

par J. HERVIEU

Chargé de Recherches ORSTOM - IRSM - Madagascar -

Les coulées basaltiques d'âge crétacé constituent un élément structural important du relief malgache, en particulier dans les bassins sédimentaires de Maj nga et de Morondava.

Dans ces régions occidentales de l'île, le massif de l'Analavelona au sud-ouest et le plateau d'Antanimena au nord ouest, ont déjà été étudiés par P. SEGALEN dans sa thèse sur les sols dérivés de roches volcaniques basiques (1).

Notre étude se limite donc aux coulées de l'Ouest proprement dit, qui s'étendent en arrière de la région côtière, depuis le fleuve Tsiribihina jusqu'à la rivière Sambao (fig. 1). Les phénomènes d'altération observés sur ces basaltes et les sols auxquels ils ont donné naissance nous ont paru réunir des caractéristiques suffisamment nettes pour constituer un ensemble pédogénétique particulier, et mériter la comparaison avec les phénomènes de pédogénèse étudiés par P. SEGALEN, sur roches mères analogues, dans d'autres régions de l'île.

GEOLOGIE et MORPHOLOGIE SOMMAIRES DES REGIONS

ETUDIEES

Mises à part quelques buttes résiduelles au sud de la Tsiribihina, dans les environs du canton d'Antsoha, la série basaltique de l'ouest ne constitue un élément morphologique notable qu'au nord de la rivière Manambolo.

Les coulées crétacées, intercalées entre les sédiments grésocalcaires du Crétacé moyen et supérieur, sont principalement datées du Turonien-Coniacien (2) et les roches basiques y sont prédominantes (sakalavites, basaltes, labradorites).

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

Collection de Référence

n° 14010

Les affleurements s'élargissent considérablement au nord d'Antsalova pour atteindre jusqu'à 4.0 km de large dans la région de Maintirano et s'interrompent ensuite au sud de la rivière Bemarivo, dans le district de Besalampy. Au nord-ouest du dôme cristallin de Bekodoka, toujours dans le district de Besalampy, un vaste témoin de ces coulées basaltiques a subsisté sur la surface des sédiments de l'Isalo, avec ici des roches volcaniques acides et des intrusions gabbroïques.

La surface structurale primitive a été très fortement attaquée par l'érosion, et la profondeur d'altération de la roche, telle qu'on peut l'observer sur les profils complets conservés localement, a facilité les phénomènes d'érosion accélérée (ravins et "lavaka").

Les coulées présentent une pente notable vers l'ouest, surtout dans la région d'Amipasimena, à l'ouest de Maintirano, où elles atteignent l'altitude de 374 m (Manonga). Cependant, par suite de l'érosion, les côtes vers l'ouest sont souvent inférieures à 100 m et au nord de la rivière Manambaho, les éléments les mieux conservés de la surface structurale atteignent 150 à 170 m d'altitude.

Ces coulées crétacées, lorsqu'elles reposent sur les grès rouges du crétacé moyen, n'ont formé, comparativement à ceux-ci, qu'une "cuesta" très atténuée, malgré le pendage notable du substratum. Ceci s'explique par l'altération profonde et généralisée des matériaux basaltiques, alors que les phénomènes de pédogénèse dans les grès quartziques et ferruginisés ont été beaucoup plus lents;

À l'Ouest de Bekodoka, la pente des coulées au-dessus de l'Isalo est plus faible; il en résulte un front de côte plus net, localement accentué par un réseau hydrographique plus actif (affluents de la rivière Maningoza). Il en est de même à l'ouest du canton de Bébao, là où la rivière Ranobe suit une direction monoclinale avant sa percée cataclinale vers l'ouest, à travers les basaltes.

