

Lithodépendance et homogénéisation de la composition minéralogique et chimique des cuirasses ferrugineuses latéritiques

Yves TARDY, Daniel MAZALTARIM, Jean-Loup BOEGLIN, Claude ROQUIN, Jean-Claude PION, Hélène PAQUET et Georges MILLOT

Résumé — Les cuirasses ferrugineuses qui coiffent les épais profils d'altération latéritique apparaissent comme des accumulations superficielles de fer qu'accompagne un cortège de minéraux résistants et d'éléments peu mobiles. Elles se mettent en place par descente verticale progressive du paysage et conservent en elles certains traits pétrographiques, minéralogiques et chimiques caractéristiques des colonnes de roches mères autrefois situées au-dessus et dont elles sont, par altération, le reliquat. Le principe de lithodépendance minéralogique et chimique s'applique d'autant mieux que les profils cuirassés sont plus jeunes et moins matures. La lithodépendance est finalement oblitérée par un mécanisme d'homogénéisation chimique qui finit par l'emporter, lorsque les profils sont évolués et âgés.

Lithodependence and homogenization of mineralogical and chemical composition in lateritic ferricretes

Abstract — Ferricretes covering thick lateritic profiles appears as a superficial accumulation of iron accompanied by a relative concentration of residual minerals and poorly mobile elements. They are formed during the progressive descent of landscapes and keep some of the mineralogical and the chemical characters of the column of parent rocks (previously located above) which have been altered and of which they are the relicts. The mineralogical and geochemical lithodependence of ferricretes can be applied to the young and immature profiles but is almost entirely obliterated by chemical homogenization and cannot properly concern the old and mature laterites.

Abridged English Version — In Western and Central Africa, the lateritic weathering mantle is very thick, widespread, and, in many cases, capped by old and largely developed ferricretes ([1] to [6]).

Ferricretes appear as relative or absolute accumulations of poorly mobile major elements such as iron, aluminum and silicon, minor or trace elements such as vanadium, chromium, phosphorus etc. and insoluble minerals such as quartz, ilmenite, tourmaline, zircon etc. These elements and minerals may concentrate *in situ* or may be shortly transported either in solution in the percolating waters or mechanically in the bioturbation products. The more soluble minerals are dissolved and the moderately and highly mobile elements are leached in solution and removed out of the lateritic landscapes. Aside from the resistant primary mineral (mainly quartz), ferricretes are most generally composed of a fairly constant secondary mineral assemblage made of hematite, goethite, kaolinite and sometimes gibbsite.

Despite their apparent homogeneity, ferricretes generally show a large diversity of mineralogical and chemical compositions, related to their age, degree of evolution and the nature of the parent rock from which they derive. Some very immature and recent ferricretes clearly show the mineralogical and the chemical signature of their parent rock; they are called lithodependent. On the contrary, in some others, mature and aged, mineralogical and chemical compositions are homogenized; the composition of the parent rock is almost totally erased; they may be called litho-independent.

The diversity of the petrographic facies or mineralogical and chemical compositions of the outcropping ferricrete samples make interpretation of the surficial geochemical prospection

Note présentée par Georges MILLOT.

signals difficult. For many years the question of the allochtony or autochtony of ferricretes was largely debated. Are they the result of lateral transportation of iron in solution precipitating in a lithodependent host weathered rock ([2], [3], [5])? Are they formed from long distance mechanically transported materials ([8] to [10]) so that they are entirely independent of the surrounding rocks? Are the lateritic mantles masks without any relation to the underlying rocks or skins developed on the parent materials formed below [7]?

These last 10 years, the question was reconsidered ([11] to [19]) and proof of the ferricrete autochtony have accumulated. Furthermore, in most of the cases, quartz and resistant minerals as well as iron and some trace element contents do reflect the composition of the underlying rocks and the lithodependence of ferricretes is now agreed upon.

