

NOTICE EXPLICATIVE

N° 83

CI. ZEBROWSKI
CI. RATSIMBAZAFY

CARTE PÉDOLOGIQUE
de Madagascar,

à 1/100.000

FEUILLE ANTSIRABE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER



PARIS 1979

NOTICE EXPLICATIVE

N° 83

CARTE PÉDOLOGIQUE
de Madagascar

à 1/100.000

FEUILLE ANTSIRABE

CI. ZEBROWSKI - CI. RATSIMBAZAFY

Etude exécutée dans le cadre d'un contrat de Recherche signé le 12 février 1974, entre le Gouvernement de la République Malgache et l'ORSTOM, en application de l'article 11 de la Convention de Coopération franco-malgache en matière culturelle du 4 juin 1973.

ORSTOM
PARIS
1979

© ORSTOM 1979
ISBN 2-7099-0547-7

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE	
LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU NATUREL ET LES FACTEURS DE LA PÉDOGENESE	3
– Situation géographique	3
– Climat	5
– Géologie	10
– Géomorphologie	15
– Végétation et cultures	17
DEUXIEME PARTIE	
ÉTUDE DES SOLS	21
– Classification des sols	21
– Les sols minéraux bruts	24
– Les sols peu évolués	24
1. Les sols peu évolués humifères	24
2. Les sols peu évolués non climatiques d'érosion	26
– Les Andosols	30
– Les sols ferrallitiques	33
1. Les sols ferrallitiques moyennement désaturés	36
2. Les sols ferrallitiques fortement désaturés	41
– Les sols hydromorphes	57
1. Les sols hydromorphes organiques	59
2. Les sols hydromorphes moyennement organiques	59
3. Les sols peu humifères	61
– Unités cartographiques complexes	66
TROISIEME PARTIE	
APTITUDES CULTURALES ET MISE EN VALEUR	69
– Facteurs de la fertilité	69
– Facteurs de l'environnement	70
– Aptitudes culturales	73
CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	81
ANNEXES ANALYTIQUES	83

INTRODUCTION

La carte pédologique à l'échelle de 1/100.000, utilisant le découpage et les fonds topographiques de l'Institut Géographique National, est réalisée à Madagascar depuis 1966.

La feuille d'Antsirabe (N 49) est la quatrième carte pédologique de ce type. Elle est le résultat de la synthèse des travaux de Cl. RATSIMBAZAFY pour les sols hydromorphes et de Cl. ZEBROWSKI pour les autres types de sol.

Les déterminations botaniques ont été effectuées par Ph. MORAT.

Les analyses physiques et chimiques des échantillons prélevés ont été effectuées au laboratoire des sols du Centre ORSTOM de Tananarive sous la direction de J.L. THIAIS et J.B. DURAS.

PREMIERE PARTIE

LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU NATUREL ET LES FACTEURS DE LA PÉDOGENÈSE

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La feuille d'Antsirabe couvre une région située sur les Hauts Plateaux malgaches à une centaine de kilomètres au sud de Tananarive. Elle est comprise entre 19°36' et 20° de latitude sud, et entre 46°48' et 47°06' de longitude est.

Administrativement la zone étudiée appartient à la Province de Tananarive, préfecture du Vakinankaratra, et regroupe :

- la partie ouest de la sous-préfecture d'Antsirabe,
- la partie est de la sous-préfecture de Betafo,
- la partie extrême-sud de la sous-préfecture de Faratsiho.

Située à l'extrémité sud du massif de l'Ankaratra, la région d'Antsirabe est une zone de transition entre ce massif volcanique et le socle cristallin. On peut distinguer trois unités géographiques :

— Au nord, une région montagneuse dont le massif granitique des Vavavato et les formations volcaniques du sud de l'Ankaratra constituent l'ossature. L'altitude, voisine de 2.300 m pour les plus hauts sommets, diminue progressivement du nord au sud.

— Au centre, une plaine, d'altitude comprise entre 1.400 et 1.500 m, correspond à la cuvette sédimentaire d'Antsirabe et à la zone volcanique de Betafo.

— Au sud-ouest, le plateau de Mangarano, dont l'altitude est supérieure à 1.600 m, dominé lui-même par le massif quartzo-micaschisteux et les hauteurs quartzitiques de l'Itongafeno.

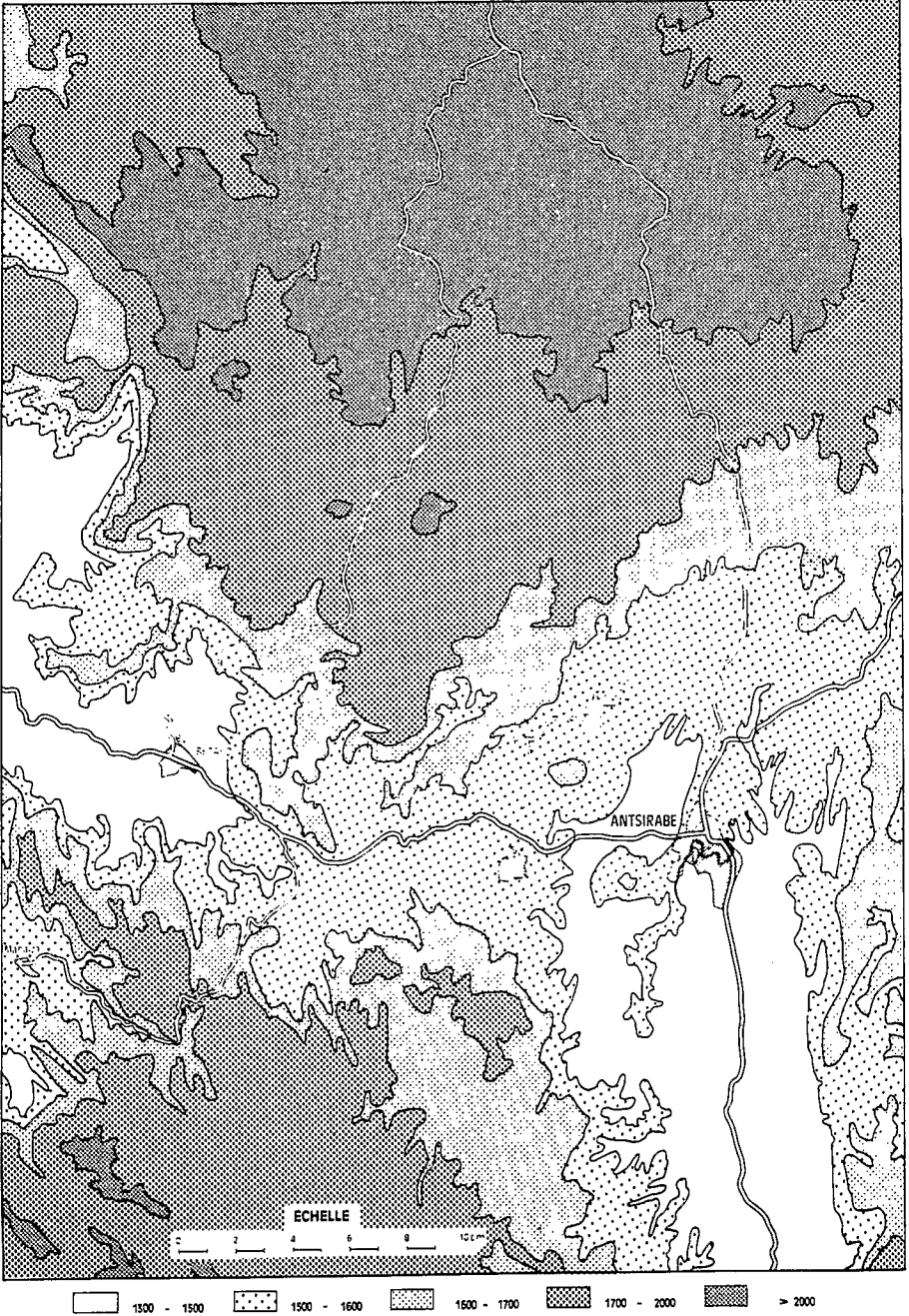


Figure 2
Carte hypsométrique

CLIMAT.

Le climat qui règne dans la région étudiée est défini comme tropical d'altitude. Il est en effet marqué par deux saisons : la saison sèche, froide, de mai à septembre et la saison humide d'octobre à avril. L'altitude relativement élevée abaisse les températures qui peuvent être parfois négatives, les variations journalières sont fortes, surtout pendant l'hiver austral.

1. Les données météorologiques

La zone étudiée comporte très peu de stations météorologiques. Seule la ville d'Antsirabe possède un relevé régulier et complet depuis plusieurs décades. A Betafo et Antsapandrano les données concernent uniquement les précipitations. Nous avons donc été amenés, d'une part à nous référer à des stations extérieures au périmètre, notamment celle de Nanokely, située à 2.200 m d'altitude sur le versant occidental du massif d'Ankaratra, d'autre part à extrapoler, pour certaines stations, les températures moyennes mensuelles en tenant compte de l'altitude.

1.1. Régime des vents

Pendant l'hiver austral, l'alizé du sud-est n'a qu'une faible influence dans cette région. Il est accompagné de crachins, pluies fines et brouillards. Durant l'été austral, cet alizé apporte de fortes précipitations sous forme d'orages. La pseudo-mousson du nord-ouest, qui peut parvenir dans la région à la faveur du couloir Maniandratsay, provoque également des orages.

Pendant cette même période, les perturbations liées aux dépressions tropicales à trajectoires variables peuvent toucher la région du Vakinankaratra et provoquer des dégâts dus aux vents violents et aux pluies torrentielles.

1.2. Pluviosité

Les courbes de pluviométrie (figures 3 et 4) montrent une saison sèche marquée, du mois de mai au mois de septembre, avec des précipitations mensuelles inférieures à 30 mm ; le total annuel dépasse 1.400 mm et augmente avec l'altitude.

Le tableau 1 (p. 8) donne les moyennes mensuelles des précipitations.

1.3 Températures

Nous avons des relevés réguliers de température pour les stations d'Antsirabe et de Nanokely. En ce qui concerne Betafo et Antsapandrano, nous les avons extrapolés en admettant un gradient de température de 0,55 à 0,6°C pour 100 mètres de dénivellation. Les chiffres sont consignés dans le tableau 2 (p. 8).

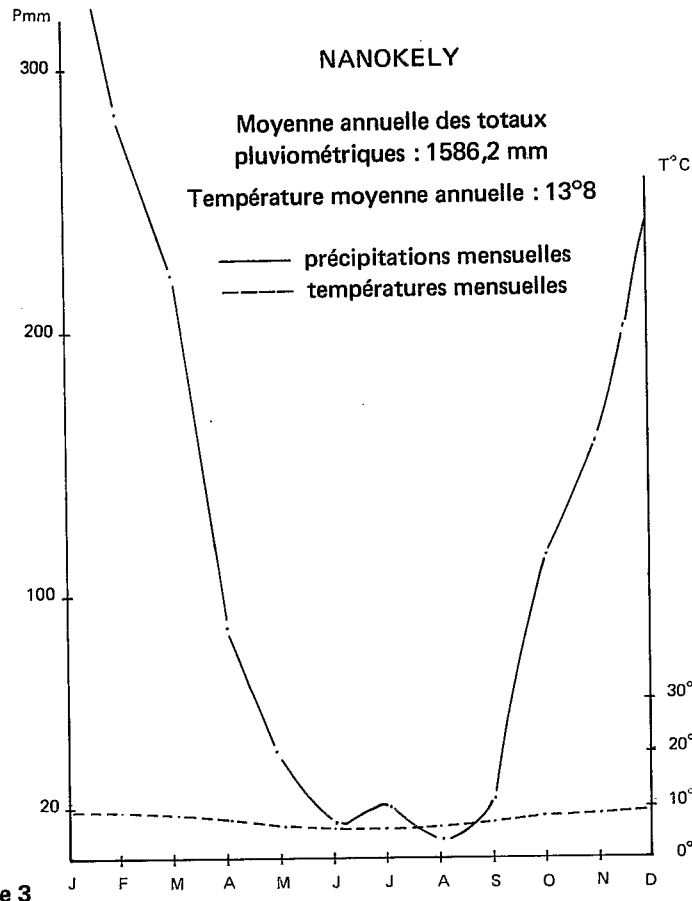
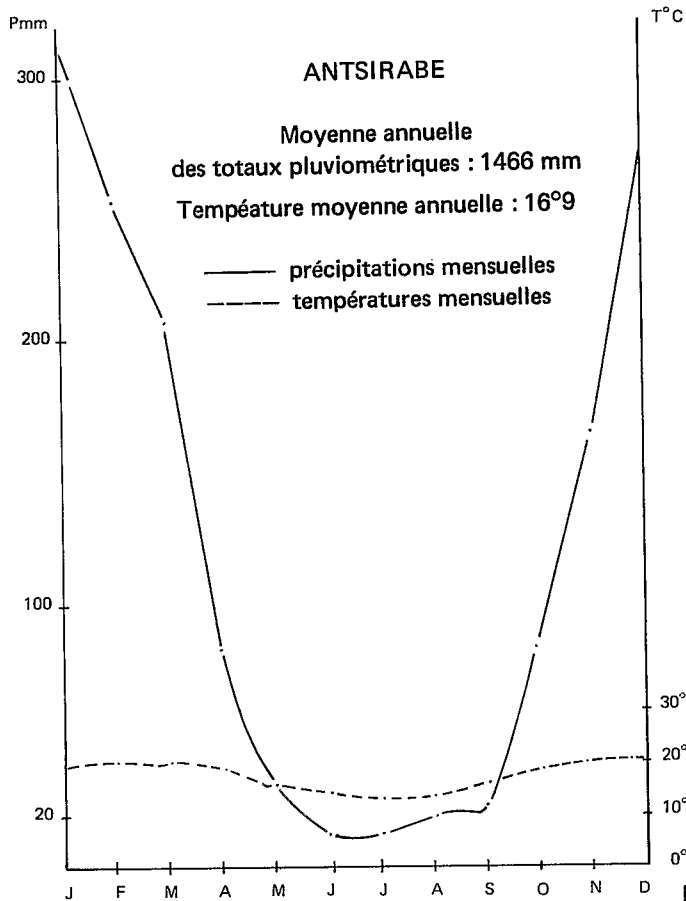


Figure 3

Courbes ombrothermiques « Gausson - Bagnouls »

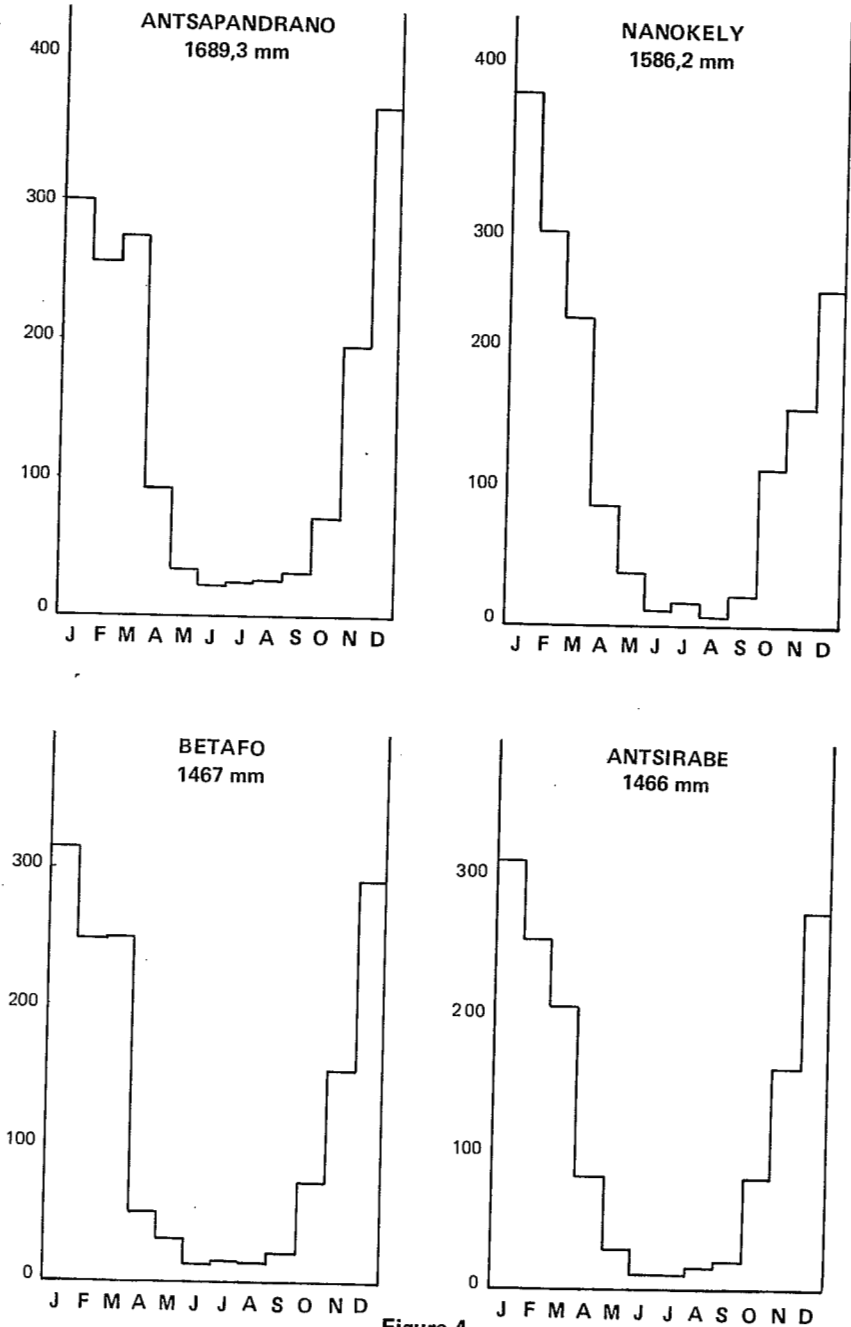


Figure 4

Précipitations mensuelles

Tableau 1
Données pluviométriques (moyennes sur 25 ans)

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Antsirabe 1.506 m	311	252	205	82	31	12	12	18	22	83	163	275	1466 mm
Betafo 1.402 m	316	247	248	49	30	12	14	13	22	72	154	290	1467 mm
Nanokely 2.020 m	381	282,7	220,9	86,4	38,7	13	19	7,3	22,1	114	158,4	242,5	1586 mm
Antsapan- drano 1.844 m	298	254	272	92	34	22	25	26	32	72	196	336	1689 mm

Tableau 2
Températures moyennes mensuelles et annuelles

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Antsirabe	19°8	19°6	19°2	17°8	15°2	13°2	12°6	13°3	15°4	17°6	18°9	19°6	16°9
Betafo (1)	20°4	20°2	19°8	18°4	15°8	13°8	13°2	13°9	16°0	18°2	19°5	20°2	17°5
Nanokely	16°2	16°2	16°0	14°7	12°3	10°9	10°1	10°9	12°8	14°3	15°8	16°1	13°8
Antsapan- drano (1)	17°8	17°6	17°6	15°8	13°2	11°2	10°6	11°3	13°4	15°6	16°9	17°6	14°8

(1) Valeurs calculées d'après l'altitude.

