

GÉOCHIMIE, DEGRÉS D'ÉVOLUTION ET LITHODÉPENDANCE DES CUIRASSES FERRUGINEUSES DE LA RÉGION DE GAOUA AU BURKINA FASO

Jean-Loup BOEGLIN* et Daniel MAZALTARIM**

RÉSUMÉ — Dans le paysage de la région de Gaoua (Burkina Faso) subsistent de nombreux plateaux et buttes coiffés par des cuirasses qui sont attribuées dans la majorité des cas au « haut glacis » ; les niveaux plus anciens ne sont représentés que par un lambeau bauxitique, ou par des reliques incorporées dans des dalles de formation postérieure ; quelques rares encroûtements du « moyen glacis » constituent les seuls témoins de niveaux plus récents. Les résultats minéralogiques et géochimiques obtenus sur les différentes familles de cuirasses montrent notamment que le rapport hématite/goethite croît avec la teneur en fer et avec l'âge des niveaux. Une classification portant sur 224 échantillons de cuirasses du « haut glacis » a été établie en fonction de la teneur en fer, considérée ici comme un bon indice de leur degré d'évolution. On note une augmentation du rapport hématite/goethite au fur et à mesure que les cuirasses sont plus évoluées, c'est-à-dire plus ferrugineuses, plus pauvres en quartz et plus riches en kaolinite. La juxtaposition, à la surface d'un plateau d'âge donné, de faciès de degrés d'évolution différents, pourrait refléter l'intensité variable de l'érosion suivant les zones. Le comportement des éléments au cours du cuirassement a été étudié en fonction des trois grands types de substrats reconnus dans la région. On observe que les teneurs en éléments chimiques convergent jusqu'à s'uniformiser dans les cuirasses et que la lithodépendance, encore visible dans les faciès les moins évolués, s'estompe au fur et à mesure de l'enrichissement en fer.

Cuirasses ferrugineuses, Minéralogie, Géochimie, Lithodépendance, Burkina Faso

Geochemistry, evolution stages and lithodependency of ferricretes in the Gaoua area (Burkina Faso)

ABSTRACT — A large number of plateaus, capped by ferricretes essentially attributed to the geomorphologic level called « high glacis », remain in the landscape of the Gaoua area (Burkina Faso, formerly Upper Volta) ; older ferricrete levels are only represented by a scarp of bauxite, or by relicts (pieces included in later slabs) ; concerning younger levels, some rare crusts of the « middle glacis » can be found. These different families are characterized by their hematite/goethite ratio, which appears increasing with the iron concentration and with the age of the ferricretes. A classification over 224 samples all collected on the « high glacis » was established from their iron content, considered here as a good index of the evolution stage. An increase of the hematite/goethite ratio is noticed, concomitantly with an enrichment in kaolinite and an impoverishment in quartz, as ferricretes become more advanced in age and in their degree of evolution. Over a ferricrete surface of a given age, several facies outcrop ; the juxtaposition of these facies, corresponding to different stages of evolution, shows that differential erosion processes may have taken place. The behavior of chemical elements during ferricrete formation was studied according to the three principal types of substratum recognized in the area. Lithodependency, rather clearly expressed in the youngest facies, disappears as ferricretes are enriched in iron. Effectively, the chemical compositions converge and tend to be homogenized in the oldest ferricretes.

Ferricretes, Mineralogy, Geochemistry, Lithodependency, Burkina Faso

INTRODUCTION

La zone ouest de Gaoua, en pays lobi, a été choisie comme cadre d'une étude régionale à caractères géomorphologique, pétrographique, minéralogique et géochimique sur les formations cuirassées. La ville de Gaoua, au Burkina Faso (anciennement Haute-Volta), est située à 300 km au SW de Ouagadougou, la capitale (fig. 1).

* ORSTOM, 213 rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10, France.

** Centre de Géochimie de la Surface (CNRS), 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 31.722 ex 1

Cote B

27 MARS 1991

p. 22

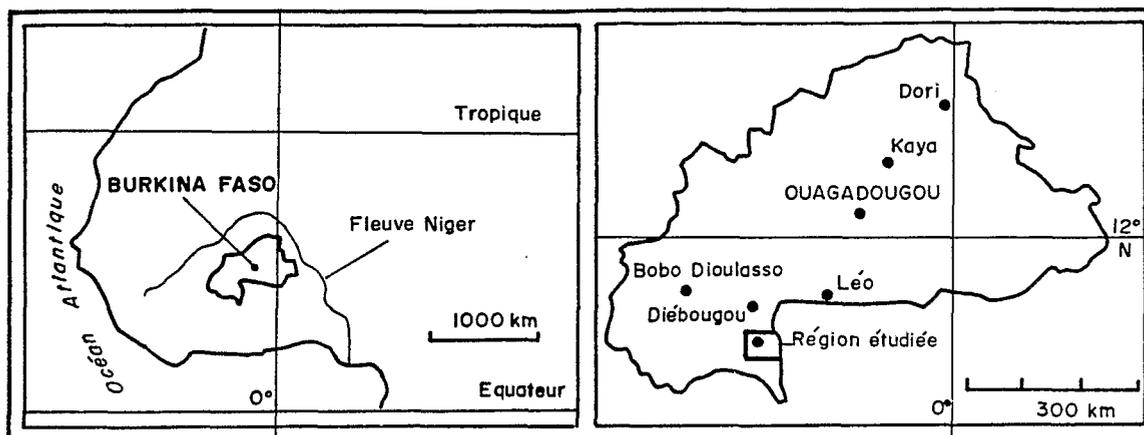


Fig. 1 — Carte de situation du Burkina Faso et de la région de Gaoua.
Location map of Burkina Faso and of the Gaoua area.

Ce choix a été motivé par deux raisons principales.

- La région étudiée (d'une superficie de 1700 km²) est en effet située sur une zone charnière intermédiaire entre le domaine tropical humide au Sud — où MAIGNIEN (1965) effectua les premiers travaux sur la genèse des cuirasses ferrugineuses —, et soudano-sahélien au Nord — où ont été menées les recherches de LEPRUN (1979) et d'AMBROSI (1984). Le secteur étudié, compris entre 10° et 10°30' de latitude nord, est soumis à un climat de type soudano-guinéen.
- L'autre raison tient au fait que la zone est, à cause de son intérêt minier (cuivre et or), relativement bien connue pour ce qui est de la géologie. Une cartographie régionale (MARCELIN, 1971) et une étude pétrographique des secteurs minéralisés (GAMSONRE, 1970) y ont notamment été réalisées. Les principaux types lithologiques décrits peuvent localement être retrouvés en place.

Après un aperçu sur le milieu naturel, on exposera les observations de terrain, essentiellement relatives à la géomorphologie et aux faciès pétrographiques des cuirasses. Les résultats analytiques, minéralogiques et chimiques, obtenus à partir de 254 prélèvements de cuirasses (dont 224 du « haut glacis ») et 22 échantillons du substratum, ont permis de caractériser différentes familles de cuirasses, et d'étudier les relations entre la composition chimique des roches mères et celle des cuirasses qui les recouvrent, dans le but de réexaminer le problème de la lithodépendance.

I — CADRE NATUREL

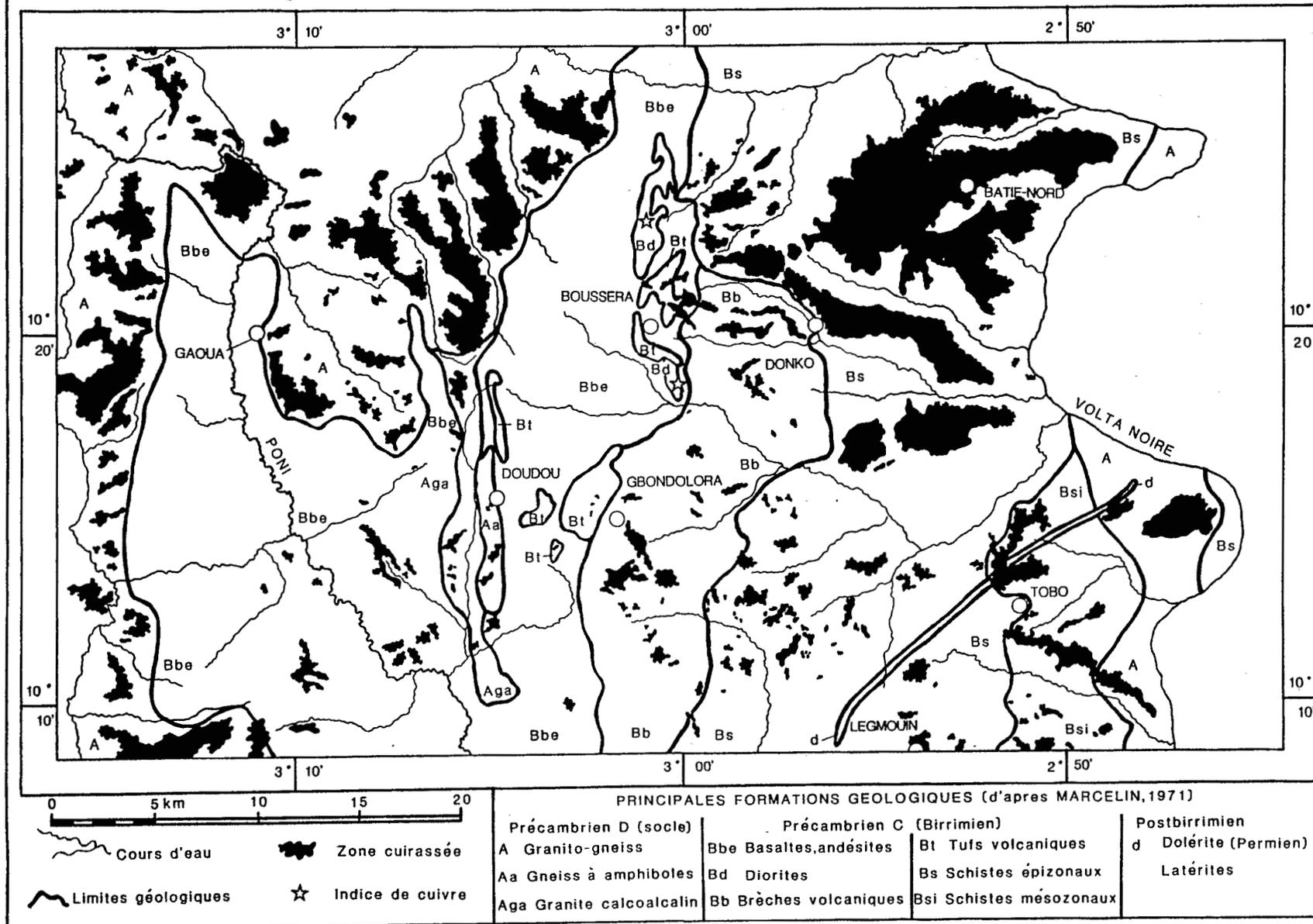
1. Géologie

Sur la carte de la région de Gaoua-Batié, MARCELIN (1971) distingue fondamentalement les granites du socle, les roches birrimiennes et les formations postbirrimiennes. Les principaux types lithologiques reconnus par cet auteur sont reportés sur la carte géologique selon la figure 2.

