

LES FORMATIONS GIBBSITIQUES INDURÉES A MADAGASCAR

(PLANCHE 16)

PAR

F. BOURGEAT

(Pédologie ORSTOM)

RÉSUMÉ

Après avoir défini et décrit les principales formations gibbsitiques indurées que l'on observe à Madagascar, l'auteur étudie plus spécialement les résidus d'altération à faciès poreux. Ceux-ci se forment essentiellement sur les surfaces rajeunies du domaine oriental. Une hypothèse relative à l'altération dite « gibbsitique » a été avancée : il y aurait mise à nu, auprès de la surface, des horizons profonds riches en produits mal cristallisés au cours d'une phase d'érosion ancienne, puis lessivage intense en silice pendant une période humide ultérieure.

LES CUIRASSES, LES CONCRÉTIONS ET LES RÉSIDUS D'ALTÉRATIONS GIBBSITIQUES

Les cuirasses

De nombreuses prospections ont été faites pour la recherche de bauxites à Madagascar ; les résultats sont mentionnés dans les travaux de nombreux géologues, on peut citer en particulier les études de P. MAIGRE (1955, 1956, 1957), H. BESAIKIE (1957), P. BRENON (1957), G. HOTTIN (1961), H. BESAIKIE (1962), B. MOINE (1962). Compte tenu des observations faites en Afrique, les prospections ont été initialement orientées vers les plus anciennes surfaces d'érosion, notamment la surface « crétacé terminal », représentée par des témoins conservés ou « tampoketsa ». Mais à l'inverse de ce que R. MAIGNIEN (1958) a observé en Guinée, il n'y a pas ici de « cuirasse ancienne avec des effondrements, des cisaillements et des glissements d'horizons les

uns par rapport aux autres ». Les cuirasses « de plateau » ou de « bordure de plateau » sont le résultat d'une dessiccation relativement récente d'une ancienne zone tachetée riche en hydroxydes (horizon d'accumulation absolue ou relative). L'épaisseur du durcissement décroît « lorsqu'on s'éloigne des zones de drainage maximum ». L'horizon induré repose sur un horizon d'argile rouge ou directement sur un horizon tacheté ; il a un aspect vacuolaire ou pisolithique et présente une certaine continuité.

Les teneurs en aluminium dépassent rarement 30 à 40 p. 100 (teneur exprimée en Al_2O_3), le fer atteint 7 à 15 p. 100 (Fe_2O_3) et la silice combinée 2 à 20 p. 100 (SiO_2). Les teneurs en fer et en silice combinée dépendent d'ailleurs essentiellement des conditions de drainage, de la position topographique et de l'encaissement des talwegs. L'analyse des fractions fines aux rayons X et à l'ATD a décelé la présence de gibbsite et de faibles quantités de kaolinite et de goethite.

En fait, le cuirassement de ces hautes surfaces paraît plus localisé et beaucoup plus récent que celui observé dans certaines régions d'Afrique. Il ne présente pas de caractéristiques particulières et il ne nous paraît pas nécessaire d'insister sur la morphologie et la genèse de ces formations qui ont été très bien étudiées dans d'autres régions (R. MAIGNIEN, 1958).

Les autres formations gibbsitiques indurées

D'autres formations, assimilables à des concrétions ou à des résidus d'altérations, sont abondantes dans certains sols de Madagascar. Elles ont été improprement assimilées à des cuirasses par de nombreux

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 4709

C.R. Sem. Géol. Madagascar 1969

15 JUIN 1971

géologues ; les pédologues les ont le plus souvent désignées sous le nom de pseudo-concrétions (J. RIQUIER 1951) (J. HERVIEU 1960). Bien que quelques résidus d'altération conservent une certaine analogie de faciès avec la roche mère sous-jacente, cette dernière désignation ne nous paraît guère satisfaisante car la structure de la roche mère, sauf dans quelques cas extrêmes, est rarement discernable. D'autre part, on a regroupé sous ce vocable des formations très diverses et même des véritables concrétions zonées. Nous nous proposons d'étudier ici la genèse de ces formations gibbsitiques, mais il convient au préalable de les décrire, de définir leur position dans les profils pédologiques et de préciser leur localisation géographique.

DESCRIPTIONS DÉFINITIONS ET ANALYSES DES FORMATIONS GIBBSITIQUES

(à l'exclusion des cuirasses)

Les résidus gibbsitiques d'altération

Différents faciès définitions

Sur la surface fini-tertiaire de Farafangana, ou la surface intermédiaire de Mantasoa, de nombreuses tranchées de route dégagent les zones profondes d'altération des roches facilement décomposables. A côté d'une altération dite « kaolinique » où les minéraux, et les feldspaths en particulier, sont transformés en argile (essentiellement en kaolinite) ; on peut remarquer une altération dite « gibbsitique » caractérisée par l'apparition de masses poreuses (*résidus d'altération à faciès carrié*) ; les feldspaths y sont remplacés par des lamelles orientées correspondant à des mâcles de gibbsite. L'observation de ces faciès poreux à texture de « pain d'épice » a déjà été faite par A. LACROIX (1923) et J. HERVIEU (1960). Ce mode d'altération se produit sur des roches plus ou moins riches en feldspaths : leptynites, granites, migmatites, granitoïdes, gneiss, etc. ; il paraît plus rare, sinon absent, sur les schistes métamorphiques.

Dans ces mêmes régions on observe dans les horizons de départ des résidus d'altération ferruginisés plus cohérents où l'on note une juxtaposition de zones poreuses correspondant à une accumulation relative, et de zones compactes provenant d'une accumulation absolue. Nous parlerons en ce cas de « *résidus d'altération gibbsitique à faciès concrétionné* ».

