENOBELINGA S.M., YONGUEFOUATEUR., BILONG P., NJILAH K.I., et GHOGOMUR. (1999) - Datation des latérites et sédiments des plateaux méridionaux forestiers du Cameroun du pléistocène supérieur à l'holocène. *In Géologie et environnements au Cameroun, Vicat J.P. et Bilong, Ed., Collect. GEOCAM, 2, Press. Univ. Yaoundé p.271-283.*
- FREIDRICH G., MARKER A. et KANIG, M. (1990) - Heavy mineral surveys in exploration of lateritic terrain. *In C.R.M. Butt and H-Zeegers (Ed), Handbook of Exploration Geochemistry.*
- FIEREMANS M. and PAEPE de P. (1982) - Genesis of tourmalinites from Belgium : petrographical and chemical evidence. *Min. Mag., vol.46, p 95-102.*
- FREYSSINET P. (1993) - Gold dispersion related to ferricrete pedogenesis in South Mali : application to geochemical exploration. *Chronique de la recherche minière, 510, p. 25-40*
- FRESSINEY Ph. , ZEEGERS H. et TARDY Y. (1987) - Néof ormation d'or dans les cuirasses latéritiques : dissolution, migration, précipitation. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 305, Ser. II, p 867-874.*
- GOLIGHTLY J.P. (1981) - Nickeliferous laterite deposits. *Econ. Geol. 75 th. Anniv. vol., pp 710-735.*
- GRANDIN G. (1976) - Aplansissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest, *Mém ORSTOM. N° 82, 275 p.*
- HAULLBAUER D.K. and UTTER T. (1977) - Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent rivers and fossil placer of Witwatersrand. *Mineralium Deposita, 12, p. 293-306.*
- HENRY D.J. and GUIDOTTI C.V. (1985). - Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral : an example from staurolite grade metapelites of N.W. Maine. *Am. Miner., vol. 70, p. 1-15*
- HERAIL G., FORNARI M., VISCARA G. and MIRANDA V. (1990) - Morphological and chemical evolution of gold grains during the formation of polygenic fluvial placer : the Mio-pleistocène Tipuani placer example (Andes, Bolivia). *Ch. Recherche Minière, 500, p. 41-49.*
- HERAIL, G. (1984) - Dynamique géomorphologique et sédimentologie des piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne et gîtologie de l'or détritique. *Chron. Rech. Min., n° 474, p. 49-68.*
- LAMOTTE M. et ROUGERIE G. (1962) - Les apports allochtones dans la genèse des cuirasses ferrugineuses. *Rev. Géomorp. dyn., 13, 10-12, p. 1-34*
- LEPRUN J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. *Mém. Soc. Géol. N° 58, 224 p.*
- LEVEQUE A. (1975) - Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciation des sols et remaniements superficiels. *Thèse Sci., Strasbourg, 301 p.*
- MANN A.W. (1984 a) - Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles : some observations from Western Australia. *Economic Geology, V. 79, p. 38-49*
- MARKER A, FRIEDRICH G., CAR VALHO A, and MELFI, A. (1991) - Control of the distribution of Mn, Co, Zn, Zr, Ti, and REES during the evolution of lateritic covers above ultramafic complexes. *Journal of Geoch. Expl., 40, p. 361-383.*
- MICHEL, P., (1973). - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude Géomorphologique. *Mém. ORSTOM, N° 63,3 vols., 752 p.*
- OUANGRAWA M., GRANDIN G., PARISOT J.C. et BARAS E. (1996) - Dispersion mécanique de l'or dans les matériaux de surface : exemple du site Aurifère de Piéla (Burkina Faso). *Pangea n°25, p. 25-40.*
- OUANGRAWA M., GRANDIN G. PARISOT J. C. et DELAUNE M. (2000)- Evolution des particules d'or en milieu latéritique soudano-sahélien : alluvions et colluvions dans l'environnement d'un gîte filonien, Piéla, Burkina Faso. *Bull. Soc. Géol., France, t.171, n° 4, p. 397-405.*
- PARISOT J.C., VENTOSE V., GRANDIN G., BOURGES F., DEBAT P, TOLLONF, MILLOL. (1995)- Dynamique de l'or et d'autres minéraux lourds dans un profil d'altération cuirassé du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. Intérêt pour l'interprétation de la mise en place des matériaux constituant les cuirasses de haut glaciais. *C.R. Acad. Sci. Paris.*
- PARISOT J.C., OUANGRAWA M. et GRANDIN G. (1995) - Gold : an indicator of the origin of the ironcrust materials in Burkina Faso (Western Africa). *V.M. Goodschmidt Conference, May 24-26, abstract, p. 77*
- PION J.C. (1979)- Altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale sèche. Etude de quelques toposéquences en Haute Volta. *Sci. Géol. Mém. Strasbourg, N° 57, 220 p.*
- SANFOZ. (1994) - Histoire des champs latéritiques aurifères de la région d'Arbinda (Nord Burkina Faso) : application à la prospection en zone sub-sahélienne. *Thèse Univ. Aix Marseille III, 187 p.*

- SANFO Z., COLIN F., DELAUNE M., BOULANGE B., PARISOT J.C., BRADLEY R. and BRATT J. (1993) - Gold : a useful tracer in sub-sahelian laterites. *Chemical Geology*, 107, p. 323-326.
- SANFOZ., GRANDIN G., PARISOT J.C. et PALE F. (1992) - Aplanissements latéritisés anciens, glacis récents et indices d'or dans la région d'Arabinda (Burkina Faso). *Mineralogical and Geochemical records of Paleo weathering, ENSMP Mém. Sci. de la terre*, 18, p. 15-30.
- SCHELLMANN W. (1989) - Allocthonous surface alteration of Ni-laterites. *Chem. Geol.*, 74, p. 351-364.
- SEME MOUANGUE A.C. (1998) - Géochimie Métamorphisme et Métallogénie des formations ultrabasiqes du secteur Est de Lomié (Sud-Est Cameroun). *Thèse Doct. 3ème cycle Univ. Yaoundé I*, 155 p.
- TARDY Y., (1993) - Pétrologie des latérites et des sols tropicaux . *Masson, Paris*, 459 p
- TRESCASES J.J (1975) - L'évolution supergène des roches ultrabasiqes en zone tropicale. *Mém., ORSTOM*, 78; 259 p.
- WEDRAOGO L. et NAPONS., (1988) - Rapport de fin de campagne 1987-1988, mission Piéla, Province de Gnagna, 42 p.
- YEND W. (1975) - Experimental abrasion of detrital gold. *Journal Reasearch US Ceological survey*, 3, p. 203-212.
- YONGUE FOUATEU R. (1995) - Les concentrations métallifères de nickel et de cobalt à partir de l'altération latéritique des roches ultrabasiqes serpentinisées du Sud-Est Cameroun. *Thèse Doct. ès. Sci. Univ. Yaoundé I*, 262 p.