Signalons également les chiffres suivants pour les stations de Nanokely et Antsirabe :

	Nanokely	Antsirabe
— moyenne annuelle des maxima	20°0	23°3
— moyenne annuelle des minima	7°8	10°4
— maxima absolu	28°8	31°9
— minimum absolu	4°5	— 2°6

Les moyennes annuelles diminuent avec l'altitude, cependant l'on constate que le minimum absolu n'est pas observé en altitude mais à Antsirabe.

En résumé, les températures sont généralement basses dans cette région, les gelées matinales sont très fréquentes et nuisent aux cultures.

1.4. Grêle

Les chutes de grêle sont très fréquentes dans la région d'Antsirabe, notamment pendant l'été. Des relevés effectués à Antsirabe et Betafo pendant dix ans (1960-1969) ont donné les chiffres consignés dans le tableau 3 où N représente le nombre de chutes de grêle par mois et F la fréquence en % des chutes totales.

Il n'est malheureusement pas fait mention de l'intensité ni de la durée des chutes. On sait toutefois que celles-ci peuvent durer de 10 à 20 minutes et que le diamètre des grêlons va de 2 à 10 mm, parfois même plus.

Tableau 3
Nombre et fréquence des chutes de grêle

$$F = \frac{N}{N \text{ total}} \times 100$$

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Antsirabe	N	11	8	4	10	1	6	0	3	5	35	47	20	150
	F	7	5	3	7	1	4	—	2	3	23	32	13	100
Betafo	N	2	6	2	8	2	3	0	0	1	10	11	13	58
	F	3	10	3	14	3	5	—	—	2	17	21	22	100

Il y a trois fois moins de chutes à Betafo qu'à Antsirabe, où 80 % des cas se produisent pendant l'été, du mois d'octobre au mois de février. Les dégâts causés par la grêle aux cultures sont alors très importants. Leur action sur la surface du sol peut également être nuisible : destruction de la structure, érosion...

2. Classification des climats locaux.

Les différentes unités géographiques conditionnent la nature des climats locaux. La plupart des auteurs en ont distingué deux ou trois types, mais les différentes classifications climatiques se rejoignent toutes pour aboutir au même résultat. On distingue deux principaux climats :

— Le climat d'altitude, qu'on rencontre au nord (Vavavato et partie sud du massif de l'Ankaratra) et au sud-ouest (massif de l'Itongafeno) : les précipitations

sont importantes et l'hiver très froid. Les courbes ombro-thermiques de GAUSSEN-BAGNOULS (figure 3) montrent qu'un mois seulement peut être considéré comme biologiquement sec.

— Le climat des hautes terres (dépressions d'Antsirabe et de Betafo) : les précipitations sont très importantes (1.400 à 1.700 mm), la saison sèche est très marquée avec toutefois de constants crachins et des brouillards, l'hiver est froid avec des gels assez fréquents.

Ce dernier type de climat peut être divisé en deux sous-types :

- celui de la dépression d'Antsirabe, à influence orientale, avec crachins et pluies fines très fréquents en hiver,
- celui de la dépression de Betafo, à influence plutôt occidentale, où la pseudo-mousson estivale peut remonter par le couloir Mania-landratsay et augmente légèrement la fréquence des précipitations. Cette différence, ressentie par les paysans, n'est cependant guère perceptible à l'examen des données météorologiques.

3. Conclusion.

Le climat de cette région comporte une saison sèche plus ou moins marquée suivant l'altitude. Cette saison sèche peut être atténuée par des crachins et des brouillards pendant l'hiver.

La température reste très modérée toute l'année, des minima négatifs sont fréquents aussi bien dans les plaines qu'en altitude.

Les courbes de bilan hydrique des sols, établies par J. RIQUIER selon la formule de PRESCOTT, montrent un déficit en eau de l'ordre de 280 mm du mois de juillet aux mois de septembre-octobre. La concentration des précipitations, plus de 1.400 mm en 7 mois, provoque un drainage important à travers les sols ou un ruissellement intense à la surface.

GÉOLOGIE

La géologie de la région a été plus particulièrement étudiée par A. LENOBLE (1949), J. GUIGUES (1952), C. ALSAC (1962), et G. NOIZET (1963). Une carte au 1/200.000 et une, plus récente, au 1/100.000, ont été dressées. L'esquisse géologique présentée (figure 5) a été établie à partir de ces travaux auxquels nos propres observations nous ont conduit à apporter des modifications.

Trois ensembles géologiques peuvent être distingués :

- Le socle cristallin, qui constitue les parties ouest et sud de la feuille,
- Le massif volcanique au nord-est,
- Les alluvions volcano-lacustres au centre-est.

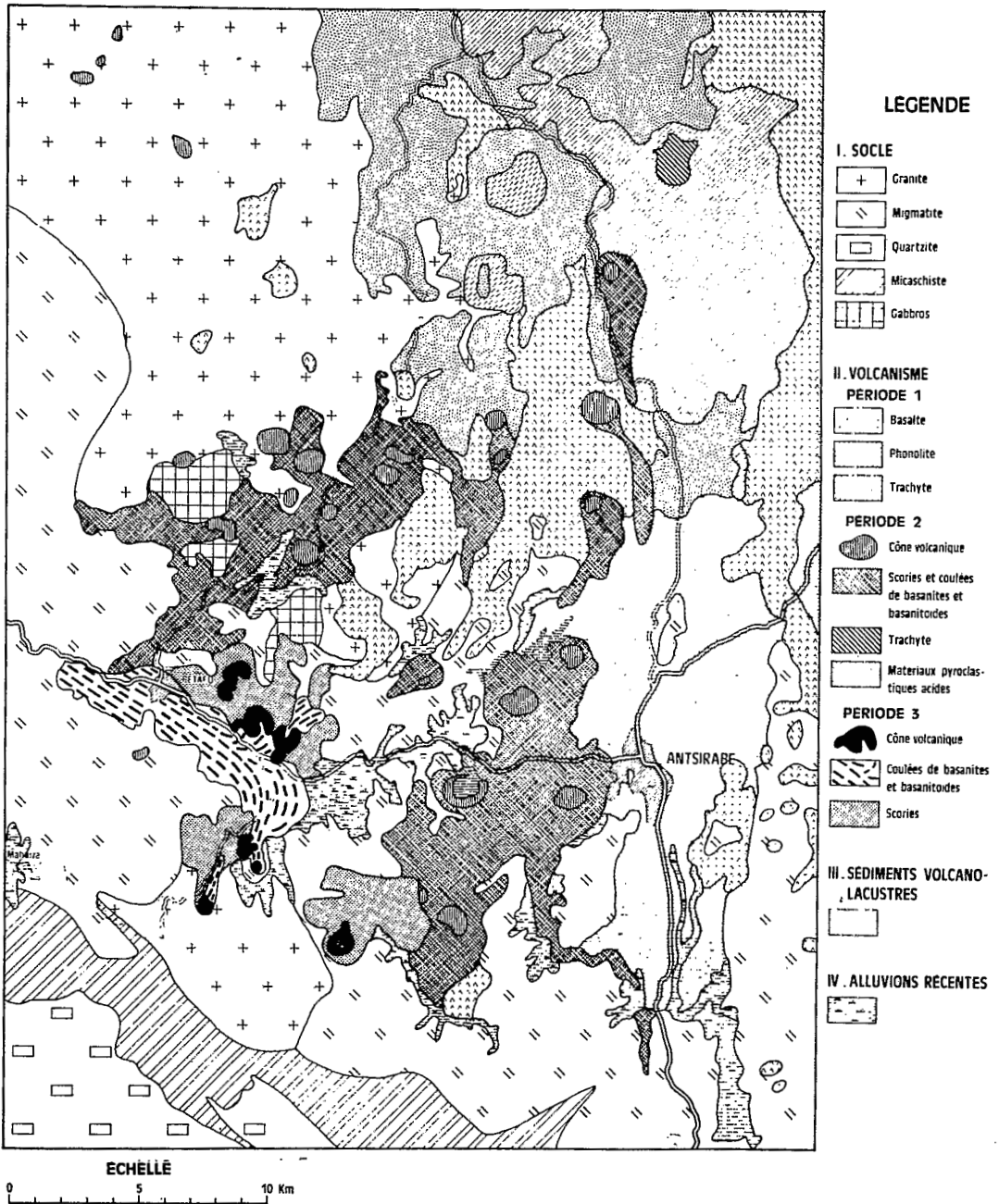


Figure 5
Esquisse géologique

Le socle cristallin

Il est constitué de schistes cristallins (socle migmatitique, micaschistes et quartzites) et de roches éruptives (essentiellement granites et gabbros).

Les migmatites et migmatites granitoïdes constituent une grande partie des affleurements du socle, notamment dans le sud de la zone étudiée. Ce sont des roches à biotite ou à amphibole avec quelques passages d'amphibolites feldspathiques.

Les micaschistes forment une bande étroite au sud-ouest de la carte, ils contiennent de la muscovite ou de la biotite.

Les quartzites occupent une faible étendue dans le coin sud-ouest de la feuille où elles forment le massif de Tongafeno.

Les granites occupent une importante surface au nord-ouest de la carte où ils forment le massif des Vavavato. Au sud de Betafo ils constituent le massif de l'Andaingo. Ce sont des granites migmatitiques leucocrates porphyroblastiques. Ils renferment de la biotite, de l'amphibole et du pyroxène en faible quantité, associés à des minéraux accessoires tels que le sphène.

Les gabbros forment des massifs peu importants au nord-est de Betafo.

Le volcanisme

Pétrographiquement tous les termes, depuis les trachytes jusqu'aux ankara-trites, sont représentés. Sur le terrain la détermination exacte des roches n'est pas toujours possible. Seul le caractère acide ou basique des roches peut être apprécié.

Remarque : C. ALSAC (1962) a pu mettre en évidence l'existence d'une variation continue depuis les basanites et basanitoïdes (Pôle basique) jusqu'aux trachytes (Pôle acide). Il traduit cette variation dans un graphique (figure 6) où le rapport

$$R = \frac{K + Na}{Ca + K + Na}$$

est porté en ordonnée tandis que le pourcentage en silice est porté en abscisse.

Nous avons établi pour les zones d'altération une représentation analogue de la variation de leur composition chimique (figure 7).

En ordonnée est porté le rapport

$$R = \frac{K + Na}{Ca + K + Na} ;$$

en abscisse le pourcentage en Fe_2O_3 , et non pas le pourcentage en silice, cette dernière étant trop rapidement éliminée des zones d'altération.

Ce mode de représentation nous a permis de déterminer le caractère acide de certains matériaux pyroclastiques qui, trop fortement altérés, ne pouvaient être identifiés par les analyses optiques classiques.

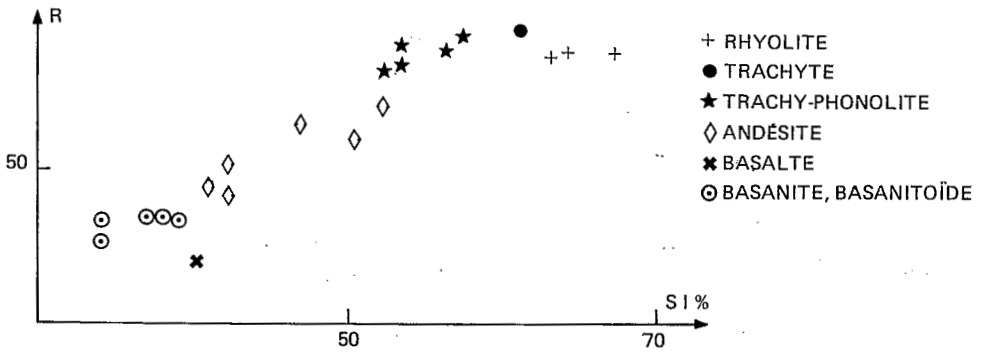


Figure 6

Variation de la composition chimique des roches (C. Alsac, 1963)

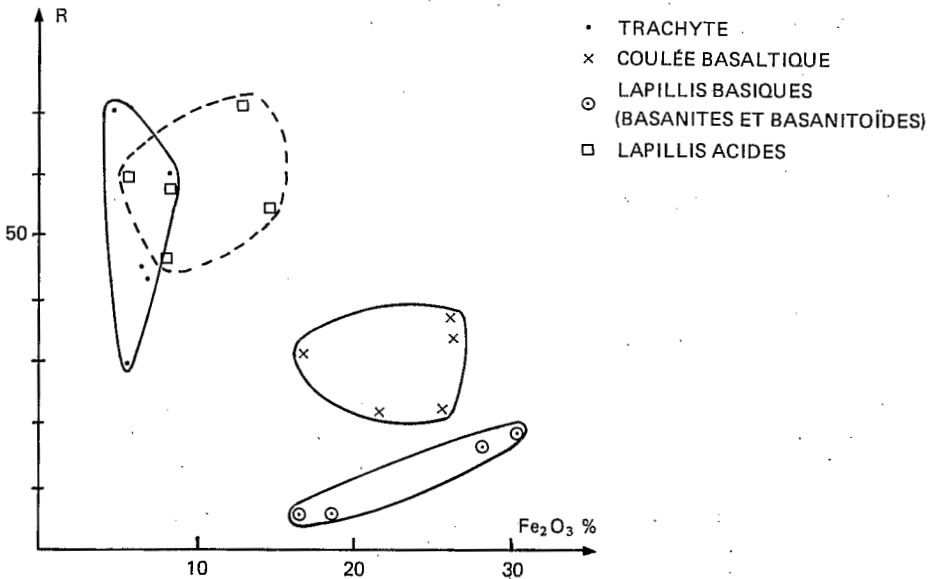


Figure 7

Variation de la composition chimique des altérations

Les différents travaux géologiques portent surtout sur un essai de classification chronologique des éruptions volcaniques de l'Ankaratra. Pour LENOBLE celles-ci auraient commencé au début du pliocène pour se terminer au quaternaire récent. La chronologie des éruptions serait :

- 1) Emission de laves acides : rhyolites, trachytes et phonolites,
- 2) Epanchements de basaltes et d'andésites,
- 3) Coulée d'ankaratrires,
- 4) Eruptions récentes : basanites et basanitoïdes.

Les trachytes, les phonolites et les basaltes anciens couvrent le quart nord-est de la carte, mais les roches acides ont une extension beaucoup plus importante que celle indiquée jusqu'ici. En effet, des projections acides, difficilement identifiables parce que fortement altérées recouvrent la plupart des coulées anciennes. La présence de ces projections dans les positions topographiques les plus variées leur confère une origine relativement récente. C. ALSAC puis G. NOIZET et enfin G. MOT-TET ont d'ailleurs déjà montré que les venues trachytiques ne sont pas limitées aux premières éruptions de l'Ankaratra mais ont pu se produire beaucoup plus tardivement.

Les basanites et basanitoïdes constituent la plupart des appareils volcaniques des environs d'Antsirabe et de Betafo. Par opposition aux émissions anciennes, ces manifestations volcaniques sont qualifiées par LENOBLE de récentes ou subactuelles. Il est en fait possible de distinguer dans ce volcanisme récent au moins deux périodes d'activité séparées par une période de pédogenèse. Les coulées fortement altérées issues des édifices de la région d'Antsirabe sont en effet recouvertes par des matériaux pyroclastiques provenant d'édifices plus récents tels *Tritriva*.

En conclusion nous avons été amenés à distinguer trois périodes dans le volcanisme :

Période I : elle correspond à la mise en place du volcanisme ancien : édifice trachytiques, dômes phonolitiques et coulées basaltiques. L'altération de ces formations est profonde.

Période II : cette période correspond à une phase d'activité récente (Quaternaire récent ?) durant laquelle se mettent en place les édifices volcaniques de basanite et basanitoïdes des régions d'Antsirabe et de l'Ifasina. Les édifices sont relativement bien conservés, les sols développés sur les coulées et lapillis ne sont jamais très épais. A cette période nous rattachons, bien qu'ils soient un peu plus anciens, d'une part l'apparition du massif trachytique de l'Ambohimadinika, d'autre part le recouvrement des basaltes anciens par les matériaux pyroclastiques acides.

Période III : elle correspond à la phase d'activité la plus récente (moins de 10.000 ans ?) du volcanisme de l'Ankaratra. Les formations volcaniques encore très bien conservées de Betafo et de *Tritriva* (cônes de scories et coulées de basanites et basanitoïdes) sont à rattacher à cette période.