A la suite des phénomènes de remaniement ou d'érosion ancienne, on remarque fréquemment,

dans le domaine central à influence orientale, une accumulation à la surface du sol, ou dans les horizons superficiels, des résidus d'altération. Ceux-ci sont recouverts d'une pellicule ferrugineuse brillante, très dure, qui rappelle la « patine du désert », ils peuvent être disposés en « stone-line » à la base d'un horizon colluvionné. Les formations indurées, remaniées, d'origine très diverse, ont souvent été assimilées à des pseudoconcrétions ; nous préférons les désigner sous le nom de gravillons : il s'agit d'une part de gravillons ferrugineux provenant de l'induration d'une ancienne zone tachetée ; et, d'autre part, de gravillons gibbsitiques résultat d'une altération complexe où la forte teneur en aluminium est liée à une accumulation absolue ou relative.

Examen de profil pédologique

Le profil TTB 68 = a été observé sur migmatite et migmatite granitoïde à l'ouest de la faille de l'Ihadiana, en bordure de la piste reliant Ankofika à Ambatomena (X = 810,3 ; Y = 544,5 ; Z = 1490). Le modelé est constitué par de larges croupes d'interfluves séparées par des talwegs profondément encaissés ; c'est un relief de rajeunissement de la surface meso-tertiaire, le drainage est actuellement bon.

Sur zone plane et sous végétation dense de *Philippia* et *Helicrysum* associés à des graminées.

TTB 681 = 0 — 15 centimètres. — Horizon noir organique à densité plutôt faible ; structure grumeleuse moyenne, degré de structuration élevé, cohésion moyenne à faible, bon enracinement, porosité forte — Argilo-sableux.

TTB 682 = 15 — 40 centimètres. — Horizon jaune ocre avec des zones plus grises humifères (remplissage d'anciennes cavités de racines ou d'animaux). La structure est polyédrique grossière ; les agrégats restent poreux et il n'y a pas de sous-structure bien développée. Degré de structuration assez élevé, enracinement moyen — Argileux.

TTB 683 = 40 — 75 centimètres. — Horizon ocre, structure polyédrique moyenne à grossière, sous-structure polyédrique fine bien individualisée, à la base les agrégats ont des faces luisantes, degré de structuration très élevé, cohésion moyenne à forte, porosité moyenne, enracinement nul. On observe déjà dans cet horizon des paillettes de muscovite — Argileux.

TTB 684 = 75 — 120 centimètres. — Horizon beige rose, structure polyédrique grossière, sous-structure polyédrique moyenne assez peu développée, degré de structuration moyen, porosité moyenne.

Cohésion moyenne. Les micas deviennent plus abondants à la base. Argileux avec une teneur relativement élevée en limons.

TTB 685 = 120 — 200. — Horizon beige rose violacé très micacé, la structure est polyédrique grossière mal développée à la partie supérieure ; à la partie inférieure, on reconnaît la structure plus ou moins litée de la roche mère. La cohésion est faible sur l'ensemble de l'horizon, la porosité est élevée. Très nombreux micas — Limoneux.

Dans cet horizon, les résidus d'altération à faciès concrétionné sont nombreux ; leur forme est irrégulière ; après cassure, on y observe une zonation très marquée. On remarque également la présence de véritables concrétions gibbsitiques à contours radiciformes (TTB 685 bis).

De 200 — 300 centimètres. — Horizon induré poreux à aspect carrié, qui se brise à la main, nombreux quartz. On observe le développement de très belles lamelles de gibbsite. Cette « carapace » (686 bis) n'est pas continue, elle est séparée par des niveaux d'altération plus limoneux correspondant à des lits plus micacés. Il y a également des « faciès d'accumulation » irrégulièrement répartis dans la masse, des concrétions radiciformes et une véritable dalle (686 ter). La disposition relative de ces différentes formations nous paraît très variable d'un profil à l'autre, elle est de toute façon difficile à définir à partir d'une fosse pédologique de dimensions trop réduites.

— A partir de 3 mètres on observe un horizon qui paraît argileux à l'état humide, plus limoneux à l'état sec. Il est rose avec des taches blanches correspondant à de nombreux feldspaths altérés. La densité est faible. A la sonde nous avons effectué plusieurs prélèvements :

- TTB 687 entre 3 et 4 mètres ;
- TTB 688 entre 4 et 5 mètres ;
- TTB 689 entre 6 et 7 mètres ;
- TTB 6901 entre 7 et 8 mètres ;
- TTB 6902 entre 8 et 9 mètres ;
- TTB 6903 entre 9 et 10 mètres ;
- TTB 6905 entre 10 et 11 mètres.

La granulométrie nous est apparue relativement homogène. On note une prédominance des quartz et des feldspaths et très peu de micas. A partir de 6 mètres apparaissent quelques taches rouilles à contours mal délimités.

Etude en lame mince

Les résidus d'altération à faciès poreux (1). — Des quartz fissurés corrodés, arrondis, troués sont associés à un ensemble microcristallin où les microcristaux paraissent plus ou moins orientés (gibbsite identifiée aux RX). Il n'y a pas de tassement important et l'ensemble apparaît vacuolaire. Le quartz est généralement le seul minéral primaire identifiable, mais il a subi des phénomènes de désagrégation et de dissolution ; très rarement des minéraux opaques en voie d'altération ont été reconnus ; les produits sont peu importants ou même absents.

Parfois il est possible de discerner un squelette gibbsitique qui occupe la place des anciens feldspaths : on devine les contours originels du minéral et le développement de microcristaux qui s'est fait à partir d'anciennes fissures. Mais le plus souvent la structure originelle de la roche mère n'est plus identifiable.

Les résidus d'altération gibbsitique à faciès concrétionné. — Les zones poreuses, généralement riches en quartz corrodés, rappellent les faciès précédemment étudiés. En dehors du quartz, les seuls minéraux primaires reconnaissables sont l'ilmenite et la magnétite. Il arrive que l'on puisse reconnaître un squelette de feldspath, transformé en gibbsite comme dans le cas précédent, la gibbsite paraît s'être initialement formée à partir d'un système de fissures et la zone comprise entre les fissures s'est, par la suite, entièrement hydrolysée.