Le socle (Précambrien D) comprend essentiellement des granito-gneiss indifférenciés, accessoirement des orthoamphibolites et des granites calco-alkalins à biotite ; ces roches ont en général été affectées par l'orogénèse libérienne (vers 2700-2600 Ma). On trouve surtout les formations du socle dans la partie ouest de la région étudiée, mais elles ont également été décrites à l'extrême Est, en bordure de la Volta Noire.

Fig. 2 — Carte des cuirasses et des formations géologiques de la région de Gaoua. Map of ferricretes and of bedrocks in the Gaoua area.

CARTE DES CUIRASSES DE LA REGION DE GAOUA (BURKINA FASO)



Les roches birrimiennes (Précambrien C) constituent le remplissage, entre 2300 et 2100 Ma, du sillon subméridien de Boromo-Gaoua. Y ont été reconnus suivant l'ordre chronologique, correspondant à une séquence W-E : des laves basiques à neutres (« roches vertes » du type basalte ou andésite), avec quelques intrusions de gabbros ou de diorites, ces dernières induisant des reconcentrations en cuivre ; des roches pyroclastiques (brèches et agglomérats volcaniques, tufs) de composition andésitique ; des schistes quartzo-argileux d'origine sédimentaire, métamorphisés dans l'épizone (localement dans la mésozone). Plus tard dans le système birrimien ont été mis en place, jusque vers 1700 Ma, quelques petits massifs de granitoïdes éburnéens.

Les formations postbirrimiennes peuvent être rattachées à trois épisodes très étalés dans le temps : intrusions tholéïtiques permienne, altération latéritique tertiaire et quaternaire, et alluvionnement récent.

2. Géomorphologie

Le paysage de la région de Gaoua comporte fondamentalement trois éléments : le fond pénéplané, les collines, les plateaux cuirassés ; ils sont représentés sur la coupe de la figure 3.

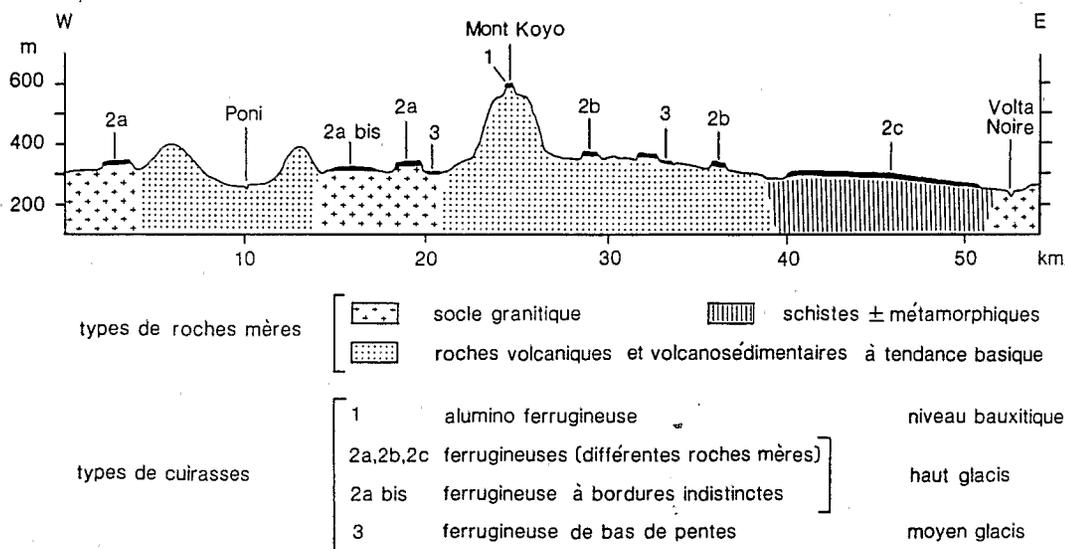


Fig. 3 — Coupe synthétique W-E de la région de Gaoua, situant les principaux niveaux de cuirasses ferrugineuses ou bauxitiques.
W-E synthetic cross section of Gaoua area. Different levels of ferricretes and bauxites.

Le fond aplani caractéristique de l'Afrique soudanienne (DRESCH, 1953) apparaît mollement ondulé dans les zones du socle, ou légèrement déprimé sur substrat schisteux (en bordure de la Volta Noire) ; son altitude est comprise entre 250 et 360 m.

Les collines, alignées en une chaîne d'orientation approximativement N-S (à l'Est de Gaoua), correspondent aux roches vertes du sillon birrimien qui affleurent abondamment en boules d'aspect sain. Les reliefs, fortement escarpés, peuvent dépasser 500 m d'altitude (le Mont Koyo culminant à 592 m). On observe des dépressions périphériques en contrebas des collines, en particulier au niveau du contact avec le socle.

Les cuirasses ont une grande importance dans le paysage, comme l'ont souligné DAVEAU *et al.* (1962). Elles apparaissent de façon plus ou moins nette selon leur escarpement et leur dénivelée par rapport au fond. Plusieurs auteurs ont proposé une chronologie relative des niveaux cuirassés (les plus anciens étant les plus élevés dans la topographie) en Afrique de l'Ouest ; c'est notamment le cas de MICHEL (1969) en Guinée et au Sénégal, de BOULET (1970) au Burkina Faso septentrional, de GRANDIN (1973) en Côte-d'Ivoire. Ainsi ont été distinguées, des plus anciennes aux plus récentes : les bauxites de trois surfaces successives, la cuirasse ferrugineuse du niveau intermédiaire, les cuirasses ferrugineuses des haut, moyen, et éventuellement bas glacis. On ne retrouve pas tous ces niveaux dans la région de Gaoua. ESCHENBRENNER et GRANDIN (1970) y ont reconnu un lambeau de surface

bauxitique coiffant le Mont Koyo, de nombreuses buttes et plateaux du haut glacis, le moyen glacis cuirassé de façon très discontinue. Nous essayerons par la suite de compléter ces observations.

Le réseau hydrographique est dense mais la plupart des marigots, dont l'entaille est assez faible, ne sont fonctionnels qu'après les grosses averses. Les collecteurs les plus importants peuvent être fortement incisés, mais seule la Volta Noire présente un régime permanent. L'importante érosion observée à l'échelle régionale est vraisemblablement consécutive à l'enfoncement de cette rivière. Pour HUBERT (1912), la Volta Noire était à l'origine un affluent du fleuve Niger ; c'est la mise en place de barrages dunaires dans les zones sahéliennes lors d'un épisode aride du Quaternaire récent qui aurait provoqué son changement de tracé.

3. Climat

La région étudiée appartient au domaine climatique soudano-guinéen. Les valeurs citées ci-dessous (MONIOD *et al.*, 1977) correspondent pour la zone de Gaoua aux années 1949 à 1973.

- Pluviosité annuelle moyenne : 1122 mm, essentiellement répartie entre mai et octobre (depuis 1973, année de la grande sécheresse dans le Sahel, les valeurs annuelles ont pu tomber en dessous de 1000 mm).
- Température annuelle moyenne : 27,6 °C, avec le maximum en mai à 31,6 °C et un minimum en août à 25,4 °C.
- Humidité relative moyenne de l'air : 63 %, variant entre 23 % en février et 81 % en août et septembre.
- Evapotranspiration potentielle annuelle suivant la formule de Turc : 1876 mm.

La végétation est du type savane arborée à néré et karité.

4. Pédologie

La carte des sols de ce secteur du Burkina Faso a été établie par RIEFFEL et MOREAU (1969). La répartition des sols reflète le fond géologique. Les sols ferrugineux tropicaux, qui recouvrent les deux tiers de la surface de la région étudiée, correspondent aux zones du socle et des schistes birrimiens ; les sols bruns eutrophes coïncident avec les substratums du type roches volcaniques et pyroclastiques neutres à basiques du Birrimien. Sur les plateaux cuirassés, les sols sont peu évolués (lithosols), souvent gravillonnaires. Quant aux sols ferrallitiques, résultat d'une altération latéritique plus intense, ils n'apparaissent qu'au Sud du secteur qui nous intéresse, vers la frontière de la Côte-d'Ivoire.

II — LES CUIRASSES : OBSERVATIONS DE TERRAIN

Sur le fond géologique ont été reportés (fig. 2) le réseau hydrographique et les contours des zones cuirassées, déterminés d'après les photographies aériennes (IGB, 1983).

