

Influence de la géomorphologie sur la genèse des bauxites latéritiques

B. BOULANGÉ

L'observation de différents indices de bauxite en Afrique de l'Ouest nous conduit à classer les profils cuirassés selon trois grands types :

— *Les profils à concentration relative d'alumine dans lesquels l'hydrolyse de la roche mère, réalisée dans de bonnes conditions de drainage, favorise une transformation directe de celle-ci en une bauxite à forte teneur en alumine. Les structures de la roche mère sont conservées.*

— *Les profils à concentration relative et absolue d'alumine et de fer, plus fortement indurés que les précédents en raison de leur plus grande teneur en fer. Des éléments de roches à structure conservée sont enrobés dans une matrice poreuse dont les pores sont emplis de cristallisation secondaire de gibbsite et d'oxydes et hydroxydes de fer. Ces formations reposent soit directement sur la roche mère, soit sur une altération kaolinique pouvant elle-même, par désilicification, se transformer en bauxite.*

— *Les profils tronqués où une cuirasse, le plus souvent en blocs démantelés à faciès pisolithique repose sur une altération kaolinique. Une zone gibbsitique s'intercale parfois entre ces deux formations.*

Ces trois types de profils se répartissent dans le paysage suivant des positions morphologiques différentes et rendent compte des conditions de lessivage ou de drainage ayant présidé à leur formation. Le type I, rare en Côte d'Ivoire, se rencontre sur les collines hautes dominant les plateaux à cuirasse alumino-ferrugineuse fortement indurée du type II. Ces plateaux cuirassés sont inclinés suivant des pentes de 1 à 5%, ce qui témoigne de leur rattachement à des collines hautes parfois présentes, le plus souvent totalement disparues et dont le lessivage a fourni l'alumine et le fer en accumulation absolue dans les profils.

A l'aval de ces plateaux on rencontre, rattachées ou isolées en buttes témoins, des bauxites du type III, à faciès souvent pisolithique.

Les indices de bauxite connus en Côte d'Ivoire sont nombreux et dispersés sur l'ensemble du pays [1]. Ils sont extrêmement variés quant à la composition des profils bauxitiques et à la nature de la roche mère : amphibolites, dolérites, schistes, granites. La position particulière de ces indices dans le paysage leur est un caractère géomorphologique commun ; protégés par une cuirasse alumineuse, ils forment la plupart des buttes et hauts plateaux résiduels, ce qui a conduit à les considérer comme vestiges d'une ancienne surface qui couvrirait une grande partie de l'Afrique de l'Ouest [2], surface en contrebas de laquelle on

observe fréquemment d'autres niveaux cuirassés ferrugineux définis comme niveau intermédiaire, niveau haut-glacis, niveau moyen-glacis [3], [4].

Les observations morphologiques faites sur ces plateaux et l'examen détaillé de leurs cuirasses alumino-ferrugineuses, permettent de situer les massifs dans leur contexte paléogéomorphologique, de préciser les processus d'altération, de migration et d'accumulation qui ont abouti à la constitution de bauxites.

1. ASPECT GÉOMORPHOLOGIQUE

La plupart des plateaux et témoins bauxitiques que nous avons pu observer en Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Ghana, ont un sommet tabulaire protégé par une épaisse cuirasse alumino-ferrugineuse compacte, poreuse, conglomératique ou pisolitique, de couleur brun-rouge foncé à rouge clair et rose. Ces cuirasses affleurent souvent en dalle continue et ne portent qu'une maigre végétation arbustive développée sur un néosol de faible épaisseur. Ce n'est que localement que la présence d'un recouvrement meuble plus épais peut favoriser le maintien d'une végétation dense.

Ces plateaux dominent le paysage d'une hauteur de commandement pouvant varier de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. Ils sont très souvent inclinés suivant une pente régulière de 1 à 5%.

A l'amont de celle-ci les plateaux sont fréquemment limités par une puissante corniche, pouvant atteindre 25 m et dominant une entaille qui sépare le plateau des collines avoisinantes. Moins élevées que le plateau, elles sont dénudées et rocheuses; plus élevées, elles sont rocheuses ou coiffées d'un manteau induré d'altération gibbsitique.

