



SEMAINE GEOLOGIQUE 1974

CONTRIBUTION PEDOLOGIQUE A LA CHRONOLOGIE
DES ERUPTIONS VOLCANIQUES DANS LA REGION DE BETAFO - ANTSIRABE

PAR

C. ZEBROWSKI : O.R.S.T.O.M.

Les études pédologiques rendent possible la datation relative des matériaux volcaniques lorsque les différences observées entre les degrés d'évolution des sols développés sur ces matériaux sont attribuables au facteur temps (c'est à dire l'âge de la roche mère); autrement dit s'il est possible de mettre en évidence une chronoséquence.

Dans les régions où le climat agressif provoque une altération rapide, ce genre d'étude ne peut s'appliquer qu'aux zones de volcanisme relativement récentes. C'est le cas, à Madagascar, de la région volcanique de Betafo-Antsirabé considérée globalement comme la phase ultime des éruptions du massif de l'Ankaratra (quaternaire). La prospection pédologique de la feuille d'Antsirabé nous a permis d'y distinguer différents stades d'évolution des sols et donc de préciser la chronologie relative des éruptions.

O. R. S. T. O. M. Fonds documentaire

N° : 23820 EX 1

Cote : B

I - GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DE LA REGION

Les études géologiques de cette région ont montré une assez grande homogénéité dans la nature pétrographique des roches volcaniques. Celles-ci sont essentiellement constituées de basanites et de basanitoïdes que ce soit sous forme de projections ou de coulées.

La texture de la roche est une caractéristique importante à considérer comme facteur de pédogénèse. Toutes les textures des roches que nous avons observées sur coulées sont vacuolaires. Le drainage est donc excellent au niveau de la roche mère. Il en est de même pour toutes les zones recouvertes d'un manteau assez épais de lapillis.

Les formations volcaniques, cônes stromboliens et coulées, présentent un aspect assez différent dans les régions de Betafo et d'Antsirabé.

- Région de Betafo

Les cônes d'Antsirabé, et de Fizinana sont remarquablement bien conservés, leurs pentes sont rectilignes et leur raccordement à la surface initiale est en général brutal. Les coulées montrent également un aspect très frais, telle la grande coulée sortant du Fizinana et allant jusqu'au village d'Anjazafotsy à l'ouest de Betafo et encore plus celle s'épanchant au nord de l'Antsifotra qui présente un aspect de "cheire" très caractéristique. Ces coulées sont peu altérées et les sols qui s'y sont formés sont peu développés.

- Région d'Antsirabé

Les cônes volcaniques sont en général moins bien conservés que ceux de la région de Betafo. Leurs sommets sont plus ou moins arrondis. Les pentes sont moins régulières et le raccord de celle-ci avec la surface initiale n'est pas aussi brutal mais présente une concavité plus ou moins marquée. C'est le cas en particulier des cônes d'Ambohitsokina, d'Amboniloha et d'Ivato. Par contre la morphologie du cratère de Tritriva est proche de celle des appareils de la région de Betafo.

Les coulées sont également moins fraîches que celles de Betafo ; elles sont recouvertes d'un manteau d'altération déjà épais et la distinction entre les sols sur coulée et ceux sur scories n'est pas toujours aisée en l'absence de sondage.

II - LES SOLS

De nombreux profils ont été observés dans les deux régions d'Antsirabe et de Betafo. Afin de pouvoir relier l'intensité de l'altération des sols à l'âge de la roche mère, on a seulement étudié ici les sols prélevés sur des surfaces planes. Les sols situés sur des cônes sont en effet sans cesse rajeunis par l'érosion et conviennent mal à ce genre d'étude.

1) Les sols de la région de Betafo

Profil n° 1 - Sur lapillis

Au Sud-Est du cône de Fizinana en X = 689,2 Y = 445,9 Z = 1650 m.

Sur un replat situé au bas d'un cône strombolien

- 0 - 20 : Légèrement humide ; brun jaunâtre foncé 10 YR 3/4 ; limoneux, meuble ; structure massive à tendance fragmentaire polyédrique moyenne sub-anguleuse ; très poreux ; nombreuses fines racines verticales dans la masse de l'horizon ; transition distincte et régulière à
- 20 - 40 : Légèrement humide, brun à brun sombre foncé 7,5 YR 4,5/4 ; limoneux ; structure massive friable à tendance fragmentaire moyenne sub-anguleuse moyenne ; très poreux ; fines racines dans la masse de l'horizon ; transition nette à
- + de 40 : Lapillis peu altérés entre lesquels se trouve la terre fine.