Les zones non poreuses sont formées d'une masse microcristalline plus ou moins trouble. La couleur est généralement rose violacée mais elle dépend essentiellement de la teneur en fer de l'échantillon. On n'observe ici aucun élément conservé de la structure de la roche mère. Le passage entre les zones poreuses et compactes est toujours progressif.

Composition

Composition minéralogique. — L'étude de nombreux échantillons à l'analyse thermique différentielle et aux rayons X (diagramme de poudre) a montré la présence en forte quantité de gibbsite et de quartz, associés à de très faibles quantités de kaolinite. Ce minéral est même fréquemment absent dans de nombreux échantillons. Le fer ne

(1) Les lames minces, faites après consolidation par la résine, ont été étudiées au microscope polarisant par C. GENSE, géologue de l'ORSTOM, que nous tenons à remercier.

paraît pas cristallisé, il doit se trouver essentiellement à l'état de fer amorphe.

L'analyse thermique différentielle confirme la présence de gibbsite et de kaolinite.

Composition chimique. — L'attaque triacide fait apparaître une très forte proportion d'aluminium : la teneur en $Al^2 O^3$ varie généralement entre 35 et 50 p. 100. Le résidu dépend essentiellement de la richesse du matériau originel en quartz : il peut atteindre 45 p. 100, il reste toujours élevé car ces formations indurées se forment essentiellement au niveau des lits quartzo-feldspathiques. La silice combinée atteint rarement 5 p. 100 et le rapport $SiO^2/Al^2 O^3$ est compris entre 0,1 et 0,3

Les résultats analytiques correspondant au profil TTB 68 montrent que dans les horizons pédologiques supérieurs la proportion de silice combinée peut atteindre 10 à 30 p. 100, la kaolinite y est abondante (présence confirmée à l'ATD et aux rayons X). En fait le sol superficiel s'est constitué à partir d'un matériau riche en minéraux ferromagnésiens et micas, et l'on retrouve à la base la structure litée de la roche mère. En profondeur apparaît une structure granitoïde, les feldspaths altérés et le quartz sont abondants. Dans les zones de départ des migmatites de Mantasoa il y a alternance de lits ferro-magnésiens et lits quartzo-feldspathiques ; le pendage est encore reconnaissable, et les résidus d'altération gibbsique correspondent aux zones leucocrates. Les niveaux limoneux ou argileux renferment de la kaolinite et de la gibbsite ; ils sont généralement bien structurés, des micas y sont encore identifiables. Sur beaucoup de roches métamorphiques (gneiss migmatites) les faciès gibbsitiques alternent donc avec des faciès « kaoliniques » ce qui peut constituer une difficulté pour l'exploitation éventuelle des gisements de bauxites. Sur leptynites ou sur roches granitiques, l'altération « gibbsitique » prédomine et l'on n'observe pas des variations aussi brusques dans la teneur en silice combinée.

RÉSULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL TTB 68

Numéro échantillon	Perte au feu	Résidu	Fe^2O^3	SiO^2	Al^2O^3	TiO_2	SiO_2/Al^2O^3
682	20,8	37,5	6,6	11,0	20,7	1,4	0,9
683	16,6	21,5	6,3	21,7	32,2	0,9	1,1
684	14,9	18,0	5,5	26,6	31,8	0,9	1,4
685	11,3	25,9	3,8	29,5	27,5	0,5	1,8
685 bis	20,8	21,2	0,5	13,4	41,4	0,2	0,5
686 bis	18,9	38	3,0	3,3	39,2	0,4	0,1

Les concrétions gibbsitiques

Différents faciès

Dans de nombreux profils pédologiques du domaine oriental, des accumulations de gibbsite s'individualisent sous la forme de concrétions. Celles-ci sont généralement peu nombreuses, et leur existence reste liée à des conditions locales de drainage. Ces faciès, toujours localisés, sont souvent passés inaperçus ou ont été assimilés à ceux que nous avons précédemment décrits. Les types morphologiques sont très variés ; ils correspondent à des concrétions arrondies ou bourgeonnantes, à des concrétions radiciformes, ou à des dalles compactes.

Les concrétions arrondies ou bourgeonnantes. — Certaines concrétions très arrondies ressemblent à de véritables galets fluviatiles, elles ont en général quelques centimètres de diamètre ; d'autres montrent des protubérances aux contours irréguliers mais toujours émoussés, elles sont de plus grande taille (une dizaine de centimètres). Toutes les concrétions sont très dures, pauvres en quartz, très riches en gibbsite : la teneur en $Al^2 O^3$ peut atteindre 50 à 60 p. 100. Lorsqu'elles sont pauvres en fer, elles apparaissent uniformément blanches ; mais lorsque la teneur en Fe^2O^3 atteint 5 à 6 p. 100, l'intérieur apparaît rose ou rouge violacé ; parfois il y a alternance régulière de zones blanches et de zones colorées.

Cette structure zonée, liée à la compacité et à la dureté des diverses strates, n'est pas sans rappeler le faciès de certaines concrétions siliceuses. Cette analogie serait même à l'origine de certaines confusions : avant d'effectuer des analyses, nous avons assimilé ces concrétions de gibbsite à des concrétions siliceuses. De même nous pensons que les encroutements siliceux évoqués par N. MEGERLIN et E. RABENJANAHARY (1968) sont en réalité des accumulations de gibbsite ; il n'existe pas, à notre connaissance, des accumulations siliceuses sur les Hautes Terres et dans le domaine oriental, là où précisément les formations gibbsitiques sont abondantes.

Les concrétions radiciformes. — Elles ont des contours très irréguliers et prennent parfois l'allure de racines ; ailleurs leur disposition rappelle une évolution à partir d'une ancienne zone tachetée. Ces concrétions sont moins dures, moins compactes. Suivant la teneur en fer, l'intérieur apparaît rose ou blanc. La teneur en $Al^2 O^3$ est très variable (30 à 55 p. 100) ; sur roches mères acides, de nombreux grains ou quartz sont emballés dans le ciment gibbsitique.