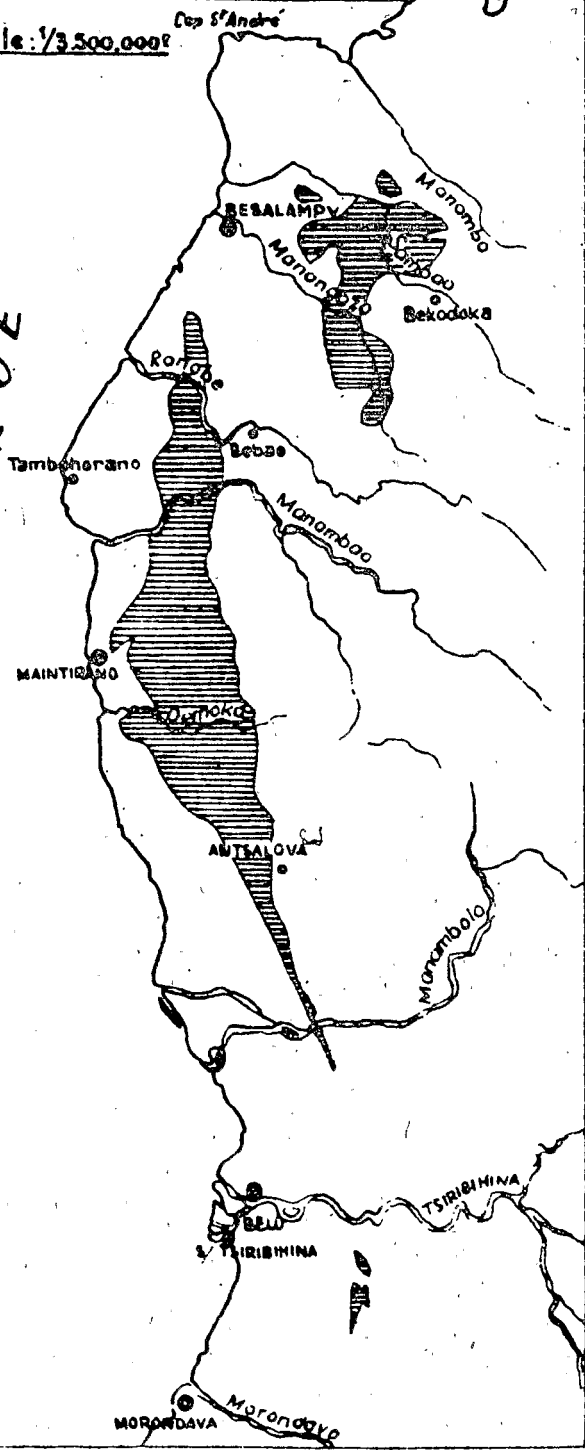
Dans la région côtière occidentale, les coulées basaltiques disparaissent localement sous les sédiments calcaires du crétacé supérieur mais le plus souvent s'ennoient sous la carapace sableuse rubéfiée qui recouvre indistinctement la plus grande partie des sédiments tertiaires et quaternaires.

Recouvrant les surfaces planes les mieux conservées de ces régions basaltiques, des témoins de carapace sableuse (ac.) ont été figurés sur la carte géologique au 1/100.000 (3). Nous verrons qu'il s'agit en réalité d'un épais manteau d'altération, pour la plus grande par-

Situation Géographique des coulées basaltiques
d'âge crétacé dans l'Ouest de Madagascar

Echelle: 1/3.500.000

CANAL DE MOZAMBIQUE



-Fig.1-

tie en place, et très différent de la carapace sableuse plio-quaternaire que l'on trouve plus à l'ouest dans toute la zone sédimentaire.

En ce qui concerne les rivières principales drainant vers l'ouest on constate à leur traversée dans les basaltes, une certaine aptitude à méandrer. Bien que constituant une forme de creusement ou d'équilibre, ces méandres n'ont pu se produire que grâce à une couverture d'altération homogène et non dans la roche dure. Actuellement un certain nombre de ces méandres paraissent d'ailleurs en voie de régression (en particulier sur la rivière Mamnabaho).

D'après les formes qu'on peut observer actuellement, il semble que les différents stades de l'évolution du relief aient été les suivants :

- Erosion généralisée en nappe sur plateaux à faible pente, après destruction de la végétation forestière primitive.

- Erosion dans les sols argileux basaltiques avec formation d'une topographie de type "bad-land".

- Formation de ravins et "lavaka" avec recul d'escarpements au niveau de la roche altérée et comblement partiel des bas-fonds par les produits colluviaux et alluviaux (sols noirs de dépressions).

- Ravinements dans la roche altérée et formation d'escarpements rocheux dus à des fractures ou à des niveaux ferruginisés durcis. Ces escarpements rocheux, dont la base s'ennoient dans les débris d'altération, constituent avec quelques surfaces témoins des plateaux primitifs les éléments morphologiques fondamentaux du paysage actuel.

La roche-mère se débite en polyèdres et plaquettes plus ou moins ferruginisés, comme cela est habituel en climat chaud subhumide. L'altération en boules du basalte ou des roches basiques, classique sur les Hauts Plateaux en climat chaud et humide, n'est bien observable ici qu'à la base des profils de sols résiduels épargnés par l'érosion.

La dissection actuelle est favorisée par la dégradation poussée de la végétation secondaire de prairie où sont dominantes les espèces Heteropogon, Hyparrhenia et Aristida.

LES SOLS RESIDUELS

Comme nous l'avons déjà signalé, les profils profonds, ou peu tronqués, ne subsistent que sur les témoins de l'ancienne surface structurale. Ceux-ci se présentent sous forme de buttes isolées sur les reliefs très érodés entre Antsalova et la rivière Manambaho. Les éléments les mieux conservés se trouvent au nord immédiat de la Manambaho (le long de la piste de Bëbao) d'une part, au sud de la rivière Sambao (au sud de la route Besalampy-Bekodoka) d'autre part.

Les "lavaka" qui ravinent ces témoins, montrent une altération très profonde du basalte sur plus de 20 m d'épaisseur, avec en particulier un horizon bariolé de roche altérée très épais.