Les sédiments volcano-lacustres

Le bassin lacustre d'Antsirabe a pour origine initiale un phénomène tectonique : abaissement du compartiment ouest après fractures d'une surface initiale, les escarpements de Betampona et du Mandray étant les témoins de ces failles.

Mais pour LENOBLE, le dépôt de sédiments dans le bassin serait surtout conséquent à la formation du massif de l'Ankaratra qui aurait joué un rôle de barrage pour le réseau hydrographique qui s'écoulait initialement vers l'ouest.

Les premiers dépôts datent du pliocène et sont constitués par un conglomérat à galets (galets de trachyte ou du socle métamorphique). Au cours du pliocène et du pléistocène le comblement du bassin s'est réalisé par des dépôts lacustres dans lesquels sont venus s'intercaler des coulées et des projections volcaniques. Ces sédiments volcano-lacustres constituent le matériau originel, très hétérogène, des sols qui s'y sont formés.

Influences sur la pédogenèse

Les roches-mères, qui ont une influence indirecte sur la pédogenèse par les formes de relief qu'elles engendrent, ont aussi une influence directe. En effet, de nombreuses caractéristiques des sols sont étroitement liées à la nature de la roche leur ayant donné naissance : couleur, structure, texture, etc...

Dans les régions volcaniques l'âge et la texture de la roche sont deux facteurs déterminants de l'évolution des sols. Ceux-ci sont d'autant plus évolués que la période de pédogenèse est plus longue, donc que la roche-mère est plus ancienne, toutes conditions égales par ailleurs. D'autre part, la texture de la roche-mère influence directement le drainage et donc l'évacuation des solutions du sol. C'est ainsi que sur les roches très perméables telles que lapillis et coulées scoriacées, les cations alcalins et alcalino-terreux ainsi que la silice sont rapidement éliminés : la synthèse des minéraux phylliteux est faible.

Par contre, sur basalte compact, le drainage est moindre, la synthèse des minéraux argileux est favorisée.

GÉOMORPHOLOGIE

La région présente des unités très diversifiées selon la nature et l'histoire géologique du substrat. On peut distinguer :

Au nord-ouest : le massif granitique des Vavavato. Seule la partie sud de ce massif est représentée sur près de 200 km² dans le quart nord-ouest de la feuille d'Antsirabe. Trois unités peuvent être séparées :

— A l'est la chaîne des Vavavato proprement dite où une barrière rocheuse ruiniforme, orientée nord-sud, dont les plus hauts sommets culminent à 2.300 m,

domine des vallées encaissées.

— Au centre la dépression d'Antanetibe, à une altitude proche de 1.900 m, prolongée au sud par les plateaux de Miandrasoaka, Betaolona. Ceux-ci, à une altitude de proche de 2.100 m, constituent un paysage de boules granitiques interrompu par des zones de recouvrement volcanique.

— A l'ouest une chaîne très déchiquetée, de 1 à 3 km de large sur une quinzaine de kilomètres de long, forme un arc montagneux dont la concavité est tournée vers le paysage des collines migmatitiques de l'Ouest.

Au sud-ouest : un ensemble montagneux formé de trois massifs :

— Le massif de l'Itongafeno, dont les plus hauts sommets culminent entre 2.100 et 2.200 m, présente des reliefs abrupts notamment dans les parties les plus élevées où les quartzites forment un paysage dentelé caractéristique.

— Le massif granitique de l'Andaingo, culminant à 1.950 m, présente un sommet aplani. Les pentes, fortes, surtout sur le versant nord-ouest, sont recouvertes de boules de granite.

— Le massif de l'Inanohazana au nord des précédents est un relief migmatitique fortement disséqué par l'érosion. Ses plus hauts sommets sont compris entre 1.700 et 1.760 m.

Au sud : un relief d'aplanissement constitué de deux unités situées à des altitudes différentes. Cet aplanissement serait, selon F. BOURGEAT (1972), un témoin du niveau II (correspondant à l'aplanissement méso-tertiaire) qui aurait été basculé vers l'est. En effet, d'ouest en est on remarque :

— Le plateau du Mangarano dont l'altitude, égale à 1.747 m à Ambatomena-loha, s'abaisse à 1.640 m au village de Mangarano.

— Le plateau de Nanondranana, au sud de Vinaninkarena, à une altitude voisine de 1.450 m.

Ces deux plateaux sont séparés par un escarpement de 120 m situé à l'est de Mangarano auquel fait suite une zone de collines molles allongées en forme de langue, à sommets plus ou moins aplanis, qui se prolonge au nord par les reliefs semblables d'Ambohitrimanjaka.

A l'est : un ensemble de collines d'altitude subégales forment un « relief dérivé » de la surface II (BOURGEAT 1972). Ces collines se raccordent à la dépression d'Antsirabe par l'escarpement du Mandray dont le dénivelé est de 150 à 200 m et qui s'étend sur une vingtaine de kilomètres du nord au sud.

Au nord : la partie méridionale du massif volcanique de l'Ankaratra se subdivise en :

— de vastes plateaux doucement vallonnés constitués par des coulées volcaniques, souvent recouvertes, comme nous l'avons déjà vu, d'un manteau de projec-

tions, qui descendent progressivement vers le sud. Dans la zone de contact entre le volcanisme et le socle ces coulées occupent les interfluves alors que les vallées sont creusées dans les migmatites ou les granites (inversion de relief).

- des dômes phonolitiques, tels ceux d'Andrakotra et de Manarilefona, qui émergent de ces plateaux.

- un massif trachytique qui culmine à 2.300 m. Ce massif, profondément entaillé par le réseau hydrographique, offre un relief accidenté aux pentes très fortes.

Au centre : les formations volcaniques récentes ainsi que la plaine correspondant aux sédiments volcano-lacustres d'Antsirabe.

- Les formations volcaniques récentes offrent un paysage légèrement vallonné duquel émergent les appareils volcaniques. Ces derniers, remarquablement bien conservés dans la région de Betafo (période III), y présentent des pentes longitudinales rectilignes dont le raccordement à la surface de base est brutal. Par contre dans la région d'Antsirabe et de l'Ifasina (période II) les cônes sont déjà moins bien conservés, leur ligne de plus grande pente est souvent convexo-concave.

- la plaine, correspondant aux sédiments volcano-lacustres, présente une très légère pente vers le sud. Elle offre de grandes surfaces planes séparées par des vallées étroites, peu profondes mais aux pentes transversales fortes.

En conclusion, la zone étudiée présente un relief accidenté dans lequel dominent les massifs montagneux aux pentes fortes. Dans ces massifs les phénomènes d'érosion et de rajeunissement des sols sont intenses. Il est évident qu'ils seront bien moindres dans les zones de collines douces et pratiquement inexistantes dans la plaine où l'on trouvera donc les sols les plus profonds.

VÉGÉTATION ET CULTURES

1. La végétation primitive

Du fait de l'abondance des cultures due aux très fortes densités de population (jusqu'à 280/km² dans la région de Betafo), il est difficile à l'heure actuelle de se faire une idée de la végétation primitive qui couvrait jadis la zone cartographiée.

Cependant quelques arbres ou arbustes isolés *Agauria salicifolia* (Ericacées), *Erachylaena sp.* (Composées), *Weinmannia sp.* (Cunoniacées), *Enterospermum* (Rubiacées) etc... survivent encore à la faveur d'accidents topographiques locaux qui les ont préservés des incendies. L'existence de ces très rares représentants ligneux naniés le plus souvent par les feux, ainsi que la réussite des nombreux reboisements en *Acacia dealbata*, *Pinus patula*, *P. merkusii*, effectués par les Eaux et Forêts témoignent indubitablement en faveur du climax forestier de l'ensemble de la région considérée.

La végétation primitive devait donc très vraisemblablement appartenir selon l'altitude à la « forêt à mousse et sous bois herbacé » ou à la « silve à lichen » (H. PERRIER DE LA BATHIE - 1921).

Ces forêts fragiles parce que facilement inflammables ont été remplacées depuis longtemps par une végétation secondaire essentiellement graminéenne et parfois buissonnante (*Helichrysum gymnocephalum*, *Acacia dealbata*).

2. La végétation secondaire

Quand elle n'est pas défrichée en vue de la culture (Maïs, pomme de terre, etc...), la végétation secondaire se présente sous forme d'une savane herbeuse basse dominée par une ou deux espèces de graminées perennes et cespiteuses : *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Trachypogon spicatus* ou *Aristida rufescens* sans aucun intérêt fourrager.

Toute cette végétation secondarisée de très faible biomasse n'a aucune action sensible sur la pédogenèse. Par contre sa composition floristique dépend dans une certaine mesure de la nature des sols sous jacents. Ainsi :

— Le genre *Philippia* (Ericacées) représenté par 2 ou 3 espèces est très fréquent sur les sols développés sur le socle alors qu'il est absent sur les sols d'origine volcanique.

— *Pennisetum pseudotriticoïdes* est beaucoup plus abondant sur les sols d'origine volcanique où il représente parfois jusqu'à 95 ou 100 % des savanes herbeuses, que sur le socle cristallin où il est peu représenté ou absent.

— *Loudetia simplex subsp. stipoides* est strictement inféodée aux phénomènes hydromorphiques. C'est pourquoi on le trouve en abondance sur la seule cuirasse existant dans la région (Tokotanitsara), sur le pourtour des éboulis rocheux (Vavavato) et chaque fois qu'il y a présence d'une stone-line à faible profondeur ou épandage de cailloux.

— Les Cyperacées (*Cyperus*, *Staria*, *Marisens*, *Eleocharis*, *Kyllingia*) ou d'autres espèces telles que *Polygonum* (Polygonacées), *Jussiaea* (Oenantheracées) ou *Leersia hexandra* (Graminées) sont confinées aux sols hydromorphes ou périodiquement inondables. Aussi les retrouve-t-on comme adventices des rizières ou sur leur pourtour.

Mais la plupart du temps la composition floristique d'une savane herbeuse reflète mal l'hétérogénéité des sols. Les différences sont marquées ou éliminées par l'intrusion massive de toutes les espèces anthropiques pantropicales. De nombreuses surfaces ne sont en fait que des jachères plus ou moins récentes envahies d'espèces rudérales ou nitrophiles telles que : *Euphorbia hirta* (Euphorbiacées), *Cassia mimosoides* (Cesalpiniées), *Rhynchelytrum repens*, *Cynodon dactylon*, *Eragrostis atrovirens*, *Alloteropsis semi alata*, *Sporobolus pyramidalis*, *Digitaria longi flora* (Graminées), *Cyperus obtusiflorus* (Cyperacées) sans signification écologique ou pédologique précise.

3. Les cultures

La mise en valeur des terres dépend étroitement de la nature du substrat géologique ainsi que de l'altitude qui conditionne la température, laquelle limite le

Il est remarquable de constater que les sols d'origine volcanique sont spontanément les premiers mis en valeur de préférence aux sols issus du socle. Parmi les sols volcaniques, ceux formés sur les matériaux les plus récents sont plus intensément cultivés que ceux issus de coulées anciennes. Aussi dans les régions d'Antsirabe et surtout de Betafo, il est courant d'observer une occupation du sol dépassant 90 % de la surface totale.

Les cultures les plus répandues sont, jusqu'à une altitude de 1.800-1.900 m, le maïs et le riz.

Le maïs, dans la sous-préfecture d'Antsirabe, recouvrait en 1972 une surface de 12.850 ha avec un rendement moyen de 1 T/ha. En culture traditionnelle, le maïs est presque toujours associé à une légumineuse telle que le haricot. En culture améliorée, avec une fumure d'entretien NPK 11-22-16 de 600 kg par ha, les rendements atteignent en moyenne 2,5 T/ha.

Le riz occupe des surfaces à peu près égales à celles du maïs, les rendements moyens en culture traditionnelle sont de 2,5 T/ha, ils passent à 3,5 T/ha en culture améliorée (repiquage en ligne et fumure d'entretien de 300 kg NPK 11-22-16 par ha).

Aux altitudes supérieures à 1.900 m, la température limite l'extension des cultures du riz et du maïs dont les rendements sont très faibles voire nuls ; c'est le domaine de la pomme de terre.

La culture de celle-ci est pratiquée de façon ininterrompue dans un rayon de 100 à 150 m autour des cases d'habitations, les rendements sont faibles (5 T/ha) car la seule source d'engrais est constituée par un apport annuel d'une faible quantité de fumier. La culture de la pomme de terre est également pratiquée de façon extensive (1 saison de culture, 4 à 5 ans de jachère), sans engrais ni amendement organiques, sur l'ensemble des vastes plateaux volcaniques situés au nord de la zone étudiée, les rendements sont alors très faibles : 2 à 3 T/ha.

DEUXIEME PARTIE

ÉTUDE DES SOLS

CLASSIFICATION DES SOLS

La classification générale adoptée est celle établie par la commission de pédologie et de cartographie des sols (C.P.C.S. 1967). Quelques modifications ont été apportées à la classe des sols ferrallitiques (en particulier l'introduction d'un groupe « allitique »). Pour la classe des andosols il nous a paru intéressant d'employer la classification proposée par le « groupe de travail sur les andosols » (1972) qui tient compte des connaissances les plus récentes acquises dans ce domaine.

Les unités pédologiques cartographiées se situent au niveau de la famille. A ces unités simples s'ajoutent des unités cartographiques complexes composées de deux ou plusieurs unités simples.

Légende des sols

SOLS MINÉRAUX BRUTS

- Non climatiques
- + d'érosion
- x Lithosols
- . sur socle cristallin 1
- . sur roche volcanique 2
- . sur cuirasse ferrugineuse 3

SOLS PEU ÉVOLUÉS

- Humifères
- + Rankers

x à moder	. sur matériaux volcaniques, associé à (17)	4
– Non climatiques		
+ d'érosion		
x régosoliques	. sur matériaux pyroclastiques acides	5
	. sur socle cristallin, associé à (25)	6
x lithiques	. sur coulée volcanique	7
x hydromorphes	. sur socle cristallin	8

ANDOSOLS

– peu différenciés		
+ désaturés		
x mélaniques	. sur matériaux pyroclastiques basiques	9
– différenciés		
+ désaturés		
x mélaniques	. sur matériaux pyroclastiques basiques	10

SOLS FERRALLITIQUES

– moyennement désaturés		
+ rajeunis		
x par apport éolien	. sur matériaux volcaniques basiques, associé à (23)	11
+ allitiques		
x humifères	. sur coulées et matériaux pyroclastiques basiques, associées à (15)	12
x hydromorphes	. sur coulées et matériaux pyroclastiques basiques	13
– fortement désaturés		
+ typiques		
x rajeunis	. sur matériaux volcaniques basiques	14
+ allitiques		
x humifères	. sur coulées et matériaux pyroclastiques basiques	15

	. sur matériaux volcano-lacustres	16
	. sur matériaux pyroclastiques acides	17
x avec érosion et remaniement		
	. sur socle cristallin	18
+ rajeunis		
x modaux		
—	. sur matériaux volcaniques basiques	19
x humifères		
	. sur matériaux volcaniques basiques	20
	. sur matériaux volcaniques acides	21
	. sur gabbro	22
x avec érosion et remaniement		
	. sur socle cristallin	
	à stone-line proche de la surface	23
	à stone-line en profondeur	24

SOLS HYDROMORPHES

— organiques		
+ à tourbe semi-fibreuse		
x oligotrophes		
	sur matériaux volcaniques	25
— moyennement organiques		
+ humiques à gley		
x à anmoor acide		
	. sur alluvions indifférenciées	26
— peu humifères		
+ à gley		
x profonds		
	. sur alluvion du socle, associé à (28)	27
+ à amphigley		
x à battement de nappe phréatique de forte amplitude		
	. sur alluvion du socle.	28
+ à pseudo-gley		
x de surface		
	. sur sédiments volcano-lacustres	29
	. sur matériaux volcaniques	30

Unités cartographiques complexes

— Sols peu évolués lithiques sur coulées et andosols.

— Sols ferrallitiques fortement désaturés allitiques humifères sur matériaux pyroclastiques acides et sols ferrallitiques fortement désaturés rajeunis humifères sur matériaux volcaniques acides.

— Sols des cônes volcaniques : sols minéraux bruts, sols peu évolués, andosols et sols ferrallitiques.

LES SOLS MINÉRAUX BRUTS

Ce sont des sols d'origine non climatique d'érosion. Ils sont représentés par des affleurements rocheux ou par des cuirasses mises à nu par l'érosion et ont donc été cartographiés en lithosols. Les affleurements rocheux occupent d'importantes surfaces dans le massif granitique des Vavavato et dans celui, quartzitique, de l'Iongafeno. Ils ont été également observés dans le massif trachytique d'Ahi-Madinika. Dans de nombreux autres endroits ils sont en association avec des sols peu évolués.

Les cuirasses mises à nu ont été observées sur des formations volcaniques au sud du lac Farihimena. Elles n'occupent que de petites surfaces et sont pour la plupart démantelées. Celle de Tokotanjsara, culminant à 2.260 m, forme une butte témoin d'un ancien niveau cuirassé.

LES SOLS PEU ÉVOLUÉS

Les sols « peu évolués » de la région d'Antsirabe sont des sols qui, tronqués par l'érosion, ont un profil A-C. Bien que les horizons C présentent souvent une altération de type ferrallitique, leur richesse en minéraux primaires ainsi que l'absence d'horizon B du profil ne permettent pas de les ranger dans la classe des sols ferrallitiques. Ils ont été maintenus dans celle des sols peu évolués.

En fonction des teneurs en matière organique de l'horizon humifère on peut distinguer la sous classe des sols humifères et celle des sols peu évolués non climatiques.

1. Les sols peu évolués humifères

Ils sont situés à des altitudes en général supérieures à 2.000 m donc dans des régions soumises à un climat frais et humide responsable de l'accumulation, dans le profil, de la matière organique de type moder.