Les dalles gibbsitiques. — L'accumulation de gibbsite peut constituer de véritables dalles compactes massives à structure zonée. De l'argile (essentiellement de la kaolinite) se trouve piégée dans certaines cavités. L'horizon induré est très compact, discontinu, il ne dépasse pas une dizaine de centimètres d'épaisseur. Des grains de quartz très brillants sont irrégulièrement répartis dans la masse ; ils correspondent à des quartz primaires cimentés. Les teneurs en $Al^2 O^3$ sont toujours fortes et elles dépassent 45 p. 100. Ces formations compactes s'observent généralement à l'intérieur ou au sommet d'un horizon pédologique où l'on observe des traces d'hydromorphie anciennes ; mais le drainage actuel paraît généralement satisfaisant.

Examen de quelques profils pédologiques

Profil TTB 46 (X = 707,5, Y = 586,5, Z = 925) :

Ce profil a été observé au nord-ouest de Moramanga sur le plateau bien conservé de Bevoana qui constitue un témoin de la surface fini-tertiaire dans le bassin effondré de Moramanga. La topographie est plane ; la végétation constitue une pseudo-steppe riche en *Aristida*, *Philippia* et Fougères. La roche mère n'a pas été identifiée, la forte teneur en quartz observée à partir de 3,20 mètres semble être liée à une variation granulométrique du matériau originel.

TTB 461 = 0 — 15 centimètres. — Horizon humifère gris, structure grumeleuse, sub-anguleuse, agrégats grossiers, cohésion forte, degré de structuration élevé, très poreux, bon enracinement ; passage distinct avec l'horizon suivant, limoneux à l'analyse, paraissant plus sableux au toucher.

TTB 462 = 15 — 50 centimètres. — Horizon rouge, structure continue à éclats, à tendance polyédrique légèrement compact, porosité moyenne, quelques racines, argilo-limoneux, paraît plus sableux au toucher.

TTB 463 = 50 — 100 centimètres. — Horizon rouge à structure continue, à très faible tendance polyédrique grossière, secondairement poudreux friable ; présence de préconcrétions argileuses arrondies faiblement durcies, passage diffus avec l'horizon suivant, forte porosité, quelques racines, argilo-limoneux, paraît plus sableux au toucher.

TTB 464 = 100 — 200 centimètres. — Horizon rouge à structure polyédrique marquée, pas de sous-structure, secondairement friable et poudreux, degré de structuration faible, forte porosité tubu-

laire, présence de petites concrétions noires de manganèse, argileux, paraît plus sableux au toucher.

TTB 465 = 200 — 250 centimètres. — Horizon rouge à structure polyédrique, tendance à une sous-structure mieux marquée, degré de structuration moyen. On note la présence de quelques concrétions ferrugineuses à contours irréguliers. Celles-ci sont violacées, le ciment enveloppe des grains de quartz brillants (TTB 465 *bis*). On observe également des petites concrétions très arrondies de gibbsite, les plus grosses ont quelques centimètres de diamètre.

TTB 466 = 250 — 320 centimètres. — Horizon jaunâtre à taches rouilles, argilo-sableux avec quelques concrétions très arrondies de gibbsite, certaines à surface lisse ressemblent à de véritables galets fluviaux, d'autres ont une surface mamelonnée (TTB 465 *bis*)

TTB 467-468-469 = 320 — 600 centimètres. — Horizon beige à trainées jaunes et rouilles, argilo-sableux. On note encore la présence de concrétions gibbsitiques ; elles forment moins de 1 p. 100 de la masse totale. On n'observe pas de minéraux primaires identifiables en dehors du quartz. Trois prélèvements ont été effectués à la sonde entre 320 et 430 centimètres, 480 et 520 centimètres, 520 et 600 centimètres. Ce profil correspond à un sol profond riche en microconcrétions ferrugineuses, le rajeunissement ancien et actuel a été peu marqué. Les concrétions gibbsitiques s'individualisent dans un horizon présentant des taches d'hydromorphie. En tête de talweg, dans des zones ayant subi un rajeunissement récent, on observe une concentration plus ou moins marquée en concrétions bourgeonnantes remaniées (gravillons gibbsitiques).

Profil TTB 45 (X = 796 ; Y = 584 ; Z = 920).

Profil observé dans une tranchée de route à 4 kilomètres de Moramanga (tranchée de l'éolienne). Plateau cristallin fossilisé par des alluvions anciennes. La roche mère est un gabbro ; par suite des processus d'hydromorphie, le faciès d'altération s'apparente à celui des lits argileux observés dans les alluvions fluvio-lacustres anciennes et ce sol a parfois été décrit comme un sol formé sur terrasse rubéfiée (F. BOURGEAT, J. HERVIEU, J. RIQUIER 1964). Cette interprétation nous paraît maintenant erronée car nous avons observé dans la même zone le contact entre la roche mère et la zone d'altération.

0 — 8 centimètres. — Horizon humifère à structure grumeleuse mal individualisée, secondairement particulaire fin, non prélevé.

TTB 451 = 8 — 30 centimètres. — Horizon jaune à structure continue à très faible tendance polyédrique grossière, assez friable et secondairement poudreux, moins compact, porosité moyenne. Argilo-limoneux, paraît riche en pseudo-sables. A l'intérieur de cet horizon on observe quelques petites concrétions ferrugineuses et des concrétions gibbsitiques radiciformes, généralement blanches ou roses (452 *bis*). Celles-ci représentent 10 à 20 p. 100 de la masse totale.

TTB 454 = 60 — 150 centimètres. — Horizon beige rouge, structure polyédrique avec une sous-structure polyédrique très développée, degré de structuration exceptionnel, faciès luisants sur les agrégats, cohésion forte, argileux. Les concrétions radiciformes, plus ou moins poreuses, sont abondantes, elles sont irrégulièrement réparties dans la masse ; leur disposition n'est pas sans rappeler les contours d'une ancienne zone tachetée.