Les horizons supérieurs du sol sont rouge-brun à rouge violacé, très argileux, sans fraction quartzique, ce qui exclut immédiatement, sinon les remaniements de surface, du moins la présence d'une carapace sableuse analogue à celle rencontrée sur le sédimentaire plus à l'ouest ou dans la dépression permo-triasique.

La végétation est en général une prairie à Heteronogon et Aristida très dégradée (la prairie à Hyparrhenia occupe plutôt les pentes et bas-fonds). Des témoins forestiers (forêt tropophile de l'Ouest) subsistent très localement, et nous avons noté sur une butte témoin à l'ouest de Maintirano, la présence assez insolite de Ravenala madagascariensis, arbre caractéristique de la brousse secondaire du versant humide oriental.

Le profil type. Ce profil a été observé dans un "lavaka" en bordure d'un plateau drainé par un petit affluent de la Manambaho : la Kiranomena, au sud de la piste du canton de Bëbao. L'horizon humifère n'est pas différenciable à cause de la très forte érosion en nappe et de la couleur très foncée du sol.

Morphologie

- 0 - 50 cm : Horizon rouge brun, finement fendillé en surface, argileux, à structure polyédrique fine secondairement poudreuse. Cohésion moyenne, enracinement faible.
- (TO 21)
- 0,5 à 4,5 m : Horizon rouge vif à rouge violacé, argileux, structure massive, secondairement polyédrique à poudreuse. Cohésion assez forte, enracinement très faible.
- (TO 22)
(TO 23)

4,5 à 15 m : Matériau rouge jaune sans structure originelle visible, argileux mais peu cohérent, structure polyédrique à granulaire, enracinement nul.
(To24)

Entre 15 et 25 m : Roche basaltique altérée mauve ou rose violacé avec taches et marbrures blanches. Toucher kaolinique, polyédrique à l'état sec.
(To 25)

Dans le fond du ravin on peut observer des boules rocheuses de taille variable, avec écailles d'altération jaunâtres et à l'intérieur une roche grisâtre encore dure. Le fond du ravin et le chenal d'écoulement temporaire du "lavaka" sont occupés par des épandages de pseudo-sable ferrugineux non quartzique.

Partout nous avons retrouvé le même profil à l'échelle des profondeurs près. Cependant, dans quelques cas, en particulier sur les plateaux situés au sud de la Sambao, nous avons observé vers 2 m à 2,5 m de profondeur, dans l'horizon rouge, un niveau de 20 à 30 cm d'épaisseur très riche en petites concrétions ferrugineuses de 1/2 centimètre de diamètre en moyenne, rarement agglomérées en éléments de cuirasse.

L'existence de ces zones concrétionnées reflète probablement une hydromorphie ancienne résultant de l'action de nappes perchées temporaires.

Caractéristiques physico-chimiques (cf. Tableau I).

La réaction du sol est fortement acide dans tout le profil, les valeurs du pH se rapprochant le plus souvent de 5,5 et pouvant même être inférieures à 5,0 dans les horizons profonds.

Les teneurs en argile sont élevées et dépassent fréquemment 60% dans l'horizon rouge. Les teneurs en limon sont également élevées (30 à 40%). Il y a peu de sable fin et de très faibles quantités de sable grossier sauf dans la roche en altération.

Ces sols se comportent à l'érosion à la fois comme des matériaux argileux (transports en suspension) et comme des sables car l'agrégation par les oxydes de fer est importante et cela explique l'abondance des pseudo-sables au fond des thalwegs élémentaires.

Au laboratoire, un échantillon d'horizon rouge a fourni après dispersion à l'hexamétaphosphate de soude 69,4% d'argile et 10,2 % de limon alors que le même échantillon après dispersion à l'eau distillée contenait seulement 2,8% d'argile et 23% de limon.

De plus, si l'on considère les résultats de l'analyse mécanique, on s'aperçoit, en comparant les teneurs respectives en argile et en sable fin, que le lessivage apparent de l'argile dans les horizons supérieurs est surtout en fait une pseudo-agrégation plus résistante.

Par suite de la très forte dégradation du couvert végétal les teneurs en matières organiques sont en général très faibles, le plus souvent inférieures à 1%.

Les horizons supérieurs sont pauvres en éléments échangeables sauf en chaux (teneurs moyennes à bonnes). La capacité d'échange est moyenne et le pourcentage de saturation moyen à faible.

Dans le sol le rapport silice/alumine est en général inférieur à 2, variant entre 1,2 et 1,7; dans la roche en altération (écailles ou plaques) il ne descend guère au-dessous de 1,7.

Toutefois dans tous les échantillons de sols analysés et dans les roches altérées, le rapport silice/sesquioxydes est nettement inférieur à 2 (voisin de 1) ce qui confirme le caractère ferrallitique de la pédogénèse.

Caractères de la fraction argileuse : (cf. Tableau II).