In this paper, it is pointed out that the lithodependence principle can only concern the column of the parent rock previously located above which is—not in all—but in most of the cases, similar to unweathered material located below. It is also shown that the degree of lithodependence diminishes with the age and degree of evolution of the ferricrete. During the gradual alteration, a chemical homogenization takes place and all the ferricretes of different origins become similar. In this paper, it is finally pointed out that a continuous ferricrete covering a given morphological surface appears in fact as a patchwork of facies, differing in age, degree of evolution, mineralogical or chemical compositions and finally in the degree of their apparent lithodependence.

I. INTRODUCTION. — En Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale, les épaisses couvertures latéritiques sont souvent coiffées de cuirasses ferrugineuses d'âge et d'épaisseur variables ([1] à [6]).

Ces cuirasses présentent des compositions minéralogiques et chimiques assez variées. Elles sont généralement constituées de kaolinite, d'hématite, de goethite, de quartz et parfois de gibbsite. Elles apparaissent comme des accumulations de fer et d'aluminium. Certains minéraux comme le quartz mais aussi le zircon, l'ilménite ou la tourmaline peuvent s'y accumuler relativement. Certains éléments peu mobiles comme le phosphore, le vanadium, le chrome, le cuivre et le zinc peuvent s'y concentrer. Les autres éléments comme les métaux alcalins et alcalinoterreux sont généralement lessivés. Certaines cuirasses sont âgées et évoluées et ne présentent plus guère de traits apparents de ressemblance avec les roches mères dont elles sont supposées dériver par altération, si bien que la prospection géochimique des ressources cachées dans le substratum sain, à partir d'échantillons récoltés en surface, livre un message généralement difficile à décoder. Plusieurs questions se posent en effet : les cuirasses sont-elles des peaux ou des masques [7]? Ont-elles ou n'ont-elles pas de relations géochimiques avec les matériaux qu'elles recouvrent? Autrement dit, sont-elles autochtones et formées par altération, *in situ*, d'un matériau parental aujourd'hui disparu ou sont-elles allochtones, résultant en ce cas d'une mise en place par transport latéral du fer et des éléments qui l'accompagnent? Si ces formations sont autochtones, dans quelle mesure reflètent-elles par leur composition chimique ou minéralogique les roches saines dont elles sont issues?

Les théories allochtonistes ont mis en exergue les mouvements latéraux de fer en solution ([2], [3], [5]) ou les transports d'éléments figurés ([8] à [10]) sur d'importantes distances. Cependant, depuis plusieurs années, les preuves de l'autochtonie des cuirasses se sont multipliées ([11] à [19]) si bien que le débat a pu sembler clos, pour un temps. Ainsi de façon aujourd'hui assurée, peut-on dire que les cuirasses ferrugineuses montrent

souvent, par leur épaisseur, leur structure et leurs teneurs en fer, en quartz, en minéraux résistants et en éléments en trace, une dépendance structurale, minéralogique ou chimique, plus ou moins marquée, avec un matériau parental localisé à proximité immédiate. La roche mère est généralement supposée être la même que celle qui est située au-dessous. C'est ce qui fut appelé *lithodépendance* ([11] à [17]).

Naturellement, comprise ainsi, la lithodépendance ne se conçoit que si l'on admet le principe d'une descente verticale des fronts d'altération et des paysages latéritiques dans leur ensemble ([4], [6], [16], [17]), même si des différenciations latérales apparaissent [4]. On montre ici que ce principe ne s'applique pas *ex abrupto* à tous les cas rencontrés et que la réponse à la question posée reste encore à nuancer et à approfondir.

