

# ALTÉRATION DU BASALTE DANS UNE BASSE-COLLINE DE LA CÔTE EST DE MADAGASCAR (UNITÉ MORPHOLOGIQUE DE CETTE RÉGION)

Claude GENSE

*Section de Géologie du Centre ORSTOM de Madagascar*

## RÉSUMÉ

A Madagascar, à proximité de la Côte Est, des formations basaltiques affleurent sur de grandes étendues. Cette région, au climat chaud et humide, a un paysage constitué de basses-collines, séparées par des dépressions marécageuses. Une carrière creusée dans l'une de ces basses-collines a permis de faire un certain nombre d'observations. On a reconnu trois faciès d'altération du basalte doléritique ; deux d'entre eux sont très typiques : un produit poreux jaune rougeâtre (ou pain d'épice) qui contient de la gibbsite en grande quantité et de l'argile grise essentiellement constituée de minéraux de la famille de la kaolinite. Le troisième faciès apparaît sur l'affleurement entre le pain d'épice et l'argile grise ; il est intermédiaire par ses couleurs et sa composition minéralogique. Le pain d'épice se développe dans les fissures du basalte massif ou autour des boules, dans les zones latérales de la basse-colline (bien drainées) ; le faciès argile grise existe uniquement dans la partie interne de la basse-colline, la moins bien drainée. On présente dans ce travail, les résultats de l'étude minéralogique et chimique des différents faciès. Il se dégage que la gibbsite peut avoir deux origines : elle se forme soit directement à partir des plagioclases (dans le pain d'épice), soit par transformation des minéraux de la famille de la kaolinite dans le haut de la coupe. La gibbsite formée en bas du profil, se transforme, en partie, en minéraux de la famille de la kaolinite (métahalloysite, kaolinite désordonnée). Enfin, la solubilité de l'aluminium est plus importante dans le faciès kaoliniques que dans les faciès gibbsitiques.

## ABSTRACT

In Madagascar, along the east coast, basaltic formations have a large extension. This region, with a hot and wet climate, presents a landscape constituted of low hills, separated by swampy depressions. Hollowed in one of these low hills, a quarry permitted to make some observations. Three weathering facies of doleritic basalt were recognized ; two then very typical : a yellow and porous product which contains gibbsite in high quantity and grey clay mainly constituted of kaolinic minerals. On the outcrop, the third facies appears between the yellow and porous product and the grey clay ; it is intermediate by its colors and its mineral composition. The gibbsite product develops in the cracks of massive basalt or around the boulders in the lateral parts of the low hills (well drained), the grey clay exists only in the central part of the low hill, which is not so well drained. This work presents the results of mineral and chemical

studies of these different facies. It appears that gibbsite may have two origins : it forms either directly from plagioclases or by transformation of kaolinic minerals at the top of the quarry. The gibbsite, formed at the bottom, transforms, partly, in kaolinic minerals (metahalloysite, kaolinite). Finally, aluminium solubility is more important in kaolinic facies than in gibbsitic ones.

#### ZUSAMMENFASSUNG

In der Nähe der Ostküste von Madagaskar gibt es Basalt-Aufschlüsse, die sich über weite Gebiete erstrecken. Die Gegend, die einem warmen, feuchten Klima unterliegt, besteht aus niedrigen Hügeln, zwischen denen moorige Niederungen liegen. Ein Steinbruch in einem dieser Hügel gab zu einigen Beobachtungen Anlass. Es wurden drei Verwitterungsfazies des doleritischen Basaltes erkannt ; zwei davon sind sehr typisch : die erste ist ein rötlich-gelbes, poröses Gebilde (der sog. « Lebkuchen »), das eine beträchtliche Menge Gibbsit enthält ; die zweite ist ein grauer Ton, der vorwiegend aus Mineralien der Kaolinitfamilie besteht. Die dritte Fazies tritt im Aufschluss zwischen dem « Lebkuchen » und dem grauen Ton auf ; durch ihre Farbe und ihre mineralogische Zusammensetzung erweist sie sich als eine Uebergangsfazies. Der « Lebkuchen » bildet sich in den Spalten des massiven Basaltes oder rings um die Kugeln in den seitlichen, gut entwässerten, Teilen des Hügels ; die graue Tonfazies tritt lediglich im inneren, schlecht entwässerten Bereich des Hügels auf. In vorliegender Arbeit werden die Ergebnisse der mineralogischen und chemischen Untersuchung der verschiedenen Fazies dargestellt. Daraus geht hervor, dass es für Gibbsit zwei Entstehungsmöglichkeiten gibt : er bildet sich entweder unmittelbar aus den Plagioklasen (im « Lebkuchen »), oder durch Umwandlung der Mineralien der Kaolinitfamilie im oberen Teil des Profils. Der Gibbsit, der sich im unteren Teil des Profils bildet, wird teilweise in Mineralien der Kaolinitfamilie (Metahalloysit, ungeordneter Kaolinit) umgewandelt. Die Lösbarkeit des Aluminiums, schliesslich, ist in der Kaolinitfazies erheblicher als in der Gibbsitfazies.