L'analyse chimique de la fraction argileuse révèle des teneurs élevées en fer et surtout en alumine. Le rapport silice/alumine y est toujours inférieur à 2, variant entre 1,1 et 1,3. Dans la fraction argileuse de la roche en altération, les valeurs de ce rapport se rapprochent de 2, ou sont supérieures à 2.

La composition minéralogique de la fraction argileuse ne semble guère varier dans les horizons rubéfiés; si l'on en juge d'après les courbes de pertes en eau et d'analyse thermique différentielle (fig. 2) comparées avec les résultats de l'analyse chimique, il est très probable que la majeure partie de cette fraction est constituée par un minéral du type kaolinique, d'hématite et d'une quantité notable de gibbsite, cette dernière devenant peu importante à la base du profil dans la roche altérée.

CONDITIONS GENERALES DE LA PEDOGENESE

Compte tenu des mesures faites dans la région côtière (Marotirano, Tambohorano, Besalampy) et dans la zone sédimentaire intérieure (Bekodoka, Morafenobe, Antsalova), on peut estimer que la pluviométrie moyenne annuelle dans les régions étudiées varie entre 900 et 1400 mm, peut-être davantage à mesure que l'on se rapproche du Cap Saint André (1451 mm à Bekodoka). La saison sèche est très marquée et la quasi totalité des pluies tombe de novembre à mars, surtout sous forme d'orages violents.

La température moyenne annuelle varie entre 26°5 et 28°. L'indice de De Martonne est voisin de 20 (4), celui de Meyer atteint des valeurs proches de 150 (5), l'indice de drainage d'Hénin varie entre 180 et 200.

Si l'on considère l'indice d'humidité de Thornthwaite (6) celui-ci varie entre 20 et -20, ce qui caractérise un climat subhumide à sub-subhumide.

L'ensemble de ces données permet de dire que, du point de vue des phénomènes de pédogénèse, le processus de ferrallitisation dans les régions considérées devrait être plutôt faible à moyen en intensité.

La pluviométrie moyenne minima admise pour qu'ait lieu la ferrallitisation sur roches acides est de 1100 à 1200 mm (7). Cette valeur semble inférieure dans le cas de roches basiques.

Bien que nous ayons affaire ici à des sols rouge-brun ou rouges actuellement sous climat chaud subhumide, certains caractères des profils non tronqués permettent de dire qu'il s'agit de sols très évolués, et les rapprochent davantage du groupe ferrallitique typique que du groupe faiblement ferrallitique ; en particulier la grande profondeur d'altération (exceptionnelle à Madagascar sur roches basiques surtout dans la zone occidentale), la présence notable de gibbsite, l'acidité élevée de l'ensemble du profil, certaines valeurs assez basses du rapport silice/alumine dans le sol et celles du rapport silice-Sesquioxydes, l'importance de la zone d'altération bariolée, la pauvreté en bases malgré un complexe colloïdal argileux assez important.

Il semble que ces sols se soient formés sous climat assez humide si l'on en juge par le peu d'ampleur des phénomènes de concrétionnement ou de cuirassement, si courants en climat tropical à saisons alternantes mê-

me sur les Hauts Plateaux plus humides (exemples fréquents sur les coulées volcaniques quaternaires : Ankaratra, Ankaizina).

Certes l'érosion accélérée qui sévit actuellement dans ces régions basaltiques permet de juger difficilement de l'action des agents climatiques actuels dans la pédogénèse proprement dite et de la part qu'a pu avoir dans celle-ci une végétation forestière ancienne.

Il n'est pas non plus exclu qu'une altération très prolongée dans le temps, en condition de ferrallitisation peu intense soit seule responsable de la formation de ces sols.

Cependant, étant donné l'ancienneté de la roche-mère, l'ensemble des caractères du profil-type et les observations que l'on peut faire en conditions analogues sur des roches-mères encore plus anciennes, il est permis de se demander si ces sols ne sont pas des survivances paléoclimatiques ? Constituent-ils un cas original à Madagascar ?

