

Les cuirasses ferrugineuses de Banankoro (Sud-Mali). Problèmes de l'épigénie de la kaolinite par les oxyhydroxydes de fer

A. Novikoff, Y. Tardy
ORSTOM, Bamako - MALI

RÉSUMÉ

L'étude des cuirasses ferrugineuses de la région de Banankoro au Sud-Mali a montré que les échantillons riches en fer contiennent des quantités notables de kaolinite. La microscopie optique et celle à balayage électronique montre que l'hématite forme une armature englobant de grands vermicules de kaolinite ou de petits cristaux de cette argile et cela sur toute la hauteur du profil quand la cuirasse est peu dégradée. Les calculs volumétriques permettent de constater que les kaolinites subsistent en quantités importantes jusque dans les cuirasses dont la teneur en fer ne dépasse pas 60 %, c'est-à-dire, la très grande majorité des cuirasses rencontrées. Au-dessus de 60 % de Fe_2O_3 la kaolinite est rapidement épigénisée. Nous retrouvons les phénomènes décrits par MULLER et BOCQUIER (1986) et MULLER (1987). Le problème de l'épigénie de la kaolinite par les oxyhydroxydes de fer est une nouvelle fois examiné.

INTRODUCTION

L'étude minéralogique des cuirasses ferrugineuses de la région de Banankoro au Sud-Mali, sur la rive gauche du Niger, à proximité de la frontière guinéenne (MAZALTARIN, 1989), a montré que les échantillon riches en fer contiennent d'importantes quantité de kaolinite, alors que le quartz n'est conservé qu'en petite quantité. Les cuirasses ne sont pas différentes de toutes celles décrites ailleurs. (MAIGNIEN, 1958, GRANDIN, 1976, NAHON, 1976, LEPRUN, 1979, ESCHENBRENNER, 1987). Dans ces cuirasses les échantillons les plus riches en fer contiennent encore d'importantes quantités de kaolinite.

Dans le cadre de cette étude, 360 échantillons ont été analysés par spectroscopie d'émission de plasma. Une centaine d'entre eux ont été observés au microscope optique ou au microscope électronique à balayage. Une quarantaine ont été analysés à la microsonde électronique par dispersion de longueur d'onde. L'objet de ce travail était d'étudier les relations de la kaolinite avec l'hématite et dans une moindre mesure avec la gibbsite lors du cuirassement. Il sera peu question de la goéthite car elle s'est généralement liée à la phase de démantèlement de la cuirasse à hématite. La question à laquelle nous avons essayé de répondre est celle de l'existence et de l'importance du phénomène d'épigénie lors de la formation des cuirasses riches en hématite.

1 - OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES

1.1. Microscopie optique

Les observations ont été faites sur des échantillons de lithomarges, d'argiles tachetées, de carapaces et de cuirasses. Il a été possible de suivre, dans les faciès indurés, la répartition et l'évolution de la goéthite, de l'hématite, de la gibbsite et de la kaolinite. Pour bien séparer l'hématite de la goéthite, il a été fait un usage constant de l'observation en lumière réfléchie, le pouvoir réflecteur de ces minéraux étant différent.

Au microscope optique, on peut suivre l'évolution suivante : la ferruginisation débute par une imprégnation diffuse, par taches, dans l'horizon d'altération kaolinique, situé à la base du profil cuirassé. En remontant dans le profil, la ferruginisation d'abord goéthitique, devient très vite hématitique. Les plages rouges violacées, riches en hématite, grandissent, s'anastomosent et donnent des nodules. Parfois, la ferruginisation du fond matriciel est totale, de sorte que l'on aboutit à la formation de faciès de cuirasse massive.

En *lumière réfléchie*, on voit à fort grossissement, (photo 1, voir page 215) des lamelles ou des glomérules gris-clair hématitiques qui s'anastomosent pour former un réseau, plus ou moins dense englobant des plages, microscopiques à plurimicroniques, gris sombre à noir, argileuses.

En *lumière transmise*, les plages argileuses sont opaques (isotiques), ce qui indique un mélange intime d'argiles et de fer, tous deux en très fins cristallites. Ce type de faciès se retrouve tout au long des profils, sur plusieurs mètres, jusqu'en surface où il subit des transformations partielles. C'est manifestement par les pores de grande taille qu'une partie du matériel composant la cuirasse est évacué. Les parois des vides sont souvent tapissées de goéthite et de gibbsite plus rarement d'hématite. Près du bord des pores, l'hématite se transforme par réhydratation en goéthite et forme alors, des rubans bruns délimitant des nodules hématitiques, violets, anastomosés,

caractéristiques du faciès pseudopisolitique de NAHON (1976). Cependant les pores de grande taille, et c'est souvent le cas vers la base de la cuirasse, sont le siège d'accumulation secondaire de kaolinite qui ferruginisée forme les nodules argilomorphes de NAHON (1976). Ces nodules riches en hématites présentent souvent une texture sphérolaire (agglomérat de petites sphérules) et cutaniques. Ainsi à Banankoro a-t-on trouvé des nodules lithorelictuels et pédorelictuels et tous les faciès communément décrits dans les cuirasses.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par FREYSSINET au Mali, par BOEGLIN au Burkina-Faso et BEAUVAIS en Centrafrique et dont les travaux font l'objet de thèses devant être soutenues d'ici peu.