II. LES CUIRASSES DU HAUT GLACIS DE LA RÉGION DE GAOUA. — Dans la région de Gaoua, située au Sud du Burkina Faso, les cuirasses ferrugineuses sont attribuées à ce que l'on appelle le haut glacis communément daté du Quaternaire ancien ([3], [20]). Cependant, il apparaît rapidement, en parcourant la surface des plateaux cuirassés, qu'à l'affleurement, les échantillons indurés présentent des différences de faciès pétrographique qui se traduisent après analyse par des différences de compositions minéralogique et chimique importantes [22]. Ces différences sont attribuées à deux phénomènes distincts : une différenciation latérale des faciès, telle qu'elle fut décrite ([4], [21]), à laquelle peut s'ajouter une érosion de surface ([21] à [24]) qui décape, par plaques, les parties superficielles les plus évoluées et les plus riches en fer et met à nu les horizons situés au-dessous, moins évolués et moins riches en fer. On retrouve ainsi affleurant à un même niveau morphologique, tous les faciès reconnus de bas en haut dans les puits : argile tachetée, carapace, cuirasse pauvre en fer, cuirasse riche en fer. Érosion mécanique de surface et différenciation latérale peuvent se relayer et se succéder dans le temps, si bien que les cuirasses et les faciès indurés qui affleurent à la surface du haut glacis ne sont ni du même degré d'évolution, ni de la même composition chimique ou minéralogique. Les résultats des analyses chimiques et minéralogiques de 230 échantillons montrent clairement que la composition des cuirasses est essentiellement dépendante de deux facteurs. Sur une roche mère d'un certain type, la composition dépend principalement du degré d'évolution que l'on peut apprécier par la teneur en fer. A degré d'évolution donnée, la composition des cuirasses est, jusqu'à un certain point, dépendante de la composition des roches mères supposées identiques à celles qui actuellement sont situées au-dessous.

On a choisi ici de caractériser le degré d'évolution d'une cuirasse par sa teneur en fer. Ce critère est contestable dans la mesure où, avant toute altération, les roches basiques contiennent quatre fois plus de fer que les granites. Ainsi, à épaisseur et à teneur en fer égales, les cuirasses sur roches basiques devraient être quatre fois plus jeunes et, à âge égal, les cuirasses sur roches basiques devraient être quatre fois plus riches en fer et donc apparaître comme quatre fois plus évoluées que celles que l'on trouve sur granite. Cependant, le degré d'évolution peut être le même si, à teneur égale en fer, l'épaisseur est, dans le premier cas, quatre fois plus grande que dans le second. La vérité doit se situer entre les deux cas.

III. LITHODÉPENDANCE DES CUIRASSES PEU ÉVOLUÉES ET HOMOGÉNÉISATION GÉOCHIMIQUE DES CUIRASSES TRÈS ÉVOLUÉES. — Dans la région de Gaoua, au Sud du Burkina Faso, l'enfoncement récent du lit de la Volta Noire a provoqué une érosion marquée, qui a permis l'affleurement et a facilité le prélèvement et l'analyse de nombreux échantillons de roches mères. Six familles ont été distinguées, allant des granites acides riches en quartz à des laves basiques en passant par des schistes quartzeux. Les plateaux cuirassés

TABLEAU

Moyennes des compositions chimiques et minéralogiques des roches mères acides (RMA, comprenant granites et granito-gneiss) et basiques (RMB, comprenant laves basiques à neutres et brèches volcaniques) et de 37 cuirasses ferrugineuses qui leur sont associées : peu évoluées (CJA, sur roches acides), moyennement évoluées (CMA, sur roches acides et CMB, sur roches basiques) et très évoluées (CVA, sur roches acides et CVB, sur roches basiques; Moy. : moyenne des analyses CVA et CVB).

Average mineralogical and chemical composition of granitic rocks (RMA) and basic rocks (RMB) and of their associated ferricretes (37 samples): moderately evolved (CJA, on granites), mid-evolved (CMA, on granites and CMB, on basic rocks) and highly evolved (CVA, on granites and CVB, on basic rocks; Moy.: average CVA and CVB).