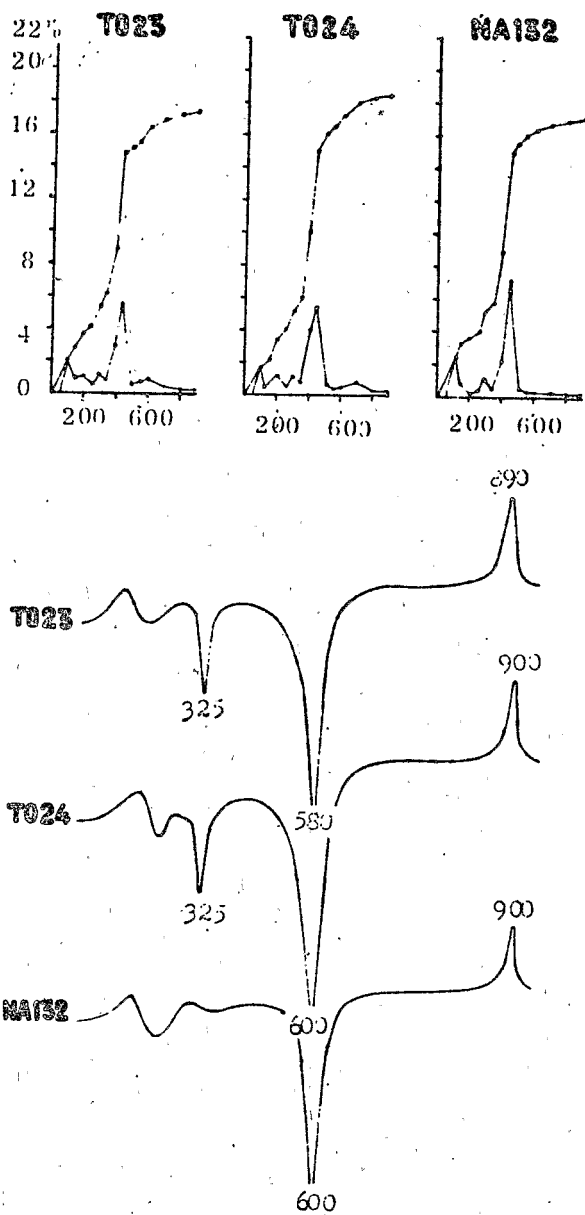
COMPARAISON AVEC LES AUTRES TYPES DE SOLS BASALTIQUES A MADAGASCAR

(fig. 3)

Dans sa thèse, P. SEGALIN considère l'isohyète 1500 mm comme limite entre les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques typiques, mais admet que des inclusions sont possibles dans l'une et l'autre zone.

Il est vrai que sur les roches mères autres que les roches volcaniques basiques, il n'existe que très peu d'exemples de sols ferrallitiques dans la zone occidentale malgache. Le cas cité par P. Segalen pour des sols dérivés de calcaire dans la région de Majunga (8) est sujet à discussion : outre le fait qu'il s'agit de sols rouges de décalcification, une étude postérieure de L. Riquier (9) a montré que le rapport silice/alumine était assez variable dans ces sols, et qu'il était également inférieur à 2 dans la roche-mère. Nous avons constaté des faits analogues sur des sols rouges de décalcification sur calcaire éocène, sous climat sec, dans l'Extrême sud de l'île (10).

Au nord-ouest, le dôme cristallin de Bekodoka, dégagé de sa couverture sédimentaire secondaire, est profondément altéré et l'érosion en "lavaka" y est à un stade déjà bien avancé. D'après les premières