1. Extension du cuirassement à l'échelle régionale

A la suite d'une planimétrie sur l'ensemble de la zone étudiée (1700 km²), il s'avère que seulement 15 % de la surface sont recouverts par des cuirasses. La proportion de ces cuirasses change suivant la nature de la roche mère : les séries de socle (510 km²) sont cuirassées sur 22 % de leur superficie ; sur les divers schistes métamorphiques (560 km²), cette valeur est de 21 % ; pour les roches volcaniques ou pyroclastiques à tendance basique (610 km²), le taux de recouvrement par les cuirasses n'est que de 4 %. La proportion de surface cuirassée est donc relativement faible à l'échelle régionale. Ces chiffres ne traduisent pas nécessairement les différences d'aptitude au cuirassement des trois types de substratum considérés. Ils refléteraient plutôt le fait que les cuirasses formées sur les roches à tendance basique se sont beaucoup moins bien conservées jusqu'à nos jours que celles dérivant des granites du socle ou des schistes.

2. Morphologie du relief : étagement des surfaces d'aplanissement

Les relations entre contours des surfaces cuirassées et réseau hydrographique semblent indiquer qu'un niveau cuirassé, jadis plus étendu, a été découpé et morcelé par l'érosion. Les pentes locales des plateaux actuels montrent d'ailleurs une liaison étroite avec le tracé des marigots. Cette incision conduit à des témoins cuirassés de taille très variable : de quelques milliers de mètres carrés pour les buttes les plus petites jusqu'à quelques dizaines de kilomètres carrés pour les grands plateaux cuirassés de la zone nord-est proche de la Volta Noire. La faible proportion de surface cuirassée qu'on observe actuellement sur les roches à tendance basique pourrait résulter d'une érosion plus forte dans ces zones, par ailleurs davantage en relief dans le paysage. Sur la figure 3, ont été représentés les différents niveaux de cuirasses de la région de Gaoua, déjà reconnus par ESCHENBRENNER et GRANDIN (1970). Nous en précisons ci-dessous les principales caractéristiques, sans que notre propos, dans ce travail à caractère essentiellement géochimique, soit de discuter ou de démontrer l'appartenance de ces niveaux cuirassés aux différentes surfaces définies dans les modèles classiques (MICHEL, 1969).

a) *Le niveau bauxitique*

Le niveau bauxitique rattaché à la surface africaine, d'âge Eocène, n'est représenté que par un lambeau de cuirasse alumino-ferrugineuse (fig. 3, type 1) sur le Mont Koyo, point culminant du secteur ; cette colline de 592 m d'altitude accuse par rapport au fond topographique environnant une dénivelée de plus de 200 m. Les faciès sont généralement pisolitiques, cette tendance pouvant être plus ou moins marquée ; les éléments, d'une taille comprise entre 3 mm et 10 mm, sont de teinte brun-rouge sombre ou gris à éclat métallique (hématite), plus rarement blanchâtre ou crème (gibbsite) ; la matrice, homogène, apparaît souvent plus claire que les pisolites, montrant des couleurs beige à brun-rougeâtre ; on ne reconnaît pas de quartz à l'oeil nu. Compte tenu de leur aspect ferrugineux ne rappelant guère celui des bauxites blanches ou rosées classiques, on a préféré désigner ces faciès rencontrés sur le Mont Koyo sous le nom de cuirasse alumino-ferrugineuse.

b) *Le relief intermédiaire*

Les cuirasses ferrugineuses du niveau intermédiaire n'ont pas été retrouvées dans le paysage de la zone étudiée.

c) *Le haut glacis*

Les cuirasses du haut glacis, d'âge présumé Quaternaire ancien à moyen, recouvrent la quasi-totalité des buttes et des plateaux de la région de Gaoua. D'altitude comprise entre 260 et 370 m suivant les variations du fond, ils ont une hauteur de commandement de 10 à 20 m en général (pouvant exceptionnellement atteindre 40 m). On commence à trouver les cuirasses de haut glacis à partir de 2 km autour du Mont Koyo ; jamais elles ne coiffent de reliefs élevés, comme les collines de roches vertes birrimiennes. Suivant leur roche mère, les cuirasses du haut glacis correspondent aux types 2a, 2b ou 2c de la figure 3. Les caractères macroscopiques généralement observés sur ces faciès cuirassés sont précisés ci-dessous. L'organisation est du type nodulaire ou pseudonodulaire. Les éléments nodulaires, d'une taille comprise entre 3 mm et 10 mm, ont une teinte brun-rougeâtre ou violacée ; ils comportent souvent un liséré jaunâtre à brunâtre ; certains éléments violacés bien individualisés, qu'on ne trouve apparemment que sur les roches mères à tendance basique, présentent un aspect lithorelictuel. La matrice argilo-ferrugineuse de teinte dominante jaunâtre à brunâtre semble d'autant plus indurée et d'autant moins poreuse et évidée qu'elle est mieux ferruginisée. Les grains de quartz, de taille submillimétrique à plurimillimétrique, sont généralement assez abondants à abondants (dans quelques échantillons toutefois, le quartz paraît rare à l'oeil nu) ; quand les éléments de quartz sont très nombreux et de dimensions excédant 5 mm, on considère qu'ils proviennent de la désagrégation de filons présents dans la roche mère. On assimile au niveau du haut glacis les cuirasses à bordures indistinctes (type 2a bis de la figure 3) ; celles-ci se trouvent à la partie supérieure de certaines ondulations, dans les zones de socle. Ces cuirasses sont peu apparentes dans le paysage : leur surface comporte souvent un recouvrement pédologique, et leurs bordures ne sont pratiquement pas marquées. En revanche le faciès, bien induré et riche en quartz, ressemble beaucoup à

celui des cuirasses qu'on a rattachées précédemment au haut glacis. Les cuirasses à bordures indistinctes dériveraient de dalles du haut glacis dont les rebords ont été émoussés ou écornés.

d) Le moyen glacis

Au niveau du moyen glacis ont été attribuées les cuirasses qu'on trouve en contrebas des rebords de certaines dalles du haut glacis. Peu représentées sur l'ensemble de la région, ces cuirasses de bas de pente (type 3, fig. 3) sont apparentes à la faveur des incisions de marigots. Peu épaisses et assez mal indurées, elles ont un faciès conglomératique, hétérogène, riche en grains de quartz, poreux, parfois à tendance terreuse ; en fait, il s'agit plutôt de carapaces.

3. Les boules de cuirasse violacées sont-elles des témoins du niveau intermédiaire ?

On trouve assez fréquemment inclus dans les dalles du haut glacis des éléments cuirassés subarrondis, bien individualisés, d'un diamètre généralement compris entre 10 et 30 cm (exceptionnellement jusqu'à un mètre). A la cassure, ces boules révèlent un faciès à tendance nodulaire, de teinte dominante violacée, et apparemment dépourvu de quartz. Ce faciès caractéristique, nettement distinct de celui de la cuirasse englobante, pourrait être attribué à un niveau cuirassé plus ancien, très probablement au niveau intermédiaire. Ces boules constitueraient alors des fragments préservés et très évolués du niveau intermédiaire repris dans des cuirasses plus récentes, dans ce cas du haut glacis.

III — RÉSULTATS ANALYTIQUES ET INTERPRÉTATION

1. Méthode d'étude

Les déterminations minéralogiques par diffraction des rayons X ont été effectuées sur 254 échantillons de cuirasses provenant de la région de Gaoua ; la grande majorité est du type nettement ferrugineux, les quelques cuirasses plutôt alumino-ferrugineuses correspondant à une ancienne surface bauxitique. Ont été identifiés le quartz, la goethite, l'hématite, la kaolinite et accessoirement la gibbsite ; la boehmite n'apparaît que dans certains faciès rattachés aux bauxites. La hauteur de leurs pics caractéristiques a permis une estimation quantitative de ces minéraux.

Les dosages chimiques sur les cuirasses et les 22 échantillons de roches mères ont été réalisés par spectrométrie d'émission (torches à plasma). Outre les majeurs, ont été dosés 13 éléments traces (Sr, Ba, V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Sc, Y, Zr, Nb, As) et 5 terres rares (La, Ce, Eu, Yb, Lu). Les teneurs en arsenic, toujours inférieures ou très proches du seuil de détection (200 ppm), ne seront pas prises en compte dans ce travail.

Les analyses minéralogiques et chimiques ont été effectuées au Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg. Le traitement informatique des données a été mené grâce au logiciel SAS (SAS Institute Inc., Cary, N.C., 2711, USA).

2. Roche mères

Les cuirasses de la région étudiée sont développées sur six principaux types de roches ; les analyses moyennes pour chacun de ces types sont données dans le tableau I. Pour la suite, on les regroupera en trois grandes familles pétrographiques : le socle granitique ou granito-gneissique (correspondant à A et Aga dans la légende de la figure 2), les laves et brèches volcano-sédimentaires basiques à neutres (Bbe et Bb), les schistes plus ou moins métamorphisés (Bs et Bsi).

Dans le socle, les teneurs élevées en silice (environ 70 %), alumine, sodium et potassium rendent bien compte d'une roche acide à feldspaths et micas. Sont en forte teneur dans le socle les traces suivantes : Sr, Ba (classiquement associés aux feldspaths), Zr (provenant des zircons), ainsi que La et Ce.