Profil n° 2 - Sur coulée

Au Sud de l'Antsifotra en X = 693,1 Y = 448,3 Z = 1525 m.

Surface aplanie, très légère pente vers l'Ouest.

- 0 - 25 : Humide ; brun gris très foncé 10 YR 3/2 ; limoneux ; structure massive friable ; poreux ; chevelu racinaire dense ; transition distincte et régulière à
- 25 - 50 : Légèrement humide ; brun olive à brun gris très foncé (2,5 Y 4/3) ; limoneux ; quelques minéraux peu altérés ; structure massive friable ; forte porosité tubulaire ; fines racines verticales ; transition distincte à
- + de 50 : Blocs de basalte entre lesquels se trouve la terre fine.

- Caractères morphologiques communs à ces profils.

Ces profils sont caractérisés par :

- un horizon A humifère de 20 à 30 cm d'épaisseur.
- un horizon B-C brun sombre dont la teinte est comprise entre 2,5 Y et 7,5 YR. La texture de cet horizon est toujours limono-sableux. La structure est massive. La consistance toujours friable.

- Principales propriétés physico-chimiques*

Granulométrie :

La texture est limono-sableuse dans l'ensemble des profils, les teneurs en sables totaux augmentent régulièrement de haut en bas de profil.

Tableau 1 - Granulométrie en % de terre fine

Profil	Horizon	A	LF	LG	SF	SG
1	A (0-20)	16,1	27,3	7,1	10,4	17,2
	B-C (20-40)	6,3	17,2	9,3	22,0	24,2
	C (40-60)	5,1	4,6	7,2	16,3	55,7
2	A (0-20)	14,7	25,3	9,7	9,5	15,4
	B (30-50)	5,8	17,5	10,7	19,3	18,7

Eléments totaux et rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Les teneurs en éléments totaux sont toujours fortes, le magnésium étant l'élément dominant.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, légèrement supérieur à 1, indique un lessivage en silice déjà intense.

Tableau 2 - Eléments totaux (en mé/100 g) et rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Profil	Horizon	Ca	Mg	K	Na	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
1	A	10,5	193	0,9	2,6	1,5
	B-C	15,0	327	0,5	1,0	1,3
2	A	33,2	210	0,9	2,8	1,2
	B-C	17,9	254	0,5	1,1	1,2

* L'analyse complète des profils présentés dans cette note a été faite pour l'établissement de la carte pédologique à 1/100.000 de la feuille d'Antsirabe (à paraître). Nous donnons ici seulement les analyses concernant la texture, les bases totales et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ qui permettent de juger du degré d'évolution des sols.

Minéralogie

L'étude des diagrammes de RX et des courbes d'analyse thermique différentielle relève la présence d'un peu de gibbsite dans l'ensemble des profils, aucun minéral phylliteux n'a été décelé.

L'extraction des produits "amorphes" par la méthode de SEGALEN montre que les horizons B-C contiennent, en % par rapport au sol :

- 6 à 7 % de SiO_2 amorphe
- 11 à 15 % de Fe_2O_3 "
- 15 à 16 % de Al_2O_3 "

2) Les sols de la région d'Antsirabe

Parmi les profils observés, nous avons choisi trois profils représentatifs de l'ensemble de la zone. L'un formé sur lapillis, les deux autres sur coulée.

Profil n° 4 - Sur lapillis

A l'Ouest d'Antsirabe en X = 693,5 Y = 458,1 Z = 1500 m.

Pente douce et régulière orientée vers l'Est.