Ils ont été observés sur des coulées trachytiques ou sur des cônes volcaniques relativement récents (période II) mais dans des positions topographiques telles que l'érosion a limité le développement du profil.

Morphologie

ATZ 59 sur un sommet de cône volcanique en X = 704,4, Y = 452,5, Z = 2.150 m.

— Matériaux pyroclastiques basiques.

— Strate herbacée : *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Trachypogon spicatus*

- 0-25 cm : frais, brun rougeâtre (5 YR 2,5/2)* ; à matière organique non directement décelable ; lapillis et blocs scoriacés abondants faiblement altérés ; limoneux ; meuble ; structure massive, quelques éléments polyédriques subanguleux fins très friables ; très poreux ; nombreuses racines fines ; transition graduelle à
- 25-60 cm : frais ; brun rougeâtre (5 YR 3/3) ; blocs et lapillis scoriacés très abondants, faiblement altérés entre lesquels se trouve la terre fine ; limoneux ; structure massive, très friable ; poreux ; nombreuses racines fines.

Les sols développés sur coulées présentent un profil très semblable. L'horizon humifère est brun foncé à noir, la structure est massive. Le passage à une zone d'altération B-C est plus net que dans le cas des sols sur matériaux pyroclastiques. L'horizon B-C est peu épais (5 à 10 cm) le passage à la roche mère inaltérée est toujours brutal.

Caractéristiques analytiques

En surface, la texture de la terre fine est difficile à déterminer, la dispersion des éléments fins n'est en effet pas parfaite car la destruction de la matière organique par l'eau oxygénée n'est jamais complète. Les teneurs en sable sont relativement faibles (5 à 20 %), elles augmentent rapidement en profondeur.

L'accumulation de la matière organique (24 à 33 % sur les 20 premiers centimètres) est à mettre en relation avec la faible température qui limite la minéralisation des composés organiques. Le rapport C/N de 14 indique une activité biologique assez bonne.

Le pH, de 5,5 en surface, augmente rapidement en profondeur (6 à 6,3).

Les teneurs en éléments échangeables sont variables, mais inférieures à 2 mé pour 100 g de sol. La capacité d'échange, toujours élevée en surface (30 mé/100 g), diminue avec les quantités de matière organique en profondeur.

Le taux de saturation est très faible (inférieur à 10 %).

Les teneurs en éléments totaux sont très élevées : 150 à 300 mé pour 100 g de sol.

Extension

Ces sols occupent de très faibles superficies. Ils n'ont pas été cartographiés en unité simple mais en association avec des sols ferrallitiques sur les coulées trachytiques à l'est d'Alarobia, ou avec des sols minéraux bruts sur les cônes volcaniques situés en altitude.

* Les couleurs sont déterminées au « Munsell soil color charts » sur sol humide.

2. Les sols peu évolués non climatiques d'érosion.

Ils ont tous été regroupés dans les sols d'érosion, bien que, dans le cas des sols situés sur les coulées volcaniques de la période III, la faible évolution du profil soit attribuable autant à la jeunesse de la roche mère qu'à un phénomène d'érosion.

Suivant la nature du matériau originel on peut distinguer des sols régosoliques et des sols lithiques. Dans certains cas, des traces d'hydromorphie dans le profil conduisent à classer les sols dans un sous-groupe hydromorphe.

2.1. Les sols peu évolués régosoliques sur matériaux pyroclastiques acides.

Ils ont été observés au nord-est de la zone étudiée, le long de la piste d'Am-bano à Alarobia. Dans cette zone aux pentes assez fortes, les matériaux pyroclastiques ont recouvert des coulées volcaniques plus anciennes mais peu altérées. Les sols, peu épais du fait de l'érosion, développés sur lapillis peuvent être eux-mêmes décapés en laissant ainsi apparaître les coulées antérieures inaltérées. On observe alors une association de sols peu évolués et de lithosols.

Morphologie

- ATZ 52 sur une pente de 10° en X = 710, Y = 461,5, Z = 1.875 m.
- sur matériaux pyroclastiques acides.
- Jachère graminéenne sur ancienne culture de maïs : *Cynodon dactylon*, *Digitaria longiflora*, *Pennisetum pseudotriticoïdes*.

0-20 cm	: Sec, brun 10 YR 4/3 ; limoneux ; meuble ; structure massive, très fragile, poreux, racines fines dans la masse de l'horizon ; transition nette à :
20-25 cm	: Sec, jaune 10 YR 7/6 ; limono-sableux ; nombreux minéraux altérés blanchâtres et noirs ; quelques graviers altérés contenant beaucoup de quartz et rares graviers non altérés de roche volcanique très claire.

Ces profils sont caractérisés par un horizon humifère d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur auquel fait suite une horizon d'altération peu épais, de matériaux pyroclastiques. Sous cet horizon C il est fréquent d'observer un horizon II C d'altération d'une coulée volcanique ou plus rarement, un horizon II B enterré.

Caractéristiques analytiques

La texture de la terre fine est limoneuse à limono-sableuse, les teneurs en sables totaux pouvant atteindre 50 % du total dans l'horizon C.

Les teneurs en matières organiques sont élevées dans l'horizon humifère (8 à 12 %) et s'abaissent brutalement dans l'horizon sous-jacent (1,5 %), celles en azote passent de 3,5 - 3,7 ‰ à 0,7 - 0,8 ‰ dans l'horizon C.

Le pH est acide (5,1 à 5,4).

Les teneurs en éléments échangeables sont faibles : 0,5 à 0,6 mé de calcium, 0,10 à 0,15 mé de magnésium et de potassium pour 100 g de sol. La capacité d'échange est élevée dans l'horizon A (16 à 20 mé pour 100 g de sol) plus faible dans l'horizon C. Le taux de saturation est inférieur à 10 %.

Les teneurs en éléments totaux sont très variables, elles sont comprises entre 16 et 50 mé pour 100 g de sol.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ proche de 1 indique une élimination intense de la silice.

Extension - Utilisation

Ces sols n'occupent que des surfaces réduites et sont localement mis en valeur par des cultures maraîchères ou de maïs. L'absence de structure de l'horizon humifère ne gêne pas la pénétration des racines car le sol est meuble. Sur ces sols peu épais, des mesures antiérosives sont d'autant plus nécessaires que la pente est plus forte.

2.2. Les sols peu évolués régosoliques sur socle cristallin.

Ces sols ont été observés sur les pentes fortes des reliefs résiduels ainsi que dans les vallées de dissection d'anciens niveaux d'aplanissement. Ils sont toujours en association avec des sols ferrallitiques rajeunis dont ils dérivent par troncature du profil. Dans les massifs granitiques, les affleurements rocheux sont également fréquents.

Morphologie

— ATZ 12 sur une pente de 30° en X = 463,2, Y = 680, Z = 1.475 m.

— Sur migmatites

— Strate herbacée : *Aristida rufescens* ; quelques *Philippia*.

0- 30 cm : Sec ; rouge jaunâtre 5 YR 5/6 ; limoneux, très nombreux micas ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse moyenne à grossière fragile ; nombreuses fines racines dans la masse de l'horizon ; très poreux, transition nette à :

30-100 cm : Sec ; brun très pâle 10 YR 7/3 ; limono-sableux, très nombreux micas ; structure massive à éclats émoussés très fragiles ; quelques racines fines en début d'horizon.

L'horizon humifère peut être plus ou moins important suivant l'intensité de l'érosion. L'horizon sous-jacent est un horizon C. Sa couleur et sa texture dépendent de la nature de la roche mère. Sur migmatite la texture est limoneuse à limono-sableuse et la couleur est le plus souvent rose à rouge pâle. Sur granite la texture est plus grossière, et la couleur est jaune.

Caractéristiques analytiques

La texture est sableuse (20 à 50 % de sables fins et 20 à 45 % de sables grossiers).

Les teneurs en matière organique sont très variables (1 à 6 %). Le rapport C/N est en général compris entre 13 et 10, il diminue en profondeur.

Le pH de 5,1 à 5,5 en surface augmente dans l'horizon C (5,5 à 6,3).

Les teneurs en éléments échangeables sont comprises entre 2 et 3 mé pour 100 g de sol. Le taux de saturation est élevé, souvent proche de 100 %.

Les teneurs en éléments totaux sont élevées (50 à 60 mé pour 100 g de sol).

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est toujours voisin de 2.

Extension - Utilisation

Ces sols occupent, en unité simple, de très faibles surfaces. Ils sont chimiquement riches mais sont situés sur des pentes trop fortes pour être cultivés. On les reboise avec succès.

2.3. Les sols peu évolués lithiques sur coulées volcaniques.

Ils ont été observés sur des coulées relativement récentes et souvent en association avec des sols minéraux bruts. Dans la région de Betafo ces sols situés sur des coulées à l'aspect de cheire, occupent les positions hautes correspondantes aux boursofflures de la coulée, alors que dans les positions basses des sols épais se sont formés sur des matériaux pyroclastiques. A l'ouest de Mahatsinjo, sur coulée déjà plus ancienne que celles de Betafo, la totalité des matériaux pyroclastiques a été dégagée par l'érosion et on observe une association de sols peu évolués lithiques et de sols minéraux bruts.

Morphologie

- ATZ 62 en X = 691,1, Y = 447,6, Z = 1.525 m.
- Sur un monticule de basalte scoriacé.
- Strate herbacée : *Hyparrhenia rufa*, *Pennisetum pseudotriticoïdes*.

0-30 cm : Blocs de basalte scoriacé entre lesquels se trouve la terre fine, sec ; brun jaune foncé 10 YR 4/3 ; limono-sableux ; structure massive, très fragile ; très poreux ; nombreuses fines racines.

Caractéristiques analytiques

La texture de la terre fine est limono-sableuse.

14. Les teneurs en matière organique atteignent 10 % avec un rapport C/N de

Le pH est proche de 6.

La somme des bases échangeables est comprise entre 3 et 4 mé. La capacité d'échange est forte (20 mé) par suite des teneurs élevées en matière organique.

Les teneurs en éléments totaux atteignent 300 mé pour 100 g de sol, le magnésium étant un quantité 10 fois plus forte que la somme des autres éléments.

Sur ces basaltes scoriacés le lessivage de la silice est intense et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la terre fine est souvent inférieur à 1.

Utilisation

Aucune utilisation agricole ne peut être envisagée pour ces sols trop caillouteux.

2.4. Les sols peu évolués hydromorphes.

Ce sont des sols formés sur des zones d'altération granitique plus ou moins remaniées. Ils ont surtout été observés dans le massif des Vavavato où la température fraîche liée à de fortes précipitations semble être responsable des caractères hydromorphes reconnus dans ces sols (accumulation de matière organique et présence de taches de composés oxydés).

Morphologie

– ATZ 91 sur une pente de 10° en X = 716,2, Y = 448,4, Z = 2.150 m.

– Sur granite.

– Strate herbacée : *Aristida similis*, *Ctenium concinum*, *Eulalia villosa*, *Arrhenatherum sp.*, *Anthoxanthum*.

0- 50 cm	:	Humide ; noir (5 YR 2,5/1) ; à matière organique directement décelable ; structure massive ; chevelu racinaire très dense sur 20 cm puis devenant moins dense en profondeur, transition distincte à :
50 - 70 cm	:	Humide ; brun jaunâtre (10 YR 5/6) ; sablo-limoneux, nombreux éléments ferruginisés en petites concrétions ; structure massive ; poreux ; quelques fines racines ; transition distincte à :
70 - 150 cm	:	Humide, brun jaunâtre (10 YR 5/6) ; sablo-limoneux, nombreux minéraux altérés ; structure massive friable ; forte porosité tubulaire.

Les principales variations morphologiques concernent l'épaisseur de l'horizon humifère. Celui-ci n'a que 20 à 30 cm sur des pentes de 10 à 20° mais peut atteindre 1 m sur replat.

Caractéristiques analytiques

La texture est sablo-limoneuse (15 à 20 % de limons, 50 à 60 % de sables totaux).

Les teneurs en matière organique sont élevées (10 à 12 %), le rapport C/N est proche de 20.

Le pH est faible même dans l'horizon d'altération (5 à 5,2).

La somme des éléments échangeables est faible (0,2 à 0,5 mé), la capacité d'échange élevée dans l'horizon humifère (20 à 25 mé) s'abaisse brutalement dans l'horizon C.

La somme des éléments totaux est comprise entre 12 et 15 mé pour 100 g de sol.

Extension - Utilisation

Ces sols couvrent d'importantes surfaces dans le massif des Vavavato, qui sont actuellement utilisées comme zones de pâturage extensif. Ce sont des sols chimiquement pauvres mais auxquels les teneurs élevées en matière organique assurent une capacité de rétention en eau favorable au développement de la prairie. Celle-ci, à l'heure actuelle, possède une faible valeur fourragère.

L'amélioration de ces zones de pâturage, sans cesse ravagées par les feux, devrait comporter dans un premier temps l'introduction d'un système de pâture avec rotation du bétail. Il serait alors possible d'envisager par la suite une amélioration de la composition floristique.

LES ANDOSOLS

Les andosols sont caractérisés par l'abondance de leur fraction minérale de produits amorphes silico-alumineux. Ils ont été observés dans la région de Betafo et de Tritriva sur des matériaux pyroclastiques basiques datant des émissions les plus récentes du volcanisme de l'Ankaratra (période III).

Tous ces sols sont désaturés et ont un horizon humifère mélanique, c'est-à-dire ayant une couleur, définie au code Munsell, dont le chrome est inférieur ou égal à 1.

Morphologie

Suivant la présence ou non d'un horizon B-C on peut distinguer les andosols peu différenciés dans lesquels l'horizon A repose directement sur l'horizon C et les andosols différenciés qui possèdent un horizon B-C intermédiaire.

1) Andosol peu différencié désaturé à horizon A, mélanique.

Ils ont surtout été observés sur des pentes fortes, en particulier sur les pentes des cônes de la région de Betafo, là où l'érosion limite le développement du profil.

— ATZ 56 en X = 689,1, Y = 445,8, Z = 1.650 m.

— Sur un cône de scories basaltiques.

— Ancienne culture de haricots, jachère de *Cynodon dactylon*, *Digitaria longiflora*, *Pennisetum pseudotriticoides*.

- | | | |
|------------|---|---|
| 0 - 20 cm | : | Légèrement humide ; noir (10 YR 2,5/1) ; limoneux ; meuble ; structure massive friable ; très poreux ; nombreuses fines racines pénétrant la masse de l'horizon. Transition nette à : |
| 20 - 80 cm | : | Scories faiblement altérées entre lesquelles se trouve la terre fine. |

2) Andosol différencié désaturé à horizon A, mélanique.

Ils ont été observés dans des paysages faiblement vallonnés à l'est de Betafo ainsi qu'au nord du cône de Tritriva.

— ATZ 104 en X = 695, Y = 448,9, Z = 1.600 m.

— Sur scories basaltiques recouvrant un horizon II B.

— Jachère sur ancienne culture de maïs.

- | | | |
|--------------|---|---|
| 0 - 40 cm | : | Légèrement humide ; noir (10 YR 2,5/1) ; limoneux ; structure massive friable, craque légèrement entre les doigts ; forte porosité tubulaire fine ; nombreuses fines racines pénétrant la masse de l'horizon. Transition nette à : |
| 40 - 50 cm | : | Humide ; brun foncé (10 YR 3/3) ; limoneux meuble, rares débris de scories peu altérées ; structure massive à éclats émoussés friables se réduisant en poudre ; forte porosité tubulaire fine ; fines racines pénétrant la masse de l'horizon ; transition nette et irrégulière à : |
| 50 - 100 cm | : | Scories basaltiques fines peu altérées dans lesquelles des poches d'altération pénètrent à partir de l'horizon supérieur. Transition nette et régulière à : |
| 100 - 120 cm | : | Humide ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4) ; argilo-limoneux ; structure massive à tendance polyédrique fine subanguleuse ; friable ; porosité tubulaire importante. |

Dans les sols situés dans des dépressions, l'horizon humifère peut être plus épais et atteindre une soixantaine de centimètres. C'est le cas des sols situés sur la coulée provenant du Fizinana où, entre les boursouffures scoriacées, se sont formés de petits vallons dans lesquels les matériaux pyroclastiques ont été concentrés.

Caractéristiques analytiques

La texture est limoneuse à limono-sableuse.

Les teneurs en matière organique sont élevées dans l'horizon humifère (11 à 18 %), s'abaissant à 3 - 5 % dans l'horizon sous-jacent. Le rapport C/N de 14 à 16 en surface s'abaisse en profondeur.

Le pH acide dans l'horizon humifère augmente en profondeur.

Les teneurs en éléments échangeables sont élevées, surtout dans les sols si-

tués dans des dépressions. Les fortes valeurs de la capacité d'échange sont en grande partie imputables à la matière organique.

Tableau 4
pH et éléments échangeables des andosols

	pH	Éléments échangeables mé/100 g.				C.E.C. mé/100 g	S/T %	
		Ca	Mg	K	Na			
Sols sur pente ou sur replat	Horizon A (30 à 40 cm)	5,5 à 6	1,3 à 3	0,5-1,3	0,11-0,20	0,03-0,35	25-32	20-24
	Horizon B-C	6,2 à 6,6	1,2-2,2	0,3-1,1	0,08-0,06	0,02-0,2	7-13	10-24
Sols dans les dépressions	Horizon A (40 à 60 cm)	5,5 à 5,8	4,5-5,2	2,5-5,8	0,3-0,4	0,2-0,6	30-31	20-22
	Horizon B-C	6 à 6,2	5-6	1,6-2,4	0,10-0,12	0,2-0,9	16-24	38-47

Les teneurs en éléments totaux de 80 à 200 mé dans l'horizon humifère augmentent jusqu'à 400 mé pour 100 g de sol dans l'horizon C. Le rapport Mg sur la somme des autres éléments étant voisin de 10.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur à 2 dans l'horizon C, est égal à 1,1-1,3 dans l'horizon B-C.