	RMA (n=6)	RMB (n=7)	CJA (n=2)	CMA (n=18)	CMB (n=10)	CVA (n=5)	CVB (n=2)	MOY (n=7)
SiO ₂	70,75	55,76	52,20	30,81	25,81	16,49	17,55	16,80
Al ₂ O ₃	14,56	15,12	10,52	14,87	18,70	14,53	12,94	14,07
Fe ₂ O ₃	2,01	9,17	27,59	42,67	42,90	57,54	56,27	57,18
MgO	0,68	4,95	0,09	0,10	0,11	0,04	0,11	0,06
CaO	2,39	7,60	0,20	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20
Na ₂ O	4,88	3,19	0,05	0,07	0,09	0,08	0,09	0,08
K ₂ O	2,14	0,64	0,26	0,11	0,20	0,06	0,15	0,09
Mn ₃ O ₄	0,03	0,17	0,04	0,20	0,15	0,10	0,15	0,12
P ₂ O ₅	0,11	0,16	0,15	0,27	0,23	0,27	0,31	0,28
TiO ₂	0,27	0,67	0,53	0,83	0,75	0,89	0,73	0,84
H ₂ O	1,27	3,17	7,23	9,45	10,79	9,32	11,48	9,94
SOMME	99,17	100,66	98,68	99,45	99,80	99,31	99,89	99,47
Sr	449	317	12	14	20	5	22	10
Ba	656	314	46	206	101	34	120	59
V	34	191	387	846	794	1194	1073	1160
Ni	9	55	48	54	49	69	72	70
Co	8	35	21	44	61	26	48	32
Cr	11	187	160	358	485	416	540	451
Zn	45	123	23	57	67	84	219	122
Cu	13	57	61	109	131	132	162	141
Sc	4	25	12	28	37	57	32	50
Y	5	15	11	11	11	11	18	13
Zr	127	75	224	214	210	147	119	139
La	26	9	8	14	11	8	11	9
Ce	44	27	36	80	62	35	43	37
Eu	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Yb	0,3	1,2	1,4	0,8	1,2	1,4	1,7	1,5
Lu	0,3	0,3	1,0	0,3	0,6	0,7	0,6	0,6
Nb	4	3	16	12	12	13	11	13
Qtz	28	8	43	17	9	3	5	4
Kaol			23	31	41	32	29	30
Goet			27	32	33	29	52	35
Héma			6	17	16	37	15	31
Gib			0	2	2	0	0	0
RPHG			18	35	32	56	23	47