Nous avons constaté que dans les cuirasses, à côté de la kaolinite liée aux nodules ferruginisés, subsiste, en quantité très variable, de la kaolinite canaliculaire non ferruginisée et non liée au faciès ferrugineux environnant. Les bilans minéralogiques menés en vue d'évaluer les relations d'épigénie entre kaolinite et hématite, doivent ne pas tenir compte de cette kaolinite canaliculaire.

Au microscope et à la loupe, on s'est assuré que les échantillons de cuirasse analysés ne contenaient pas, ou peu, de kaolinite non ferruginisée. Quand cela s'est produit, les échantillons ont été écartés du bilan volumétrique.

Le fait important de l'observation a été de montrer l'existence, dans les faciès nodulaires et massifs, de concentration d'hématite où subsiste en abondance de la kaolinite. Cette concentration caractérise les deux faciès fondamentaux de la région et correspond au faciès ferrugineux massif initial de BOCQUIER *et al.*, (1984).

1.2. Microscopie électronique à balayage

Les observations ont été faites sur lames polies et petits blocs.

Les amas de kaolinite de la lithomarge sont constitués de plaquettes de taille variable (de quelques μ à moins du μ) empilées pour former des vermicules ou accordéons dont la longueur peut dépasser plusieurs dizaines de μ .

Les vides sont nombreux. Les bords des plaquettes apparaissent parfois faiblement corrodés.

Dans les taches et nodules à bords diffus de l'horizon tacheté, des petits cristallites (souvent moins du μ), plaquettes pseudo-hexagonales d'hématite, se déposent sur les bords des plaquettes de kaolinite.

Dans les nodules de la carapace, les plaquettes d'hématite abondent. Les lamelles de kaolinite subsistent, mais leurs bords paraissent un peu plus déchiquetés que dans la lithomarge, elles ont donc été légèrement dissoutes.

Les nodules de la cuirasse (photo 2) sont caractérisés par l'enneoement des plaquettes de kaolinite encore visible, dans une masse d'hématite formant des amas irréguliers de très petites plaquettes ou de glomérules rappelant le faciès de plasma à microstructure glomérulaire de MULLER et BOCQUIER (1986) et les colonnettes d'hématite du faciès argilomorphe de NAHON (1976).

Il est probable que l'hématite soit mêlée aux kaolinites de petites tailles, comme le suggèrent les coups de sondes donnés dans ces amas.

L'observation de lames polies de cuirasses (photos 3 et 4) permet de mieux préciser les choses. Au cœur des nodules d'hématite, on distingue deux domaines : des grands vermicules de kaolinite partiellement ferruginisés qui persistent dans une matrice très riche en fer et de nombreux îlots argileux de très petite taille qui subsistent au sein des plages opaques en lumière transmise.

La conservation de la forme de grands vermicules de kaolinite implique que l'hématitisation s'est faite sans modification notable du volume initial de la masse kaolinique imprégnée par le fer, les structures des roches étant généralement effacées. Ce système conservateur peut être détruit si les transformations des cuirasses par alvéolisation avec formation de goethite, gibbsite ou kaolinite deviennent trop importantes, ce qui est parfois le cas pour les cuirasses nodulaires ou pisolitiques. Malgré ces réserves on constate que souvent il subsiste dans les cuirasses jusqu'en surface un squelette hématitique rigide, comparable à celui visible pour les photos 1, 3 et 4 et de la kaolinite en quantité notable.

2 - DONNÉES GÉOCHIMIQUES

2.1. Analyses à la microsonde

Seuls les résultats d'analyses quantitatives par système WLDS ont été utilisés. L'intérêt de ces analyses est de préciser la composition des plages argileuses, de vérifier la réalité de la présence d'hématite et de goethite et de permettre le calcul de leur taux de substitution en Al.

La première constatation est qu'il y a bien des flots de toute taille qui sont composés pour la plus grande part de kaolinite. On y trouve également mais rarement des fantômes de micas altérés partiellement vermiculitisés. Il s'agit essentiellement de muscovite et de séricite, mais aussi de biotites chloritisées et des minéraux Si-Fe-Al qui par comparaison avec la kaolinite sont déficitaires en éléments trivalents. Il s'agirait peut-être, des phyllosilicates du type illite ferrifère qu'AMOURIC *et al.*, (1986) ont trouvé dans les cortex goethitiques.

Les hématites de première génération telles celles observées sur les photos 3 et 4 sont peu alumineuses (Al : 3 %) ; il s'agit de moyennes portant sur une centaine de points analysés. Celles formées postérieurement dans des cutanes ou par imprégnation d'une matrice alvéolaire peuvent contenir jusqu'à 7 % d'Al, mais le taux de substitution moyen reste faible (4 %). Dans les cutanes on trouve parfois des hématites non substituées.

Le cas de la goéthite est plus complexe car elle est très souvent intimement liée à la kaolinite et c'est le mélange qui apparaît à l'analyse. La goéthite intranodulaire présente un taux de substitution de Fe par Al de 6 à 12 % avec une moyenne de 9 %. La goéthite formant les stries des cortex des nodules hématitiques et celle formant la matrice des nodules sont dans l'ensemble assez fortement substituées. Le taux de substitution dans un même échantillon pour un même type de goéthite varie de 12 à 27 % avec un taux moyen de 20 %. Les goéthites les plus récentes étant souvent les plus substituées.