#### РЕЗЮМЕ

*В Мадагаскаре, вблизи восточного побережья, выходят на поверхность, на обширных пространствах, базальтовые образования. Ландшафт этой области, с теплым и влажным климатом, состоит из невысоких холмов, отделенных друг от друга болотистыми низменностями. Карьер, вырытый в одном из этих холмов, позволил провести ряд наблюдений. Были опознаны три фации преобразования долеритового базальта; две из них весьма типичны: пористый, красно-желтый продукт (так наз. « пряник »), содержащий большое количество гиббсита и серая глина преимущественно состоящая из минералов семейства каолинита. Третья фация наблюдается на месте выхода на поверхность, между « пряником » и серой глиной; по окраске и по минеральному составу эта фация является пограничной. « Пряник » развивается в трещинах массивного базальта или вокруг комков, в боковых (хорошо дренированных) зонах холма; фация серой глины находится лишь во внутренней части последнего, наименее дренированной. В работе приводятся результаты минералогического и химического исследования различных фаций. Из него следует что происхождение гиббсита может быть двояким: он образуется либо непосредственно из плагиоклаз (в « прянике »), либо путем преобразования минералов семейства каолинита, в верхней части разреза. Гиббит образовавшийся в нижней части профиля частично превращается в каолинитовые минералы (метгаллузит, неупорядоченный каолинит). Наконец, растворимость алюминия в каолинитовой фации сильнее чем в гиббитовых фациях.*

INTRODUCTION

Le volcanisme basique s'est largement manifesté à Madagascar. Sur la grande Ile, à proximité de la côte est, des basaltes doléritiques crétacés constituent une bande de 400 km de long et de 25 km de large, parallèle à la côte. La morphologie de cette formation basaltique est caractéristique ; le paysage est constitué par une association de basse-collines séparées par des dépressions marécageuses. Ces basse-collines ont des altitudes comprises entre 15 et 70 m et couvrent des surfaces comprises entre 0,01 et 1 km<sup>2</sup>. La basse-colline est ainsi l'unité morphologique.

Le climat de cette région est caractérisé par une pluviométrie annuelle de 2 à 3 m, les pluies sont réparties sur toute l'année, la température moyenne annuelle est de 23 °C.