Fig_2 - Courbes de perte en eau et d'analyse thermique différentielle

T023 }
 T024 } Horizons rubéfiés
 NA132 } Basalte en altération

Sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar

Echelle : 0 100 200 KM

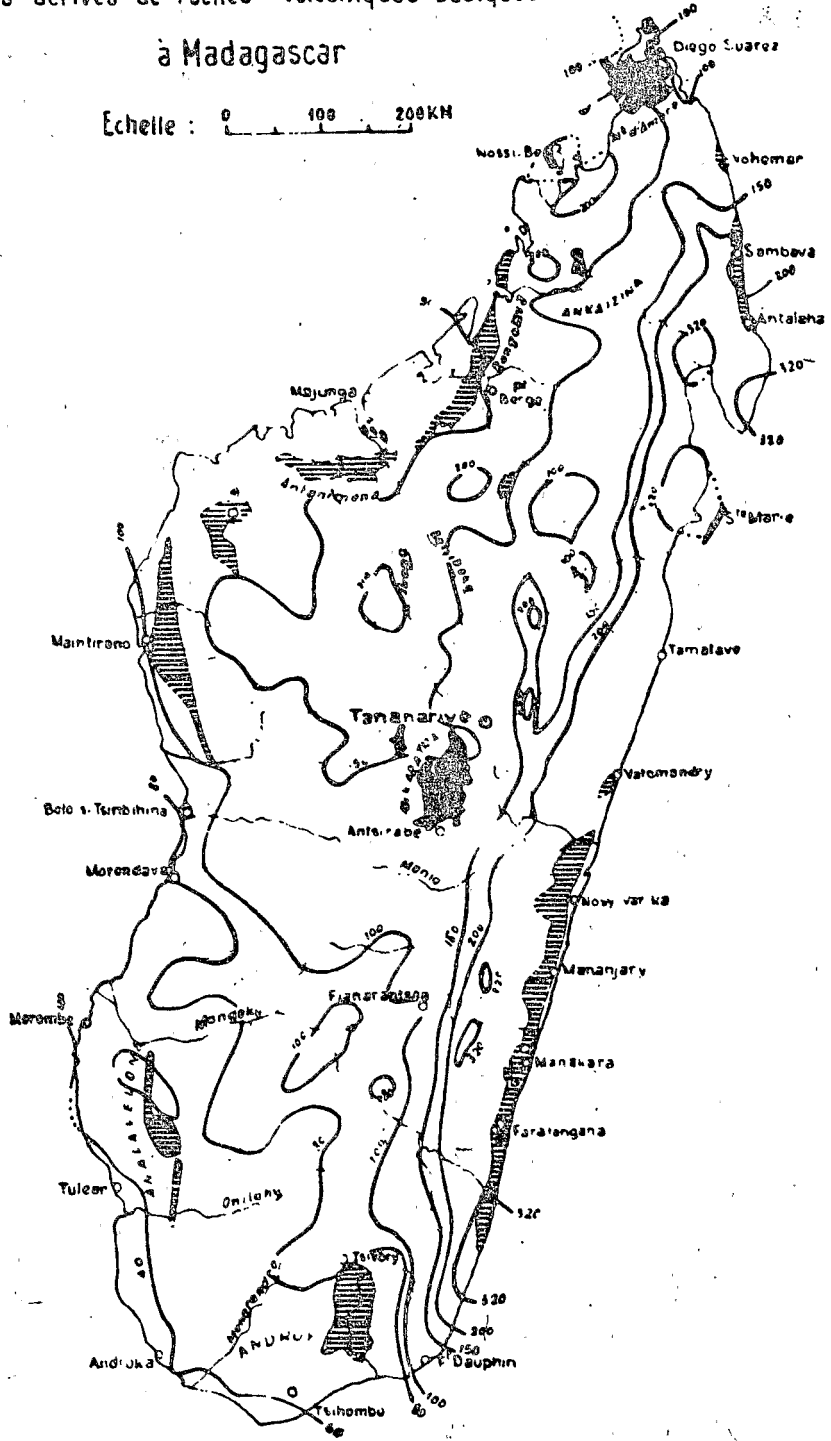


Fig:3



Volcanisme récent
Basaltes crétaçés
Isohyètes annuelles

observations que nous avons faites dans cette région, l'épaisseur de sol rubéfié ne dépasse pas 2,5 à 3 m, mais la roche altérée sous-jacente peut atteindre 10 à 15 m d'épaisseur et se présente sous la forme d'une arène très sableuse, extrêmement friable. L'ensemble des caractères physico-chimiques permet de conclure à l'existence de sols ferrugineux tropicaux, lessivés dans cette région, qui, rappelons le, reçoit une quantité annuelle de pluie de 1551 mm avec une température moyenne annuelle de 26°6. Un réseau hydrographique profondément encaissé et très diversifié a empêché semble-t-il tout phénomène de cuirassement ou de concrétionnement sur ce dôme gneissique. Les caractères de la pédogénèse sont en fait analogues à ceux observés sur la périphérie occidentale du massif cristallin central, par exemple dans les régions de Maevatanana au nord-ouest et d'Ambalavao au sud.

En ce qui concerne les sols dérivés de roches volcaniques basiques, P. Segalen a observé la présence de sols rouges faiblement ferrallitiques dans le massif de l'Analavellona, au sud-ouest de l'île, et les considère comme un type de transition avec les sols ferrugineux tropicaux. Il est peu probable que la pluviométrie dans cette région dépasse 800 à 900 mm par an avec une température moyenne voisine de 20°, conditions qui, à notre avis, laissent volontiers supposer une survivance paléoclimatique.

Par contre le même auteur, a observé sur la périphérie de la Montagne d'Ambre (volcanisme quaternaire de l'Extrême Nord de l'île) des sols ferrallitiques rouges et brun-jaunes à individualisation d'alumine peu prononcée (rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ variant entre 1,6 et 1,8) se formant sous une pluviométrie comprise entre 1,2 et 1,8 m avec une température moyenne de 28°.

Quant aux sols ferrugineux tropicaux typiques étudiés par P. Segalen et formés sur basaltes crétacés, ils se situent dans l'Extrême Nord de l'île (région de Diégo-Suarez) dans l'extrême Sud (région de Tsivory) et surtout dans le bassin sédimentaire de Majunga (plateau d'Antanimena).

Alors que les sols de Diégo et de Tsivory se trouvent sous une pluviométrie assez faible, inférieure à 1 mètre, le cas du plateau d'Antanimena est plus particulier : P. Segalen n'y a reconnu que des sols ferrugineux tropicaux, jaunes à concrétions, pouvant atteindre 2,5 à 3 m de profondeur, avec des rapports silice/alumine voisins de 2. Or l'ensemble du plateau est soumis à un climat à saison sèche bien marquée mais caractérisé par une pluviométrie annuelle de 1580 mm et une température moyenne de 26°.

En fait la série basaltique d'Antanimena se prolonge vers le nord jusqu'à la presqu'île Radame, par les plateaux du Bongolava et de Manasamody. Ces régions basaltiques ont été récemment prospectées par J. Vieillefon (1

Bien que ces plateaux aient été en grande partie recouverts par une carapace sableuse récente, on peut y observer des sols rouge-bruns à rouges, peu profonds (1 m environ) à réaction neutre et complexe assez bien saturé, avec un rapport silice/alumine voisin de 2. Or il tombe dans ces régions au moins entre 1,6 et 1,8 m d'eau par an avec une température moyenne de 27°.