Dans le tableau 1 sont présentés les résultats de moyennes de points analysés sur une traversée sans un faciès pseudopisolitique attribué au haut-glacis. La traversée (figure 1) recoupe un premier nodule hématitique (nodule 1), le cortex goéthitique qui l'entoure (cortex 1), le matériel hématitisé externe au nodule (matrice) séparant du nodule voisin (nodule 2) entouré par son cortex (cortex 2). En fait, au matériel appelé matrice correspond le fond matriciel hématitisé.

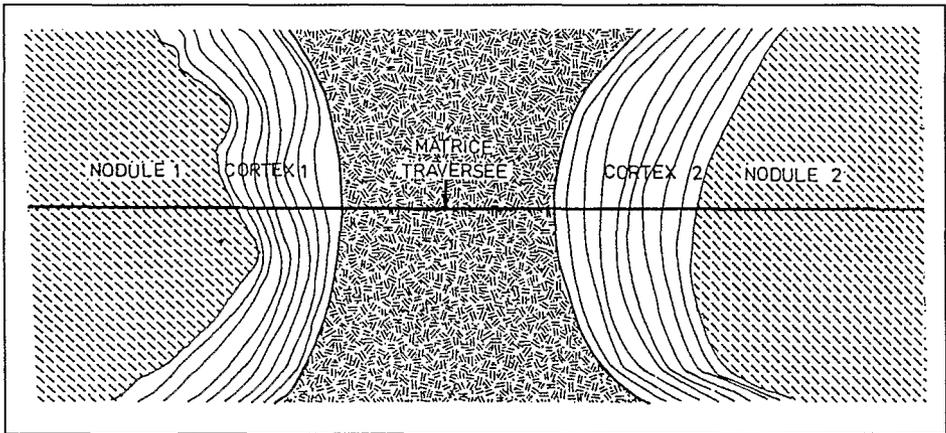


Figure 1 : Position de la traversée faite à la microsonde dans un faciès cuirassé pseudopisolitique.

Tableau 1 : Analyse à la microsonde le long d'une traversée des éléments texturaux composant une cuirasse pseudopisolitique.

	Nodule 1	Cortex 1	Matrice	Cortex 2	Nodule 2
Nb. d'analyses	13	18	6	6	8
K ₂ O	0,41	0,28	0,22	0,16	0,26
SiO ₂	21,07	13,69	17,67	23,01	19,46
Fe ₂ O ₃	48,04	57,04	58,53	38,08	53,06
Al ₂ O ₃	21,42	17,10	14,95	28,89	18,01
TiO ₂	0,17	0,35	0,56	0,58	0,32
Σ	91,40	89,42	91,93	90,82	90,02
Kaolinite	45	30	38	51	42
Goethite + Hématite	55	70	62	49	58

La traversée a été choisie de façon à ne pas recouper de grains de quartz. Les calculs normatifs ont été faits en attribuant toute la silice à la kaolinite et tout le fer des cortex à la goethite, ces deux minéraux ont été reconnus par DRX et microscopie optique.

Les nodules et la matrice contiennent de l'hématite, de la goethite et de la kaolinite, l'hématite étant le minéral le plus abondant. Le fait important, est qu'il y a dans les deux nodules hématitiques une quantité équivalente et importante de kaolinite. La matrice riche en hématite contient elle aussi beaucoup de kaolinite. Des résultats comparables ont été obtenus avec tous les échantillons de faciès cuirassés riches en hématite, c'est-à-dire pour 24 échantillons et 600 points d'analyse. Il y a, bien sûr, des variations dans les quantités de kaolinite trouvées, qui diminue comme le fer augmente puisque nous sommes dans un système à deux composants. Compte-tenu de l'hétérogénéité du matériel des nodules, les moyennes doivent être utilisées avec prudence, mais la présence de kaolinite en quantités importantes en compagnie de l'hématite est sûre et les cas d'hématite complète du cœur des nodules ferrugineux comme signalé par AMBROSI, NAHON (1986) sont tout à fait exceptionnels. Ces résultats confirment quantitativement ce qui à l'observation microscopique avait été reconnu qualitativement.

Par ailleurs, les analyses à la microsonde des cortex des nodules démontrent le mélange constant et intime entre la goethite et la kaolinite en très fins cristallites dans ces cortex, ce que la microscopie optique ne laissait pas prévoir.

2.2 - Analyses multi-éléments à la torche à plasma

Une étude systématique de la composition chimique et minéralogique des cuirasses de la région de Banankoro a porté sur 215 échantillons. Ces derniers ont été regroupés par intervalles de 5 % de 45 à 60 % de Fe_2O_3 . Chacune des tranches représentent 54, 31, 10, et 5 % du total des échantillons analysés. Les densités apparentes ont été mesurées pour une vingtaine d'échantillons. Elles varient de 2,2 à 3,2 pour l'ensemble de la population.

2.2.1 - Analyses des échantillons bruts

Le tableau 2 donne la composition chimique et minéralogique moyenne de roches-mères et de différents faciès ferruginisés. La composition minéralogique a été calculée à partir des DRX et de la composition chimique.

Tableau 2 : Analyse chimique et minéralogique de roches et faciès ferruginisés de schistes birrimiens de Banankoro.