Assez rarement en Côte d'Ivoire, les plateaux se raccrochent directement à ces collines hautes. Dans ce cas la morphologie ancienne est conservée et les plateaux apparaissent nettement en position de glacis. Le plus souvent toute trace des anciens reliefs de commandement a disparu, les plateaux dominent la plaine actuelle, l'inversion de relief est totale.

La partie basse des plateaux a son rebord moins marqué que les parties transverses et hautes des glacis où les entailles s'inscrivent plus profondément. Ce rebord est souligné par une petite corniche ou une simple rupture de pente parsemée d'éboulis.

En avant et en contrebas des plateaux, des buttes résiduelles jalonnent la pente de l'ancien niveau. Elles sont recouvertes de cuirasses bauxitiques, le plus souvent en blocs démantelés et qui présentent fréquemment le faciès pisolitique.

La pente des versants est très accusée (20 à 40%) convexo-concave dans la partie supérieure, franchement concave dans sa partie inférieure. Elle est interrompue sur le pourtour des massifs par des séries discontinues de replats témoins probables des étapes successives de la mise en relief. Les versants peuvent être fossilisés par des cuirasses de pente en continuité avec les cuirasses bauxitiques sommitales.

2. TYPES DE PROFILS BAUXITIQUES

De cette brève analyse morphologique, nous pouvons considérer en ce qui concerne le niveau bauxitique, trois formations distinctes auxquelles se rattachent des profils types. Ce sont:

— Un premier type correspondant aux reliefs de commandement des plateaux dont nous connaissons quelques témoins très réduits en Côte d'Ivoire: un sur granite dans la région de Lakota, un sur schiste et un sur amphibolite dans la région de Toumodi.

— Le deuxième type est représenté par les profils des plateaux à épaisse cuirasse alu-
mino-ferrugineuse dont nous pouvons observer de nombreux témoins en Côte d'Ivoire.
Ces profils sont quelque peu différents suivant leur position amont ou aval.

— Le troisième type est celui des profils démantelés et tronqués des buttes situées dans
le prolongement aval des plateaux.

Type I: *Bauxite des reliefs de commandement.*

Ce sont des profils entièrement alumineux ou alu-
mino-ferrugineux dans lesquels on
distingue:

— Un horizon supérieur induré, riche en fer, résultant d'une concentration d'oxydes
et d'hydroxydes de fer et d'alumine par accumulation « relative » et « absolue » [5]. Cet
enrichissement de surface est dû principalement au démantèlement sur place du profil
avec redistribution des éléments. La végétation et la faune activent les processus méca-
niques et chimiques de démantèlement. Des blocs sont isolés et recimentés ultérieurement.
Cet horizon est décrit comme « horizon à boulders ».

— Un horizon moyen peu induré où la structure de la roche mère est conservée. Il y
a concentration par accumulation relative d'alumine et de fer directement à partir de
l'hydrolyse des minéraux primaires de la roche. Les teneurs en fer et en alumine sont
fonction de la nature de cette roche. Très riches en alumine (50 à 60 % Al_2O_3) sur schistes
ou sur granites, ces bauxites le sont moins sur roches basiques (40 à 50 % Al_2O_3) en raison
de leur plus haute teneur en fer.

— Un horizon inférieur ou zone de départ, parfois très réduit, présentant des caractères
d'altération gibbsitique ou kaolinique, l'un ou l'autre prévalant suivant les conditions
locales de drainage, la nature pétrographique de la roche mère et l'histoire du gisement.

En Côte d'Ivoire, nous n'avons rencontré ce type de profil que sur schistes (Gueto),
sur granite (Lakota) et sur amphibolite (partie haute de l'Orumbo-Bocca).

Type II: *Bauxite des plateaux.*

Sous néosol ou plus rarement en Côte d'Ivoire sous recouvrement meuble, on
distingue [6]:

— Un horizon cuirassé supérieur, enrichi en fer (30 à 50 % sur roches basiques)
semblable à celui du profil précédent. La cuirasse est massive, compacte sans structure
primaire de la roche reconnaissable. L'enrichissement en fer est lié au démantèlement et
au lessivage partiel des autres éléments.