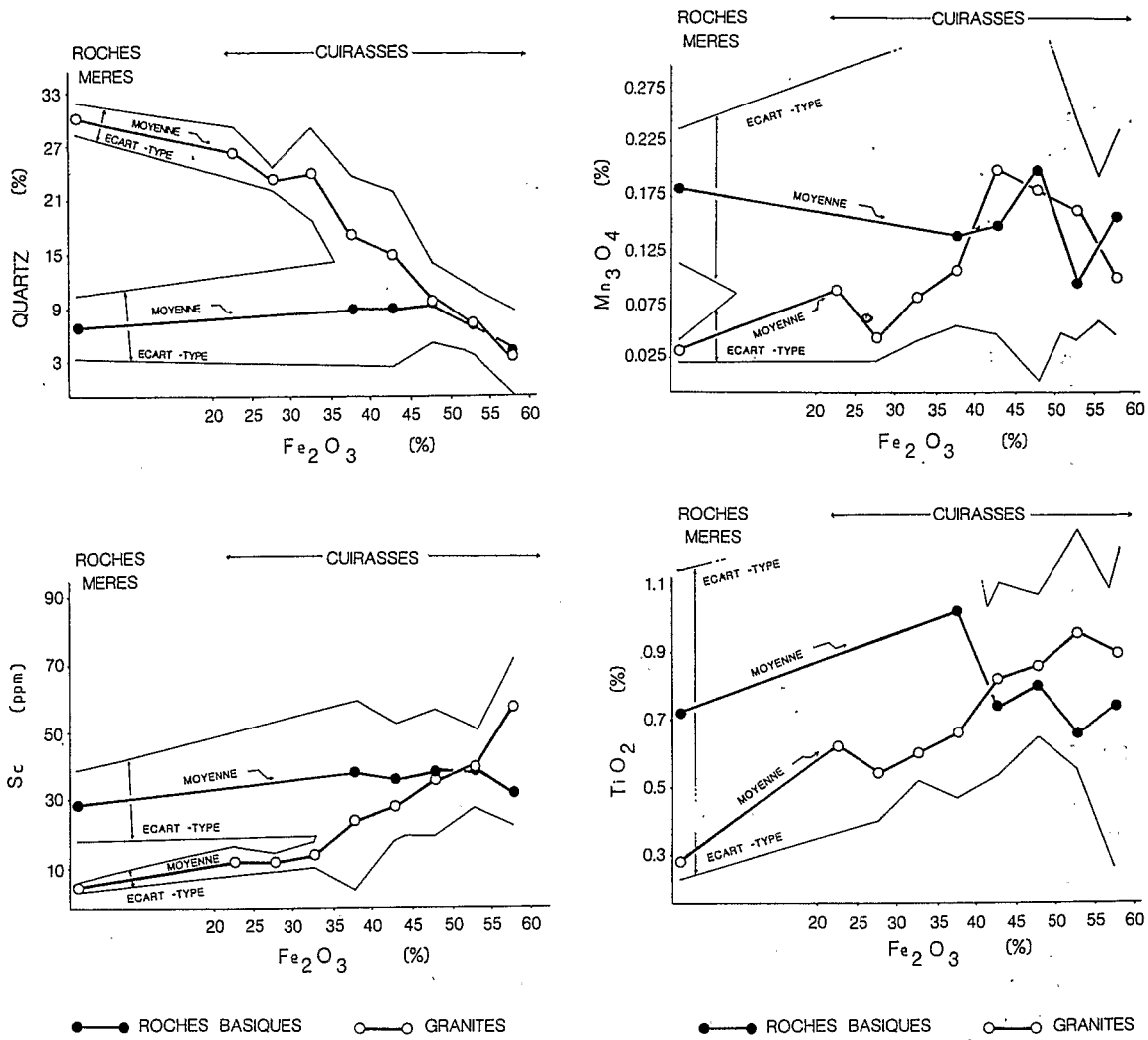
RPHG = 100 × Hematite / (Goethite + Hematite).

n = nombre d'échantillons, number of samples.

Note = Il n'y a pas d'échantillons dans la classe CJB, cuirasses peu évoluées sur roches basiques.

Note = There are no samples in the group CJB, the moderately evolved ferricretes on basic rocks.

sont nombreux et très découpés, si bien que leurs relations avec les roches mères présumées, situées au-dessous, sont bien établies. Sur ces plateaux, 230 échantillons de cuirasse ont été prélevés et soumis à l'analyse minéralogique (quartz, kaolinite, hématite, goethite, gibbsite) et chimique des éléments majeurs (10 éléments) et des éléments traces (18 éléments) ([22], [23]).



Exemple d'évolution comparée de la composition minéralogique (quartz) et chimique (Mn₃O₄, TiO₂ et Sc) de cuirasses de la région de Gaoua (Burkina Faso), formées sur roches mères basiques et sur roches mères granitiques. Pour les faibles teneurs en fer, les compositions sont séparées : il y a lithodépendance. Pour les fortes teneurs en fer, les compositions se rapprochent : il y a homogénéisation.

An example of the mineralogical and chemical composition of ferricretes of Gaoua (Burkina Faso) located on basic or granitic rocks. For low Fe₂O₃ contents, compositions are distinct: ferricretes are lithodependent. For high Fe₂O₃ contents, compositions are homogenized.