	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*
Nombre	7	5	21	105	60	20	9
SiO_2	64,78	45,9	31,53	20,25	17,94	14,56	9,75
Al_2O_3	15,9	25,8	19,05	19,8	18,02	16,82	12,81
Fe_2O_3	6,66	15,8	37,51	47,4	52,14	56,74	64,78
MgO	2,38	0,25	0,16	0,12	0,13	0,10	0,07
CaO	0,35	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Na_2O	1,76	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K_2O	2,1	0,66	0,6	0,38	0,43	0,30	0,20
Mn_3O_4	0,05	0,09	0,08	0,04	0,04	0,05	0,07
TiO_2	0,63	1,31	0,68	0,62	0,77	0,58	0,37
H_2O	4,45	9,61	9,80	10,5	9,74	9,91	11,32
Σ	99,06	99,42	99,41	99,11	99,21	99,06	99,37

Quartz	27	31	14	5	3	3	1
Kaolinite	51	38	34	35	29	20	
Goethite		10	21	22	22	26	44
Hématite		8	20	30	35	36	28
Gibbsite		0	6	9	6	5	7
RPHG		44	48	58	61	58	39

1* : roches-mères

2* : argile tachetée

3* : carapace

4* : cuirasse Fe_2O_3 45 - 50 %

5* : cuirasse Fe_2O_3 50 - 55 %

6* : cuirasse Fe_2O_3 55-60 %

7* : cuirasse Fe_2O_3 > 60 %

RPHG : (hématite/hématite)

± goethite *100

nd : non dosable

Ce tableau montre que dans toutes les cuirasses il reste de la kaolinite dont le poids diminue fortement quand les teneurs en fer sont élevées.

L'augmentation du fer dans les cuirasses en contenant de 45 à 55 % se fait essentiellement au détriment du quartz qui disparaît presque complètement, pour des teneurs en Fe_2O_3 supérieures à 55 %. Dans les cuirasses plus riches en fer, le poids de la kaolinite diminue sans disparaître.

2.2.2. *Calculs volumétriques*

L'observation microscopique des faciès cuirassés hématitiques a montré qu'il y a une certaine conservation des structures de lithomarges. Il est donc intéressant d'appliquer le raisonnement volumétrique pour comparer ces faciès hématitiques. Raisonner uniquement sur le poids dans le cas des cuirasses peut être dangereux. Par exemple, une cuirasse formée d'hématite et de kaolinite contient un volume de 40 % de kaolinite. Si sa densité apparente est de 2,2, le poids de kaolinite est de 47 % dans l'échantillon. Si la densité apparente de la roche est de 2,7, la kaolinite ne pèse plus que 38,5 %. Le poids de la kaolinite a chuté de 18 % alors que sa quantité réelle n'a pas varié.

Le tableau 3 fournit la composition chimique et minéralogique et la densité apparente d'une lithomarge et de différents faciès cuirassés. Au tableau 4 correspondent les résultats des calculs volumétriques pour les mêmes échantillons.

On constate que la kaolinite varie peu jusqu'à 57 % de Fe_2O_3 , à partir de 60 % de fer sa disparition est rapide et la dissolution de la kaolinite devient plus importante. Ce phénomène est toutefois mineur car il ne touche que 5 % des échantillons. Si on compare le poids des minéraux (tableau 3) au volume qu'ils occupent (tableau 4) nous constatons que le poids de la kaolinite diminue fortement et régulièrement avec l'augmentation des teneurs en Fe_2O_3 , alors qu'en réalité un faible volume de kaolinite est dissous. Ainsi les cuirasses analysées perdent 22 % en poids de kaolinite quand les teneurs en Fe_2O_3 passent de 46 à 58 % alors que disparaît seulement 7 % de kaolinite en volume.

3 - ANALYSES MINÉRALOGIQUES

3.1. Relations kaolinite/gibbsite

La gibbsite étant un minéral assez constant dans les cuirasses ferrugineuses de Banankoro, nous avons jugé utile de voir ses relations avec la kaolinite. Les échantillons de cuirasse ont été classés par catégorie de teneur en fer. On voit nettement qu'à l'augmentation de la gibbsite correspond une diminution de la kaolinite. On a donc destruction de la kaolinite et à faible distance de là, formation de la gibbsite.

Tableau 3 : Composition chimique et minéralogique d'une lithomarge et de différents faciès cuirassés provenant de schistes birrimien de Banankoro.

	1*	2*	3*	4*	5*	6*
SiO ₂	50,03	21,05	19,92	16,74	10,64	11,23
Al ₂ O ₃	32,51	20,97	17,63	15,75	14,06	9,99
Fe ₂ O ₃	1,99	45,75	51,42	57,88	60,34	69,23
MgO	0,51	0,09	0,18	0,10	0,11	0,08
K ₂ O	3,43	0,15	0,55	0,31	0,21	0,21
Mn ₂ O ₄	0,01	0,02	0,03	0,04	0,15	0,07
TiO ₂	1,47	0,71	0,56	0,53	0,40	0,33
P.F.	9,69	10,16	8,67	8,64	12,42	7,86
Σ	99,64	98,88	98,96	99,70	98,33	99,00
d	1,36	2,20	2,45	2,70	2,83	10
Quartz	12	0	0	0	0	0
Kaolinite	86	51	46	40	35	26
Goethite	2	22	10	18	56	24
Hématite	0	27	44	42	9	50
RPHG	0	55	81	70	14	67

1* lithomarge
 2*, 3*, 4*, 5*, 6* cuirasses de + en + riche en fer
 d densité apparente
 RPHG (hématite/hématite) + (goethite)*100

Tableau 4 : Poids des minéraux et volume occupé dans 100cc de cuirasses et lithomarge.