— Un horizon cuirassé moyen poreux et vacuolaire: la cuirasse est homogène formée
d'une association de plages gibbsitiques et ferrugineuses où aucune structure primaire de
roches n'est identifiable. Elle est caractérisée par l'abondance de belles cristallisations de
gibbsite, goethite et hématite d'accumulation absolue qui tapissent la paroi des pores.
Cette accumulation résulte principalement du lessivage oblique des collines de commande-
ment et du lessivage vertical des horizons supérieurs. L'observation microscopique montre
qu'en général les accumulations d'alumine sont postérieures à celles du fer et résultent
donc de la mise en solution fractionnée des réserves accumulées sur les parties hautes du
paysage.

Certaines passées ont un aspect hétérogène. Les éléments conservent la structure
de la roche mère. Ils sont cimentés par une matrice poreuse enrichie d'accumulation
absolue d'alumine et de fer. Identifiable surtout dans les parties hautes des plateaux, ces
passées témoignent d'un ancien front rocheux d'altération ou de la persistance d'élément
de roche dans l'altération kaolinique.

— Un horizon cuirassé inférieur sans éléments à structure de roche mère conservée,
où les traces d'accumulation absolue de gibbsite et d'alumine sont rares. La gibbsite
cristallise en glomérules mal individualisés, pouvant s'associer en grandes plages et laissant
de nombreux vides dans la formation. Cet habitus est très semblable à celui des cristaux
de kaolinite de l'horizon sous-jacent.