TTB 454 = 150 — 500. — Horizon beige rouge avec des taches plus rouilles très proche du précédent, structure encore mieux développée, très riche en concrétions radiciformes (prélèvement 454 *bis*).

TTB 455 = 500 — 800. — Zone tachetée où l'on note une faible tendance à l'induration, taches blanches et violacées à contour mal délimité, argileux plastique très faible cohésion, on observe à l'intérieur de cet horizon des plaquettes ferrugineuses très denses, très compactes — TTB 455 *bis*.

Ce profil correspond à un sol ferrallitique profond appauvri les traces d'hydromorphie actuelles et anciennes y sont très nettes. Au niveau de certaines zones de départ et dans certaines strates sableuses des dépôts fluvio-lacustres anciens, on observe également des concrétions radiciformes. Elles sont généralement peu abondantes, très poreuses, riches en quartz.

Profil TTB 59 ($X = 553$; $Y = 793,8$; $Z = 1475$) :

Profil observé au nord du lac de Mantasoa sur la surface meso-tertiaire rajeunie. Le relief est en fait constitué de larges coupes d'interfluve. L'encaissement actuel du système hydrographique permet un bon drainage. Sous replat sommital et végétation dense de *Phillipia*, il y a accumulation en surface, des résidus d'altération à faciès concrétionnés, leur surface irrégulière est recouverte d'une patine ferrugineuse.

TTB 591 = 0 — 40 centimètres. — Horizon noir à faible densité, grumeleux fin à poudreux, degré de structuration faible, cohésion très faible, présence

de gravillons ferrugineux et gibbsitiques. Porosité très forte, bon enracinement sableux.

TTB 592 = 40 — 150 centimètres. — Horizon beige rose avec des zones blanches, polyédrique grossier, sous structure polyédrique plus fine mal individualisée, porosité faible, cohésion très forte ; quelques micas. On observe dans cet horizon des concrétions radiciformes et des blocs indurés (prélèvement TTB 592 *bis*).

TTB 593 = 150 — 180 centimètres. — Horizon blanc veiné de rouille, structure polyédrique grossière à cubique, porosité faible, cohésion forte, argilo-limoneux.

A partir de 180 centimètres, dalle gibbsitique discontinue montrant des alternances de zone blanche et rose très compact, assez riche en quartz, la surface est irrégulière (TTB 593 *bis*). Par rapport aux deux profils précédents, ce sol a été fortement rajeuni par l'action de l'érosion. Les résidus d'altération qui se trouvaient vraisemblablement à l'intérieur du profil ont été accumulés en surface. Au niveau de la dalle, l'hydromorphie ancienne se manifeste par l'apparition d'une structure large et d'une coloration tachetée.

Etude en lames minces

Les concrétions radiciformes apparaissent au microscope polarisant comme une masse opaque avec des nombreux pores de petite taille ; autour des vacuoles on observe, fréquemment, une zone microcristalline. La richesse en quartz dépend de la roche mère ; le minéral apparaît usé et corrodé.

Les concrétions et dalles gibbsitiques sont opaques et constituées par un ensemble microcristallin. Les zones bien cristallisées sont faiblement poreuses ; l'orientation des cristaux y est peu marquée et on ne retrouve aucun élément de structure de la roche mère. La présence de strates plus ou moins régulières est liée à la répartition des produits rouilles constitués vraisemblablement par du fer amorphe.

Composition

Les teneurs en aluminium sont comme nous l'avons déjà signalé très variables. Si on ne tient pas compte de l'influence de la roche mère, les concrétions radiciformes sont plus riches en quartz,

le résidu à l'attaque triacide peut y atteindre 30 p. 100. La silice combinée dépasse rarement 10 p. 100 ; elle se situe le plus souvent aux environs de 3 à 5 p. 100. Par rapport à l'horizon meuble qui les emballa, il y a toujours concentration en gibbsite dans ces formations indurées et disparition plus ou moins complète de la silice combinée. Cette accumulation absolue dans le cas de concrétions arrondies, ou relative (?) dans le cas des concrétions radiciformes, apparaît très nettement à la lecture du tableau (voir page suivante) résumant l'ensemble des résultats analytiques obtenus après attaque triacide.

Composition minéralogique

L'étude des divers échantillons aux rayons X (Diagramme de poudres) et à l'analyse thermique différentielle a surtout fait apparaître la présence de gibbsite, la teneur en quartz est très variable, la kaolinite se trouve toujours en faible quantité. Ce dernier minéral est cependant plus abondant que dans les résidus d'altération, il est bien cristallisé et les pics caractéristiques à 3,58 Å° et 7,13 Å° apparaissent nettement aux rayons X. Nous n'avons pas détecté la présence de fer cristallisé.

N° échantillon	Perte au feu	Résidu	SiO ₂ Combinée	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
TTB 452	24,6	8,4	11,4	10,6	44,6	2,9	0,4
TTB 452-bis	29,2	0,8	4,7	9,8	53,8	1,0	0,2
TTB 453	20,4	1,6	24,0	10,5	42,9	2,0	1,0
TTB 454	15,8	1,2	32,1	12,5	36,5	1,8	1,5
TTB 454-bis	30,51	1,6	6,4	3,7	58,05	0,8	0,2
TTB 455	17,3	0,9	24,1	29,9	29,9	1,9	1,4
TTB 462	33,6	33,6	8,6	15,6	25,6	2,6	0,6
TTB 463	30,2	30,2	8,2	18,4	27,4	2,6	0,5
TTB 464	16,3	22,8	9,8	18,2	31,1	2,3	0,5
TTB 465	16,77	14,1	10,6	37,1	20,5	3,4	0,9
TTB 465-bis	30,1	4,6	4,3	3,7	55,1	0,8	0,1
TTB 466	13,1	23,7	18,1	15,1	25,5	2,3	1,2
TTB 467	7,7	50,9	15,3	7,8	17,8	1,4	1,4
TTB 468	9,0	43,5	18,8	6,4	21,3	1,6	1,5
TTB 592	19,1	19,6	18,7	2,1	38,3	1,4	0,8
TTB 592-bis	28,7	14,6	4,1	0,5	49,4	0,4	0,1
TTB 593	17,6	20,3	21,4	1,4	37,9	1,5	1,0
TTB 593-bis	28	16,6	0,6	0,6	48,9	0,4	0,1

**RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE
DES FORMATIONS GIBBSITIQUES
(à l'exclusion des cuirasses)**

L'existence des concrétions gibbsitiques constitue toujours une curiosité locale. On note par contre, dans certaines régions, un développement des faciès d'altération gibbsitique. En dehors de la roche mère, deux facteurs paraissent conditionner ce mode d'altération : le climat et le relief.