Ech	Poids en g. dans 100cc.				Volume en %				
	Q	K	G	H	Q	K	G	H	Po
1	16,2	116,1	2,7	0	6,1	44,7	0,7	0	48,5
2	0	112,2	48,4	59,4	0	43,1	12,1	11,9	32,9
3	0	112,7	24,5	107,8	0	43,3	6,1	21,6	29
4	0	108	48,6	113,4	0	41,5	12,1	22,7	23,7
5	0	98,7	157,9	25,4	0	38	39,5	5	17,5
6	0	86	74,4	155	6	31,8	18,6	31	18,6

1 : lithomarge
 2, 3, 4, 5, 6 : cuirasses analysées dans tab. 3
 Q : quartz
 K : kaolinite
 G : goethite
 h : hématite
 Po : porosité

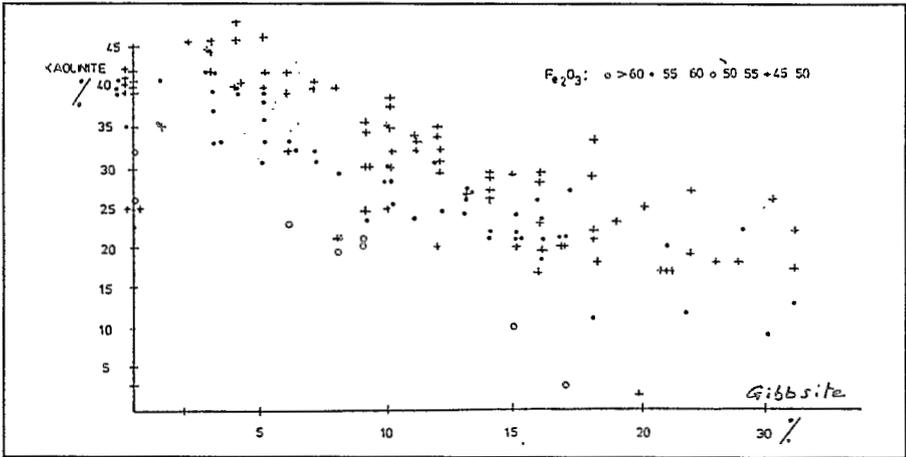


Figure 2 : Relation entre kaolinite et gibbsite.

3.2. Profil de puits

Les profils minéralogiques de six puits ont été étudiés. Leur allure correspond au profil de la figure 3 et les conclusions que nous pouvons en tirer sont identiques à quelques détails près.

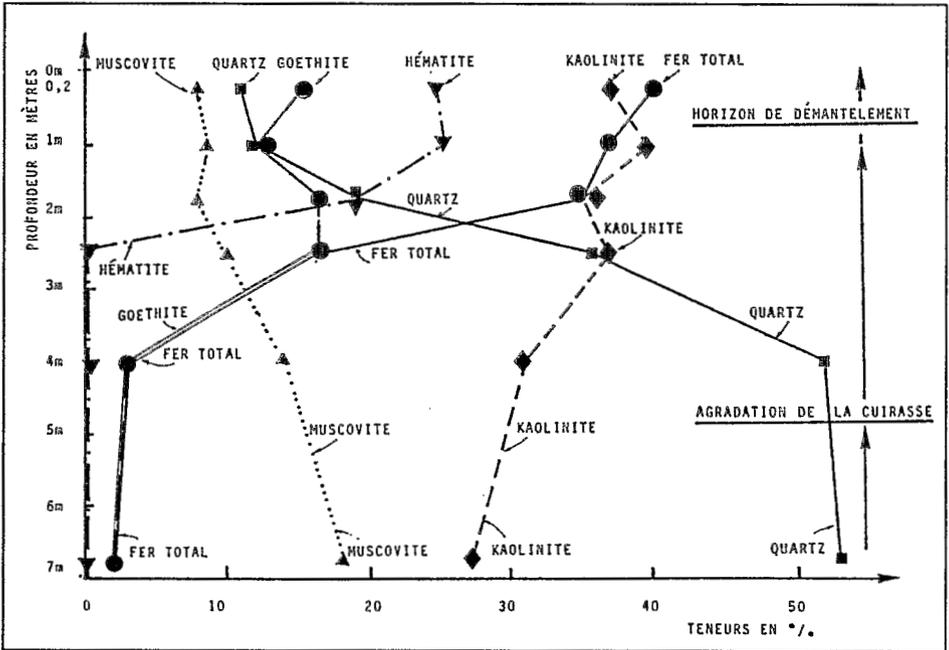


Figure 3 : Variations entre les teneurs en quartz et en fer.

La figure 3 montre que les variations les plus remarquables concernent les teneurs en quartz et en fer ; à la diminution du premier correspond l'augmentation du deuxième. Les variations du fer sont peu liées à celles de la kaolinite dont la quantité augmente comme disparaît la muscovite. L'échantillon de surface correspond à un faciès de démantèlement caractérisé par une diminution de l'hématite et une augmentation de la goéthite qu'accompagne une diminution de la kaolinite.