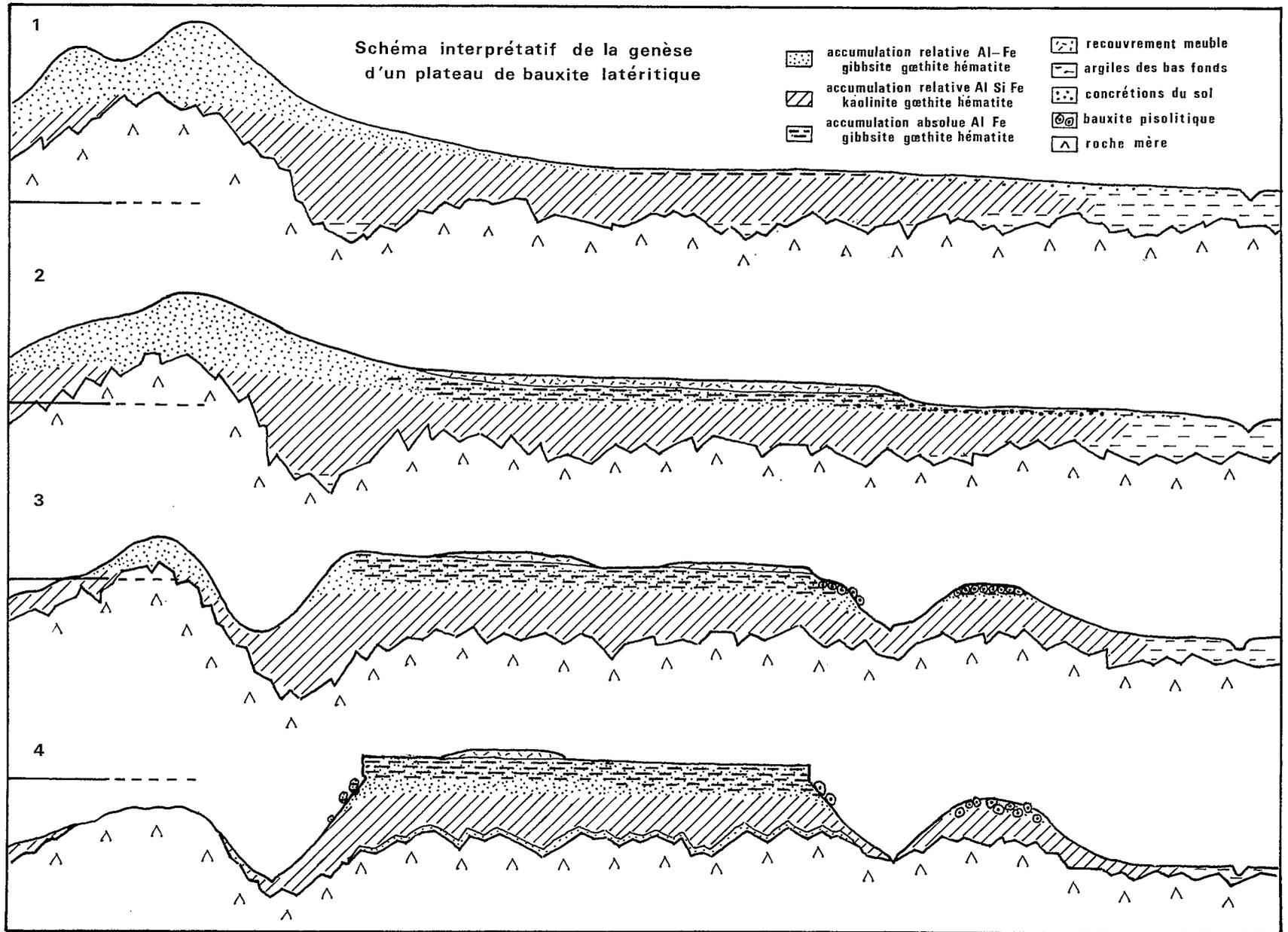


Fig. 1

— Un horizon argileux kaolinique séparé de l'horizon précédent par la limite supérieure de la nappe. La kaolinite difficilement identifiable au microscope se présente en cristaux glomérulaires disséminés dans une matrice silico-alumineuse.

— L'horizon argileux repose soit directement sur la roche saine, soit sur une zone d'altération de base à caractère gibbsitique où les éléments de roches sont bien individualisés: autour d'un noyau central frais se développe un cortex d'altération gibbsitique type « pain d'épices » [7]. Dans ce cas, il ne paraît pas y avoir de filiation directe entre ce « pain d'épices » et les argiles supérieures; la gibbsite serait de formation indépendante et plus récente que la kaolinite qui la surmonte.

Type III: *Bauxite des collines basses.*

A l'aval et en contrebas des plateaux, des buttes résiduelles présentent des profils tronqués, dont nous avons pu observer deux types:

— Des blocs détritiques de cuirasse le plus souvent conglomératique et pisolitique, reposent sur un horizon autochtone peu induré, gibbsitique, passant progressivement à un horizon kaolinique;

— Des blocs détritiques de cuirasse reposent directement sur l'horizon d'altération kaolinique.

3. INTERPRÉTATION GÉNÉTIQUE

La morphologie des occurrences de bauxite latéritique permet d'envisager des analogies entre la géomorphologie des paysages anciens contemporains des phénomènes de bauxitisation et les paysages actuels observés couramment en Afrique Occidentale: massifs résiduels flanqués de glacis de piémont souvent cuirassés (niveau haut et moyen glacis).

1) Une longue période de calme tectonique, que les auteurs s'accordent à situer au Crétacé-Eocène, a pu favoriser un équilibre morphologique entre les sommets, les versants et les grands axes de drainage. L'installation et la persistance d'une phase climatique humide a engendré une profonde altération dont la nature varie en fonction des diverses unités de ce modelé.

Sous un sol portant une végétation abondante, les sommets bien drainés sont soumis à un lessivage intense; par hydrolyse et départ des alcalins et alcalino-terreux, de la silice et d'une partie du fer, les éléments de roche, fracturés par les diaclases, tout en conservant la structure primaire de celle-ci, s'altèrent avec formation directe de gibbsite, d'hémérite et de goéthite à partir de l'alumine et du fer résiduels (accumulation relative). Les nombreux vides laissés par le départ des éléments lessivés font que cette bauxite, riche en alumine, est très poreuse, de couleur rouge clair à ocre-jaune, d'induration relativement faible. Les éléments tel que K, Na, Ca, Mg sont évacués jusque dans les bas-fonds alors que Si et Fe sont piégés au niveau des glacis de piémont.