Tableau I
 Moyennes des compositions chimiques des principales roches mères du secteur de Gaoua, Burkina Faso
 (n : nombre d'échantillons ; m : moyennes ; s : écarts-types)
 Mean chemical compositions of the principal parent rocks in the Gaoua area, Burkina Faso
 (n : number of samples ; m : mean values ; s : standard deviations)

	A (n=2)		Aga (n=4)		Bs (n=4)		Bsi (n=5)		Bb (n=4)		Bbe (n=3)	
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s
SiO ₂	69.39	0.62	71.43	1.81	65.49	8.31	64.58	4.67	56.55	7.00	54.70	4.81
Al ₂ O ₃	14.66	0.07	14.51	0.39	15.07	1.52	15.99	1.90	16.27	2.90	13.57	1.36
Fe ₂ O ₃	2.60	0.03	1.72	0.70	10.84	8.64	7.11	1.86	7.57	2.30	11.29	4.46
MgO	0.93	0.06	0.56	0.17	0.19	0.08	1.98	1.03	3.89	1.53	6.36	2.31
CaO	3.13	0.23	2.01	0.43	0.20	0	1.17	1.02	7.09	0.84	8.28	1.58
Na ₂ O	4.86	0.09	4.88	0.37	0.46	0.23	2.29	1.52	3.53	0.95	2.74	0.82
K ₂ O	1.17	0.04	2.62	1.21	1.91	0.81	2.16	1.22	1.02	0.47	0.12	0.1
Mn ₃ O ₄	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.11	0.07	0.17	0.06	0.17	0.08
P ₂ O ₅	0.12	0.01	0.10	0.01	0.12	0.02	0.13	0.02	0.15	0.04	0.17	0.06
TiO ₂	0.33	0.03	0.25	0.06	0.58	0.11	0.82	0.21	0.54	0.09	0.85	0.63
H ₂ O	1.08	0.71	1.36	1.3	4.32	0.57	3.50	0.91	3.79	2.04	2.35	1.26
SOMME	98.44	0.12	99.53	1.17	98.04	0.61	99.89	0.22	100.67	0.21	100.65	0.59
Sr	540	33	403	128	137	87	206	106	379	147	235	118
Ba	452	175	758	381	468	169	519	240	505	303	58	37
V	44	4	30	13	116	43	148	35	154	38	240	126
Ni	12	1	8	4	43	24	62	26	42	8	71	36
Co	10	1	7	2	9	3	24	10	29	11	44	17
Cr	13	0.3	10	2	77	22	146	77	113	62	284	248
Zn	49	2	43	8	47	27	90	29	149	153	88	46
Cu	15	10	12	4	47	22	41	18	59	39	54	48
Sc	5	2	3	1	16	4	20	5	21	6	32	13
Y	5	1	5	1	20	6	19	4	12	2	19	14
Zr	114	25	133	11	149	39	127	16	75	26	75	26
La	30	2	24	7	11	5	19	5	7	3	12	13
Ce	43	15	45	8	31	8	38	15	25	11	28	11
Eu	1.1	0.3	1.1	0.2	1.1	0.3	1.1	0.1	1.0	0	1.0	0.3
Yb	0.4	0.1	0.3	0.2	1.9	0.8	1.7	0.4	0.9	0.4	1.7	1.6
Lu	0.3	0.1	0.3	0	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1
Nb	2.5	0.2	4.3	1.8	6.5	1.3	6.0	2.2	2.6	0.8	2.4	0.3

A : granito-gneiss ; Aga : granite calco-alcalin ; Bb : brèches volcaniques ; Bbe : laves basiques et neutres ; Bs : schistes ; Bsi : micaschistes

Les roches volcaniques et volcano-sédimentaires basiques ou neutres apparaissent relativement pauvres en silice (environ 55 % en moyenne) mais riches en fer, calcium, magnésium, sodium. Ces compositions correspondent à des roches de la série andésite-basalte (ou à des brèches volcaniques de même nature), à plagioclases et ferro-magnésiens dominants. Dans cette famille sont relativement bien représentés le titane et le manganèse (les teneurs moyennes en TiO₂ et Mn₃O₄ restant néanmoins inférieures respectivement à 0,90 % et 0,20 %). En ce qui concerne les éléments traces, on retrouve le cortège habituellement associé aux ferro-magnésiens : V, Ni, Co, Zn, Cu, Cr, ainsi que Sc.

Les schistes sont toujours riches en silice (de l'ordre de 65 % en moyenne), alumine et potassium ; ceci est dû à l'abondance du quartz et des micas du type muscovite-séricite. La teneur en fer est assez forte, peut-être à cause d'un début d'altération. En général, les teneurs en éléments mineurs et traces dans les schistes apparaissent intermédiaires entre celles du socle et celles des laves et roches volcano-sédimentaires à tendance basique. Seules les teneurs en Zr, Nb, Y et Yb se révèlent relativement élevées dans les schistes.

3. Caractéristiques analytiques des quatre niveaux cuirassés

Il s'agit de comparer certaines données minéralogiques et géochimiques significatives concernant les cuirasses des quatre niveaux reconnus dans la région de Gaoua : bauxitique, intermédiaire, de haut glacis et de moyen glacis. Le tableau II présente les teneurs moyennes en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, Mn₃O₄ ainsi que les

Tableau II

Caractéristiques analytiques moyennes des principales familles de cuirasses reconnues dans la région de Gaoua
(n : nombre d'échantillons ; Qtz : quartz ; Kaol : kaolinite ; Goet : goethite ; Héma : hématite ; Gibb : gibbsite ;
Boeh : boehmite ; G/H : goethite/hématite)

Analytical mean features of the principal ferricretes families recognized in the Gaoua area

types	n	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Mn ₃ O ₄	Qtz	Kaol	Goet + Héma	Gibb	Boeh	G/H
alumino-ferrugineux	4	6	25	55	1,87	0,04	1	10	58	25	5	0,2
boules de cuirasses	14	17	16	57	0,78	0,11	<1	37	62	<1	0	0,6
haut glacis	224	30	15	45	0,71	0,15	13	37	49	<1	0	2,1
de niveau inférieur	6	38	13	38	0,64	0,26	24	32	44	0	0	2,8
à bordures indistinctes	6	46	14	30	0,48	0,03	30	35	35	0	0	2,3

compositions moyennes en quartz, kaolinite, goethite, hématite, gibbsite et boehmite de ces différentes familles de cuirasses. Les valeurs du rapport goethite/hématite ont été calculées. Selon TARDY et NAHON (1985), les fortes proportions d'hématite caractérisent les vieilles cuirasses ; la goethite, dominante dans les faciès jeunes, subit une déshydratation progressive au cours du temps.

a) Les cuirasses alumino-ferrugineuses apparaissent très riches en fer, moyennement riches en alumine, pauvres en silice. Ces faciès se révèlent très riches en hématite (avec un rapport goethite/hématite moyen de l'ordre de 0,2), et la gibbsite y est bien représentée (25 % en moyenne). La kaolinite est relativement peu abondante, le quartz pratiquement absent. La présence de boehmite (jusqu'à 13 %), et accessoirement d'anatase, a été mise en évidence sur les échantillons les plus alumineux. Le lambeau de cuirasse alumino-ferrugineuse du Mont Koyo doit vraisemblablement être rattaché à la surface d'aplanissement africaine de KING (1962), datée de l'Eocène inférieur suivant la chronologie de MICHEL (1969).

b) Les « boules de cuirasses violacées » (reliques présumées du niveau intermédiaire) sont très riches en fer, et relativement pauvres en alumine et en silice. Ce faciès est presque exclusivement constitué, par ordre décroissant, des minéraux suivants : hématite, kaolinite, goethite (rapport goethite/hématite moyen = 0,6). Les « boules de cuirasses violacées » apparaissent pratiquement dépourvues de quartz ainsi que de gibbsite, et la boehmite n'y a jamais été décelée. Une comparaison avec les cuirasses du niveau intermédiaire décrites en Côte-d'Ivoire par BOULANGE *et al.* (1973) montre que les boules de la région de Gaoua sont nettement plus hématitiques. Les cuirasses ferrugineuses du relief intermédiaire, également rencontrées au Niger par GAVAUD (1966) et dans le Nord du Burkina Faso par BOULET (1970), sont pour MICHEL (1969) d'âge Pliocène.

c) Les cuirasses du haut glacis représentent la majeure partie de notre échantillonnage ; on les étudiera par la suite plus en détail en considérant la nature de leur substratum et leur degré de ferruginisation. Voici, à titre de comparaison, les caractéristiques moyennes établies à partir de 224 prélèvements des cuirasses de cette famille (voir tableau II). Il s'agit de faciès à goethite dominante, riches en kaolinite et assez pauvres en quartz ; les teneurs en gibbsite, trop faibles pour être significatives, ne seront pas prises en compte par la suite. Les six échantillons de cuirasses « à bordures indistinctes » (type 2a bis de la figure 3) ont été incluses dans la population des cuirasses de haut glacis ; elles apparaissent cependant nettement plus riches en quartz, et corrélativement plus pauvres en fer, que la moyenne des cuirasses du haut glacis à rebords francs. Ce niveau constitue le plus élevé, donc le plus ancien, des trois glacis (seuls les deux premiers étant en général cuirassés) classiquement reconnus en Afrique de l'Ouest ; ils ont notamment été décrits par VOGT (1962), BOULET (1970), ESCHENBRENNER et GRANDIN (1970). Selon MICHEL (1969), les cuirasses du haut glacis se seraient mises en place au Quaternaire ancien et moyen, au cours de l'interglaciaire Mindel-Riss.

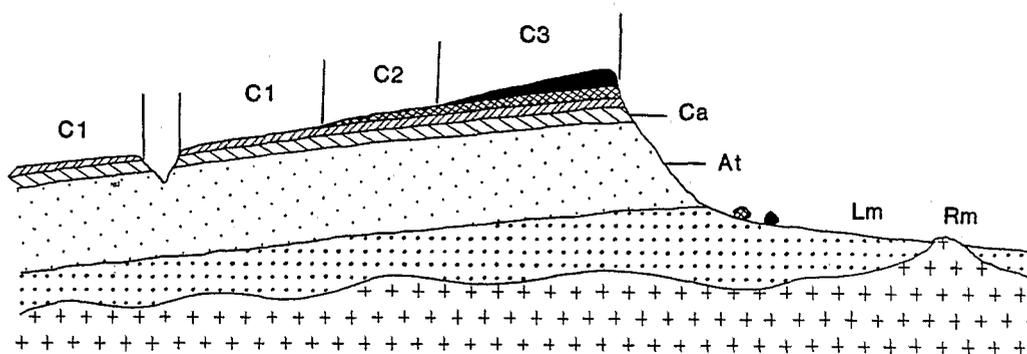
d) Les cuirasses du moyen glacis se révèlent, par rapport à celles des familles précédentes, plus riches en

silice, mais plutôt pauvres en fer et alumine. Elles sont très riches en quartz et en kaolinite ; quant au fer, il est essentiellement exprimé sous forme de goethite, comme le traduit un rapport goethite/hématite moyen de l'ordre de 3. La gibbsite et la boehmite n'apparaissent jamais dans les cuirasses du moyen glaciaire. Par ailleurs, c'est dans cette famille que les teneurs en manganèse sont les plus élevées (Mn_3O_4 moyen = 0,26 %). Les cuirasses de ce niveau sont bien représentées à une centaine de kilomètres au NE de la région étudiée (KALOGA, 1966). D'après MICHEL (1969), la formation des cuirasses du moyen glaciaire remonte au Quaternaire moyen (interglaciaire Riss-Würm).