DISCUSSION

Il ressort de toutes les observations faites à différentes échelles sur les cuirasses de Banankoro que le cuirassement progresse, essentiellement par hématitisation d'une lithomarge kaolinique, altération de schistes birrimiens, sans accompagner une disparition importante de kaolinite. Ceci est manifeste tant que la teneur en fer ne dépasse pas 60 %, ce qui est rare. En revanche, on constate que l'augmentation du fer s'accompagne de la dissolution du quartz. MAZALTARIM (1989), à partir de données analytiques, arrive aux mêmes constatations à Gaoua, au Burkina-Faso. Il observe une forte chute de la kaolinite dans les cuirasses sur roches basiques contenant plus de 55 % de Fe_2O_3 et fortement enrichies en goéthite. Il en est de même à Dembia Zemio (RCA).

NAHON (1976), NAHON et MILLOT (1977), AMBROSI (1984), AMBROSI, NAHON et HERBILLON (1986), TARDY et NAHON (1986), HERBILLON et NAHON (1988) ont estimé que l'accumulation d'hématite dans les altérites de grès et de roches basiques se faisait par épigénie de la kaolinite. La dissolution de la kaolinite peut, déjà, être totale au cœur des nodules de l'horizon tachetés, donc dans une partie encore jeune du profil latéritique. AMBROSI (1984) observe à l'aval de ses séquences, dans des cuirasses conglomératiques, cuirasses évoluées, des domaines violacés, finement nodulaires, à hématite et kaolinite dont la kaolinite présente les caractères cristallographiques de celle de la lithomarge. Il constate aussi que dans des domaines hématitiques, nodulaires, évolués, à plasma opaque continu, peuvent subsister des domaines micronodulaires du type carapace, moins évolués, contenant de la kaolinite.

Nous voyons donc que pour ces auteurs le mécanisme fondamental de la ferruginisation est la dissolution de la kaolinite et son remplacement par le fer avec quelques plages, témoins d'une épigénie incomplète. Le phénomène d'épigénisation des kaolinites est parfois visible dans la région de Banankoro, mais son rôle reste limité et l'on n'observe pratiquement jamais de grandes plages hématitiques homogènes dans les nodules violets, comparables à celles des cuirasses nodulaires (hard nodular iron crust) d'AMBROSI *et al.* (1986) et HERBILLON et NAHON (1988).

Des observations différentes ont été faites et des conclusions divergentes ont été proposées par MULLER *et al.* (1981), MULLER et BOCQUIER (1986), MULLER (1987) qui ne voient pas d'épigénie de la kaolinite par l'hématite. Ces derniers montrent que sur gneiss, au Cameroun, les micas s'altèrent d'abord en Fe-kaolinite macrocristalline, associée à de l'hématite, remplissant des micropores du plasma. Au cours d'une phase postérieure ces *macrokaolinites* sont remplacées par des *microkaolinites* plus ferrifères puis dans un stade ultime, les kaolinites disparaissent. Ils signalent que le remplacement par épigénie de la kaolinite par l'hématite est, dans leur cas, éphémère, incomplet, et que les différentes phases d'évolution se retrouvent plus ou moins complètes et plus ou moins développées dans les échantillons. MULLER (1987) MULLER *et al.* (1988) montrent également que le fait que les hématites soient alumineuses ne prouve pas que les kaolinites ont été dissoutes. Le matériel étudié à Banankoro, une lithomarge quartzreuse contenant de 20 à 40 % de mica est proche de celui que ces auteurs ont étudié au Cameroun. Cependant dans notre cas, nous n'avons pas identifié plusieurs générations de kaolinite.

Le second auteur de cette note a lui même écrit (TARDY et NAHON, 1986) que le cuirassement se faisait par concentration d'hématite et de goethite sur les cristallites de kaolinite et que si l'hématite augmente, la dissolution et l'épigénie de la kaolinite étaient nécessaires.

Le travail présenté ici, mené en complémentarité de ceux de MAZALTARIM (1989) et BOEGLIN (communication personnelle) et dans le fil des observations de MULLER (1987), montre que le cuirassement se met en place selon une autre voie. Le développement d'hématite se fait essentiellement par remplissage des vides de petite taille laissés par l'organisation des cristaux de kaolinite. L'association hématite-kaolinite se fait sans relations cristallographiques (MULLER, 1987) mais constitue un assemblage stable en milieu sec (TARDY et NOVIKOFF, 1988, TARDY *et al.*, 1988). Lorsqu'en surface le démantèlement et la cortification par hydratation prend place, la kaolinite se dissout et le fer augmente dans les pisolites en même temps que se développe la goethite et que régresse l'hématite. La goethite alumineuse utilise une partie de l'aluminium, tandis qu'une autre partie cristallise en gibbsite dans les pores hydratés de grande taille.

Ce n'est donc pas l'épigénie de la kaolinite qui accompagne ou détermine la nodulation et le cuirassement. Au contraire, c'est le maintien de la kaolinite qui permet l'accumulation de l'hématite dans les pores de petite taille. Au moment où la kaolinite se dissout, l'hématite s'hydrate, les nodules s'entourent de cortex, le fer augmente encore, mais la cuirasse se démantèle.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient J.-M. WACKERMANN pour l'aide apportée en faisant un résumé du texte et en le présentant au séminaire en l'absence du présentateur prévu.

BIBLIOGRAPHIE

AMBROSI J.-P., 1984 - Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques cuirassés ferrugineux de la région de Diouga, Burkina Faso. Thèse, n° 1020. Univ. Poitiers, France, 223 p.