Sur chacune des deux familles de roches mères choisies ici pour illustrer notre propos : roches mères acides (RMA) et roches mères basiques (RMB), on distingue des cuirasses relativement pauvres en fer, jeunes et peu évoluées (CJA, sur roches acides), moyennement riches en fer et moyennement évoluées (CMA, sur roches acides et CMB, sur roches basiques) ou très riches en fer, très évoluées et très vieilles (CVA et CVB) (tableau). On note qu'il n'y a pas d'échantillons dans la classe CJB (cuirasses pauvres en fer sur roche basique).

Les résultats du tableau et de la figure montrent clairement que la composition des carapaces et des cuirasses, faiblement ou modérément évoluées (CJA, CMA, CMB), pour

un seul minéral résiduel (le quartz) et pour un certain nombre d'éléments traces (P, Ba, Cr, Sc, Ni, Zn, Cu, Ce, et La), est fortement influencée par celle des roches mères dont elles dérivent. A ce stade d'évolution peu ou modérément avancé, la conservation de la signature chimique des roches mères peut se marquer, aussi bien sur des minéraux et éléments qui se concentrent dans les cuirasses (P, Cr, Cu, Ni) que sur ceux qui, au contraire, en sont progressivement éliminés (Ba, Zn).

Dans les échantillons de cuirasses très évoluées et très riches en fer (CVA et CVB), en revanche, la lithodépendance et les relations entre roche mère et faciès d'altération s'estompent. Les différences observées deviennent du même ordre de grandeur que la dispersion des valeurs mesurées [23] (fig. 1).

Il y a donc homogénéisation minéralogique et géochimique des faciès cuirassés les plus riches en fer. Lorsque la concentration en fer (Fe_2O_3) atteint 55 à 60%, les minéraux primaires relictuels tels que le quartz et les autres minéraux résistants caractéristiques des roches mères, tendent à disparaître. Les éléments traces sont ventilés différemment et leurs teneurs sont liées aux proportions des minéraux secondaires dominants (kaolinite, goéthite, hématite, gibbsite). Les teneurs observées ne suivent plus la diversité de composition des roches mères mais convergent, comme la composition minéralogique des cuirasses, vers un ensemble de valeurs homogènes.

IV. COMPOSITION DU FACIÈS DE CUIRASSES LES PLUS RICHES EN FER REPRÉSENTATIF DU HAUT GLACIS. — Il devient de cette façon possible de caractériser le faciès de cuirasse représentatif du haut glacis par une analyse moyenne des cuirasses les plus riches en fer que l'on attribue aux cuirasses les plus évoluées et les plus âgées (tableau). Il semble clair que la composition minéralogique ou chimique correspond, dans ce cas, à une sorte de composition d'équilibre, acquise à la suite d'une lente maturation, au cours de laquelle le quartz est progressivement éliminé par dissolution et le fer se concentre de façon relative et absolue. Au cours de cette évolution, la teneur en aluminium et la teneur en kaolinite restent à peu près constantes, tandis que l'hématite augmente significativement par rapport à la goéthite. A ce stade ultime, les minéraux secondaires dominants sont la goéthite (40%), l'hématite (30%), la kaolinite (25%) et le quartz (4%). Les éléments mineurs ou traces qui s'accumulent alors d'une façon que l'on peut qualifier ici de *litho-indépendante* peuvent être soit incorporés dans les réseaux soit, c'est plus probable, adsorbés à la surface des minéraux secondaires [24]. Les teneurs finales d'équilibre dépendent donc surtout des quantités et des aires spécifiques de surface des minéraux secondaires qui demeurent stables dans les faciès les plus évolués.

V. CONCLUSIONS. — Les cuirasses ferrugineuses qui coiffent les épais profils d'altération latéritique du domaine intertropical apparaissent comme des accumulations superficielles de fer qu'accompagne un cortège de minéraux résistants (quartz, zircon, ilménite, tourmaline, etc.) et d'éléments peu mobiles majeurs (Al, Ti, Mn) ou en traces (P, V, Cr, Cu, Ni, Sc, Y, etc.).