La relation entre l'âge des cuirasses et la valeur de leur rapport goethite/hématite apparaît nettement dans notre échantillonnage sur la région de Gaoua ; plus les cuirasses sont anciennes (même si les datations absolues peuvent être discutées, la chronologie relative des différents niveaux n'est pas remise en question), plus la proportion de l'hématite par rapport à la goethite y est élevée.

4. Les cuirasses du haut glaciaire présentent différents degrés d'évolution

La surface d'un plateau cuirassé apparaît rarement comme une dalle plane ; l'érosion y a généralement ménagé des zones déprimées ou des incisions. Aussi trouve-t-on à la surface d'un même plateau latéritique des faciès différents suivant que la cuirasse a été plus ou moins décapée, ou que la carapace — voire les horizons argileux sous-jacents — ont été amenés à l'affleurement. Un tel schéma est illustré par la figure 4. On retrouve, depuis les points hauts de la topographie cuirassée jusqu'au fond des entailles en contrebas des rebords de plateaux, la séquence classique décrite par LEPRUN (1979) dans ses puits : cuirasse, carapace, argiles tachetées, lithomarge ; la roche mère affleure rarement ; quant aux altérations « pistache » basales, elles n'ont pas été rencontrées dans la région de Gaoua.



C3 : cuirasse ancienne très évoluée ; C2 : cuirasse moyennement évoluée ; C1 : cuirasse jeune peu évoluée ; Ca : carapace ; At : argiles tachetées ; Lm : lithomarge ; Rm : roche mère

Fig. 4 — Schéma montrant l'emboîtement des faciès à la surface d'un plateau cuirassé.
Schematic diagram showing the different types of ferricretes and of zones laying on a given surface.

Sur une population de 224 échantillons de cuirasses attribuées sans ambiguïté au niveau de haut glaciaire, il a été procédé à une répartition en 8 classes suivant les teneurs en fer croissantes (la nature de la roche mère n'ayant pas été prise en considération). Pour les cuirasses, on a estimé que la teneur en Fe_2O_3 rendait mieux compte du degré d'évolution que l'indice de lessivage ; l'intensité croissante de l'allitisation caractérise des milieux de plus en plus lessivés (PÉDRO, 1966), mais ne nous paraît pas un critère adapté aux horizons cuirassés, dans lesquels le processus géochimique dominant consiste en une accumulation absolue du fer. Le fer, connu comme l'un des éléments qui se concentre le mieux quand l'altération latéritique s'intensifie, présente sur notre échantillonnage une large gamme de teneurs (beaucoup plus que l'aluminium), Fe_2O_3 variant entre 24 % et 59 %. Le tableau III donne les moyennes des concentrations en éléments majeurs, ainsi que les moyennes des compositions minéralogiques pour chacune des 8 classes qui ont été définies. Ce tableau fait ressortir les points suivants, au fur et à mesure qu'on passe des faciès les moins évolués aux plus évolués :

— l'hématite se concentre très fortement ;

Tableau III

Moyennes des compositions chimiques (en éléments majeurs) et minéralogiques des cuirasses de la région de Gaoua au Burkina Faso, classées par leur teneur en fer (n : nombre d'échantillons, m : moyennes, s : écarts-types)

Mean chemical (for major elements) and mineralogical compositions of ferricretes of the Gaoua area in Burkina Faso, classed by their iron content (n : number of samples, m : mean values, s : standard deviations)

	20-25% (n=1)		25-30% (n=5)		30-35% (n=19)		35-40% (n=25)		40-45% (n=48)		45-50% (n=76)		50-55% (n=43)		55-60% (n=7)	
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s
S102	59.38		50.57	2.18	46.38	3.07	37.36	6.09	30.74	4.92	25.24	4.41	20.77	2.53	16.80	1.63
A1203	9.92		11.23	1.43	11.37	2.20	14.10	3.99	14.77	3.93	15.26	2.95	15.24	2.12	14.07	1.33
Fe203	24.03		28.20	1.49	32.48	1.38	37.66	1.49	42.87	1.48	47.68	1.45	52.06	1.27	57.18	1.57
MgO	0.06		0.12	0.05	0.11	0.03	0.12	0.05	0.11	0.05	0.09	0.03	0.10	0.05	0.06	0.04
CaO	0.20		0.20	0	0.21	0.05	0.22	0.07	0.21	0.04	0.20	0.01	0.22	0.06	0.20	0
Na2O	0.05		0.09	0.07	0.09	0.06	0.07	0.04	0.09	0.07	0.08	0.06	0.10	0.07	0.08	0.06
K2O	0.14		0.25	0.06	0.20	0.07	0.23	0.13	0.22	0.14	0.19	0.12	0.23	0.15	0.09	0.07
Mn304	0.09		0.18	0.17	0.10	0.07	0.11	0.06	0.17	0.14	0.17	0.17	0.12	0.13	0.12	0.06
P205	0.34		0.17	0.02	0.23	0.08	0.25	0.08	0.27	0.08	0.33	0.09	0.32	0.11	0.28	0.09
TiO2	0.62		0.58	0.11	0.60	0.10	0.65	0.17	0.71	0.26	0.76	0.23	0.70	0.25	0.84	0.24
H2O	6.69		7.40	0.43	7.73	0.90	8.86	1.93	9.48	1.44	9.90	1.31	9.94	0.92	9.94	1.16
SOMME	101.30		98.82	0.31	99.35	0.75	99.50	0.87	99.51	0.88	99.76	0.84	99.66	0.68	99.47	1
Qtz	51		42	3	37	5	25	8	17	8	11	7	6	4	3	2
Kao1	22		26	3	26	5	30	7	32	8	33	7	34	5	31	3
Goe	22		25	4	30	2	31	7	34	7	37	8	35	9	36	13
Hem	5		7	3	8	3	12	6	15	7	18	8	24	9	30	12
Gib	0		0	0	0	0	2	5	1	3	1	2	0	1	0	0
G/H	4.7		5.0	3.3	4.5	2.0	3.8	3.1	3.1	2.3	2.9	2.4	2.2	2.7	1.8	1.9

G/H : rapport Goe/Hem

- la quantité de goethite augmente également, mais dans une proportion beaucoup plus faible : la valeur du rapport goethite/hématite décroît en effet de 5 à 2 ;
- la teneur en kaolinite augmente sensiblement ;
- la quantité de quartz diminue considérablement.

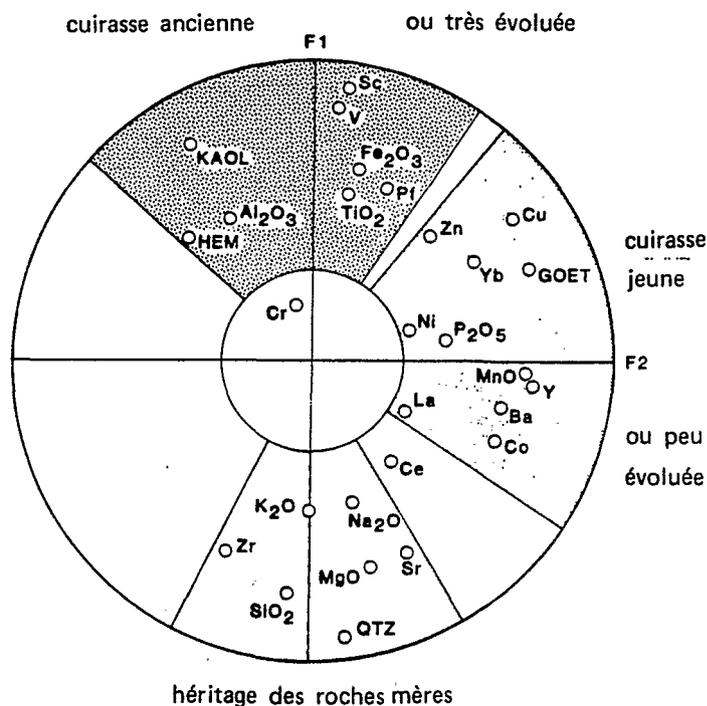
Ainsi, les faciès les plus évolués — qu'on retrouve dans les zones hautes du paysage cuirassé — sont plutôt hématitiques et kaolinitiques ; les faciès moins évolués, plus jeunes, apparaissent plus riches en goethite et en quartz.