- 0 - 35 : Humide ; brun rougeâtre foncé 5 YR 3/4 ; limono-argileux ; structure massive ; meuble ; poreux ; nombreuses fines racines pénétrant la masse de l'horizon ; transition nette et régulière à
- 35 - 55 : Humide ; rouge jaunâtre 3,75 YR 4/6 ; argilo-limoneux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; porosité tubulaire fine ; fines racines ; transition graduelle et régulière à
- 55 - 90 : Humide ; rouge foncé 2,5 YR 3/5 ; argileux ; structure fragmentaire très nette polyédrique subanguleuse fine ; porosité tubulaire fine importante ; fines racines ; transition diffuse et régulière à
- 90 - 160 : Humide, brun jaunâtre foncé 10 YR 5/6 ; limoneux ; structure massive très friable ; très poreux ; quelques fines racines.
- + de 160 : Lapillis altérés intercalés avec des couches de terre fine.

Profil n° 5 - Sur coulée

Au Sud de l'Itavo en X = 684,3 Y = 454,3 Z = 1660 m.

Replat dominant la vallée de la Sandra.

- 0 - 30 : Légèrement humide ; brun jaunâtre foncé 10 YR 4,5/4 ; limoneux ; structure massive, friable ; très poreux ; nombreuses fines racines pénétrant la masse de l'horizon ; transition nette et régulière à
- 30 - 60 : Humide ; rouge jaunâtre 5 YR 4/8 ; limono-argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; porosité tubulaire fine ;

racines fines dans la masse de l'horizon ; transition graduelle et régulière à

60 - 130 : Humide ; rouge 2,5 YR 4,5/6 ; argilo-limoneux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; porosité tubulaire fine ; racines fines dans la masse de l'horizon ; transition distincte et ondulée à

130 - 200 : Humide ; brun jaunâtre foncé 10 YR 4,5/5 ; limono-sableux ; nombreux ~~profils de basalte scoriacé faiblement altérés surmontant en~~
fondeur passage brutal de la terre fine à la roche ; structure de la terre fine massive friable.

Profil n° 6 - Sur coulée

Au Sud de l'Ivohitra en X = 686,4 Y = 459,3 Z = 1480 m.

Sur le replat de la coulée volcanique provenant de l'Ivohitra à la même altitude que le niveau des sédiments lacustres.

- 0 - 40 : Légèrement humide ; brun jaunâtre foncé 10 YR 3,5/4 ; limoneux ; structure massive, meuble ; très poreux ; nombreuses racines ; transition nette et régulière à
- 40 - 60 : Humide ; rouge jaunâtre 5 YR 4/8 ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; très poreux ; quelques fines racines ; transition graduelle et régulière à
- 60 - 100 : Humide ; rouge 2,5 YR 4,5/6 ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; très poreux ; rares fines racines, transition distincte à
- + de 100 : Blocs de basalte scoriacé entre lesquels se trouve la terre fine brun jaunâtre foncé 10 YR 4/5.

- Caractères morphologiques communs à ces profils

Les profils décrits ci-dessus ainsi que tous ceux observés dans des positions topographiques similaires, c'est-à-dire sur des surfaces planes ou présentant des pentes très faibles, possèdent des caractères morphologiques très semblables.

- Un horizon humifère épais (30 à 40 cm), non structuré, très organique.
- Un horizon B₁₁ rouge jaunâtre (en général 5 YR 4/8) argileux à argilo-limoneux d'épaisseur très constante, à structure polyédrique subanguleuse nette.
- Un horizon B₁₂, plus rouge que le précédent (teinte dans la planche des 2,5 YR), argileux, à structure également nette.

Par contre, les profils diffèrent quant à l'épaisseur de l'horizon C. Celle-ci est plus grande dans les sols développés sur scories que dans ceux développés sur coulée.

Principales caractéristiques physico-chimiques

Granulométrie :

Les teneurs en éléments fins sont élevées pour les sols formés sur scories (profil 4) et ceux sur coulées en position basse (profil 6), elles sont moins élevées dans les sols formés sur coulées en position surélevée par rapport au système hydrographique (profil 5). Mais dans tous les cas les teneurs en argile et limons fins sont plus fortes que celles obtenues dans les sols de la région de Betafo.