AMBROSI J.-P., NAHON D., 1986 - Petrological and geochemical differentiation of lateritic iron crust profiles. *Chem. Geol.* 57 : 371-393.

AMBROSI J.-P., NAHON D., AND HERBILLON A.J., 1986 - The epigenetic replacement of kaolinite by hematite in laterite. Petrographical evidence and the mechanisms involved. *Geoderma* 37 : 283-294.

AMOURIC M., BARONNET A., NAHON D., and DIDIER P., 1986 - Electron microscopic investigations of iron oxyhydroxides and accompanying phases in lateritic iron crust pisolites-clays, *Clay Mineral.* 34, 45-52.

BOCQUIER G., MULLER J.-P., BOULANGÉ B., 1984 - Les latérites. Connaissances et perspectives actuelles sur les mécanismes de leur différenciation. *In* : Livre jubilaire cinquantenaire AFES, Paris : 123-138.

ESCHENBRENNER V., 1987 - Les glébules des sols de Côte-d'Ivoire. Thèse Sci. université de Bourgogne, Dijon, 498 p.

GRANDIN G., 1976 - Applanissements cuirassés et enrichissements des gisements de manganèse dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest. *Mém. ORSTOM*, 82, 268 p.

HERBILLON A.-J., NAHON D., 1988 - Laterites and laterization processes *in* : Iron in soils and clay minerals. Stucki, Goodman and Schwertmann Ed., Reidel publ. Comp., Dordrecht, Holland : 779-796.

LEPRUN J.-C., 1979 - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins d'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformations, dégradations. *Sci. géol., Mém., Strasbourg*, n° 58, 224 p.

MAIGNIEN R., 1958 - Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique occidentale. *Mém. Seru. Carte géol. Als. Lorr., Strasbourg*, 16, 239 p.

MAZALTARIM D., 1989 - Géochimie des cuirasses ferrugineuses et bauxitiques de l'Afrique occidentale et centrale. Thèses université Louis Pasteur, Strasbourg, 262 p.

MULLER J.-P., BOCQUIER G., NAHON D., PAQUET H. 1981 - Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. *Cah. ORSTOM, série. pédol.*, 18 : 87-109.

MULLER J.-P., 1987 - Analyse pétrologique d'une formation latéritique meuble du Cameroun. Thèse Sci. Paris VII, multigr., T1, 174 p.

MULLER J.-P., BOCQUIER G., 1986 - Dissolution of kaolinites and accumulation of iron oxides in lateritic-ferruginous nodules : mineralogical transformations. *Geoderma*, 37 : 113-136.

MULLER J.-P., BOUCEULLE M., HERBILLON A., PROST R., 1988 - Essai de traçage de la différenciation d'une formation latéritique meuble du Cameroun par les paragenèses à kaolinite, oxy-hydroxydes de fer et gibbsite. *Journée scientifique, ATP laterites, CNRS, Paris, 4-5 juillet 1988* : 41-42.

NAHON D., 1976 - Cuirasses ferrugineuses et encroûtement calcaire au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. *Sci. géol. Strasbourg, mém. n° 44*, 232 p.

NAHON D. et MILLOT G., 1977 - Géochimie de la surface des formes du relief. V. Enfoncement géochimique des cuirasses ferrugineuses par épigénie du manteau d'altération des roches mères gréseuses. Influence sur le paysage. *Sci. Géo., Strasbourg, Bull., 30, 4* : 275-282.

TARDY Y. and NAHON D., 1985 - Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hématite and Fe-kaolinite in bauxites and ferricrete : an approach to the mechanism of concretion formation. *Am. J. Sci.*, 285 : 865-903.

TARDY Y., BARDOSSY G. et NAHON D., 1988 - Fluctuations de l'activité de l'eau et successions de minéraux hydratés et désydratés au sein des profils ferrugineux et bauxitiques. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 307, série II*, pp. 753-759.

TARDY Y., NOVIKOFF A., 1988 - Activité de l'eau et déplacement des équilibres gibbsite-kaolinite dans les profils latéritiques. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 306, série II*, pp. 39-44.

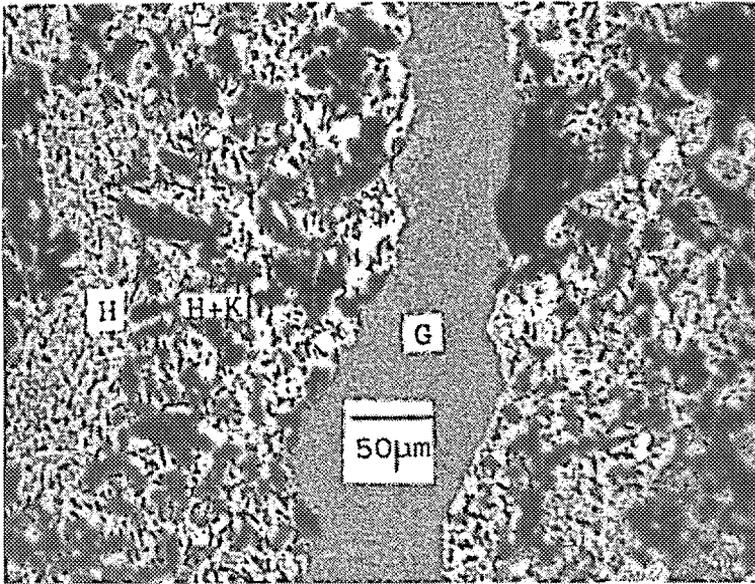


Photo 1 : Lumière réfléchi. Aspect habituel d'une cuirasse riche en hématite 56 % Fe_2O_3 . Hématite en blanc, au milieu microfissure remplie de goéthite.