5. Essai de corrélation entre éléments et phases minérales

Réalisée à partir de 112 prélèvements de cuirasses du haut glacis, l'analyse en composantes principales de la figure 5 reflète de façon significative les tendances de ce niveau à l'échelle régionale. Les échantillons gibbsitiques, trop peu nombreux, n'ont pas été pris en compte dans ce traitement. Trois groupes peuvent être distingués.

a) Le groupe du quartz, auquel sont liés Na, Mg, K, ainsi que Zr et Sr, exprime la persistance dans les cuirasses de minéraux résiduels, comme le quartz et le zircon ; par ailleurs, la marque d'autres minéraux primaires presque entièrement hydrolysés tels les feldspaths, les micas, les pyroxènes et les amphiboles y est conservée, comme en témoigne la présence des alcalins et alcalino-terreux.

b) Le groupe de la goethite et des oxydes de manganèse est associé au phosphore et à tout un cortège d'éléments traces. Pour la plupart considérées comme relativement mobiles dans l'altération supergène (TARDY, 1969 ; SADLEIR et GILKES, 1976 ; CRAMER et NESBITT, 1983), ces traces présentent les corrélations suivantes : Cu, Yb, Zn avec la goethite ; Y, Ba, Co, et dans une moindre mesure La, avec Mn ; Ni et P₂O₅ apparaissent intermédiaires entre les pôles goethite et oxydes de manganèse. Ces résultats sont en accord avec le travail de KARPOFF (1973), qui fait les observations suivantes : Cu, Zn et Ni se concentrent dans les hydroxydes de fer (ou de fer et manganèse dans le cas de Ni) des domaines d'accumulation, et dans les smectites des milieux confinés de l'aval ; Co, Ba, ainsi que Pb (non dosé ici) sont associés à Mn dans les niveaux à concrétions ferri-manganésifères. La représentation des éléments cités ci-dessus au sein des cuirasses est ainsi réglée par leur



— Figure 5 —

Différents groupes de corrélation entre paramètres chimiques et minéralogiques, obtenus par analyse en composantes principales sur les cuirasses de la région de Gaoua.

Different groups of chemistry-mineralogy correlation obtained by principal components analysis for the ferricretes of the Gaoua area.

piégeage, temporaire ou permanent, dans les phases minérales d'oxydes de manganèse complexes (TARDY, 1969 ; SCOTT, 1986) et surtout d'oxydes ferriques (KÜHNEL, 1987). La goethite notamment est connue pour sa capacité d'adsorption de bon nombre de ces éléments (FORBES *et al.*, 1976 ; BOLLAND *et al.*, 1977).

c) Le groupe de la kaolinite et de l'hématite comprend les éléments suivants : Al, Fe, Ti, V, et dans une moindre mesure Cr. La bonne corrélation entre alumine et Ti est reconnue depuis longtemps (BARDOSSY et BARDOSSY, 1954). Celle entre Fe et V a été signalée par TARDY (1969), ainsi que par KARPOFF (1973) ; le vanadium, plus mobile que le fer, se retrouve, d'après cet auteur, associé au titane en milieu lessivé. Le chrome peut être adsorbé sur l'hématite (SCHWERTMANN et LATHAM, 1986), éventuellement sur la kaolinite (ZACHARA *et al.*, 1988).

L'analyse statistique visualisée sur la figure 5 fait ressortir certaines oppositions.

- Le premier facteur illustre le contraste entre le domaine des héritages du substratum et celui des néoformations lors de l'altération et du cuirassement. Cette différence provient de la conservation ou de la disparition de certains caractères (minéraux résiduels, éléments chimiques marqueurs) de la roche mère.
- Le second facteur montre l'existence de deux grands types de cuirasses : un faciès à tendance goethitique, plus riche en manganèse et en phosphore, l'autre à tendance hématitique et kaolinitique. C'est le degré d'évolution qui oriente vers l'un ou l'autre de ces pôles : le rapport hématite/goethite et la proportion de kaolinite augmentent, tandis que la quantité de quartz diminue, au fur et à mesure que les faciès apparaissent plus évolués.

6. Le comportement des éléments chimiques lors du cuirassement

A partir des données du tableau IV, on peut suivre les variations des éléments majeurs et des traces entre la roche mère et les cuirasses de degrés d'évolution croissants ; différentes classes ont été définies parmi les cuirasses selon leurs teneurs en fer, comme on l'a proposé précédemment. Une distinction a été établie suivant les trois principaux types de substrats de la région :

- roches acides (granites du socle) ;
- roches volcaniques et volcano-sédimentaires à tendance basique ;
- divers schistes, plus ou moins métamorphisés.

Tableau IV

Variations des compositions chimiques et minéralogiques moyennes des cuirasses du haut glacis par degré d'évolution croissant suivant la nature du substrat (degré d'évolution symbolisé par + ($Fe_2O_3 < 35\%$), ++ (35% à 50%), +++ ($Fe_2O_3 > 50\%$)) ; A + Aga = socle acide, Bb + Bbe = laves et pyroclastiques à tendance basique, Bs + Bsi = divers schistes métamorphiques ; RM : roche mère ; n : nombre d'échantillons ; G/H : goëthite/hématite). Le quartz dans les roches mères a été estimé par calcul normatif

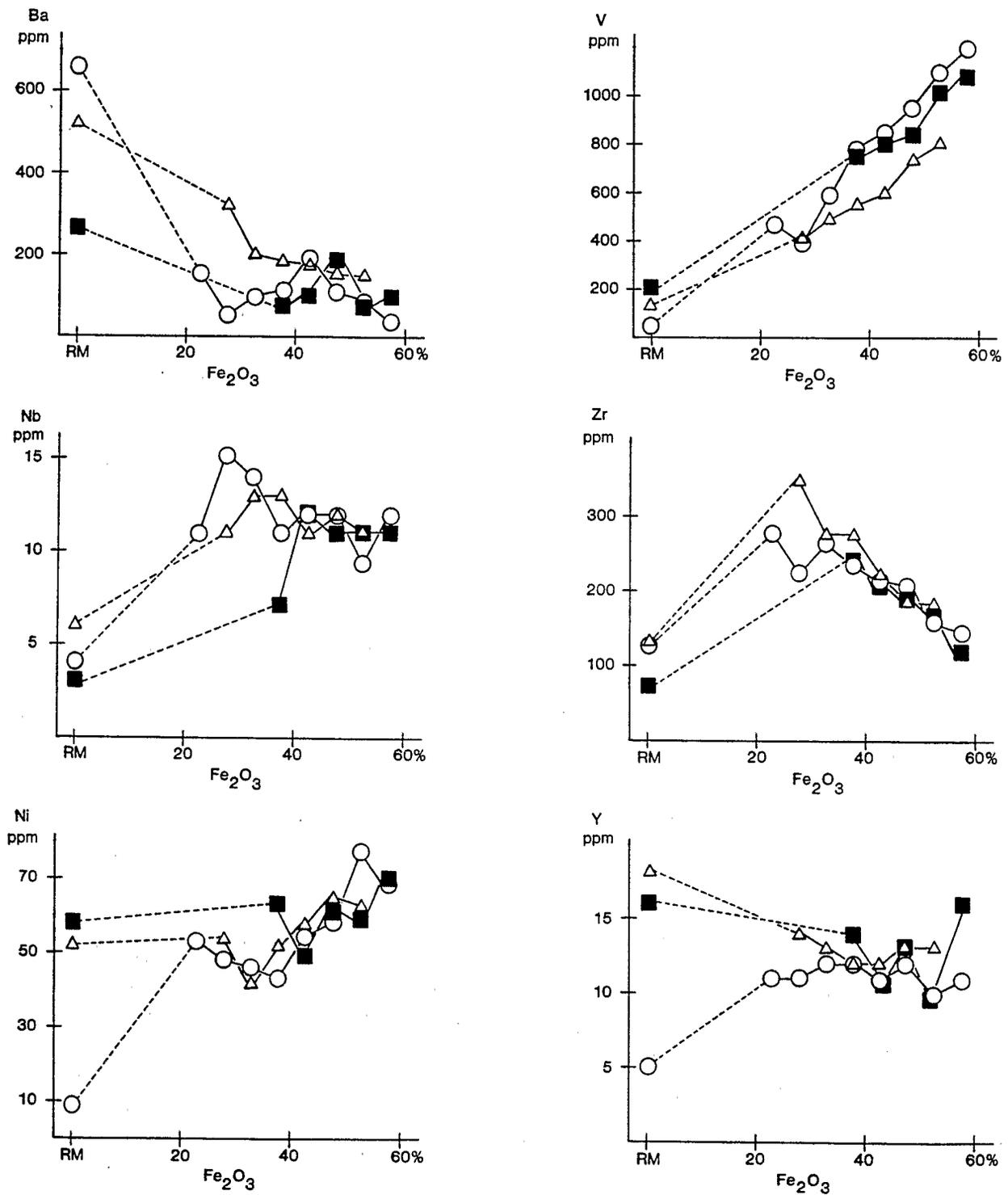
Variations of chemical and mineralogical mean compositions of the high glacis ferricretes (degree of evolution expressed as + ($Fe_2O_3 < 35\%$), ++ (35 to 50%), +++ ($Fe_2O_3 > 50\%$)) ; A + Aga = acid bedrock, Bb + Bbe = lavas and pyroclastites with basic tendency, Bs + Bsi = different metamorphic schists ; RM : bedrock ; n : number of samples ; G/H : goethite/hematite).