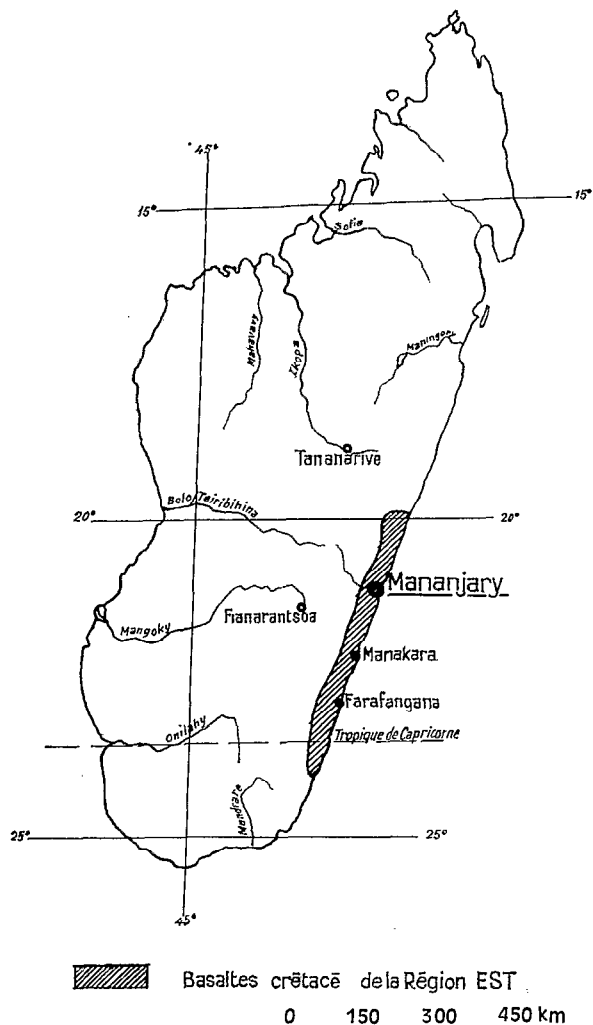


FIG. 1. — Madagascar.

Une carrière importante, creusée dans une basse-colline, permet l'observation d'un profil d'altération de basalte jusqu'au niveau de la roche saine. La basse-colline étudiée est située à 4 km à l'ouest de Mananjary ; elle couvre une surface de 0,01 km<sup>2</sup> environ, sa base (niveau du marécage) est à 20 m d'altitude, sa hauteur maximum est de 15 m environ. Le front de la carrière a 50 m de long et 10 m de haut ; il est constitué d'argile rouge (2,5 YR-5/6) (1) dans sa partie inférieure, et rouge jaunâtre (5 YR-5/6) dans sa partie supérieure (localement argile violette sur toute la hauteur de la coupe). A sa base, quatre faciès ont été reconnus :

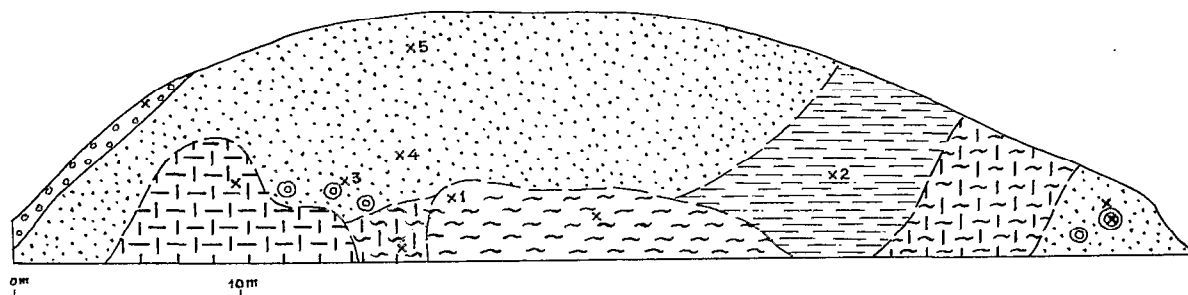
- le pain d'épice ou cortex d'altération poreux jaune rougeâtre (7,5 YR-6/6) associé au basalte sain ;
- l'argile grise massive (5 YR-7/1) ;
- un faciès intermédiaire constitué par l'association de pain d'épice et d'argiles grise et rose ;
- l'argile violette en contact avec l'argile grise.

Le faciès basalte-pain d'épice (basalte massif avec pain d'épice dans les fissures, ou boules de basalte sain entourées de pain d'épice) est situé dans les parties latérales de la basse-colline, à proximité des pentes les plus importantes, dans les zones les mieux drainées.

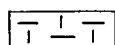
L'argile grise massive affleure dans la partie interne la moins bien drainée. La zone

intermédiaire apparaît entre du basalte massif associé au pain d'épice et l'argile grise. La zone violette est en contact avec l'argile grise, elle semble provenir de la transformation de cette dernière.

(1) Le code MUNSELL a été utilisé pour désigner les couleurs (échantillons secs).