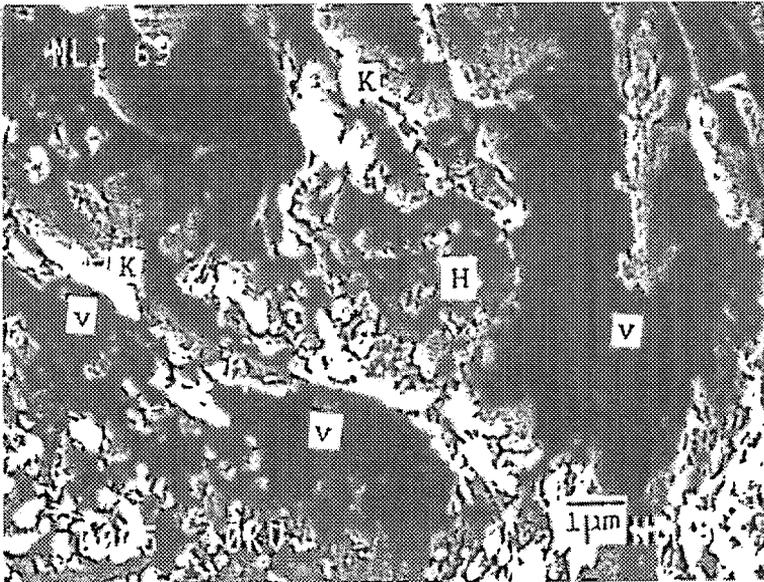


Photo 2 : MEB, petit bloc du même échantillon. De vagues formes de plaquettes de kaolinite sont discernables, l'hématite très fine apparaît plaquée sur les arêtes de kaolinite.

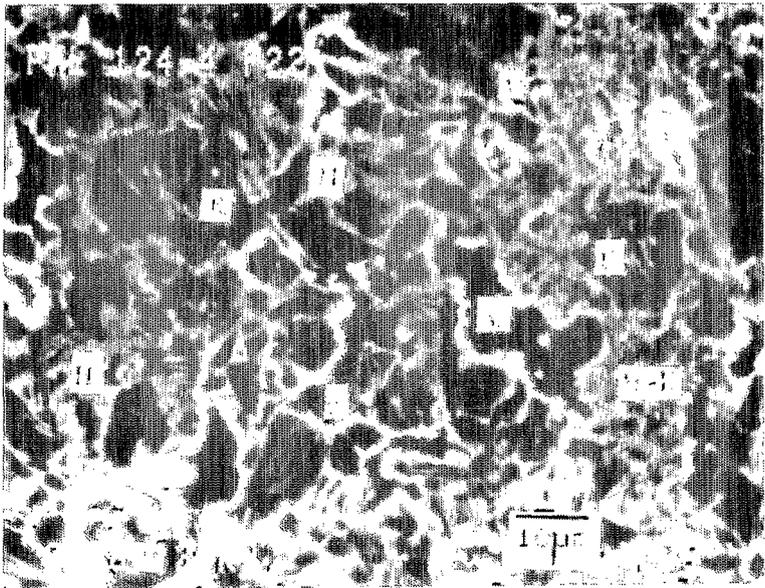
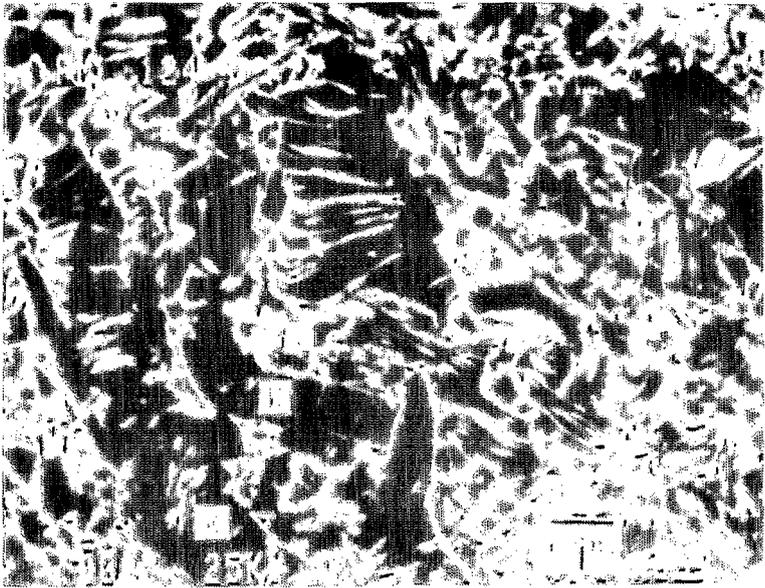


Photo 3 et 4 : MEB. Surface polie. Cuirasse riche en hémate à 52 % de Fe_2O_3 . La kaolinite en noir est contenue dans des fantômes de grands vermicules. En 4 on observe le cas courant de plages hémaitiques englobant de très petits îlots de kaolinite (H+K).

K : kaolinite, H : hémate, G : goethite, V : vide.