Les teneurs en produits amorphes déterminées par la méthode de SEGALIN sont élevées ; par rapport au sol total ces teneurs sont de 3 à 6 % pour SiO_2 , 20 à 22 % pour Al_2O_3 et 8 à 10 % pour Fe_2O_3 .

Extension - Utilisation

Les andosols recouvrent une superficie assez importante dans les régions de Betafo et de Tritriva. La limite entre les sols peu différenciés et les sols différenciés n'est jamais tranchée, le passage de l'un à l'autre étant fréquent ; mais les premiers dominent sur les cônes volcaniques alors que les seconds sont surtout situés dans les zones faiblement vallonnées aux pentes relativement peu accentuées. Sur les coulées provenant du Fizinana et de l'avoko, les andosols ont été cartographiés avec des sols peu évolués d'érosion lithiques.

Actuellement les andosols sont pour leur plus grande part utilisés même sur pentes très fortes, pour la culture du maïs, souvent associée à celle du haricot. Ce sont des sols qui présentent des réserves minérales importantes mais dont la mise en culture doit comporter de nombreuses précautions.

Les fortes teneurs en matière organique liées aux quantités élevées en produits amorphes confèrent à ces sols des capacités de rétention en eau très importantes. En saison des pluies, le sol se gorge d'eau et, du fait de la structure massive de l'horizon humifère, devient imperméable, ce qui crée des conditions asphyxiantes pour les plantes. Par contre dès l'arrêt des pluies, le sol sèche rapidement car il est peu épais, et les plantes souffrent de la sécheresse.

Du point de vue chimique, des cultures en pot effectuées par les chercheurs de l'I.R.A.M. ont mis en évidence une forte carence en phosphore à la première coupe et une déficience importante en potasse à la deuxième coupe.

Les cultures effectuées sur ce type de sol, peu épais et sensible à l'érosion, doivent être accompagnées de mesures antiérosives d'autant plus importantes que la pente est plus forte. On ne peut cultiver, du fait de la faible épaisseur du profil, que des plantes possédant un enracinement peu profond (ce qui exclut les cultures arbustives) et il faut de préférence effectuer les semis sur billon afin d'éviter l'asphyxie des jeunes racines. Une fumure phosphatée de fond s'impose.

LES SOLS FERRALLITIQUES

Généralités

La ferrallitisation, processus pédogénétique principal affectant tous les sols de la classe, est caractérisée par :

- une altération complète des minéraux primaires facilement altérables avec élimination de la majeure partie des cations alcalins et alcalino-terreux et de la silice.
- une synthèse de silice d'aluminium de la famille de la kaolinite et d'hydroxydes de fer et d'alumine.

Les profils sont de type A-B-C, l'horizon B n'est, dans le cas des sols étudiés, jamais très épais (150 cm au maximum). Par contre l'horizon d'altération C peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

La capacité d'échange de l'horizon B, dans lequel les sesquioxydes et la kaolinite sont les minéraux essentiels, est faible. Le degré de saturation du complexe d'échange est variable mais est souvent inférieur à 10 %.

A ce processus principal de ferrallitisation s'ajoutent d'autres processus physico-chimiques ou mécaniques qui peuvent intervenir à des degrés divers et qui permettent de différencier les groupes et sous groupes de la classification. Ce sont : l'accumulation humifère, l'allitisation, le rajeunissement, le remaniement et l'hydro-morphie.

L'accumulation humifère

Elle est sensible dans tous les sols de la région. Elle est plus importante sur matériaux volcaniques que sur socle et augmente avec l'altitude donc avec la diminution de température.

L'allitisation

Elle est caractérisée par une forte accumulation de l'alumine par rapport à la silice. Les sols allitiques ont donc un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ très faible, pouvant s'abaisser jusqu'à des valeurs proches de 0,1-0,2, et présentent dans leur fraction minérale, une dominance de sesquioxydes par rapport aux argiles. Si l'allitisation peut s'expliquer par une transformation des minéraux argileux en gibbsite — elle correspond alors à un stade ultime du phénomène de ferrallitisation — elle peut, par contre, être une forme particulièrement intense de ce phénomène dans laquelle la silice est lixiviée dès les premiers stades d'altération. C'est surtout ce second cas qui doit être pris en considération pour expliquer le caractère allitique des sols de la région.

Rajeunissement

Les phénomènes de rajeunissement par érosion conduisent à des sols peu épais dans lesquels l'horizon d'altération est proche de la surface. Lorsque la zone d'altération est riche en minéraux peu altérés le rajeunissement est à la fois chimique et morphologique. C'est le cas des sols situés dans des zones à relief accidenté où le rajeunissement est permanent. Par contre, les sols situés dans des régions peu accidentées présentent des horizons B peu épais développés sur des horizons C très altérés ; le rajeunissement est essentiellement morphologique. On l'explique par la troncature ancienne d'un sol ferrallitique mettant à nu un horizon C à partir duquel se reforme un sol au cours d'une période de pédogenèse ultérieure (F. BOURGEAT 1972).

Les phénomènes de rajeunissement par apport d'une mince couverture de matériaux pyroclastiques sur un sol ferrallitique peuvent être observés dans les zones proches des centres éruptifs.

Le remaniement

Le remaniement de la partie supérieure des profils est fréquent, sinon général, dans toute la zone étudiée. Il accompagne presque toujours les phénomènes de rajeunissement par érosion et peut se traduire par l'apparition d'une « stone-line » dans le profil. Celle-ci est très variable tant par la nature de ses matériaux que par la profondeur à laquelle elle se trouve. Dans les sols formés sur les pentes fortes elle est proche de la surface tandis que dans les sols des régions peu accidentées, elle est située plus profondément presque toujours au contact des horizons B et C. Les matériaux qui la constituent dépendent étroitement de la nature du substrat géologique.

Les quartzites et les migmatites granitiques fournissent des « stone-line » épaisses surtout constituées de morceaux de quartz. Sur gneiss, la « stone-line » est moins épaisse, elle peut localement disparaître. Dans les sols formés sur roches volcaniques, cette « stone-line », faute de matériaux pouvant l'alimenter, est le plus souvent réduite à une mince ligne de morceaux de basalte non altérés.

L'absence de stone-line n'implique pas forcément que les sols ne soient pas remaniés. Une discontinuité, dans la variation de bas en haut de profil, d'une caractéristique analytique du sol peut également traduire un remaniement de la partie supérieure du profil.

L'hydromorphie

L'hydromorphie se manifeste par une redistribution des sesquioxydes dans le profil sous l'action d'un excès d'eau. Ce processus affecte localement certains sols ferrallitiques situés sur replat ou dans des bas-fonds, en particulier ceux cultivés en rizière donc soumis à une hydromorphie temporaire.

Principe de la classification

Deux sous classes ont été distinguées suivant le degré de saturation du complexe absorbant :

- La sous classe des sols moyennement désaturés pour lesquels le degré de saturation est compris entre 20 et 40 % et les teneurs en bases échangeables entre 1 et 5 mé/100 g.
- La sous classe des sols fortement désaturés dans lesquels le degré de saturation est inférieur à 20 % et les teneurs en bases échangeables sont inférieures ou égales à 1 mé/100 g. La presque totalité des sols cartographiés possède ces dernières caractéristiques.

Les groupes et sous groupes

Parmi tous les processus secondaires concomitants à la ferrallitisation nous avons indiqué au niveau du groupe ceux qui modifient le plus profondément la morphologie ou les propriétés physico-chimiques des sols. Ont été ainsi distingués :

- le caractère allitique lorsque le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de l'horizon B est inférieur à 0,8.
- le rajeunissement par apport quand le recouvrement est net mais inférieur à 50 cm.
- le rajeunissement par érosion si l'horizon C ou B-C est à moins de 80 cm de la surface.

Les sols ne présentant pas ces caractères appartiennent au groupe typique.

Au niveau du sous-groupe on a indiqué :

- le caractère humifère des sols si les teneurs en matière organique sont supérieures à 8 % dans les 20 premiers centimètres.
- le caractère hydromorphe lorsque le sol présente des taches de composés réduits ou oxydés, ou des concrétions de sesquioxydes.
- le rajeunissement quand l'horizon C ou B-C apparaît entre 80 et 150 cm.
- le remaniement, qui n'a été indiqué que lorsque les sols présentent une stone-line. La mise en place de celle-ci faisant intervenir des phénomènes d'érosion, le terme « avec érosion et remaniement » a été introduit au niveau du sous groupe.

Les sols modaux sont ceux qui ne présentent pas d'accumulation humifère ni de stone line dans leur profil.

1. Les sols ferrallitiques moyennement désaturés

Ces sols, ayant un taux de saturation relativement élevé par rapport à la majorité des sols ferrallitiques cartographiés, sont soit des sols rajeunis par apport, soit des sols situés dans des positions topographiques particulières. Deux groupes ont été ainsi distingués.

1.1. Les sols rajeunis par apport

Ils correspondent à des sols ferrallitiques anciens recouverts par un placage peu épais, inférieur ou égal à 50 cm, de cendres ou de lapillis. Ils ont été observés à l'ouest du lac Andraikiba dans un paysage de collines dont ils occupent les sommets aplanis. Par contre, dans les pentes très disséquées par l'érosion, les sols sont rajeunis avec érosion et remaniement.

Morphologie

- ATZ 21 sur une pente de 5° en X = 691,5 Y = 453,7 Z = 1.600 m.
- Sur matériaux volcaniques basiques.
- Ancienne culture de maïs et haricot, jachère de *Cynodon dactylon*, *Digitaria longiflora*.

0 - 25 cm	:	Sec, brun jaunâtre foncé (10 YR 3/4) ; argilo-limoneux ; meuble, structure massive à éclats émoussés très fragiles ; très poreux ; nombreuses racines fines dans la masse de l'horizon ; transition nette à :
25 - 40 cm	:	Frais ; brun (7,5 YR 4/4) ; argileux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique subanguleuse fine, friable ; agrégats à pores nombreux ; très fins tubulaires subverticaux ; quelques racines fines pénétrant les agrégats, transition distincte à :
40 - 50 cm	:	Lapillis altérés entre lesquels se trouve la terre fine ; transition nette à :
50 - 130 cm	:	Frais ; brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4), argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine, friable ; agrégats à pores nombreux fins à très fins tubulaires ; transition distincte à :

130 - 200 cm : Frais ; brun foncé (7,5 YR 4/4) ; limoneux, nombreux minéraux altérés visibles à l'œil nu ; structure massive à éclats émoussés, très friables ; très poreux, pores tubulaires très fins à fins.

Tous ces sols sont caractérisés par la succession d'horizons suivants : A₁₁, A₁₂, rarement B, C, II B, II C ce dernier horizon étant souvent un horizon d'altération de lapillis.

Les principales variations concernent surtout le degré d'altération des lapillis de l'horizon C. Ceux-ci peuvent être complètement altérés et le recouvrement de l'horizon II B ne se distingue sur le terrain que par la couleur plus jaune de l'horizon supérieur.

Caractéristiques analytiques

Les horizons A et II B ont des textures assez semblables ; une légère diminution des teneurs en argile peut être mise en évidence dans les horizons supérieurs.

Tableau 5
Texture et matière organique

Horizons	Profondeur en cm	Argile	I.F.	Sables	MO %	N %	$\frac{C}{N}$
A	0-20	51,6	16,0	17,4	7,5	2,8	15,5
	30-40	49,8	19,0	16,9	5,9	2,1	16,7
II B	60-80	61,5	13,3	18,8	0,97	0,5	10,8
	100-120	63,7	13,0	18,5	0,48	0,4	6,4

Les teneurs en matière organique sont élevées, le rapport C/N de 15 à 17 dans l'horizon A s'abaisse en profondeur.

Le pH est plus faible dans les horizons de recouvrement (5,1 à 5,7) que dans les horizons sous jacents (5,8 à 6,5).

Les teneurs en éléments échangeables sont de 2 à 5 mé pour 100 g de sol. Elles sont parfois plus élevées dans l'horizon II B que dans l'horizon A (cf. tableau 6), l'horizon II B étant enrichi par les bases lixiviées de l'horizon supérieur.

La brusque variation du taux de saturation entre les horizons A et II B, bien qu'en partie expliquée par cette particularité, résulte surtout du fait que la capacité d'échange est 2 fois plus élevée dans les horizons A que dans les horizons II B.

Tableau 6
Éléments échangeables et capacité d'échange (profil ATZ 66)

Horizons	Profondeur en cm	Bases échangeables en mé/100 g.				S mé/100 g	T mé/100 g	S/T %
		Ca	Mg	K	Na			
A	0-5	1,04	1,16	0,18	0,03	2,41	16,4	14,7
	20-30	0,88	0,94	0,08	0,04	1,94	17,7	10,9
II B	60-80	0,94	2,11	0,03	0,07	3,15	8,2	38,5
	100-200	0,88	1,66	0,02	0,03	2,59	8,0	32,2

Les teneurs en éléments totaux sont toujours plus élevées dans les horizons rapportés que dans les horizons II B sous jacents (tabl. 7).

Tableau 7
Éléments totaux (profil ATZ 66)

Horizon	Profondeur en cm	Éléments totaux (mé/100 g de sol)			
		Ca	Mg	K	Na
A	0-5	4,4	38,2	0,95	0,50
	20-30	4,2	36,7	1,05	1,00
II B	60-80	3,0	17,2	0,60	1,63
	100-200	1,3	18,4	0,75	1,38

1.2. Les sols allitiques

Ces sols se sont développés sur des coulées scoriacées ou sur des matériaux pyroclastiques basiques. La perméabilité de ces roches mères est à l'origine du caractère allitique de l'horizon B (cf. généralités).

Ils ont été observés dans la zone volcanique d'Antsirabe où ils sont étroitement associés à des sols allitiques fortement désaturés. Par rapport à ces derniers, ils occupent surtout des positions basses dans lesquelles le drainage général est plus faible. La lixiviation des bases et de la silice y est aussi moins forte. Dans d'autres cas ce sont d'anciens sols fortement désaturés rajeunis par des apports ultérieurs de cendres dont l'altération, actuellement presque totale, a resaturé partiellement le complexe absorbant.

Les sols sont toujours humifères mais présentent, lorsqu'ils sont mis en

rizière, des caractères d'hydromorphie. Dans ce cas ces caractères ont été indiqués au niveau du sous-groupe.

Morphologie

1) Sols allitiques humifères

- ATZ 13 sur replat en X = 686,4 Y = 459,3 Z = 1.480 m.
- Sur coulée scoriacée basique provenant de l'Ivohitra.
- Culture de maïs.

0 - 40 cm	:	Légèrement humide ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2) ; limoneux ; structure massive, meuble ; très poreux ; nombreuses racines fines pénétrant la masse de l'horizon ; transition nette et régulière à :
40 - 60 cm	:	humide ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4) ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleux fine ; friable ; très poreux ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition graduelle et régulière à :
60 - 100 cm	:	Humide ; rouge (2,5 YR 4,5/6) ; argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine friable ; très poreux ; quelques racines fines pénétrant les agrégats ; transition distincte à :
100 - 130 cm	:	Blocs de basalte scoriacé entre lesquels se trouve la terre fine ; brun jaunâtre foncé (10 YR 3/4).

Ces sols sont caractérisé par :

- un horizon humifère épais (30 à 40 cm), meuble, à structure massive.
- un horizon B, argileux, à structure polyédrique nette, dont l'épaisseur est comprise entre 0,60 et 1 m. Il se subdivise lui-même en :
 - un horizon B₁ dont la teinte déterminée au Code Munsell est toujours dans la planche des 5 YR. Quelques taches de matière organique peuvent parfois être observées dans cet horizon ;
 - un horizon B₂ dont la teinte est dans la planche des 2,5 YR.

Les variations concernent l'horizon d'altération. Sur coulée il est peu épais et le passage à la roche non altérée est brutal. Sur lapillis l'horizon C est plus épais, sa couleur est grise à brun jaunâtre foncé, la texture est limoneuse à limono-sableuse. Le passage aux lapillis non altérés n'a jamais été observé, mais il est fréquent de trouver vers 2 m de profondeur un horizon II B enterré.

2) Sols allitiques hydromorphes

- ABR 3 en X = 699,8 Y = 445,2 Z = 1.500 m.
- Sur coulée basaltique, pente forte.
- Aménagement de rizière en terrasse.

0 - 20 cm	:	Sec, brun rougeâtre (5 YR 4/4) ; matière organique non directement décelable ; limono-argileux ; structure fragmentaire peu nette, grumeleuse ; friable ; cohésion moyenne, nombreuses racines fines ; transition nette à :
20 - 60 cm	:	Sec, brun foncé (7,5 YR 4/4) ; limono-argileux ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine ; friable, cohésion moyenne, nombreuses racines fines, transition nette, régulière à :

- 60 - 90 cm : Légèrement humide, brun rougeâtre foncé (2,5 YR 2/4) ; taches rouille et noires, petits minéraux blancs ; limono-argileux à argilo-limoneux ; structure massive à éclat polyédrique fin à moyen ; cohésion moyenne à forte à l'état sec ; pas de racines, transition assez nette, régulière à :
- 90 - 150 cm : Plus frais, brun rougeâtre, (2,5 YR 3/4) ; argilo-limoneux, structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse ; cohésion faible, friable, assez perméable, pas de racines, transition nette, ondulée à :
- 150 cm : Gros blocs de basalte, avec altération superficielle de couleur verte.

Caractéristiques analytiques

L'analyse granulométrique révèle toujours des teneurs en argile beaucoup plus faibles dans les horizons humifères (12 à 30 %) que dans les horizons B (50 à 60 %). Une mauvaise dispersion de l'argile, du fait des teneurs élevées en matière organique, ne peut à elle seule expliquer ce résultat. Les sols présentent un appauvrissement réel de l'horizon supérieur dû à l'entraînement des « fines », entraînement favorisé par la mise en culture.