Tableau 3 - Granulométrie des horizons B des profils 4, 5, 6
(en % de terre fine)

Profil	Horizon	A %	LF %	LG %	SF %	SG %
4 sur scories	B ₁₁	50,3	17,4	5,4	3,4	6,7
	B ₁₂	60,1	19,4	5,0	4,1	4,7
coulée position haute	B ₁₂	37,4	28,4	11,8	11,6	7,1
	B ₁₁	50,7	22,5	8,1	4,6	5,1
6 coulée position basse	B ₁₁	50,7	22,5	8,1	4,6	5,1
	B ₁₂	49,5	20,7	9,9	6,6	6,4

Eléments totaux - Rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Les bases totales sont en quantité beaucoup moins élevées que dans les sols de la région de Betafo, le magnésium étant toujours l'élément dominant.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est très faible, 0,2 à 0,3 pour les sols sur coulée en position haute et pour les sols sur scories, il est un peu plus élevé

Tableau 4 - Eléments totaux en mé/100 g et rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ des horizons B.

Profil	Horizon	Ca	Mg	K	Na	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
4	B ₁₁	2,3	18	0,1	0,8	0,3
	B ₁₂	3,4	19	0,1	1,1	0,3
5	B ₁₁	2,4	35	0,3	0,5	0,2
	B ₁₂	1,8	20	0,2	1,0	0,2
6	B ₁₁	2,3	19	0,6	0,3	0,7
	B ₁₂	1,8	15	0,7	0,5	0,6

Minéralogie

L'analyse thermique différentielle et la diffractométrie aux rayons X révèlent la présence de gibbsite en forte quantité dans l'horizon B de ces sols. Un minéral de la famille de la kaolinite est également présent dans les sols sur scories et dans ceux sur coulées situées en position basse.

Les produits amorphes ne sont présents qu'en très faible quantité.

3) Sols complexes

Deux profils de sols complexes ont été prélevés l'un à l'Est de Tritriva, l'autre à l'Ouest de l'Ivohitra dans une coupe de la rivière Sahalombo.

Profil 6 : à l'Est de Tritriva en X = 687 Y = 452,8 Z = 1675 m.

- 0 - 20 : Sec, brun grisâtre très foncé 10 YR 3/2, limoneux, structure massive friable ; très poreux ; nombreuses racines ; transition distincte à
- 20 - 30 : Sec, brun grisâtre foncé 10 YR 3/4 ; limono-sableux ; structure massive friable ; très poreux ; nombreuses racines ; transition distincte à
- 30 - 50 : Lapillis peu altérés entre lesquels se trouve la terre fine, transition nette à
- 50 - 90 : Légèrement humide, rouge jaunâtre 5 YR 4/7 ; argileux ; structure fragmentaire polyédrique subanguleuse fine ; porosité tubulaire forte ; nombreuses racines ; transition graduelle à
- 90 - 140 : Légèrement humide, rouge 2,5 YR 4,5/7 ; argileux ; structure identique à celle de l'horizon supérieur ; très poreux ; quelques racines ; transition graduelle à

+ de 140 : Horizon d'altération d'une coulée vacuolaire.

Morphologiquement on a un sol peu évolué du type de ceux décrits dans la région de Betafo, recouvrant un sol ferrallitique évolué du type de ceux précédemment décrits (profils 3, 4, 5).

Les analyses effectuées sur ce profil confirment ce fait.

Tableau 5 -- Granulométrie (% de terre fine)

Horizon	A	LF	LG	SF	SG
A (0 - 20)	23,7	21,0	5,5	6,1	10,0
B-C (20-30)	5,8	23,6	7,7	17,5	17
Lapillis (30-50)					
B ₁₁ (55-75)	40,0	19,0	7,7	7,3	10,7
B ₁₂ (130-140)	52,7	20,1	7,3	4,9	6
C'	4,9	4,8	10,0	14,6	57,6

Tableau 6 -- Eléments totaux (mé/100 g) et $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Horizon	Ca	Mg	K	Na	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
A (0 - 20)	12	76	0,33	1,0	1,1
B-C (20 - 30)	20	180	0,33	1,6	1,2
Lapillis (30 - 50)	94	320	0,33	5,8	2,2
B ₁₁ (55 - 75)	4,4	40	0,23	1,1	0,7
B ₁₂ (130 - 140)	1,4	25	0,42	3,2	0,4
C'	110	265	0,60	5,1	1,7

Profil n° 7

A l'Ouest de l'Ivohitra, une coupe en bordure de la rivière "Sahalombo" en X = 692,3 Y = 458,1 et Z = 1500 m. montre :