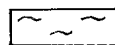


### Faciès

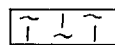


Association basalte sain-pain d'épice

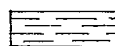
⊗ Blocs de basalte entourés de pain d'épice et situés au milieu de l'argile rouge



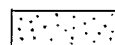
Argile grise



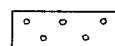
Faciès intermédiaire



Argile violette



Argile rouge



Colluvions

### Situation des échantillons

x Échantillons analysés

1-2-3-4-5 - Échantillons définis - p. 254

FIG. 2. — Schéma du front de la carrière.

## MINÉRALOGIE DES DIFFÉRENTS FACIÈS

### *Le pain d'épice ou cortex d'altération jaune rougeâtre*

L'observation au microscope polarisant montre que le pain d'épice provient de la transformation, avec conservation des volumes, du basalte doléritique. Tous les minéraux primaires sont entièrement altérés ; les plagioclases sont en partie vidés de leur substance, en partie transformés en gibbsite, les pyroxènes sont remplacés par des produits rouille, certains minéraux sont devenus rouges et microcristallins (minéraux opaques et pyroxènes). Ce produit d'altération est constitué de gibbsite (45 %), de minéraux de la famille de la kaolinite mal cristallisés (20 %), de gèthite et de traces de chlorite.

### *L'argile grise*

L'observation au microscope polarisant montre que l'argile grise provient de la transformation, avec conservation de la structure et des volumes, du basalte doléritique. Tous les minéraux primaires sont entièrement altérés, à l'exception des minéraux opaques ; les plagioclases sont transformés en produits troubles et microcristallins, les minéraux situés entre les microlites de plagioclases sont altérés en produits rouille.

L'argile grise est constituée de 75 % de minéraux de la famille de la kaolinite : métahalloysite et kaolinite désordonnée sensiblement dans les mêmes proportions et traces d'halloysite, et de goëthite. A noter l'absence de gibbsite.

*Le faciès intermédiaire*

Il est constitué par une formation argileuse contenant des petits blocs de pain d'épice.

On a étudié un bloc de pain d'épice entouré par deux couches argileuses concentriques : une couche interne jaune, une couche externe rose pâle.

Le pain d'épice contient des minéraux mal cristallisés de la famille de la kaolinite (40 %), de la gibbsite (9 %) et de la goëthite. L'argile jaune est constituée de 57 % de kaolinite et de métahalloysite, de 7 % de gibbsite, et de goëthite. L'argile rose pâle contient 65 % de kaolinite désordonnée et de métahalloysite, 5 % de gibbsite et de la goëthite.

L'analyse de ces trois produits montre une évolution dans l'organisation des minéraux. Les minéraux mal cristallisés de la famille de la kaolinite qui se forment dans le pain d'épice se transforment dans les argiles jaune et rose pâle en kaolinite désordonnée et en métahalloysite. Cette transformation est accompagnée par l'augmentation de la quantité totale de minéraux de la famille de la kaolinite et de la diminution de la quantité de gibbsite.

*Les argiles rouge et rouge jaunâtre*

Cette formation est en place. Dans les argiles rouge et rouge jaunâtre, la structure de la roche mère n'est pas reconnaissable. Deux échantillons ont été prélevés, l'un à six mètres de profondeur (un mètre au-dessus du pain d'épice) (2,5 YR-5/6), l'autre à un mètre de profondeur (5 YR-5/6).

L'échantillon situé à six mètres de profondeur est constitué de : 55 % de minéraux de la famille de la kaolinite (métahalloysite-kaolinite désordonnée et minéraux mal cristallisés), 10 % de gibbsite et de la goëthite.

L'échantillon prélevé à un mètre de profondeur est constitué de 17 % de minéraux de la famille de la kaolinite (kaolinite désordonnée dominante, métahalloysite, minéraux mal cristallisés), de 38 % de gibbsite, et de goëthite.

*L'argile violette*

Dans cette argile, la structure de la roche mère n'est pas reconnaissable. L'argile est constituée de métahalloysite-kaolinite désordonnée, de minéraux mal cristallisés de la famille de la kaolinite (petite quantité), de gibbsite (petite quantité), de goëthite et de chlorite.

*Les produits argileux rouge-jaunâtre colluvionnés, situés sur les pentes de la basse-colline*

Ils sont constitués de minéraux mal cristallisés de la famille de la kaolinite (16 %), de gibbsite (46 %) et de goëthite.