Les teneurs en matières organiques sont élevées (10 à 15 %), sur 30 à 40 cm. Le rapport C/N de 14 à 16 en surface, augmente légèrement dans l'horizon B₁ pour s'abaisser ensuite en profondeur.

Le pH compris entre 5 et 5,5 en surface augmente en profondeur : 5,5 à 6,5.

Les teneurs en éléments échangeables sont comprises entre 1 et 3 mé/100 g, la capacité d'échange, très élevée dans l'horizon humifère (20 à 30 mé/100 g), est comprise entre 3 et 7 mé/100 g dans l'horizon B. Le taux de saturation, faible en surface, est plus élevé dans l'horizon B (17 à 45 %).

Les teneurs en éléments totaux, moyennes en surface (24 à 30 mé/100 g), sont élevées dans l'horizon C (70 à 200 mé/100 g de sol).

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est égal à 0,6-0,8 dans l'horizon B et dans les horizons C des sols situés sur coulées. Il est souvent plus élevé dans les horizons d'altération des sols sur lapillis.

Extension et Utilisation

Les sols moyennement désaturés, occupent d'assez faibles surfaces en unités pures, ils sont situés dans des régions où la densité de population est forte et sont dans leur presque totalité mis en valeur par des cultures telles que maïs et haricot, localement par la riziculture.

Ce sont des sols meubles bien pénétrés par les racines mais dont l'horizon humifère a tendance à se colmater en saison des pluies créant ainsi, comme pour les andosols, des conditions asphyxiantes pour les jeunes plantes. Le semis sur billon est donc recommandable dans les cas où les sols sont situés sur des replats ou dans des dépressions.

L'apport d'engrais, en particulier phosphaté, est nécessaire pour une mise en valeur intensive de ces sols.

2. Les sols ferrallitiques fortement désaturés

Ils sont caractérisés par un taux de saturation toujours inférieur à 20 % et par des teneurs en éléments échangeables inférieurs à 1 mé/100 g de sol. Trois groupes ont été distingués : les sols typiques, les sols allitiques et les sols rajeunis.

2.1. Les sols typiques

Ils ont été observés sur des collines molles plus ou moins allongées correspondant à d'anciennes coulées volcaniques disséquées par l'érosion. Dans les zones de transition entre le volcanique et le socle cristallin, l'érosion différentielle a provoqué une inversion du relief : le sommet des collines est volcanique alors que les pentes sont constituées par le socle cristallin.

Ces sols appartiennent au sous-groupe des sols rajeunis, l'horizon B-C ou C apparaît entre 80 et 120 cm.

Morphologie

- ATZ 73 sur une pente de 20° en X = 700,6 Y = 457,5 Z = 1.700 m.
- Sur coulée volcanique.
- Sous strate herbacée : *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Trachypogon spicatus*. Quelques *Helichrysum*.

0 - 10 cm	:	Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4) ; argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine ; friable ; très poreux ; nombreuses racines fines formant un chevelu ; transition distincte à :
10 - 80 cm	:	Frais ; brun rougeâtre (5 YR 4/4) ; argileux, quelques grains de quartz très fins, cohérent ; structure fragmentaire très nette, polyédrique subanguleuse fine, friable ; agrégats à pores peu nombreux, fins, tubulaires ; quelques racines fines pénétrant les agrégats ; transition distincte à :
80 - 120 cm	:	Frais ; brun (10 YR 4/3) ; argilo-limoneux ; cohérent, quelques blocs de basalte altéré bleu ; structure fragmentaire très nette, polyédrique fine ; poreux ; pas de racines.

Les principales variations observées concernent la couleur de l'horizon d'altération. Celle-ci peut être grise, bleue, violette, plus rarement jaune. Le basalte non altéré n'a jamais été trouvé dans ces horizons C qui peuvent être très épais.

Caractéristiques analytiques

Les teneurs en argile, égales à 50-55 % dans les horizons A et B, diminuent dans l'horizon sous-jacent, tandis que les teneurs en limon et sables fins augmentent.

Dans certains profils les sables grossiers, contenant beaucoup de quartz, sont en quantité plus élevée dans les horizons A et B que dans les horizons inférieurs.

Les teneurs en matières organiques sont élevées dans l'horizon A (6 à 8 %), elles s'abaissent progressivement en profondeur. Le rapport C/N de 13 à 15 dans A diminue dans l'horizon B.

Le pH acide en surface (4,8 à 5) augmente régulièrement en profondeur mais reste inférieur ou égal à 5,4.

Les teneurs en éléments échangeables sont très faibles, proche de 1 mé pour 100 g de sol dans l'horizon humifère, elles sont inférieures à 0,5 mé dans l'horizon B et dans l'horizon d'altération. Les valeurs de la capacité d'échange sont à mettre en relation avec les teneurs en matière organique, elles sont de 12 à 18 mé en surface et de 5 à 7 mé pour 100 g de sol dans l'horizon B. Le taux de saturation est toujours inférieur à 10 %.

Les teneurs en éléments totaux sont faibles, proches de 14 mé/100 g de sol en surface, elles diminuent légèrement en profondeur.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ compris entre 1,5 et 1,8 dans l'horizon B, remonte dans l'horizon d'altération mais est rarement supérieur à 2.

La présence de quartz dans les horizons B de ces sols se traduit par des résidus à l'attaque triacide beaucoup plus élevés que ceux obtenus dans l'horizon d'altération. La présence de ce quartz est attribuée principalement à une contamination par le socle cristallin. (Remaniement de la partie supérieure du profil).

Extension - Utilisation.

Ces sols couvrent d'assez grandes surfaces au centre et à l'est de la feuille, ils sont recouverts de prairies et sont peu utilisés ; quelques cultures vivrières telles que maïs, manioc y sont pratiquées. Ce sont des sols profonds, toujours bien structurés. Les teneurs élevées en éléments fins leur assurent une bonne capacité de rétention pour l'eau. Par contre ils sont chimiquement très pauvres et doivent recevoir une fumure de fond complète avant leur mise en valeur (1). Bien que les sols soient peu érodables, la mise en place de mesures antiérosive est souvent nécessaire du fait de la topographie.

2.2. Les sols allitiques

Ce sont des sols dans lesquels le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est inférieur à 0,8. En fonction de l'importance des processus secondaires tels que accumulation humifère et remaniement, on peut distinguer le sous-groupe des sols humifères et celui des sols avec érosion et remaniement.

(1) L'I.R.A.M., après des essais effectués sur les sols de la station d'Ambohimandroso, préconise, sur les sols fortement désaturés issus de formations volcaniques, une fumure de redressement comportant : 600 kg de P_2O_5 , 330 kg de K_2O et 2,2 tonnes de dolomie par hectare.

● Les sols allitiques humifères

Ces sols, caractérisés par des teneurs en matière organique supérieures à 8 % sur au moins 20 cm, ont été observés sur des coulées et matériaux pyroclastiques basiques de la période II, sur des matériaux pyroclastiques acides de cette même période volcanique et sur les sédiments volcano-lacustres de la dépression d'Antsirabe. Trois familles ont ainsi été distinguées.

1) Les sols sur matériaux pyroclastiques et coulées basiques

Morphologie

La morphologie de ces sols est assez variable dans l'espace. Deux profils représentant les extrêmes observés peuvent être décrits. Dans le premier (ATZ 60), l'horizon B est peu épais et l'horizon d'altération apparaît à 55 cm. Dans le second (ATZ 25), l'horizon B plus épais se subdivise en 2 horizons B₁ et B₂, la zone d'altération apparaît à 100 - 130 cm. Tous les intermédiaires entre ces 2 profils ayant été observés, ils n'ont pas été séparés dans la cartographie.

— ATZ 60 sur replat en X = 703,7 Y = 451 Z = 1.850 m.

— Sur coulée volcanique bulleuse.

— Ancienne culture de maïs, jachère à base de *Stoebe sp* et *Cynodon dactylon*.

- | | | |
|------------|---|---|
| 0 - 25 cm | : | Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3) ; limoneux, meuble ; structure fragmentaire peu nette, localisée, polyédrique subanguleuse moyenne à grossière très friable ; très poreux ; nombreuses racines fines ; transition nette à : |
| 25 - 55 cm | : | Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4) ; limono-argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine très friable ; très poreux ; nombreuses racines fines pénétrant les agrégats ; transition distincte à : |
| 55 - 75 cm | : | Frais ; brun rougeâtre (5 YR 4/4), mais légèrement plus jaune que l'horizon supérieur ; limono-argileux, quelques cailloux de basalte bulleux altéré jaune ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse moyenne à fine, très friable ; très poreux ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition graduelle à une coulée de basalte bulleux. |

— ATZ 25 sur replat en X = 684,3 Y = 454,3 Z = 1.660 m.

— Basalte vacuolaire.

— Jachère de *Cynodon dactylon*, quelques mimosas (*Acacia dealbata*).

- | | | |
|----------------|---|--|
| 0 - 30 cm | : | Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2) ; limoneux, meuble ; structure massive à éclats émoussés très friables ; très poreux ; nombreuses racines fines dans la masse de l'horizon ; transition nette à : |
| 30 - 60 cm | : | Humide ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2) ; limono-argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine friable, quelques éléments peu friables ; très poreux ; pores tubulaires fins ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition graduelle à : |
| B ₁ | | |
| 60 - 130 cm | : | Humide ; rouge foncé (2,5 YR 3/6) ; limono-argileux ; structure fragmentaire un peu moins nette que dans l'horizon supérieur, polyédrique subanguleuse fine friable à très friable ; forte porosité tubulaire fine à très fine ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition distincte à : |
| B ₂ | | |

130 - 200 cm : Humide ; brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) ; limono-sableux, nombreux cailloux de basalte vacuolaire faiblement altérés augmentant en profondeur ; structure massive très friable ; porosité tubulaire importante ; passage brutal de la terre fine à la roche.

Les caractères communs à ces sols sont :

— un horizon humifère nettement marqué ; meuble ; structure apparemment massive, poudreuse à l'état sec.

— un horizon B sous-jacent dont la teinte est dans la planche des 5 YR. La texture y est limono-argileuse et la structure polyédrique fine subanguleuse toujours friable : les éléments structuraux se réduisent facilement en poudre.

Les variations concernent l'épaisseur du profil, à laquelle est liée la présence ou non de l'horizon B₂ — caractérisé par sa teinte (2,5 YR) —, et la couleur de l'horizon d'altération. Les couleurs grises de ce dernier ont été souvent observées dans les profils les plus épais, la couleur rougeâtre dans les moins épais.

Caractéristiques analytiques

La présence de pseudo-limons et de pseudo-sables dans l'horizon B se traduit par une texture apparemment équilibrée (20 à 35 % d'argile, 22 à 36 % de limons fins). Ces pseudo-particules sont en quantité plus importante dans les horizons B₁ que dans les horizons B₂.

Les teneurs en matière organique sont très élevées (16 à 19 %), le rapport C/N est compris entre 14 et 17.

Le pH acide dans l'horizon humifère, augmente rapidement en profondeur : 5,6 - 6 dans B, 6 - 6,5 dans C.

Les éléments échangeables sont en très faible quantité, inférieure à 1 mé pour 100 g de sol. La capacité d'échange dépend étroitement des teneurs en matière organique ; elle est élevée dans l'horizon humifère (25 à 33 mé/100 g de sol), plus faible en profondeur. Le taux de saturation est inférieur à 10 %.

Les teneurs en éléments totaux sont moyennes dans les horizons supérieurs (22 à 40 mé/100 g de sol) et augmentent fortement dans l'horizon C. Les quantités de magnésium sont égales à 10 fois la somme des autres éléments. Le rapport SiO₂/Al₂O₃ est très faible : 0,2 à 0,4 même au contact de la roche mère.

Extension - Utilisation

Ces sols occupent d'importantes surfaces dans la zone cartographiée. Très cultivés dans la région d'Antsirabe, ils le sont moins dans les régions plus élevées telles que celle de l'Ifasina où la densité de population est moins forte.

Ils ont de bonnes propriétés physiques mais, comme pour les andosols et les sols allitiques moyennement désaturés, l'horizon humifère peut en saison des pluies

se gorger d'eau et se colmater. Par contre le dessèchement des horizons de surface en saison sèche est moins brutal car les sols sont plus épais et il y a alimentation en eau par remontée capillaire.

Le complexe d'échange est désaturé mais les réserves en éléments totaux sont plus élevées que celles des sols typiques. La fumure de fond nécessaire à leur mise en valeur pourra donc être moins importante que celle préconisée par l'I.R.A.M. Seule une expérimentation localisée sur ce type de sol permettrait de déterminer plus précisément les doses d'engrais nécessaires à cette fumure de redressement.

2) Les sols sur matériaux pyroclastiques acides

Morphologie

— ATZ 77 sur une pente faible (5°) en X = 709,6 Y = 456,1 Z = 1.950 m.

— Sur projections altérées.

— Jachère à *Stoebe sp* et *Pennisetum pseudotriticoïdes*, quelques *Acacia dealbata*.

0 - 20 cm	: Frais ; brun foncé (7,5 YR 3/2) ; limoneux, meuble ; structure massive à éclats émoussés, très friable ; poreux ; nombreuses fines racines dans la masse de l'horizon ; transition distincte à :
20 - 60 cm	: Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3) ; argilo-limoneux, cohérent ; structure fragmentaire nette, polyédrique fine subanguleuse, friable ; porosité tubulaire fine à moyenne, faible ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition graduelle à :
60 - 125 cm	: Légèrement humide ; brun foncé (7,5 YR 4/4) ; argilo-limoneux, nombreux minéraux blancs altérés visibles à l'œil, meuble ; structure massive à sous-structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse fine ; forte porosité tubulaire fine ; rares racines fines ; transition nette à :
125 - 170 cm	: Légèrement humide ; couleur générale jaune brunâtre (10 YR 6/6) nombreuses taches peu étendues jaunes, blanches, sans relation visible avec les autres caractères, très contrastées, correspondant à des minéraux altérés, quelques taches de 0,5 mm noires indurées ; limono-argileux, meuble ; structure massive ; poreux ; transition nette avec un sol enterré.

Ces sols sont caractérisés par :

— un horizon humifère proche de celui des sols précédents.

— un horizon B toujours peu épais, plus cohérent et moins poreux que celui formé sur matériaux basiques. Il ne se réduit pas en poudre quand on l'écrase entre les doigts.

Par contre la couleur de l'horizon B est assez variable, la teinte peut se trouver dans la planche des 5 YR ou des 7,5 YR.

Dans les sols cultivés, des taches brunes de matière organique sont visibles en début d'horizon B.

Caractéristiques analytiques

Par rapport aux sols précédents, il faut noter :

- une texture plus fine : la somme argile + limons fins est proche de 60 % de la terre fine.
- des teneurs en matière organique moins élevées (10 à 12 %), le rapport C/N étant égal à 14-16.
- une acidité plus prononcée des horizons supérieurs (pH de 4,4 à 4,8).
- des teneurs en éléments échangeables encore plus faibles (0,4 à 0,5 mé dans l'horizon A, 0,3 mé pour 100 g de sol dans l'horizon B). La capacité d'échange, de 18 à 21 mé dans A, est proche de 10 mé pour 100 g de sol dans B. Le taux de saturation du complexe absorbant est inférieur à 10 %.

Les teneurs en éléments totaux sont faibles (proches de 15 mé pour 100 g de sol). Le magnésium est encore l'élément dominant mais en proportion moindre que dans le cas des sols sur matériaux basiques. La rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, égal à 0,4-0,6 est moins bas que celui des sols précédents.

Extension et Utilisation

Ces sols couvrent de vastes surfaces au nord de la zone étudiée. Ils sont situés dans une région froide (altitude supérieure à 1.900 m) et sont actuellement cultivés, de façon extensive, en pommes de terre.

Des risques d'engorgement de l'horizon supérieur en saison des pluies sont également à craindre, ce qui rend nécessaire la pratique des semis sur billons. Ce sont des sols chimiquement très pauvres dans lesquels les cultures intensives ne peuvent être envisagées que par apport d'une forte fumure de redressement. Le pH, très faible, doit être relevé par des amendements au moins égal à ceux préconisés par l'I.R.A.M. (2,2 T de dolomie).

3) Les sols sur sédiments volcano-lacustres

Ces sols sont développés sur des matériaux très hétérogènes du bassin sédimentaire d'Antsirabe. Ils sont situés sur des surfaces planes et sont plus épais que les précédents.

Morphologie

- ATZ 28 sur une surface plane en X = 685,9 Y = 461,9 Z = 1.475 m.
- Sédiments volcano-lacustres.
- Strate herbacée : *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Aristida rufescens*, *Hyparrhenia rufa*.

- 0 - 20 cm : Sec ; brun foncé (7,5 YR 4/4) ; limoneux, meuble ; structure massive, quelques éléments polyédriques subanguleux très friables ; très poreux ; nombreuses racines fines dans la masse de l'horizon ; transition distincte à :
- 20 - 55 cm : Sec ; rouge jaunâtre (5 YR 4/6) ; argileux, cohérent ; structure fragmentaire nette polyédrique fine subanguleuse, fragile, se réduit en poudre ; très poreux, quelques fentes de retrait ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition distincte à :
- 55 - 140 cm : Frais ; rouge (2,5 YR 4/6) ; argileux ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique fine subanguleuse friable ; très poreux, nombreux pores tubulaires fins ; quelques racines fines dans la masse ; transition distincte à :
- 140 - 190 cm : Humide ; rouge clair (2,5 YR 6/8) ; argilo-limoneux, très micacé ; structure massive ; forte porosité tubulaire fine.