A l'amont de ces glacis, dans leur pente de raccordement au relief de commandement, le drainage peut être suffisant pour que le processus de gibbsitisation directe de la roche mère se maintienne dans l'horizon supérieur des profils, ce qui expliquerait dans ces parties de plateaux la persistance d'éléments dans lesquels la structure de la roche mère est conservée (cf. profil type II).

Plus bas et sur l'ensemble du glacis, les conditions insuffisantes de drainage ne permettent que l'évacuation des ions alcalins et alcalino-terreux; à la partie inférieure de la nappe, alumine et silice se recombinent sur place pour synthétiser la kaolinite, tandis que dans la zone de battement se forme un horizon d'accumulation absolue enrichi par les apports latéraux de silice et de fer issus des reliefs de commandement.

Au niveau des bas-fonds mal drainés vont se synthétiser des argiles gonflantes telles que montmorillonite, chlorite..., au sein desquelles vont s'individualiser des concrétions ferrugineuses.

2) La grande profondeur des profils d'altération implique la persistance d'une pluviométrie abondante. Par ailleurs, les conditions de drainage s'améliorent progressivement, grâce au lent soulèvement du socle.

La quantité importante de gibbsite accumulée sur les reliefs de commandement est dissoute à son tour et l'alumine en solution relativement pure est entraînée vers les pentes et les glacis, où piégée, elle cristallise dans les pores de l'horizon d'accumulation absolue.

Simultanément les horizons kaoliniques supérieurs des glacis, mieux drainés, se gibbsitisent par désilicification de la kaolinite. Il s'établit ainsi un front de gibbsitisation qui descend progressivement dans les horizons argileux inférieurs. Ce front est surmonté de l'horizon d'accumulation absolue qui en suit l'abaissement. Par dégradation, la kaolinite joue ainsi le rôle de roche mère de la bauxite [8]. L'horizon supérieur déjà enrichi en fer et en alumine par apports latéraux dans la zone de battement de la nappe commence à s'indurer. Dans la partie inférieure du profil, plus proche du niveau de base, le drainage n'est pas suffisant pour évacuer la totalité de la silice : la synthèse de la kaolinite se poursuit aux dépens de la rochemère.

Dans la partie située à l'aval des glacis et à proximité des zones basses soumises à l'érosion de la nouvelle entaille, les concrétions ou les éléments figurés, antérieurement disséminés dans le sol, se concentrent par entraînement des particules fines de la matrice, l'excès d'alumine et de fer qui n'a pu être piégé dans les parties hautes du paysage vient enrichir les concrétions et autres éléments du sol en s'organisant sous forme de cortex alumino-ferrugineux leur conférant une structure pisolitique. Ultérieurement des apports d'alumine en solution viendront s'injecter dans les pisolites où apparaissent souvent, suivant un fin réseau de fissures, de belles cristallisations de gibbsite. Au cours de remaniements et apports successifs ces pisolites plus ou moins fracturés peuvent recevoir un cortex supplémentaire et être cimentés par une matrice alumino-ferrugineuse cristallisée sous forme de gibbsite, boehmite, goethite et hématite, qui s'indurera à son tour.

3) Le réseau hydrographique s'enfonce davantage, l'érosion régressive s'accroît, processus favorisés par le passage possible à un climat tropical à saisons plus contrastées. Les entailles progressent dans les altérites des parties basses des glacis et dans les formations peu indurées des reliefs de commandement mais sont stoppées au niveau de la partie moyenne des glacis où les horizons d'accumulation de fer et d'alumine, très indurés, vont former les corniches. Des portions de glacis sont ainsi isolées et dégagées sous forme de plateaux qui resteront pratiquement inchangés jusqu'à l'époque actuelle. La conjugaison des érosions amont et aval détermine ainsi dans bien des cas une inversion de relief portant les anciens glacis en position de plateaux dominants. Les sols et les recouvrements détritiques, hérités des reliefs de commandement, sont partiellement décapés et les cuirasses mises à nu.

Si les conditions pluviométriques sont suffisantes les processus de bauxitisation peuvent d'une part se poursuivre vers le bas aux dépens de la zone d'altération kaolinique, d'autre part progresser sous cette zone directement au contact de la roche mère. Nous retrouvons alors sous l'horizon kaolinique une lithomarge gibbsitique, type « pain d'épices » à structure de roche mère conservée.