0 - 30 : Légèrement humide ; brun jaunâtre foncé 10 YR 3/4 ; limoneux ; meuble ; structure massive ; très poreux ; nombreuses fines racines ; transition nette et régulière à :

- 30 - 50 : Humide ; rouge jaunâtre 5 YR 4/8 ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; très poreux ; quelques fines racines ; transition graduelle et régulière à
- 50 - 80 : Humide ; rouge 2,5 YR 5/6 ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; forte porosité tubulaire fine ; transition distincte à
- 80 - 110 : Zone d'altération de la coulée vacuolaire entre les blocs de laquelle se trouve la terre fine humide, brun jaunâtre foncé 10 YR 4/5 ; limono- sableux
- 110 - 500 : Coulée non altérée
- 500 - 850 : Cinerites altérées gris blanchâtre
- 850 - 1050 : Humide ; rouge ; argileux ; structure massive à éclats polyédriques subanguleux ; poreux ; transition graduelle à
- 1050-1200 : Zone d'altération d'un basalte gris bleuté dur altéré en boules entre lesquelles se trouve la terre fine jaune légèrement grisâtre.

Un sol développé sur une coulée provenant de l'Ivohitra fossilise donc un sol issu d'une coulée plus ancienne.

Morphologiquement le sol supérieur est très proche de ceux habituellement rencontrés dans la région d'Antsirabe. L'analyse de l'horizon B donnant 55 à 65 % d'éléments fins ($0 - 20 \mu$), des teneurs en éléments totaux voisines de 35 m.é./100 g de terre fine et un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 0,3, confirme ce fait et permet de rapprocher ce profil des profils 3, 4 et 5.

CONCLUSION

L'évolution des sols sur lapillis et coulées scoriacées est très rapide, elle se traduit par un départ intense des bases totales et surtout de la silice.

Sur les matériaux volcaniques les plus récents situés dans la région de Betafo, la pédogénèse conduit à la formation d'andosol caractérisé par :

- des teneurs en éléments totaux élevées
- une texture limono-sableuse
- des teneurs en produits amorphes élevées
- un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ déjà faible attestant un départ important de silice.

Sur les matériaux volcaniques plus anciens de la région d'Antsirabe, les sols sont beaucoup plus évolués et correspondent à des sols "ferrallitiques allitiques" : ils sont caractérisés par :

- des teneurs en éléments totaux faibles
- une texture argileuse
- la présence de minéraux argileux en faible quantité
- rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ très faible (0,2 à 0,6).

La délimitation de l'extension des andosols et des sols ferrallitiques allitiques ainsi déterminés, permet de distinguer deux zones correspondantes à deux phases d'activité dans le volcanisme récent du Sud de l'Ankaratra (cf. fig.).

l'autre, plus récente, ceux très frais de Betafo. Une période de pédogénèse sépare ces 2 phases d'activité. En effet le profil n° 6 montre que les andosols formés sur lapillis issus du cratère de Tritriva fossilisent les sols ferralli-

Enfin une phase plus ancienne que les précédentes, puisque donnant des formations elles-mêmes pédogénisées et recouvertes par les coulées de l'Ivohitra a été mise en évidence dans la région d'Antsirabe (profil n° 7).

L'étude pédologique de cette région nous permet donc de préciser la chronologie des éruptions volcaniques.

- Une première phase dont nous avons retrouvé un seul témoin a donné des formations dans la région d'Antsirabe mais il est difficile d'en connaître l'extension géographique car elles ont été fossilisées par des émissions postérieures.

- Une deuxième phase, séparée de la première par une période permettant une pédogénèse avancée sur les formations de la première phase, met en place la presque totalité des appareils volcaniques de la région d'Antsirabe.

- Enfin survient une troisième phase, également séparée de la seconde par une période de pédogénèse, dont l'un des appareils, à Tritriva, a fossilisé les sols de la seconde phase. C'est à cette dernière période d'émission que nous attribuons toute la région volcanique de Betafo. Il est cependant possible de distinguer dans celle-ci des appareils volcaniques relativement anciens tel que le cône de l'Iavoko et d'autres, tel celui du Fizinana, plus récents.

ESQUISSE DES DIFFERENTES FORMATIONS VOLCANIQUES RÉCENTES DE
LA RÉGION DE BETAFO - ANTSIRABE