La morphologie de ces sols est très proche de celle des sols profonds décrits sur matériaux pyroclastiques et coulées basiques de la période II. Ils présentent la même succession d'horizons : A, B 1, B 2. Seul le matériau d'altération diffère.

Caractéristiques analytiques

La présence de pseudo-particules (pseudo-limons et pseudo-sables), se traduit par des teneurs en argile plus élevées dans l'horizon B 2 (73-76 %) que dans l'horizon B 1 (53-64 %).

Les teneurs en matière organique sont variables (7-14 %), mais dans l'ensemble moins élevées que celles des sols précédents, les taux les plus forts étant obtenus dans les horizons humifères des sols situés dans les dépressions. Le rapport C/N est voisin de 15. Le pH est acide (5,1 à 5,5) dans l'ensemble du profil.

Les teneurs en éléments échangeables varient de 0,2 à 1 mé pour 100 g de sol. Le taux de saturation est toujours inférieur à 10 %. Les teneurs en éléments totaux sont faibles, proches de celles des sols sur lapillis acides.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (égal à 0,6-0,8) est plus élevé que pour les sols précédents.

Extension et utilisation

Ces sols recouvrent d'importantes surfaces dans la plaine d'Antsirabe. Ils sont pour la plupart cultivés mais certaines zones actuellement sous mimosas pourraient être défrichées en vue de leur mise en culture.

Les sols sont épais et la présence de « pseudo-sables » dans les horizons supérieurs leur confère un caractère friable, favorable à l'enracinement. Dans les zones planes ou très légèrement concaves, les teneurs élevées en matière organique et la structure massive de l'horizon humifère favorisent comme pour les sols précédents un engorgement des horizons superficiels. Les semis devront donc être réalisés sur billons.

Du point de vue chimique ces sols sont très proches de ceux sur lesquels l'I.R.A.M. a conduit ses essais et une fumure de fond comportant 600 kg de P_2O_5 , 330 kg de K_2O et 2,2 tonnes de dolomie par ha est recommandée en vue de leur mise en valeur. Celle-ci est favorisée par la topographie très plane.

● Les sols allitiques avec érosion et remaniement

Ces sols ont été observés sur les reliefs de rajeunissement situés au sud d'Antsirabe. Le remaniement se manifeste dans le profil par une stone-line entre 0,80 et 1 mètre de profondeur. Une seule famille, sur socle, est représentée.

Morphologie

- ATZ 6 sur une faible pente (10°) en X = 680,9 Y = 464,5 Z = 1.480 m.
- Sur migmatite.
- Strate herbacée : *Aristida rufescens*, *Ctenium concinum*, *Loudetia simplex*, *Trachypogon spicatus*.

0 - 10 cm	:	Sec ; brun rougeâtre (5 YR 4/4) ; argilo-limoneux, meuble ; structure fragmentaire très nette polyédrique fine, peu fragile ; très poreux entre agrégats ; nombreuses racines fines entre les agrégats et pénétrant les agrégats ; transition distincte à :
10 - 60 cm	:	Frais ; rouge jaunâtre (5 YR 4/4) ; argilo-limoneux ; structure massive à éclats émoussés, friable ; très poreux, pores tubulaires fins ; racines fines subverticales dans la masse de l'horizon ; transition graduelle à :
60 - 80 cm	:	Humide ; rouge (2,5 YR 4/6) ; argilo-limoneux ; structure massive à éclats anguleux, quelques éléments polyédriques grossiers peu friables ; très poreux, pores tubulaires fins à très fins ; quelques racines fines ; transition nette à :
80 - 90 cm	:	Stone-line de quartz de 1 à 2 cm de diamètre.
90 - 100 cm	:	Humide ; rouge (2,5 YR 4/6), légèrement violacé ; argilo-limoneux, quelques micas ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine à moyenne, friable ; porosité tubulaire très fine ; pas de racine ; transition graduelle à :
100 - 160 cm	:	Humide ; rouge (10 R 5/6), mais paraît rose violacé ; limoneux, nombreux micas, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse fine à moyenne, friable ; poreux.

Caractéristiques morphologiques communes à ces sols :

- La structure toujours nette dans l'horizon humifère est massive dans l'horizon B, elle est polyédrique fine dans l'horizon C.
- La stone-line, d'épaisseur très variable, est presque toujours située au passage des horizons B et C.

Caractéristiques analytiques

Les teneurs en argile, égales à 35-45 % dans l'horizon B, passent à 25 % de la terre fine dans l'horizon C.

Les teneurs en matière organique sont élevées (5 à 8 %). Le rapport C/N est variable (15 à 20).

Le pH est acide dans l'horizon humifère (4,8 à 5,3), il augmente régulièrement en profondeur mais n'est jamais supérieur à 5,8. Les teneurs en éléments échangeables sont faibles dans l'ensemble du profil (le plus souvent inférieures à 0,5 mé pour 100 g de sol). La capacité d'échange, comprise entre 3 et 5 mé pour 100 g de sol dans l'horizon B, augmente en surface en fonction des teneurs en matière organique. Le taux de saturation est inférieur à 10 %. Les teneurs en éléments totaux sont très faibles : 6 à 7 mé pour 100 g de sol.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est faible dans l'horizon B (0,3 à 0,7), il passe à des valeurs comprises entre 1,4 et 1,6 dans l'horizon C.

Extension - Utilisation

Ces sols couvrent d'assez grandes surfaces dans la région de Mangarano. Actuellement peu cultivés, ils ne sont pas défavorables du point de vue physique. La stone-line, toujours profonde, ne gêne pas la mise en culture. Bien que la structure de l'horizon B soit massive, celui-ci reste friable et poreux. Par contre on observe parfois une semelle de labour dans les sols cultivés.

Du point de vue chimique ce sont les sols les plus pauvres de la région, leur mise en valeur nécessite une fumure de redressement complète.

2.3. Les sols rajeunis

Ces sols situés sur des pentes fortes sont rajeunis par érosion. L'horizon d'altération apparaît à moins de 80 cm de la surface. Trois sous-groupes ont été distingués :

- Le sous-groupe « modal »
- Le sous-groupe « humifère »
- Le sous-groupe « avec érosion et remaniement ».

● **Les sols modaux**

Ils ont été observés à l'est d'Antsirabe sur des pitons volcaniques basiques aux pentes voisines de 50 %.

Morphologie

- ATZ 41 sur une pente de 30° en X = 696,3 Y = 469,1 Z = 1.680 m.
- Coulée volcanique basique.
- Strate herbacée : *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Trachypogon spicatus*.

0 - 5 cm	: Sec ; brun rougeâtre (5 YR 4/3) ; argilo-limoneux, structure fragmentaire très nette, polyédrique fine à moyenne subanguleuse associée à une structure grumeleuse grossière, peu fragile ; agrégats sans pores visibles, volume des vides important entre agrégats ; nombreuses racines fines pénétrant les agrégats ; transition nette à :
5 - 45 cm	: Sec ; rouge jaunâtre (5 YR 4/6) ; argileux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique fine peu fragile ; agrégats sans pores visibles, volume des vides assez important entre agrégats, quelques fentes de 2 à 5 mm de largeur ; quelques racines fines entre les agrégats ; transition nette à :
45 - 65 cm	: Frais ; brun (7,5 YR 5/4), quelques taches petites jaunes et rouges ; argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique fine à très fine, friable ; poreux ; rares racines fines ; transition distincte à :
65 - 200 cm	: Frais ; gris bleuâtre tacheté de noir et de jaune ; limono-argileux ; structure massive ; poreux ; pas de racine.

Ces sols sont caractérisés par :

- un horizon humifère peu épais dont la structure polyédrique moyenne à fine est toujours très nette.
- un horizon B également peu épais et très structuré.

L'horizon d'altération présente des couleurs très variables : jaune, gris bleuâtre, violacé ; la structure y est toujours moins développée que dans les horizons supérieurs.

Caractéristiques analytiques

La teneur en argile, égale à 50-57 % de la terre fine dans les horizons A et B, diminue progressivement en profondeur, elle reste élevée (20 à 25 %) au contact de la roche-mère.

Les teneurs en matière organique sont élevées : 6 à 7 % dans l'horizon humifère, 4 % dans B ; elles diminuent brutalement dans l'horizon d'altération. Le rapport C/N est le plus souvent inférieur à 15. Le pH, acide en surface (5 à 5,2), reste inférieur à 5,6 dans l'horizon C.

Les teneurs en éléments échangeables sont faibles : 1,5 à 3 mé dans A, 0,5 à 1 mé dans B, mais remontent toujours dans l'horizon d'altération (3 à 8 mé pour 100 g de sol).

La capacité d'échange est égale à 13-16 mé dans l'horizon humifère et à 9 à 13 mé dans B ; elle est très variable en profondeur (5 à 15 mé pour 100 g de sol).

Le taux de saturation, de 10 à 20 % en surface, s'abaisse dans l'horizon B pour remonter en profondeur.

Les teneurs en éléments totaux sont moyennes à élevées dans les horizons A et B (25 à 58 mé pour 100 g de sol), et augmentent toujours légèrement dans l'horizon C.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de l'horizon B est compris entre 1,3 et 2, il est toujours proche de 2 en profondeur.

Extension et utilisation

Ces sols couvrent de très faibles surfaces dans la zone cartographiée. Ils sont situés sur des pentes trop fortes pour être cultivés. Ils conviennent par contre aux reboisements : ils sont en effet chimiquement riches et la faible épaisseur de l'horizon B est compensée par une zone d'altération souvent profonde.

● Les sols humifères

Ils correspondent à des sols dans lesquels la teneur en matière organique de l'horizon humifère est supérieure à 8 %. Ils ont été observés sur les pentes fortes des massifs de gabbro et des reliefs de dissection des formations volcaniques anciennes.

Trois familles ont été distinguées :

- les sols sur matériaux volcaniques basiques,
- les sols sur matériaux volcaniques acides,
- les sols sur gabbro.

1. Les sols sur matériaux volcaniques basiques

Morphologie

- ATZ 79 en début de pente (15°) d'un cône volcanique ancien en X = 712,7, Y = 457 Z = 2.200 m.
- Basalte.
- Jachère graminéenne : *Cynodon dactylon*, *Digitaria longiflora*, *Pennisetum pseudotriticoides*, quelques arbustes : *Acacia dealbata*.

0 - 20 cm	:	Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 2,5/2) ; limono-argileux, meuble ; structure massive, quelques éléments polyédriques subanguleux moyens très friables ; poreux ; nombreuses racines fines dans la masse ; transition graduelle à :
20 - 60 cm	:	Frais ; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2) ; argilo-limoneux ; structure fragmentaire peu nette à nette, polyédrique subanguleuse fine ; poreux ; racines fines pénétrant les agrégats ; nombreux coprolithes, cailloux de basalte altéré formant une ligne discontinue à 50 cm ; transition graduelle à :
60 - 180 cm	:	Frais ; brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4) dans l'ensemble, nombreuses petites taches rouges et noires, les taches noires étant légèrement indurées ; quelques blocs de basalte altérés entre lesquels se trouve la terre fine ; limono-argileux ; structure massive, friable ; forte porosité tubulaire fine ; pas de racine.

Comme pour les sols précédents, ces sols se caractérisent par un horizon B peu épais et par l'apparition à faible profondeur de la zone d'altération.

Ils diffèrent des sols rajeunis modaux par :

- un horizon humifère peu épais,
- une couleur généralement plus brune,
- une structure moins développée.

Les principales variations observées dans ces sols concernent :

– l'épaisseur de l'horizon B : celui-ci, toujours inférieur à 50-60 cm, peut être absent de certains profils, en particulier de ceux situés sur les pentes les plus fortes ; on passe donc localement à des sols « peu évolués » sur une zone d'altération ferrallitisée.

– la présence d'une stone-line : celle-ci n'est jamais épaisse et n'a été observée que dans quelques profils tel ATZ 79.

Caractéristiques analytiques

Les teneurs en argile varient entre 30 et 50 % de la terre fine dans les horizons supérieurs, elles s'abaissent à 15-25 % dans l'horizon d'altération.

Les teneurs en matière organique atteignent 13 % dans l'horizon humifère, 5 à 6 % dans l'horizon sous-jacent. Le rapport C/N est inférieur à 16 en surface, et diminue en profondeur.

Le pH est acide : 4,8 en surface, 5,2 en profondeur.

Comme pour les sols rajeunis modaux les teneurs en éléments échangeables, de 1 à 2 mé pour 100 g de sol dans l'horizon humifère, s'abaissent dans l'horizon B, pour remonter en profondeur.

La capacité d'échange peut atteindre 30 mé pour 100 g de sol dans les horizons les plus riches en matière organique.

Le taux de saturation est inférieur à 10 %.

Les teneurs en éléments totaux sont légèrement plus faibles que celles des sols rajeunis modaux.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, compris entre 1,5 et 1,9 dans l'horizon B, remonte toujours dans l'horizon d'altération.

2. Les sols sur matériaux volcaniques acides

Morphologie

- ATZ 80 sur une pente de 30° en X = 709,8 Y = 467,3 Z = 1.925 m.
- Trachyte.

— Strate herbacée : *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Trachypogon spicatus*, *Ctenium concinum*.

- 0 - 25 cm : Frais ; noir à brun très foncé (10 YR 2,5/1,5) ; argilo-limoneux, meuble ; structure fragmentaire très nette, polyédrique subanguleuse fine à moyenne, friable ; très poreux, volume des vides important entre les agrégats, nombreuses racines fines pénétrant les agrégats ; transition nette et ondulée à :
- 25 - 50 cm : Frais ; brun (7,5 YR 4/4), quelques taches peu étendues brun foncé, en trainées verticales de 4 à 5 mm de diamètre à limites nettes, contrastées, plus cohérentes ; argilo-limoneux, cohérent ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse moyenne à grossière, friable ; agrégats à pores nombreux, fins à très fins, tubulaires, sans orientation dominante ; racines fines pénétrant les agrégats ; transition graduelle à :
- 50 - 200 cm : Humide ; brun jaunâtre clair (10 YR 6/4), nombreuses taches peu étendues brun très pâle à blanc, irrégulières de 1 à 2 mm de diamètre, à limites nettes, contrastées, liées à des minéraux altérés ; limono-sableux, meuble ; structure massive ; nombreux pores tubulaires fins à très fins ; quelques racines fines dans la masse.

Ces sols sont caractérisés par un horizon B peu épais, brun à brun jaunâtre, à structure polyédrique moyenne, jamais très développée. L'horizon d'altération, meuble, est toujours très épais. Comme dans le cas des sols précédents, l'horizon B peut localement être absent.

Caractéristiques analytiques

La teneur en argile, qui est de 30 à 50 % dans les horizons supérieurs, s'abaisse beaucoup plus rapidement en profondeur que dans le cas des sols développés sur coulées basiques.

Les teneurs en matière organique sont variables (8 à 14 %). Le rapport C/N est de 15 à 18 en surface, il s'abaisse rapidement en profondeur. Le pH, compris entre 5 et 5,6 dans les horizons A et B, est légèrement plus élevé dans l'horizon C.

Les teneurs en éléments échangeables sont faibles (0,3 à 0,5 mé), sauf en surface où elles peuvent atteindre 2 mé pour 100 g de sol. Le taux de saturation est inférieur à 15 % dans l'ensemble du profil. Les teneurs en éléments totaux, qui sont de 20 mé en surface, augmentent progressivement en profondeur et atteignent 70-80 mé pour 100 g de sol dans l'horizon d'altération.

3. Les sols sur gabbro

Morphologie

- ATZ 127 sur une pente de 20° en X = 703,8 Y = 446,3 Z = 1.825 m.
- Sur gabbro.
- Strate herbacée : *Aristida rufescens*, *Pennisetum pseudotriticoïdes*.

- 0 - 15 cm : Sec ; brun foncé (7,5 YR 4/4) ; argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne, peu fragile ; très poreux, volume des vides assez important entre agrégats ; nombreuses racines fines ; transition distincte à :
- 15 - 60 cm : Frais ; rouge jaunâtre (5 YR 5/8) ; argileux ; cohérent ; structure fragmentaire très nette, polyédrique fine, peu friable ; agrégats à pores nombreux, très fins, tubulaires ; quelques racines fines pénétrant les agrégats ; transition graduelle à :
- 60 - 110 cm : Frais ; jaune rougeâtre (5 YR 6/8) ; limono-argileux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique fine, friable, nombreux minéraux altérés blanchâtres apparaissant quand on écrase les agrégats, agrégats à pores nombreux très fins tubulaires.

Ces sols se distinguent des précédents par une structure polyédrique fine toujours très marquée dans l'ensemble du profil, y compris dans l'horizon d'altération.

Caractéristiques analytiques

Les seules analyses que nous possédons sur ce type de sol (profil ATZ 127) montrent que :

- Les teneurs en argile, qui sont de 55 % dans l'horizon B, diminuent progressivement en profondeur, elles sont égales à 30 % du total de la terre fine dans l'horizon d'altération.
- Les teneurs en matière organique sont de 9,5 % en surface.
- Le pH, égal à 5,4 en surface et à 5,2 dans l'horizon B, augmente très légèrement dans l'horizon C (5,7).

Extension et utilisation des sols rajeunis humifères

Les sols situés sur roches basiques (basalte et gabbro) occupent des surfaces relativement restreintes. Par contre ceux situés sur trachytes couvrent une grande superficie au nord-est de la zone. Ils sont dans leur ensemble situés sur des pentes fortes pour être cultivés. Leur mise en valeur la plus rationnelle consiste en un reboisement de type productif. Les reboisements en pin effectués par les Eaux et Forêts dans la station d'Antsapandrano sont situés sur ce type de sol.