Influence du climat

L'altération dite « gibbsitique » a surtout été observée dans le domaine climatique oriental ou le domaine central à influence orientale. On pourrait alors supposer que le climat actuel est responsable de l'individualisation de la gibbsite et que celui-ci n'a subi dans le passé que de faibles variations. En

fait ce mode d'altération complexe ne correspond pas toujours aux limites climatiques actuelles, il est essentiellement localisé à des zones où l'altération ancienne est intense et profonde. Le climat de la zone orientale a vraisemblablement toujours été plus humide que les autres régions de l'île et il semble normal que l'on observe, là, un développement maximum des résidus d'altération gibbsitique. Ceux-ci s'observent néanmoins en bordure du Moyen Ouest sur le plateau du Famoizankova qui correspond à la surface rajeunie des « tampoketsa ». Dans la région même d'Arivonimamo (Y = 487,5 ; X = 788,3) nous avons pu constater la présence de concrétions radiciformes de gibbsite dans l'horizon d'altération d'une migmatite granitoïde.

Influence du relief

Le modelé semble avoir une influence primordiale sur la répartition et l'abondance des faciès

d'altération gibbsitique. Ceux-ci sont absents sur l'ensemble des reliefs résiduels et sur la plupart des reliefs dérivés (exception faite de quelques reliefs dérivés des « tampoketsa » sur les Hautes Terres).

Sur les témoins d'aplanissement les mieux conservés du domaine oriental on observe, sous des sols profonds, uniquement des concrétions gibbsitiques ; dans la région centrale, en particulier dans la région des « tampoketsa », ces concrétions, se localisent sur les versants accusés des talwegs.

Les formations carriées, riches en gibbsite, sont liées à un rajeunissement plus ou moins accusé des surfaces d'érosion récentes ; sur la surface supérieure, elles n'apparaissent qu'à la suite d'un rajeunissement intense. Plusieurs observations nous paraissent à ce propos très significatives :

— La bordure orientale du « tampoketsa » d'Ankazobe (cote 1666) a été disséquée ; on y observe actuellement une succession de reliefs dérivés couverts de résidus d'altération gibbsitique ; ceux-ci n'apparaissent pas, à l'Ouest, sur la surface bien conservée.

— Dans la région de Moramanga, le bloc effondré, situé à l'est de la faille du Mangoro, a subi un basculement vers le Nord-Est. Sur les plateaux bien conservés, à l'intérieur du bassin, on observe dans certains profils pédologiques quelques concrétions gibbsitiques (profil TTB 46) ; le relief mieux marqué en bordure du Mangoro a été davantage rajeuni et les faciès gibbsitiques y sont très abondants.

— Sur la surface méso-tertiaire, qui borde à l'ouest la falaise de l'Angavo, le rajeunissement du relief a entraîné la formation d'un modelé d'interfluve. On observe ici une accumulation spectaculaire des résidus d'altération sous la forme d'un pavage irrégulier à la surface du sol et de niveaux durcis dans les zones d'altération des migmatites granitoïdes.

— Sur la surface fini-tertiaire du domaine oriental, les carapaces gibbsitiques poreuses sont souvent associées à des sols peu profonds et des minéraux primaires s'observent à faible profondeur (sols ferrallitiques pénévulés). Le modelé conserve néanmoins la marque de l'aplanissement ancien.

On pourrait multiplier les exemples mais il ne nous paraît pas utile d'énumérer ici toutes les remarques que nous avons pu faire à ce sujet. Toutes nos observations sont concordantes : *l'accumulation des débris d'altération gibbsitique s'observe essentiellement sur les surfaces d'érosion (en particulier dans le domaine oriental) ; elle est liée à une reprise d'érosion récente.*

HYPOTHÈSE RELATIVE A LA FORMATION DES RÉSIDUS D'ALTÉRATION GIBBSITIQUE

Origine de la gibbsite dans les sols et cortex d'altération

Formation de gibbsite primaire

Dans le cortex d'altération des roches, la gibbsite peut avoir une origine directe (« gibbsite primaire ») ; elle provient de l'altération des minéraux primaires en particulier des feldspaths. La transformation directe des feldspaths en gibbsite est maintenant bien établie ; les travaux de G. MILLOT et M. BENIFAS (1955) en Guinée et de L.-T. ALEXANDER et J.-G. CADY (1962) en Afrique occidentale l'ont confirmée. Plus récemment J. DELVIGNE, étudiant les phénomènes d'altération au Congo, est arrivé aux mêmes conclusions. Enfin, G. PEDRO (1964) a obtenu au laboratoire la synthèse de la gibbsite en lessivant des fragments de roches basiques par un courant d'eau à 70°. L'étude de quelques profils d'altération sur roche acide à Madagascar, nous a permis de déceler dans le domaine oriental la présence de gibbsite au niveau des premières écailles d'altération.