1. Ces accumulations sont le résultat de la descente verticale du paysage latéritique, en surface, et du front d'altération des roches mères, en profondeur. Cette fonte du paysage [6] accumule ainsi, au fur et à mesure, les matériaux les moins solubles au sommet des profils d'altération. Les cuirasses ferrugineuses sont donc les témoins relictuels d'une grande épaisseur de roches, autrefois situées au-dessus de la surface actuelle du sol et aujourd'hui escamotées par altération, fonte chimique et érosion de surface. L'accumulation relictuelle augmente et l'épaisseur de la cuirasse grandit, au fur et à mesure du cheminement, vers le bas, des horizons superficiels du profil d'altération.

2. Le principe de lithodépendance des cuirasses ne s'applique donc aux roches situées au-dessous, que dans le cas de structures verticales et de matériaux homogènes sur une hauteur au moins égale à celle de l'enfoncement vertical du paysage. Dans le cas de structures obliques, la dispersion des accumulations de surface par rapport aux racines sous-cutanées est d'autant plus grande que l'inclinaison de la structure est forte et que l'enfoncement du paysage est important. Ainsi comprise, cette dispersion n'est donc pas l'effet d'une imperfection ou d'un défaut d'application du principe de lithodépendance; bien au contraire, elle en est une conséquence obligatoire.

3. L'enfoncement vertical implique que les différents horizons s'emboîtant les uns dans les autres sont d'autant plus riches en fer, en hématite, en kaolinite et sont d'autant plus pauvres en quartz et en minéraux résistants qu'ils sont plus évolués et donc plus âgés et qu'ils sont situés plus haut dans le profil.

4. Ce que l'on catalogue souvent comme surface ou glacis cuirassé d'un âge donné présente toujours, sans que l'on puisse à proprement parler d'entaille, des zones plus ou moins érodées en surface, où affleurent des faciès carapacés ou cuirassés d'âges et de degrés d'évolution différents. Ils appartiennent tous cependant au même système, au même glacis, mais ne sont pas du même âge [22]. En effet, il faut sans doute voir, dans les glacis cuirassés, la rectification de paysages déjà cuirassés et non pas le cuirassement de surfaces déjà rectifiées [25].

5. L'examen des variations de composition minéralogique et chimique des faciès indurés de degrés d'évolution différents montre que les latérites reflètent d'autant mieux les roches mères sous-jacentes qu'elles sont moins riches en fer, moins évoluées et plus jeunes. Le principe de lithodépendance s'applique donc bien aux argiles tachetées, aux carapaces et aux cuirasses pauvres en fer et riches en quartz (lorsqu'elles se trouvent sur roches mères acides). D'une façon générale, le principe de lithodépendance s'applique donc bien aux carapaces et aux cuirasses de ce que l'on appelle communément, dans le cadre de l'Afrique, le bas et le moyen glacis.

6. Pour l'ensemble des cuirasses qui présentent des teneurs en fer élevées et apparaissent ainsi comme évoluées et âgées, on observe une homogénéisation des compositions minéralogiques et chimiques ainsi qu'une convergence de faciès pétrographiques. A partir d'un certain degré d'évolution, tous les minéraux primaires résiduels sont dissous, les teneurs en éléments traces sont contrôlées par les phénomènes d'incorporation ou d'adsorption à la surface des fins cristaux de kaolinite, d'hématite ou de goethite présents en proportions déterminées. La composition des cuirasses devient indépendante de celle des roches mères. La lithodépendance n'est, d'une manière générale, plus décelable dans les faciès les plus évolués caractéristiques des surfaces anciennes comme, en Afrique, celles du haut glacis ou du relief intermédiaire. La lithodépendance est, *in fine*, oblitérée par un mécanisme d'homogénéisation. Ainsi, pour peu que le temps d'action de l'altération ait été assez long, toutes les cuirasses finissent par se ressembler, quelle qu'ait été la nature des roches mères qu'elles ont pu remplacer et donc finalement quel que soit leur âge, pour peu que celui-ci soit assez grand.