RELATIONS GÉNÉTIQUES ENTRE LES DIFFÉRENTS PRODUITS D'ALTÉRATION

*Transformation du cortex d'altération jaune-rougeâtre*

L'argile rouge située entre les écailles ou dans les fissures du cortex d'altération, semble provenir de sa transformation.

Elle est constituée de gibbsite (40 %), de minéraux mal cristallisés de la famille de la kaolinite (15 %) et de g ethite. L'argile rouge et le cortex d'altération ont donc des compositions minéralogiques voisines et les minéraux qui les constituent présentent le même degré de cristallinité. D'autre part ces deux produits ont sensiblement la même composition chimique.

TABLEAU I

*Analyses chimiques du cortex d'altération jaune-rougeâtre et de l'argile rouge*

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Perte � 1000 �C	Somme
Argile rouge . . . . .	6,7	32,7	< 0,1	< 0,2	37,1	0,323	4,34	0,12	< 0,10	19,84	101,10
Cortex d'altération jaune-rougeâtre . . .	7,9	35,2	0,6	< 0,2	33,0	0,185	4,27	< 0,10	< 0,10	20,71	101,91

Les différences existant entre le cortex d'altération et l'argile rouge sont :

- la couleur : 7,5 YR 6/6 pour le premier produit et 2,5 YR 5/6 pour le second,
- le fait que la structure de la roche mère est conservée dans le cortex d'altération et ne l'est pas dans l'argile rouge.

L'argile rouge semble se former par émiettement du cortex d'altération.

#### *Evolution des minéraux argileux dans le profil*

Les échantillons suivants ont été étudiés :

- l'argile grise dont le volume est conserv e (1) ;
- l'argile violette, dont le volume n'est pas conserv e (2) ;
- l'argile rouge provenant de la transformation du pain d'épice (3) ;
- l'argile rouge située à 6 m de profondeur et à 1 m au-dessus du pain d'épice (4) ;
- l'argile rouge-jaunâtre située à 1 m de profondeur (5).

Comparaison de :

- (1) — (2)
- (1) — (4)
- (3) — (4)
- (4) — (5)

(a) les échantillons (1) et (2) ont des compositions minéralogiques assez voisines, les différences sont :

- la présence de gibbsite en petite quantité dans l'argile violette, pas de gibbsite dans l'argile grise,
- la structure de la roche mère est reconnaissable dans l'argile grise, elle ne l'est pas dans l'argile violette.

Il semble que l'argile violette provienne de l'argile grise.

(b) les échantillons (1) et (4) ont des compositions minéralogiques assez voisines, la seule différence est l'absence totale de gibbsite dans l'argile grise et sa présence en petite quantité (10 %) dans l'argile

rouge. Celle-ci, située en bas de profil, peut provenir de la transformation de l'argile grise. Le changement de couleur serait accompagné de la transformation d'une petite quantité de minéraux de la famille de la kaolinite en gibbsite.

(c) les échantillons (3) et (4) ont des compositions minéralogiques différentes. L'argile rouge provenant de la transformation du pain d'épice contient de la gibbsite en grande quantité (42 %) et des minéraux mal cristallisés de la famille de la kaolinite (15 %) ; l'argile rouge située dans le profil, un mètre au-dessus du pain d'épice, est constituée de 10 % de gibbsite seulement et de 55 % de minéraux de la famille de la kaolinite, en particulier des minéraux assez bien cristallisés (métahalloysite-kaolinite désordonnée). Ces déterminations quantitatives montrent que l'argile rouge évolue en bas de profil : la quantité de gibbsite diminue en même temps qu'augmente la quantité totale des minéraux de la famille de la kaolinite et qu'apparaissent des minéraux assez bien cristallisés (métahalloysite-kaolinite désordonnée).

(d) les échantillons (4) et (5) contiennent les mêmes minéraux argileux mais dans des proportions très différentes.

L'argile rouge, située en bas de profil, est constituée de 10 % de gibbsite et de 55 % de minéraux de la famille de la kaolinite. L'argile rouge-jaunâtre, située en haut de profil contient 38 % de gibbsite et 17 % de minéraux de la famille de la kaolinite. Il semble que, dans le haut du profil, (un ou) des minéraux de la famille de la kaolinite (probablement la métahalloysite) se transforment en gibbsite. Cette transformation a déjà été envisagée à Madagascar par SEGALIN (1957) et GENSE (1968). SIEFFERMANN (1968) a montré la dégradation de la métahalloysite en gibbsite, dans les horizons supérieurs de vieux sols ferrallitiques, sur basaltes du centre Cameroun.