A l'aval des glacis où alumine et fer ont été concentrés en milieu confiné, sous forme de pisolites jointifs et de taille constante, l'induration s'étend à la matrice. Ce niveau forme ainsi une couverture cuirassée qui protégera les collines basses situées en avant des plateaux. Il est fréquent de retrouver à l'aval de ces derniers et en éboulis sur leurs pentes des cuirasses pisolitiques témoignant de l'accrochage de celles-ci aux bauxites résiduelles supérieures.

4) Au cours des divers cycles climatiques et érosifs ultérieurs, les reliefs de commandement peuvent être totalement arasés. Affectée par quelques éboulements partiels des cor-

niches, la morphologie générale des plateaux ne change guère, la partie sommitale de la cuirasse subit des remaniements par dissolution et recimentation, ce qui se traduit par un enrichissement en fer et la formation d'une dalle bréchique, gravillonnaire ou compacte fortement indurée et assurant une bonne protection du relief.

Les cuirasses pisolitiques des collines basses totalement ou partiellement démantelées n'apparaissent souvent qu'à l'état de blocs résiduels reposant sur un profil tronqué gibbsitique ou kaolinique suivant l'intensité de l'érosion.

Si les conditions de pluviométrie requises sont suffisantes le front de gibbsitisation continue à progresser aux dépens de la zone d'altération kaolinique ou directement à partir de la roche saine.

L'interprétation génétique des observations géomorphologiques des massifs bauxitiques de Côte d'Ivoire et de l'étude minéralogique de leurs profils font considérer ces formations comme le résultat d'une longue période ferrallitisante suivie de fluctuations climatiques mineures qui favorisent la mise en mouvement et l'accumulation des éléments résiduels provenant de l'altération du substratum.

L'évolution du modelé et la succession chronologique des cycles climatiques permettent d'envisager le fonctionnement différentiel des profils qui, suivant leur position dans le paysage, seront soumis à des processus de désilicification progressive : minéraux primaires — (montmorillonite) — kaolinite — gibbsite, ou brutale : minéraux primaires — gibbsite.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ZANONE (L.), 1971. — La bauxite en Côte d'Ivoire. Bauxitisation et paléocuirasses. S.O.D.E.M.I. Abidjan, 184 p.
- [2] LAMOTTE (M.), ROUGERIE (G.), 1961. — Les niveaux d'érosion intérieurs dans l'ouest africain. *Recherches africaines Conakry*, n° 4, p. 51-70.
- [3] DELVIGNE (J.), GRANDIN (G.), 1969. — Etude des cycles morphogénétiques et tentative de chronologie paléoclimatique dans la région de Toumodi, en Côte d'Ivoire. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 269, série D, p. 1372-1375.
- [4] GRANDIN (G.), DELVIGNE (J.), 1969. — Les cuirasses de la région birrimienne volcano-sédimentaire de Toumodi: jalons de l'histoire morphologique de Côte d'Ivoire. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 269, série D, p. 1477-1479.
- [5] D'HOORE (J.), 1954. — Accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux. *I.N.E.A.C.*, 62, 131 p.
- [6] BOULANGE (B.), 1970. — Le massif basique de l'Orumbo-Bocca (Côte d'Ivoire) et sa cuirasse bauxitique. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. Géol., vol. II, n° 2, p. 185-203.
- [7] LACROIX (A.), 1913. — Les latérites de Guinée et les produits d'altérations qui leur sont associés. *Nouv. Arch. Mus.*, 5, p. 255-356.
- [8] GOLDMANN (M.), TRACEY (J. L.), 1946. — Relations of bauxite and kaolin in the Arkansas Bauxite deposit. *Econ. géol.*, 41, 6, p. 567.

*Laboratoire de Géologie d'Adiopodoumé
O.R.S.T.O.M., B.P. 20, Abidjan (Côte-d'Ivoire)*

I.C.S.O.B.A.

3^e Congrès International

Nice 1973

Boulangé

EXTRAIT

14 NOV. 1973
O. R. S. T. A. M. ext.
Collection de Références
n° B 6454 géol.