Formation de gibbsite « secondaire »

La gibbsite peut également provenir de l'altération des silicates de néosynthèse (kaolinite, produits mal cristallisés, gels). La formation de gibbsite à partir de la kaolinite a fait longtemps l'objet de controverses entre les auteurs : MOHR (1944) et G. WAEGMANS (1951) pensaient que la kaolinite était un minéral stable, très difficilement altérable ; J.-B. HARRISON en Guyane Britannique (1933), J.-J. FRIPPIAT, M.-C. GASTUCHE, J. COUVREUR au Congo (1954), P. SEGALEN à Madagascar (1957), G. SIEFFERMANN au Cameroun (1959), Ph. WACRENIER au Tchad (1961), ont admis l'altération de la kaolinite en gibbsite. J. D'HOORE (1954) et M.-C. GASTUCHE (1959) ont d'ailleurs observé au microscope électronique la corrosion des cristaux de kaolinite ; certaines matières organiques existant dans les sols ainsi que les alternances de dessiccation et d'humectation pourraient favoriser cette altération.

On note dans la plupart des sols de Madagascar, et en particulier dans les sols ferrallitiques appauvris, un enrichissement relatif des horizons supérieurs en gibbsite ; nous n'avons aucune raison particulière pour ne pas admettre que cette gibbsite provient en partie de l'altération de la kaolinite.

Formation des résidus d'altération gibbsitique

Pour G. MILLOT (1964) la transformation des feldspaths en kaolinite implique une hydrolyse complète du minéral ; « à partir des ions libérés, les trois minéraux qui se constituent sont la goëthite, la gibbsite et la kaolinite ». J.-B. HARISSON (1933), S.-S. GOLDICH (1938) et N. LENEUF (1959) ont montré que la formation de gibbsite « primaire » dépend essentiellement des conditions de drainage. En milieu bien drainé, la silice est éliminée et la gibbsite apparaît ; en milieu mal drainé la silice maintenue sur place se recombine à la gibbsite pour former de la kaolinite.

Nous avons vu que les résidus d'altération gibbsitique se localisent sur les surfaces d'érosion rajeunies où la topographie est plus plane et le drainage est moins efficace que sur les reliefs résiduels. Nous serions alors tenté d'admettre que la gibbsite a, ici, une origine secondaire. L'altération profonde de la roche mère se traduit par la présence en profondeur de minéraux mal cristallisés et de produits amorphes. Nous admettons que le décapage des horizons superficiels au cours d'une période de rajeunissement (correspondant à un assèchement du climat) aurait ramené près de la surface des horizons profondément altérés pauvres en minéraux cristallisés. Le retour à un climat plus humide a permis le recréusement du système hydrographique ; l'augmentation des précipitations liée à un drainage satisfaisant, entraîne alors un lessivage intense de la silice. Il est possible que les alternances d'humectation et de dessiccation subies, pendant la période sèche, par l'horizon d'altération soient en partie responsables de cette libération intense de la silice. Des expériences, que nous ne pouvons pas détailler ici, nous ont montré que les zones d'altération cèdent plus facilement de la silice dans l'eau lorsqu'elles ont été desséchées.

L'absence de faciès d'accumulation de gibbsite sur les reliefs très accusés du domaine oriental pourrait être la conséquence d'une altération très ancienne moins marquée ; ou d'un décapage jusqu'à la roche mère des sols au cours de la période érosive ancienne.

La présence de concrétions de gibbsite confirme par ailleurs que l'aluminium, insoluble dans les conditions de pH des sols, est un élément susceptible d'être mobilisé. Cette migration (qui se produit peut-être sur des faibles distances) peut se faire sous la forme de pseudo-solutions renfermant des gels ou des squelettes minéraux désorganisés ; elle n'implique pas nécessairement un passage en solution.

Evidemment l'hypothèse que nous avons formulée quant à l'origine de certaines formations gibbsitiques devra être encore confirmée et étayée sur une étude minéralogique plus précise. Certaines analyses des zones de départ, actuellement en cours, permettront peut être de mieux préciser nos idées et d'apporter des données nouvelles sur le processus de formation que nous avons suggéré. Celui-ci, en l'état actuel d'avancement de nos travaux, nous paraît le seul susceptible d'apporter une explication plausible à nos observations de terrain.

CONCLUSIONS

L'étude des formations gibbsitiques indurées confirmerait l'importance des phénomènes de rajeunissement du relief et de l'érosion des sols. Nous poursuivons, actuellement, l'étude de ces processus complexes d'altération. Madagascar, du fait de son relief marqué, présente une originalité certaine par rapport à de nombreux pays africains et les résultats acquis dans ceux-ci ne doivent pas nécessairement orienter les prospections futures.

BIBLIOGRAPHIE

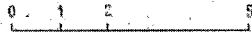
- ALEXANDER L.T. CADY J.-G., 1962. — *Genesis and Hardening of laterite in soils* USDA « Techn. Bullet. », 1982, 90 p.
- AUBERT G., 1965. — *Classification des sols. Tableaux des classes, sous classes, groupes et sous groupes utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM*. « Cah. Ped. ORSTOM », pp. 269-288.
- BESAIRIE H., 1962. — *Reconnaissance sur les bauxites du sud-est de Madagascar*. « Arch. Serv. Géol. Madagascar », A 1831, juin 1962.
- BESAIRIE H., 19657. — *Considération sur les gîtes de bauxites et les pénéplaines de Madagascar*. « Rapp. An. Serv. Géol. », Tananarive, pp. 83-87.
- BESAIRIE H., 1962. — *Nouveaux indices de bauxites à Madagascar*. « Rapp. An. Serv. Géol. », Tananarive, pp. 179-182.
- BOURGEAT F., RAKOTOMIRAHO J.-D., 1968. — *Reconnaissance pédologique dans la région de Farafangana*. « Rapp. Ronéo. prov. » 23 p. ORSTOM, Tananarive.
- BOURGEAT F., HERVIEU J., RIQUIER J., 1964. — *Colloque UNESCO. Présentation de quelques profils de sols ferrallitiques. Etude du milieu pédogénétique dans les environs de Tananarive*. Pub. ORSTOM, Tananarive, 87 p.
- DELVIGNE J., 1965. — *Pédogénèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique*. « Mém. ORSTOM », Dunod Ed., Paris, XIIIe, 177 p.
- D'HOORRE J., 1954. — *L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux*. « Publ. INEAC », 62, 132 p.