GÉOCHIMIE

*Compositions chimiques du basalte sain, du pain d'épice, de l'argile grise et de l'argile rouge (exprimées en pourcentages)*

Les analyses chimiques de roche saine, de pain d'épice et d'argile grise ont été effectuées sur des échantillons qui ont préalablement été étudiés au microscope polarisant ; nous avons en particulier vérifié que la roche est parfaitement saine ou entièrement altérée, et que les volumes des roches altérées sont conservés. Trois échantillons de roche saine, prélevés en trois points de la carrière, aussi éloignés que possible les uns des autres, deux échantillons d'argile grise prélevés en deux points distants de cinq mètres et deux échantillons de pain d'épice prélevés aux deux extrémités de la carrière ont été analysés.

TABLEAU II

*Analyses chimiques du basalte sain et des différents produits d'altération*

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Perte à 1000 °C	Somme
Argile rouge . . . . .	6,7	32,7	< 0,1	< 0,2	37,1	0,323	4,34	0,12	< 0,10	19,84	101,10
Argile grise . . . . .	33,7	26,9	0,3	< 0,2	23,9	0,184	4,11	0,12	< 0,10	12,82	102,15
Pain d'épice . . . . .	7,9	35,2	0,6	< 0,2	33,0	0,185	4,27	< 0,10	< 0,10	20,71	101,91
Basalte sain . . . . .	49,2	13,8	6,3	10,6	14,7	0,235	3,33	2,38	0,53	0,40	101,59

Les trois échantillons de basalte sain ont des compositions chimiques voisines ; il en est de même pour les deux échantillons de pain d'épice et les deux échantillons d'argile grise. Il semble donc que la roche saine, le pain d'épice et l'argile grise soient des faciès ayant chacun une composition chimique relativement homogène.

On a déjà vu plus haut que le pain d'épice et l'argile rouge avaient des compositions chimiques voisines ; par contre l'argile grise a une composition chimique qui diffère beaucoup de celles des deux autres produits d'altération (il en est de même pour les compositions minéralogiques).

L'argile grise et le pain d'épice se sont formés par transformation du même basalte doléritique et avec conservation des volumes. Le raisonnement isovolumétrique appliqué au basalte sain, au « pain d'épice » et à l'argile grise permet d'établir le bilan géochimique de ces transformations.

*Dépôts d'éléments dus aux transformations basalte-pain d'épice (néoformation de gibbsite en grande quantité), basalte-argile grise (néoformation de minéraux de la famille de la kaolinite)*

Les dépôts d'éléments ont été évalués à partir des analyses chimiques d'échantillons, situés sur la coupe, à faible distance les uns des autres ; les échantillons de roche saine et de pain d'épice ont été prélevés dans le même bloc.

TABLEAU III

*Dépôts d'éléments dus aux transformations basalte-pain d'épice, basalte-argile grise*

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Transformation en pain d'épice	-94	-10	-96	-100	-14	-67	-52	-100	-100
Transformation en argile grise	-74	-27	-98	-100	-38	-67	-53	-99	-100

Les dépôts sont exprimés en pourcentages par rapport à la teneur de l'élément dans la roche mère.

Les résultats présentés dans le tableau III, en ce qui concerne la transformation du basalte en pain d'épice, sont dans l'ensemble en accord avec ceux obtenus par BONIFAS (1959) dans son étude de l'altération, en Guinée, de la dolérite en pain d'épice (sauf pour le titane), et à ceux obtenus par DELVIGNE (1965) dans les profils gibbsitiques de Côte d'Ivoire.

La transformation du basalte en minéraux de la famille de la kaolinite entraînerait des dépôts d'aluminium assez importants ; DELVIGNE (1965) a déjà signalé, dans ses profils kaoliniques de la Côte d'Ivoire, des dépôts, pour cet élément, du même ordre de grandeur.