Si l'on considère maintenant des sols franchement ferrallitiques comme les sols rouges des plateaux basaltiques de l'Ankaratra, ils sont d'après P. Segalen très riches en hydroxydes de fer et d'alumine (rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas) mais n'ont pas les profondeurs ni la réaction fortement acide des sols de l'Ouest, tout en étant nettement plus riches en matière organique.

Seuls les sols brun-rouges de la bande côtière orientale, sur basaltes crétacés, ont un profil qui rappelle par sa morphologie celui que nous avons décrit, avec en particulier une zone argileuse violacée et à taches blanches kaoliniques à la base du profil. Ces sols formés sous un climat perhumide à forte pluviométrie (2300 mm) avec une température moyenne de 23°, sont caractérisés par une réaction nettement acide, une texture argilo-limoneuse, des teneurs en matière organique moyennes, un rapport silice/alumine assez bas, un mauvais drainage au niveau de la zone bariolée. Mais ils diffèrent des sols de l'ouest par la grande abondance des concrétions avec cuirassement secondaire, ce concrétionnement et ce cuirassement étant très probablement des phénomènes qui se sont produits lors d'une phase morphoclimatique postérieure à la formation des sols originels.

CONCLUSION

Compte tenu de l'état actuel des connaissances sur les sols malgaches, nous inclinons à penser, avec P. Segalen, que, dans les régions sédimentaires de l'Ouest et du Nord-Ouest, de même que sur la bordure occidentale du massif cristallin central, la plupart des roches donnent naissance à des sols ferrugineux tropicaux et que, la plupart du temps, la pluviométrie, parfois assez élevée mais concentrée dans le temps, est insuffisante pour assurer d'une manière appréciable la mise en liberté de l'alumine.

Si l'on s'en tient à ce point de vue, les régions basaltiques de l'Ouest et du Sud-Ouest de Madagascar constituent indéniablement des ano-

malies dans les processus actuels de pédogénèse.

Ces coulées volcaniques ont gardé les marques d'une évolution pédologique beaucoup plus poussée que celle observée sur les sédiments gréseux de l'Isalo, hétérogènes et fortement attaqués par l'érosion depuis des temps géologiques très anciens. Tous les sols prospectés jusqu'ici sur ces matériaux gréseux, fortement quartziques, sont ferrugineux tropicaux et les remaniement de surface ont été très importants (en particulier dans la dépression primotriasique qui borde le socle cristallin). Les premières observations faites sur les sols des Dômes cristallins de Bekodoka et de Bekopaky confirment une évolution analogue.

Il est probable que la dissection des surfaces structurales de basaltes crétacés était déjà bien avancée à la fin du Tertiaire, car la phase sèche du Pliocène supérieur n'y a pas laissé de traces importantes comme dans les sédiments continen aux néogènes situés dans la région côtière occidentale (cuirasse pisolithique du Manambolo, de Maintirano et de Besalamy).

Nous avons montré par ailleurs (12) comment on peut interpréter certaines formes de relief, et les phénomènes pédologiques qui y sont liés, dans la zone sédimentaire de l'Ouest et sur la bordure occidentale du massif cristallin, par des tendances paléoclimatiques s'étant succédées depuis le Néogène. Il semble cependant que l'altération des roches basaltiques dans les régions que nous avons étudiées soit plus ancienne, antérieure à la phase humide du Mio-pliocène, et que des phénomènes de concrétionnement s'y soient produits à une échelle réduite, lors de la phase sèche du Pliocène supérieur.

La dissection de ces plateaux profondément altérés (surface cyclique méso-tertiaire ou surface structurale ?) s'est poursuivie jusqu'à l'époque actuelle d'une manière assez indépendante dans l'évolution générale du relief en effet, comme nous l'avons souligné, ces surfaces plus élevées semblent bien avoir été épargnées par la carapace sableuse plio-quadernaire, née en grande partie de l'érosion des sédiments gréseux de l'Isalo et du Crétacé moyen.

Par conséquent, du point de vue de la pédogénèse, l'hypothèse de survivances paléoclimatiques n'est pas déraisonnable, surtout si on oppose au caractère basique de la roche-mère et aux conditions climatiques intermédiaires où se trouvent ces sols, l'ensemble des caractères morphologiques et analytiques du profil type en place et les observations faites sur roches volcaniques basiques dans d'autres régions de l'île, pour conclure à l'existence de paléosols ferrallitiques dans l'Ouest et le Sud-Ouest de Madagascar.