Quartz content in parent rocks has been estimated by normative calculation

	RM	CUIRASSES				RM	CUIRASSES				RM	CUIRASSES			
	A + Aga	+	++	+++	Bb + Bbe	+	++	+++	Bs + Bsi	+	++	+++			
n	6	13	66	17	7	0	30	17	9	12	53	16			
SiO ₂	70.75	47.40	28.90	20.10	55.76		24.40	19.50	64.98	48.10	31.90	21.10			
Al ₂ O ₃	14.56	11.90	15.30	14.80	15.12		17.20	15.80	15.58	10.60	13.10	14.50			
Fe ₂ O ₃	2.00	31.00	44.02	53.40	9.17		46.10	52.60	8.77	31.60	44.00	52.30			
MgO	0.68	0.10	0.09	0.06	4.95		0.10	0.09	1.19	0.12	0.12	0.13			
CaO	2.39	0.20	0.21	0.21	7.60		0.21	0.20	0.74	0.22	0.20	0.23			
Na ₂ O	4.88	0.07	0.07	0.10	3.19		0.08	0.10	1.48	0.12	0.09	0.09			
K ₂ O	2.14	0.18	0.12	0.08	0.64		0.19	0.20	2.05	0.24	0.32	0.37			
Mn ₃ O ₄	0.03	0.07	0.17	0.14	0.17		0.18	0.10	0.07	0.16	0.13	0.11			
P ₂ O ₅	0.11	0.20	0.29	0.30	0.16		0.29	0.27	0.13	0.25	0.31	0.37			
TiO ₂	0.27	0.58	0.81	0.94	0.67		0.79	0.66	0.72	0.60	0.58	0.56			
H ₂ O	1.27	7.80	9.70	9.70	3.17		10.40	10.40	3.86	7.40	9.00	9.80			
SOMME	99.51	99.40	99.63	99.70	100.66		99.70	99.80	99.17	98.50	99.60	99.40			
Sr	449	13	12	7	317		18	15	175	23	25	28			
Ba	656	92	137	69	314		167	87	497	227	167	149			
V	35	547	884	1121	191		816	1013	134	463	641	794			
Ni	9	47	54	77	55		57	61	53	44	58	62			
Co	8	22	39	35	35		45	32	17	36	36	35			
Cr	11	234	396	434	187		508	846	115	324	556	640			
Zn	45	37	67	86	123		90	156	71	49	65	90			
Cu	13	64	123	133	57		140	124	44	59	105	132			
Sc	4	13	31	44	25		38	37	18	11	18	23			
Y	5	12	12	10	15		12	11	20	13	12	13			
Zr	127	260	215	155	75		200	160	137	294	217	181			
La	26	11	14	10	9		11	24	16	14	13	13			
Ce	44	52	68	56	26		63	53	33	91	49	54			
Eu	1.1	1.1	1.1	1.0	0.8		1.0	1.3	0.9	1.0	1.0	1.1			
Yb	0.3	1.3	0.9	0.8	1.2		1.2	0.9	1.7	1.3	0.8	0.8			
Lu	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3			
Nb	4	14	12	10	2		11	11	6.2	13	12	11			
Qtz	27	38	15	5	8		8	4	34	39	18	7			
Kaol		27	33	33			38	36		24	29	32			
Goe		28	34	32			37	36		29	37	39			
Héma		7	17	30			16	24		8	15	22			
Gib		0	1	0			1	0		0	1	0			
G/H		4.6	3.0	1.4			3.2	2.6		4.7	3.2	2.2			

On peut noter que notre échantillonnage ne comporte pas de cuirasses peu évoluées ($Fe_2O_3 < 35\%$, voir tableau IV) sur les laves et pyroclastites à tendance basique.

Pour les éléments majeurs, on retrouve les comportements classiques de l'altération latéritique (TARDY, 1969) : lessivage graduel de la silice, quasi complet des alcalins et des alcalino-terreux, accumulation progressive du fer et de l'aluminium lors du cuirassement (encore qu'ici l'alumine montre une tendance à la diminution dans les faciès les plus évolués). Les teneurs en phosphore, plus élevées que dans les roches mères, augmentent quand les cuirasses deviennent plus ferrugineuses. En ce qui concerne le manganèse et le titane, ils réagissent différemment suivant la nature du substratum : le titane par exemple se concentre au fur et à mesure de la ferruginisation des cuirasses situées sur roche mère acide ; par contre, il diminue légèrement dans les autres cas.



○ domaine acide (socle) ; △ domaine des schistes métamorphiques ; ■ domaine à tendance volcanique basique ; RM roche mère

Fig. 6 — Convergence de comportement de quelques éléments chimiques lors de l'augmentation en fer dans les cuirasses.

Behavior convergence of some chemical elements with the increasing iron content in ferricretes.

Pour les éléments traces, la figure 6 montre différents types de comportements. Dans certains cas, l'allure des courbes de variations en fonction du degré d'évolution des cuirasses est la même sur toutes les roches mères considérées. Selon les cas, la pente est la suivante :

- fortement croissante, comme pour V et Cr ; BESNUS (1977) note que ces deux éléments sont parmi ceux qui restent le plus longtemps liés au fer lors de son accumulation ;
- pratiquement constante, après un lessivage précoce dans le cas de Ba et de Sr (comportement analogue à celui des alcalins et des alcalino-terreux majeurs), ou après un enrichissement par rapport à la roche saine pour Nb ;
- croissante au début, puis nettement descendante dans les faciès cuirassés plus évolués, comme pour Zr.

D'autres traces se comportent différemment selon le substratum (voir tableau IV et figure 6). Certains éléments (Ni, Co, Cu, Y), mieux représentés dans les roches basiques que dans les granites ou les schistes, se retrouvent à des teneurs comparables (des inversions pouvant se produire) dans les cuirasses les plus évoluées, quel que soit le type de substratum. De tels éléments se concentrent fortement dans les cuirasses dérivant des roches mères où ils étaient les moins abondants ; dans les cuirasses développées à partir de roches où ils étaient initialement bien représentés, ces mêmes éléments s'accumulent moins (cas de Cu), peu (Ni), ou sont partiellement lessivés (comme Y).

7. La lithodépendance des cuirasses

La question de savoir dans quelle mesure certains caractères du substratum se retrouvent dans les latérites — et notamment dans les cuirasses sus-jacentes — est d'un intérêt primordial pour la compréhension de la genèse de ces formations : la lithodépendance implique en effet l'autochtonie. Pour la prospection géochimique, il est fondamental de savoir si les latérites constituent un masque ou un reflet des roches qu'elles recouvrent.

Les nombreuses études menées en particulier en Afrique de l'Ouest ont permis de démontrer la lithodépendance des manteaux d'altération non cuirassés (BLOT *et al.*, 1973 ; BLOT et LEPRUN, 1976) ainsi que des cuirasses ferrugineuses (BLOT *et al.*, 1978 ; LEPRUN, 1979). C'est en suivant, le long de profils verticaux, les filiations minéralogiques et les variations géochimiques à partir du substratum que la lithodépendance a pu être établie. Les cuirasses apparaissent comme un stade d'altération très poussé avec ferruginisation intense, tendant même selon MILLOT *et al.* (1977) vers un statut monominéral.

On a essayé de retrouver la lithodépendance sur les cuirasses de la région de Gaoua.

La carte de répartition des teneurs en quartz dans les cuirasses (fig. 7) est assez parlante : l'opposition entre cuirasses des domaines à roches mères riches en quartz (granites, schistes) et pauvres en quartz (laves et pyroclastites à tendance basique) y est bien visible, si l'on tient compte du fait que la répartition des zones cuirassées n'est pas homogène à l'échelle régionale.

En revanche, la chimie des éléments traces révèle que les relations entre les cuirasses et leurs substratums sont généralement floues. Même en considérant des degrés d'évolution croissants pour les cuirasses développées sur les trois grands types lithologiques reconnus dans la région (tableau IV), il apparaît que pratiquement aucun des éléments marqueurs des différentes roches mères (comme Sr, Ba, La pour les roches acides, V, Co, Cr, Zn pour les roches à tendance basique, Zr et Y pour les schistes) ne se retrouve à des teneurs caractéristiques dans les cuirasses correspondantes ; Zn et Cr constituent toutefois des exceptions dans le cas des roches mères à tendance basique. D'une façon générale, on observe dans les cuirasses une uniformisation, une convergence des teneurs en éléments traces (les inversions n'étant pas rares), de telle sorte qu'on n'arrive plus à reconnaître le substratum. Ce type de comportement a déjà été signalé par NARAYANASWAMY *et al.* (1987). Ce phénomène s'affirme au fur et à mesure que les cuirasses sont plus évoluées ; il est parfois possible de déceler dans les premiers stades du cuirassement une parenté avec la roche mère.

On peut illustrer cette homogénéisation en considérant plusieurs sortes de comportements géochimiques entre les domaines acides d'une part et à tendance basique d'autre part, entre lesquels existent les différences les plus marquées au niveau des roches mères (voir fig. 6) :

- l'homogénéisation résulte d'un lessivage beaucoup plus intense au cours de la formation des cuirasses sur roches acides ; c'est le cas de Ba et de Sr ;

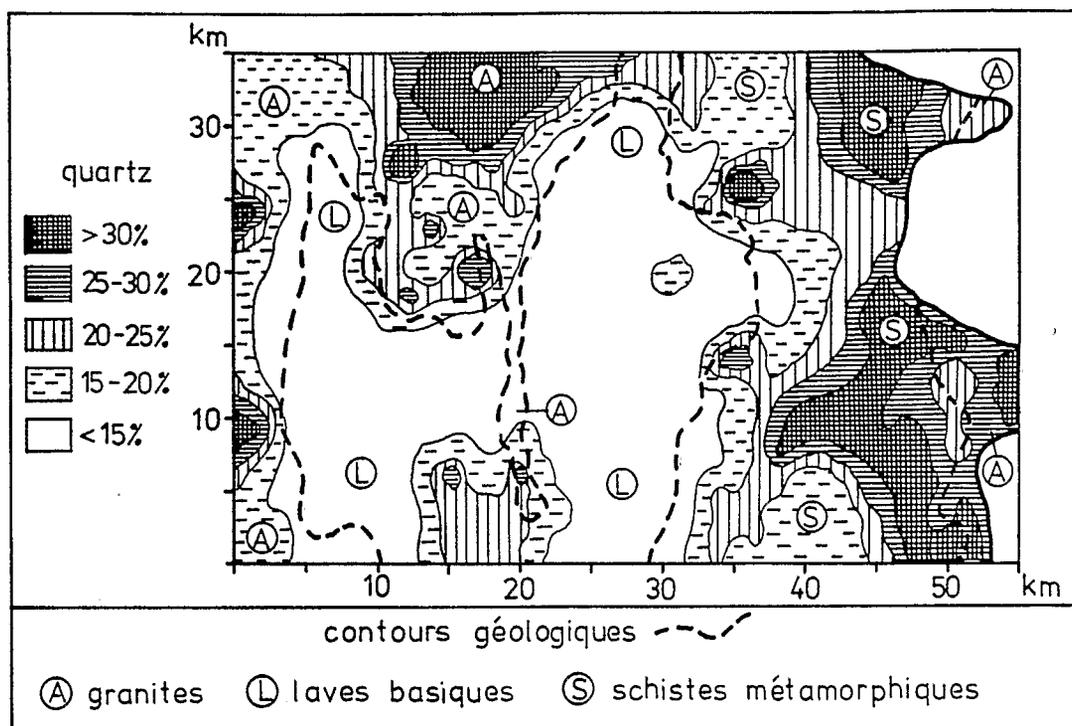


Fig. 7 — Carte de répartition des teneurs en quartz dans les cuirasses de la région de Gaoua.
Map of quartz contents in the ferricretes of the Gaoua area.