Dans le but de dégager la représentativité de la valeur obtenue ci-dessus, nous avons calculé les dépôts d'aluminium dans les deux cas suivants :

1. on considère l'échantillon de roche saine qui contient le moins d'aluminium et l'échantillon de roche altérée qui en contient le plus ; on obtient un départ de 26,5 %.

2. on considère l'échantillon de roche saine qui contient le plus d'aluminium et l'échantillon de roche altérée qui en contient le moins ; on obtient un départ de 37,3 %.

Il ne semble donc pas exagéré d'admettre que dans la transformation du basalte en minéraux de la famille de la kaolinite, les dépôts d'aluminium soient de l'ordre de 27 %.

#### Observations

— Le départ de silice est plus important dans la transformation en pain d'épice que dans la transformation en argile grise.



— Les départs d'aluminium, de fer et de magnésium sont moins importants dans la transformation en pain d'épice que dans la transformation en argile grise.

— Dans les deux types de transformation : potassium, sodium et calcium sont entièrement éliminés.

— Le titane a un comportement identique dans les deux types de transformation ; il en est de même pour le manganèse.

— Dans la transformation basalte-pain d'épice, le fer et l'aluminium ont sensiblement le même comportement (déplacés à 10 et 14 %), dans la transformation basalte-argile grise, ces éléments ont aussi des comportements assez voisins, mais ils sont déplacés en plus grande quantité (−27, −38).

#### *Interprétations*

(a) Le pain d'épice se forme dans des conditions de bon drainage (en particulier dans les fissures) ce qui peut expliquer :

— le départ important de la silice et le départ faible de l'aluminium, qui permettent la formation de gibbsite.

— le départ faible du fer, qui s'oxyde (milieu aéré) et précipite dès qu'il est libéré, par hydrolyse des minéraux primaires ferro-magnésiens.

(b) L'argile grise se forme dans des conditions de moins bon soutirage, ce qui peut expliquer que :

— les départs de silice sont moins importants que pour la formation de pain d'épice, et que des minéraux de la famille de la kaolinite se forment ;

— les départs de fer sont importants, le fer migre probablement à l'état ferreux.

#### CONCLUSIONS

(1) Dans cette basse colline de basalte altéré, on a reconnu : l'hétérogénéité de la zone d'altération (faciès et minéralogie) et le passage sur une faible distance d'un faciès à l'autre.

(2) les faciès d'altération :

— le pain d'épice (gibbsite en grande quantité)

— l'argile grise (métahalloysite et kaolinite désordonnée en grande quantité, pas de gibbsite) correspondent à un type de transformation géochimiquement défini. Sur la coupe entre ces deux faciès, on trouve un faciès d'altération intermédiaire (morphologie et composition minéralogique).

(3) Les différents faciès d'altération sont en relation avec le drainage (déterminé par la position topographique et la fissuration de la roche mère) ; et de faibles différences dans le soutirage des solutions permettent d'obtenir soit de la gibbsite, soit de la kaolinite.

(4) Dans une même coupe, la gibbsite primaire (formée à partir des plagioclases) et la gibbsite secondaire (formée par dégradation des minéraux de la famille de la kaolinite) sont présentes.

(5) Le lessivage de l'aluminium est plus important dans les faciès kaoliniques que dans les faciès gibbsitiques.

#### BIBLIOGRAPHIE

BONIFAS (M.), 1959. — Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique, *multigr.*, thèse Strasbourg, 159 p.

- DELVIGNE (J.), 1965. — Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. *Mém. ORSTOM*, n° 13, ORSTOM/Dunod, Paris.
- GENSE (C.), 1968. — L'altération des roches volcaniques basiques de la côte est de Madagascar. Premières observations. *Semaine Géologique de Madagascar 1968*, 5 p.
- SIEFFERMANN (G.), BESNUS (Y.), MILLOT (G.), 1968. — Evolution et dégradation des phyllites dans les vieux sols ferrallitiques sur basaltes du centre Cameroun. *Science du sol 1968*, n° 2, 13 p.
- SEGALEN (P.), 1957. — Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. *Mèm. IRSM*, D 8, 182 p. (thèse Paris).
- TARDY (Y.), 1969. — Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. (Thèse Strasbourg), *multigr.*, 266 p.