Ce travail a été mené dans le cadre de l'A.T.P. Latérites du C.N.R.S., de l'opération Latérites du Programme PIRAT de l'I.N.S.U. et de l'O.R.S.T.O.M. et dans les perspectives du Réseau Européen d'Étude des Latérites EUROLAT.

Note reçue le 3 octobre 1988, acceptée le 10 octobre 1988.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] L. C. KING, *Quat. J. Geol. Soc. London*, 104, 1948, p. 439-459.
 [2] R. MAIGNIEN, *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 16, 1958, 239 p.
 [3] P. MICHEL, *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 63, 1973, 752 p.
 [4] D. NAHON, *Mém. Sci. Géol.*, 44, 1976, 232 p.
 [5] M. J. MCFARLANE, *Laterite and landscape*, Academic Press, 1976, 151 p.
 [6] J. C. LEPRUN, *Mém. Sci. Géol.*, 58, 1979, 224 p.
 [7] G. MILLOT et H. PAQUET, *La Recherche*, 7, n° 65, 1976, p. 236-244.
 [8] M. LAMOTTE et G. ROUGERIE, *Rev. Géomorphol. Dyn.*, 13, 1962, p. 145-160.
 [9] J. VOGT, *Bull. Ass. sénégalaise Et. Quatern.*, 16, 1967, p. 23-26.
 [10] G. SERET, *Acta geologica hispanica*, 13, n° 5, 1978, p. 145-147.
 [11] A. BLOT, J.-C. PION et J. M. WACKERMANN, *Cath. O.R.S.T.O.M.*, sér. Géol., 5, 1973, p. 25-34.
 [12] J. M. WACKERMANN, *Thèse Sc. U.L.P.*, Strasbourg, 1975, 373 p.
 [13] A. BLOT, M. CARN, J. C. LEPRUN et J.-C. PION, *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. Géol., 8, 1976, p. 113-146.
 [14] A. BLOT, J. C. LEPRUN et J.-C. PION, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 18, n° 7, 1976, p. 45-49 et p. 51-54.
 [15] A. BLOT, J. C. LEPRUN et J.-C. PION, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 286, série D, 1978, p. 1331-1334.
 [16] R. BOULET, *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 85, 1878, 272 p.
 [17] J.-C. PION, *Sci. Géol. Mém.*, 57, 1979, 220 p.
 [18] W. SCHELLMANN, *Chem. Erde*, 45, 1986, p. 39-52.
 [19] J. C. LEPRUN, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 275, série D, 1972, p. 1207-1210.
 [20] J. MARCELIN, *Notice Carte Géol. Gaoua-Batié*, B.R.G.M., 1971, 31 p.
 [21] H. ZEEGERS et J. C. LEPRUN, *Bull. B.R.G.M.*, Orléans, II, n° 2-3, 1979, p. 229-239.
 [22] J.-L. BOEGLIN, *Thèse Sc. U.L.P.*, Strasbourg, 1989.
 [23] D. MAZALTARIM, *Thèse Sc. U.L.P.*, Strasbourg, 1988.
 [24] Ph. FREYSSINET, *Thèse Sc. U.L.P.*, Strasbourg, 1988.
 [25] G. MILLOT, *Mém. h. sér. Soc. géol. Fr.*, 10, 1980, p. 295-305.

Y. T., D. M., C. R., H. P. et G. M. : Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface, C.N.R.S.
 et Institut de Géologie, U.L.P., 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex;

J.-L. B. et J.-C. P. : O.R.S.T.O.M.,
 Institut français de Recherche pour le Développement en Coopération,
 213, rue Lafayette, 75480 Paris Cedex.