- FRIPPIAT J.-J., GASTUCHE M.-C., COUVREUR J., 1954. — *Nature de la fraction argileuse des sols du Congo Belge et du Ruanda. Urundi.* « CR, 5^o Cong. Intern. Sc. sol », 2, pp. 430-438.
- GASTUCHE M.-C., 1959. — *Etude de l'altération de la kaolinite par divers agents chimiques.* « Silic. Indust. », mai-juin, pp. 1-16.
- GOLDICH S.-S., 1939. — *A study of rock weathering.* J. Geol. 46, pp. 17-23.
- HERVIEU J., 1960. — *Notices sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000^e.* Feuille n^o 33. Brickaville-Moramanga. Publ. IRSM, Tananarive, 69 p.
- HOTTIN G. — *Recherches de bauxites sur les tampoketsa de la région centrale.* Tr. Bur. Geol., Tananarive 104, 27 p.
- LACROIX A., 1933. — *Minéralogie de Madagascar.* « Soc. Ed. Geog. Marit. et Col. », Paris, t. III, 450 p.
- LENEUF N., 1959. — *L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte-d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés.* « Th. Sci. Pub. ORSTOM », 210 p.
- MAIGRE P., 1955. — *Rapport sur les recherches de bauxite sur le tampoketsa d'Ankazobe.* « Arch. Serv. Geol. » A 1 050, Tananarive.
- MAIGRE P., 1956. — *Les gisements de bauxite d'Ankazobe.* « Arch. Serv. Geol. » A 1 099, Tananarive.
- MAIGRE P., 1957. — *Recherches de bauxite sur le tampoketsa de Fenoarivo.* « Arch. Serv. Geol. » A 1 231, Tananarive.
- MAIGNIEN R., 1958. — *Le cuirassement des sols en Guinée.* « Thèse Strasbourg. Publ. Mem. Carté Geol. Als-Lor. », 1958, 16, 204 p.
- MECERLIN N., RABENJANAHARY E. — *Interprétation géologique des profils magnétiques effectués sur le gisement de fer d'Ambatoloana 1968.* « Rapp. Ann. Serv. Geol. » Tananarive, pp. 125-131.
- MILLOT G., BONIFAS M., 1955. — *Transformation isovolumétrique dans les phénomènes de la téricisation et de bauxitisation.* « Bullet. Serv. Carte. Géol. », Als. Lor. 8, pp. 3-10.
- MILLOT G., 1964. — *Géologie des Argiles.* Masson C^{ie}, 499 p.
- MOHR E.-C.-J., 1944. — *Soils of equatorial regions with special reference to the Netherlands East Indie.* « Ann. Arbor. Michigan », 766 p.
- MOINE B., 1962. — *Prospection des bauxites dans la région Sud-Est.* « Rapp. Ann. Serv. Geol. », 1962, pp. 165-177.
- PEDRO G., 1964. — *Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines.* « Ann. 15, 2, 3, 4, 344 p.
- SIEFFERMANN G., 1959. — *Premières déterminations des minéraux argileux des sols du Cameroun.* « Rapport ORSTOM », n^o 99, pp. 1-10.
- WACRENIER Ph., 1961. — *Mission de recherche de bauxite au Logone et au Mayo Rabbi (Tchad).* « Bullet. Inst. Equat. Recher. EE Geol. Min. » ; 14, pp. 37-41.
- WAECEMANS G., 1951. — *Latérites et bauxites.* « Bullet. Agric. Congo Belge », 42, pp. 567-574.

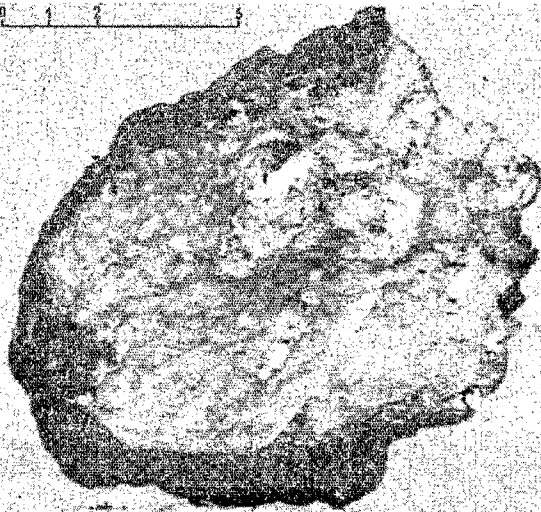
LÉGENDE DES PHOTOS

1. — Fragment de dalle gibbsitique ;
2. — Morceau de dalle gibbsitique remanié (gravillon gibbsitique) : structure zonée. Cavités remplies de kaolinite. Peltule ferrugineuse de surface ;
3. — Concrétions gibbsitiques bourgeonnantes ;
4. — Concrétions gibbsitiques à faciès radiciforme (accumulation absolue).

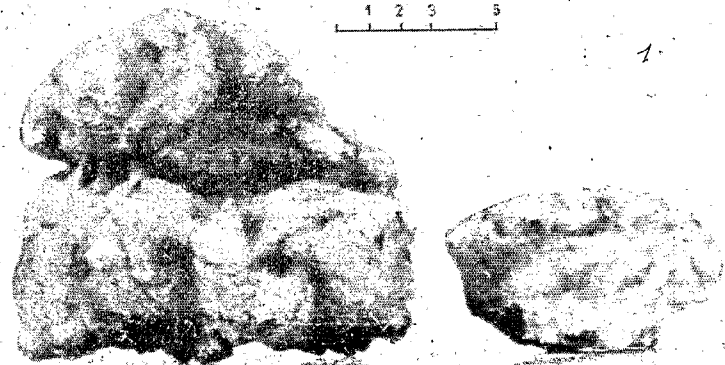
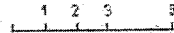
Pl. 16



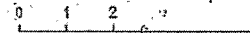
1



2



3



4

CONCRETIONS GIBBSITIQUES