BIBLIOGRAPHIE

1. P. SEGALEN, 1957 - Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar, Mém. IRSM, Série D, tome VIII
2. H. BESAIRIE, 1957. - La géologie de Madagascar en 1957, Service Géologique, Tananarive.
3. Cartes géologiques au 1/100.000 e. 1959 - Feuilles Sohanina-Antsalova, Maintirano-Ampasimena, Andranovao-Andrafiavelo, Antranogoaika-Morafenobe, Tambohorano-Bebao, Ankavitra-Andrafiava, Tsimandira-Maravaoikely, Service Géologique, Tananarive.
4. P. DUVERGE, 1949 - L'indice d'aridité à Madagascar, Public. Service Météorologique n° 18, Tananarive.
5. C. MOUREAUX et G. TERCINIER, 1953 - Carte des valeurs du coefficient de Meyer à Madagascar, Mémoires IRSM, Série D, Tome V.
6. J. RIQUIER, 1958 - Note sur l'évapotranspiration du Th et le bilan hydrique des sols, Le Naturaliste Malgache, tome X, fasc. 1-2.
7. G. AUBERT, 1957 - Cours de Pédologie ORSTOM, Inédit.
8. P. SEGALEN, 1956. - Sur quelques sols dérivés de calcaire dans la région de Majunga, communications 6ème Cong. Internat. Science du Sol V, 92, Paris.
9. RIQUIER J., 1959 - Les sols sur calcaire de la région de Majunga, Mém. IRSM, Série D, Tome IX.
10. J. HERVIEU, 1959, Notice sur la carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000 e. Ampanihy-Beloha, Public. IRSM
11. J. VIEILLEFON, 1960 - Notice sur la carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000 Antsohihy, à paraître
12. J. HERVIEU, 1960 - Les plaines de la Zomandao et de Ranotsara, à paraître.

TABLEAU I

(Caractères analytiques du Profil Type)

Numéro Echantillon	Profondeur	Acidité pH	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable grossier %	Humidité équivalente %
T021	20 cm	5,8	46,8	37,6	14,8	0,5	33,5
T022	1 m 50	5,7	37,2	35,6	26,0	0,5	35,3
T023	3 m 50	4,7	62,4	29,8	4,6	0,8	29,6
T024	6 m	4,7	52,0	40,8	5,9	0,7	33,2
T025	17 m	4,0	40,2	33,8	24,2	1,2	39,7

Numéro Echantillon	Mat. org. tot. ‰	Humus tot. ‰	Acid. humiques ‰	Acid. fulviques ‰	Carbone ‰	Azote total ‰	Rapport C/N	Humus MO %	ELEMENTS ECHANGEABLES						V %	P ₂ O ₅ assimil. ‰
									CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	T	S		

Milliéquivalents pour 100 grammes																
T021	6,2	1,5	1,2	0,3	3,6	0,70	5,1	24,0	1,55	0,05	0,10	0,09	13,55	1,80	24,4	0,016
T022	1,5	1,0	0,3	0,7	0,9	0,37	2,4	64,5	2,20	0,05	0,05	0,09	11,4	2,40	27,3	0,010
T023	0,8	0,8	0,4	0,4	0,5	0,12	4,2									

Numéro Echant.	Perte au feu %	Résidu %	SiO ₂ % combiné	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	ELEMENTS TOTAUX			
							SiO ₂ / Al ₂ O ₃	CaO ‰	K ₂ O ‰	P ₂ O ₅ ‰
T021	14,6	1,5	28,65	15,6	34,25	1,5	1,4	1,4	0,25	0,4
T022	13,8	1,0	27,9	15,2	36,1	2,0	1,3	0,9	0,2	0,55
T023	14,5	0,8	28,0	16,8	34,05	2,0	1,4	1,25	0,1	0,6
T024	15,15	0,5	28,4	12,8	38,25	1,0	1,25	1,0	0,1	0,35
T025	12,25	0,5	29,4	23,6	29,0	1,5	1,5	0,85	0,1	0,7

TABLEAU II

(Caractères analytiques de la fraction argile)

		Capacité d'Echang. m. éq. / 100 g.	Perte au feu %	Résidu %	SiO ₂ combinée %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %	SiO ₂ Al ₂ O ₃
Horizons rubéfiés	T023		13,4	0,85	28,15	15,2	36,55	1,5	0,7	3,0	0,2	1,2	1,3
	T024	17,8	14,0	1,1	27,65	10,4	41,0	1,0	1,75	3,0	0,2	1,15	1,15
Zone bariolée	T025	26,1	13,75	8,2	28,25	7,6	36,5	0,5	2,3	2,45	0,15	1,2	1,3
Basalte en altération	NA 132	21,4	15,0	4,5	32,7	9,2	33,2	1,0	2,9	1,33	0,15	0,75	1,65
	NA 80	-	16,05	5,9	41,7	13,6	16,65	1,5	3,1	0,3	0,3	0,25	4,25

Extrait du
BULLETIN DE L'ASSOCIATION
FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DU SOL

1963 n°1 pp.59-72

HERVIEU (Jean)

Sur l'altération des basaltes crétacés dans l'Ouest de Madagascar.