- il se produit un enrichissement lors de l'altération des roches acides, alors que les teneurs augmentent moins (Cu), restent pratiquement stationnaires (Ni, Co), ou diminuent (Y) à partir des roches plus basiques ;
- la convergence est le fait d'une concentration plus forte tout au long du cuirassement sur roches acides (exemple de V).

CONCLUSIONS

1. Dans la région de Gaoua, on retrouve les témoins des différents niveaux cuirassés classiquement décrits en Afrique de l'Ouest ; ce sont, par ordre chronologique, la surface bauxitique, le relief intermédiaire, le haut glacis, le moyen glacis. Les cuirasses recouvrent environ 15 % de la superficie de la région étudiée. La quasi-totalité des buttes et des plateaux du secteur de Gaoua peut être attribuée au niveau de haut glacis. Un petit lambeau de cuirasse alumino-ferrugineuse constitue le seul vestige de la surface bauxitique africaine. Quant aux boules de cuirasses violacées qu'on retrouve parfois englobées dans les dalles du haut glacis, il s'agit vraisemblablement de fragments préservés du niveau intermédiaire, complètement démantelé par l'érosion et dont on ne retrouve plus trace dans le paysage.

2. Les principaux niveaux de cuirasses se distinguent par leurs caractères minéralogiques.

- La cuirasse alumino-ferrugineuse (équivalent de la dernière surface bauxitique) présente la valeur du rapport hématite/goethite la plus élevée ; c'est la moins riche en quartz et en kaolinite. La gibbsite ne se trouve pratiquement que dans ce niveau.
- Les cuirasses ferrugineuses du relief intermédiaire (dont les boules violacées constitueraient des témoins), du haut glacis et du moyen glacis apparaissent d'autant moins riches en fer d'une part, d'autant plus goethitiques et quartzes d'autre part, qu'elles correspondent à une mise en place plus récente.

3. Les cuirasses du haut glacis ont été classées par degrés d'évolution croissants, suivant leur teneur en fer (entre 20 % et 60 % de Fe_2O_3 environ). Au cours de cette évolution, on note une nette diminution du quartz et une augmentation légère mais régulière du rapport hématite/goethite. La coexistence en surface de faciès cuirassés plus ou moins évolués serait consécutive à la mise à l'affleurement par l'érosion (entailles, décapage) d'horizons normalement superposés.

4. La lithodépendance apparaît nettement d'après la teneur en quartz des cuirasses du haut glacis formées sur les différents types de substratums. Par contre, la répartition des éléments traces dans ces cuirasses ne reflète en général pas la roche mère d'origine. Loin de conserver, voire de souligner, certains des traits géochimiques marquants du matériel initial, le cuirassement dans la région de Gaoua les masque en les atténuant ou en les faisant disparaître.

Manuscrit déposé le 19 octobre 1988 ; accepté le 20 novembre 1989

BIBLIOGRAPHIE

- AMBROSI J.P. (1984) — Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques cuirassés ferrugineux de la région de Diouga, Burkina Faso. Thèse 3e cycle, Univ. Poitiers, 223 p.
- BARDOSSY G. et BARDOSSY L. (1954) — Contribution to the geochemistry of titanium. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 2, p. 191-203.
- BESNUS Y. (1977) — Etude géochimique comparative de quelques gisements supergènes de fer. *Sci. Géol., Mém.*, 47, 145 p.
- BLOT A. et LEPRUN J.C. (1976) — Influence de deux roches mères de compositions voisines sur les altérations et les sols. Un exemple sur le socle cristallin au Sénégal oriental. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 5, 1, p. 45-57.
- BLOT A., LEPRUN J.C. et 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. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 286, D, p. 1331-1334.
- BLOT A., PION J.C. et WACKERMANN J.M. (1973) — Un exemple de corrélation de rang en géochimie : les altérations du socle birrimien en zone tropicale sèche (Sénégal oriental et Haute-Volta). *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 5, 1, p. 25-34.
- BOLLAND M.D.A., POSNER A.M. et QUIRK J.P. (1977) — Zinc adsorption by goethite in the absence and presence of phosphate. *Austr. J. Soil Res.*, 15, p. 279-286.
- BOULANGE B., DELVIGNE J. et ESCHENBRENNER V. (1973) — Descriptions morphologiques, géochimiques et minéralogiques des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 5, 1, p. 59-81.
- BOULET R. (1970) — La géomorphologie et les principaux types de sols en Haute-Volta septentrionale. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 8, 3, p. 245-271.
- CRAMER J.J. et NESBITT H.W. (1983) — Mass-balance relations and trace element mobility during continental weathering of various igneous rocks. *Sci. Géol., Mém.*, 73, p. 63-73.
- DAVEAU S., LAMOTTE M. et ROUGERIE G. (1962) — Cuirasses et chaînes birrimiennes en Haute-Volta. *Ann. Géogr.*, 387, p. 460-482.
- DRESCH J. (1953) — Plaines soudaniennes. *Rev. Géomorph. dyn.*, 1, p. 39-44.
- ESCHENBRENNER V. et GRANDIN G. (1970) — La séquence de cuirasses et ses différenciations entre Agnibilé-frou et Diébougou (Haute-Volta). *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 2, 2, p. 205-246.
- FORBES E.A., POSNER A.M. et QUIRK J.P. (1976) — The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb and Zn on goethite. *J. Soil Sci.*, 27, p. 154-166.
- GAMSONRE P.E. (1970) — Etude pétrologique et métallogénique de la région de Gongondy, Diénéméra et Malba (secteur de Gaoua), Haute-Volta. Thèse 3e cycle, Univ. Besançon, 190 p.

- GAVAUD M. (1966) — Etude pédologique du Niger occidental. Rapport général. Rapp. ORSTOM, multigr., 1, 248 p.
- GRANDIN G. (1973) — Aplanissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest. Thèse Sci. Strasbourg, 410 p. et *Mém. ORSTOM*, 82, (1976), 275 p.
- HUBERT H. (1912) — Sur un important phénomène de capture dans l'Afrique occidentale. *Ann. Géogr.*, 21, p. 251-262.
- KALOGA B. (1966) — Etude pédologique des bassins-versants des Voltas Blanche et Rouge en Haute-Volta. 1ère partie : le milieu naturel. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 4, 1, p. 23-61.
- KARPOFF A.M. (1973) — Géochimie de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Thèse 3e cycle, Univ. Strasbourg, 70 p.
- KING L.C. (1962) — Morphology of the earth. Oliver and Boyd Ed., London, 725 p.
- KÜHNEL R.A. (1987) — The role of cationic scavengers in laterites. *Chem. Geol.*, 60, p. 31-40.
- LEPRUN J.C. (1979) — Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse. Transformations. Dégradation. *Sci. Géol., Mém.*, 58, 224 p.
- MAIGNIEN R. (1956) — Le cuirassement des sols en Guinée. Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 16, (1958), 239 p.
- MARCELIN J. (1971) — Notice explicative de la carte géologique au 200.000ème (feuille Gaoua-Batié). Ed. Bur. Rech. géol. min., 31 p.
- MICHEL P. (1969) — Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Thèse Lettres Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 63, (1973), 752 p.
- MILLOT G., NAHON D., PAQUET H., RUELLAN A. et TARDY Y. (1977) — L'épigenie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride. AntiAtlas, Maroc. *Sci. Géol., Bull.*, 30, 3, p. 129-152.
- MONIOD F., POUYAUD B. et SECHET P. (1977) — Le bassin du fleuve Volta. *Monogr. hydro. ORSTOM*, 5, 513 p.
- NARAYANASWAMY et SWAPAN K. GOSH (1987) — Lateritization of gabbro-granophyre rock units of the Ezhimala complex of north Kerala, India. *Chem. Geol.*, 60, p. 251-257.
- PEDRO G. (1966) — Intérêt géochimique et signification minéralogique du paramètre moléculaire $Ki = SiO_2/Al_2O_3$ dans l'étude des latérites et des bauxites. *Bull. Gr. fr. Argiles*, 18, 13, p. 19-31.
- RIEFFEL J.M. et MOREAU R. (1969) — Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Ouest-Sud. Rapp. Centre ORSTOM Dakar-Hann, 221 p., carte au 500.000ème.
- SADLEIR S.B. et GILKES R.J. (1976) — Development of bauxite in relation to parent material near Jarrajdale, Australia. *J. Geol. Soc. Austr.*, 23, 4, p. 333-344.
- SCHWERTMANN U. et LATHAM M. (1986) — Properties of iron oxides in some New Caledonian oxisols. *Geoderma*, 39, p. 105-123.
- SCOTT K.M. (1986) — Elemental partitioning into Mn- and Fe-oxides derived from dolomitic shale-hosted Pb-Zn deposits, Northwest Queensland, Australia. *Chem. Geol.*, 57, p. 395-414.
- TARDY Y. (1969) — Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux des massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 31, 199 p.
- TARDY Y. et NAHON D. (1985) — Geochemistry of laterites. Stability of Al-goethite, Al-hematite and Fe³⁺-kaolinite in bauxites and ferricretes. An approach to the mechanism of concretion formation. *Amer. J. Sci.*, 285, p. 865-903.
- VOGT J. (1962) — Une vallée soudanaise, la moyenne Bagoé. *Rev. Géomorph. dyn.*, 13, p. 2-9.
- ZACHARA T.M., COWAN C.E., SCHMIDT R.L. et AINSWORTH C.C. (1988) — Chromate adsorption by kaolinite. *Clays and Clay Minerals*, 36, 4, p. 317-326.