● **Les sols avec érosion et remaniement**

Ces sols formés sur des matériaux du socle cristallin sont caractérisés par un horizon B peu épais et par la présence d'une stone-line parfois discontinue, dont l'épaisseur est fonction de la nature de la roche lui ayant donné naissance.

Deux séries ont été distinguées suivant la profondeur à laquelle se trouve la stone-line.

1. Les sols à stone-line proche de la surface

Ces sols ont été observés dans des zones à relief accidenté (pentes de 25° à 40°). Ils sont souvent associés à des sols peu évolués d'érosion auxquels ils passent par troncature du profil.

Morphologie

- ATZ 18 sur une pente de 30° en X = 681,1 Y = 448,7 Z = 1.850 m.
- Sur migmatite.
- Strate herbacée : *Trachypogon spicatus*, *Ctenium concinum*, *Loudetia simplex*, *Aristida rufescens*.

- | | | |
|-------------|---|--|
| 0 - 20 cm | : | Sec ; brun grisâtre foncé (10 YR 4/2) ; cailloux de quartz très abondants à arêtes légèrement émoussées, entre lesquels se trouve la terre fine ; sablo-limoneux ; très poreux ; quelques racines fines contournées ; transition graduelle à : |
| 20 - 50 cm | : | Sec ; jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) ; argilo-sableux ; structure massive à éclats anguleux fragile ; quelques éléments polyédriques subanguleux moyens fragiles ; nombreux pores fins tubulaires ; quelques racines fines ; transition graduelle à : |
| 50 - 120 cm | : | Frais ; brun vif (7,5 YR 5/8) ; argilo-limoneux, nombreux minéraux blanchâtres altérés, quelques filons de quartz subverticaux recoupant l'horizon ; structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine friable ; forte porosité tubulaire. |

Les principales caractéristiques morphologiques de ces sols sont :

- la présence d'éléments quartzeux grossiers en sommet de profil. Ces éléments peuvent être épandus à la surface du sol, ou être mélangés à l'horizon humifère, ou bien former une stone-line à la base de ce dernier.

- un horizon B peu épais (20 à 30 cm), friable et poreux, dont la structure est peu développée.

Caractéristiques analytiques

Les teneurs en argile sont très variables, elles peuvent être plus élevées en profondeur qu'en surface par suite de l'abondance des sables dans l'horizon humifère (remaniement et lessivage oblique des « fines »).

Le taux de matière organique est très variable, il est en général faible mais peut atteindre 5 à 6 %, avec un rapport C/N de 14 à 16. Le pH, acide en surface (5), augmente très légèrement en profondeur. Les teneurs en bases échangeables dans l'horizon humifère sont fonction des taux de matière organique, elles sont en général faibles. Dans l'horizon B elles sont inférieures à 0,1 mé pour 100 g de sol. La capacité d'échange est de 2 à 4 mé pour 100 g de sol, pour des teneurs en argile de 20 à 35 %. Le taux de saturation est toujours inférieur à 10 %.

Les teneurs en éléments totaux sont faibles (8 à 15 mé pour 100 g de sol) y compris dans l'horizon d'altération. Le rapport Ca/Mg est voisin de 1. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de l'horizon B est proche de 1,6.

Extension - Utilisation

Ces sols, souvent en association avec des sols peu évolués régosoliques, recouvrent d'importantes surfaces sur les reliefs résiduels du socle.

Ils sont généralement meubles sur une grande profondeur. La tecture souvent sableuse des horizons de surface ainsi que les faibles teneurs en matière organique entraînent une mauvaise capacité de rétention en eau. Très sensibles à l'érosion, ils sont situés sur des pentes trop fortes pour être cultivés. Dans les régions les plus accidentées (pentes de 30 à 40°), des reboisements antiérosifs sont nécessaires. Dans les zones aux pentes moins fortes (20 à 30°), des aires de pâturage pourraient être envisagées.

2. Les sols à « stone-line » située en profondeur.

Ces sols ont été observés dans des zones moins accidentées que les précédents. Dans les régions de collines subégales (« relief dérivé »), aux pentes comprises entre 10 et 20°, ils occupent la presque totalité des positions topographiques. Par contre, dans des paysages plus mous correspondant à d'anciens niveaux d'aplanissement, ils sont en association avec des sols allitiques avec érosion et remaniement, ils sont alors situés sur les flancs des collines tandis que les seconds occupent les replats sommitaux.

Morphologie

— ATZ 5 en début de pente de 15° en X = 682,7 Y = 467,7 Z = 1.620 m.

— Sur migmatite.

— Strate herbacée : *Aristida rufescens*, *Ctenium concinum*, *Trachypogon spicatus*.

0 - 10 cm	: Frais ; brun rougeâtre (5 YR 4/4) ; argilo-limoneux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique fine peu friable ; volume des vides important entre agrégats ; nombreuses racines fines formant un chevelu ; transition nette à :
10 - 50 cm	: Frais ; rouge jaunâtre (5 YR 5/6) ; argilo-limoneux, grains de quartz anguleux, cailloux de quartz de 1 à 2 cm de diamètre formant stone-line à 50 cm ; structure fragmentaire nette polyédrique subanguleuse fine à moyenne, peu friable ; agrégats à pores nombreux très fins, tubulaires ; quelques racines fines pénétrant les agrégats ; transition distincte à :
50-120 cm	: Humide ; rouge jaunâtre (5 YR 5/8) ; limoneux, nombreux micas, quelques graviers de quartz épars dans l'horizon ; structure massive friable ; forte porosité tubulaire fine.

Par rapport aux précédents ces sols présentent une structure beaucoup plus marquée dans les horizons supérieurs, une épaisseur légèrement plus élevée de l'horizon B, une stone-line à plus grande profondeur, presque toujours au contact de l'horizon B et C.

Caractéristiques analytiques

Les teneurs en argile sont plus élevées dans les horizons A et B que pour les sols précédents, elles diminuent régulièrement en profondeur. Les teneurs en matière organique sont de 3 à 4 % dans l'horizon humifère. Le rapport C/N est voisin de 14.

Le pH est acide : 5 à 5,5.

Les teneurs en bases échangeables, qui sont de 1 à 2 mé dans l'horizon A, sont inférieures à 0,2 mé pour 100 g de sol dans l'horizon B. La capacité d'échange est de 5 à 6 mé dans B, elle est plus élevée dans l'horizon humifère (7 à 10 mé pour 100 g de sol).

Les teneurs en éléments totaux sont très voisines de celles des sols précédents. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ s'abaisse à 1,4 dans l'horizon B.

Extension - Utilisation

Ces sols occupent d'assez grandes surfaces au sud de la feuille. Quelques cultures vivrières y sont actuellement pratiquées.

Les teneurs en éléments fins et en matière organique, plus élevées que dans le cas des sols précédents, assurent une meilleure capacité de rétention en eau du sol. Les sols sont sensibles à l'érosion et leur mise en culture doit comporter des mesures antiérosives d'autant plus importantes que la pente est plus forte. Ils sont chimiquement pauvres et doivent recevoir une fumure de fond complète.

LES SOLS HYDROMORPHES

Généralités

L'évolution de ces sols est profondément marquée par la présence permanente ou non d'un excès d'eau dans une partie ou dans la totalité du profil. Cet engorgement peut être le fait des eaux de pluies ou de l'irrigation, en particulier de l'irrigation par submersion des rizières.

Plusieurs caractères résultent de ce phénomène :

1. Accumulation de la matière organique

L'engorgement ou la submersion plus ou moins permanente favorisent l'accumulation de la matière organique en ralentissant la minéralisation. Ce phénomène est plus accentué dans les régions d'altitude où le climat est froid.

C'est la teneur en matière organique qui a servi de base à la classification des sols utilisée dans cette étude.

2. Mobilisation et redistribution du fer et du manganèse sous l'influence des phénomènes physico-chimiques.

Les solutions de matière organique dissolvent progressivement les composés ferriques et manganiques. Ce phénomène de dissolution est activé par l'abaissement du potentiel d'oxydo-réduction dû aux conditions d'anaérobiose.

Les mouvements de ces complexes organo-métalliques provoquent une redistribution du fer et du manganèse. On observe ainsi soit la formation de taches rouille ou noire dans les zones enrichies, soit des taches de décoloration dûes au contraire à un appauvrissement en ces éléments, soit enfin un jaunissement de presque tout l'ensemble du profil.

3. Structure

Les conditions d'engorgement prolongé ne sont pas favorables à l'individualisation d'éléments structuraux. On observe ainsi un profil à structure massive ou à structure continue (1). Dans les sols qui subissent un certain ressuyage ou un dessèchement pendant une partie de l'année, il y a tendance à la formation d'une structure polyédrique émoussée moyenne ou fine. Il en est ainsi dans les sols à pseudo-gley et dans la partie supérieure des sols à amphigley.

Ces différents caractères morphologiques sont plus ou moins marqués suivant la nature du matériau sur lequel le sol est formé. Du point de vue de la classification, nous avons donc été conduits à distinguer les sols jusqu'au niveau de la famille. Cette distinction des différentes familles fait d'ailleurs ressortir une répartition des unités cartographiques dans des zones géographiques distinctes et homogènes.

Quatre familles ont été reconnues :

- sur matériau volcanique,
- sur alluvions provenant du socle cristallin,
- sur alluvions indifférenciées,
- sur alluvions volcano-lacustres anciennes.

(1) Nous avons adopté le terme de « structure continue » pour les sols hydromorphes très argileux, à engorgement permanent, où l'on observe un ensemble continu et cohérent, sans face de dissociation marquée. Ce terme est à distinguer de celui de « structure massive » attribué à certains sols, non hydromorphes, où l'on retrouve les mêmes caractères de continuité et de cohérence, mais où une fragmentation artificielle peut être obtenue sans avoir à dessécher complètement l'échantillon.

1. Les sols hydromorphes organiques.

Ces sols sont situés dans des bas-fonds de la partie nord de la région. La submersion permanente et le climat relativement froid d'altitude provoquent une importante accumulation de la matière organique. Celle-ci est brute en surface et plus évoluée en profondeur. Le drainage local est inexistant, ce qui ralentit l'évolution du support minéral ; ce dernier acquiert une couleur jaune verdâtre. L'évolution vers un gley typique est très lente.

Ces sols ont été classés hydromorphes organiques semi-fibreux, oligotrophes, sur alluvions latérales provenant de matériaux volcaniques acides.

Morphologie

En saison sèche, le sol se trouve sous 20 à 50 cm d'eau, avec une végétation de cypéracées.

0 - 50 cm	:	Noyé, noir, matière organique grossière, directement décelable, partie minérale en faible proportion constituée d'argiles, présence de quelques minéraux luisants, transition diffuse à :
50 - 150 cm	:	Noyé, noir, matière organique évoluée, quelques minéraux grossiers luisants et nodules blancs de 2 à 5 mm de diamètre, argileux, structure continue, consistance pâteuse, transition nette, régulière à :
150 - 200 cm	:	Noyé, gris-jaune, présence de minéraux blancs et friables, argilo-limoneux à limono-argileux, structure continue, plastique, enracinement nul.

On rencontre souvent vers 200 cm du sable quartzeux gris, devenant de plus en plus grossier.

Caractères analytiques

Ces sols sont très riches en matière organique dans les 50 premiers centimètres et on y craint une déficience en éléments minéraux.

Extension - Utilisation

Ces sols occupent de faibles surfaces dans des régions élevées où la température trop basse ne permet pas la riziculture. Ils sont d'ailleurs situés dans une zone à très faible densité de population et leur mise en valeur ne semble pas indispensable actuellement ; à la rigueur ils pourraient être aménagés en bassins pour la pisciculture.

2. Les sols hydromorphes moyennement organiques.

Ces sols se sont formés dans de véritables plaines alluviales. Les alluvions proviennent aussi bien du socle cristallin que des volcans qui forment le pourtour de ces plaines.

Ces sols sont caractérisés par la présence entre 60 et 150 cm de profondeur d'un horizon riche en matière organique évoluée, correspondant à un horizon de surface d'un ancien sol fossilisé par des alluvions récentes. Le dépôt de ces dernières a été provoqué par le réhaussement du niveau de base local de la plaine, ce réhaussement résultant du barrage de l'exutoire de l'ancienne plaine par des coulées volcaniques récentes (période III).

La forte teneur en matière organique et le drainage non négligeable ont favorisé une évolution rapide du matériau-support déjà pauvre en fer, notamment dans la partie au-dessus de l'horizon organique enterré. On y observe un sol à gley blanchi, alors qu'au-dessous le gley est légèrement réversible (1) quand il n'est pas trop argileux.

Ces sols ont été classés hydromorphes moyennement organiques à gley, à anmoor acide, avec horizon organique enterré, sur matériaux indifférenciés.

Morphologie

— ABR 8 : X = 694,6 Y = 455,2 Z = 1.516 m.

— Sur la route Betafo - Antsirabe.

— Rizière - Observation en saison sèche.

0 - 20 cm	: Humide ; brun très foncé (10 YR 2/2), taches rouilles, matière organique non directement décelable ; fines paillettes de mica ; argileux ; structure peu nette, polyédrique subanguleuse moyenne ; volume des vides assez important entre agrégats ; cohérent ; nombreuses racines ; transition distincte, ondulée à :
20 - 60 cm	: Humide, brun grisâtre très foncé (10 YR 2,5/1), taches rouilles le long des fentes et tubes racinaires ; structure massive ; fines paillettes de mica ; volume des vides très faible ; cohérent ; quelques racines ; nappe phréatique rencontrée à ce niveau ; transition nette, régulière à :
60 - 170 cm	: Noyé, noir (10 YR 2/1) ; matière organique non directement décelable ; argileux ; structure continue.
170 - 200 cm	: Noyé, gris olive (5 Y 6/2), devenant gris brunâtre claire en séchant (2,5 Y 6,5/4) ; présence de petits morceaux de roches altérées vertes à jaunes, micacé ; limono-sableux fin ; quelques racines mortes.

Dans certains profils, l'importance de l'horizon organique enterré est variable. Il peut avoir de 30 à 120 cm d'épaisseur. L'horizon de gley sous-jacent peut être très argileux, il est alors souvent exploité par la briquetterie locale.

Caractères analytiques

Les sols sont argileux dans leur partie supérieure (40 à 55 %). La teneur en matière organique varie de 9 à 15 % en surface et atteint 10 à 35 % dans l'horizon organique enterré. Le pH est fortement à moyennement acide sur tout le profil.

(1) Le gley réversible change de couleur en séchant, par réoxydation du fer ferreux dispersé dans la masse (Cl. RATSIMBAZAFY, 1972).

La capacité d'échange est élevée (10 à 44 mé), ce qui est dû à la présence de la matière organique. Le taux de saturation, souvent faible en surface (15 à 25 %), augmente en profondeur.

Les réserves en éléments totaux sont d'un niveau convenable (1 à 3‰), de même que le phosphore assimilable (Olsen).

Extension - Utilisation

Ces sols ont une grande extension dans les plaines rizicoles le long de la route d'Antsirabe à Betafo, ainsi que sur la route Antaolanomby - Mahaiza. Ils conviennent parfaitement à la riziculture. Dans les endroits élevés, certains paysans y pratiquent des cultures maraîchères. Ces cultures peuvent être étendues à tous ces sols en contre saison, mais il faudrait alors abaisser le niveau de la nappe phréatique qui reste très près de la surface même en saison sèche. Cet abaissement de la nappe ne pourrait se faire qu'en agissant sur les barrages constitués par les coulées volcaniques.

Cependant il ne faudrait pas que le drainage affecte le sol au-dessous de l'horizon organique enterré car un dessèchement trop poussé de ce dernier nuirait aux remontées capillaires à partir de la nappe phréatique.

3. Les sols peu humifères

Dans cette sous-classe, nous avons distingué trois groupes de sols :

- sols à gley ;
- sols à pseudogley ;
- sols à amphigley ;

Nous traiterons ensemble les sols à gley et à amphigley car ils n'ont pas une répartition bien définie. La formation de l'un ou de l'autre dépend de l'amplitude des variations du niveau de la nappe phréatique, donc du drainage local.

3.1. Les sols à gley et amphigley

Ils occupent des bas-fonds au pied de massifs cristallins. Ils se sont donc formés sur des alluvions cristallines pauvres en fer.

Quand le niveau de la nappe phréatique varie peu au cours de l'année, on observe la formation d'un sol à gley profond. Mais si l'amplitude de cette variation est grande, la partie supérieure du sol peut se réoxyder pendant la saison sèche ; les solutions chargées de complexe organo-ferreux peuvent remonter vers le sommet du profil et y déposer du fer. On aboutit à la formation d'un sol à amphigley. Cet enrichissement en fer de la partie supérieure du profil per ascensum est perceptible dans les résultats d'analyse : dans le sol à amphigley (ABR 15), l'horizon de pseudogley renferme 9 à 11 % de fer total (exprimé en Fe_2O_3) alors que dans le gley sous-jacent il est de 4 à 6 % (1).

(1) Dans certains cas, cette différence peut être également due à une hétérogénéité dans l'alluvionnement.

Du fait de l'assèchement temporaire, subi par les sols à amphigley, on observe la formation d'une structure assez nette dans la partie supérieure du profil.

Morphologie

- ABR 12 : Sol à gley d'ensemble.
 - X = 705,8 Y = 451,4 Z = 1.800 m.
 - A l'ouest d'Ambatokambana
 - Rizière
 - Pente faible vers l'ouest
 - Observation en saison sèche.
- | | | |
|--------------|---|---|
| 0 - 30 cm | : | Frais ; brun très foncé (10 YR 2/2), quelques taches rouilles ; matière organique non directement décelable ; nombreuses fines paillettes de mica et minéraux brillants ; argilo-limoneux ; structure assez nette ; tendance polyédrique subanguleuse ; volume des vides assez important entre agrégats ; racines fines ; transition nette, ondulée à : |
| 30 - 50 cm | : | Humide ; gris beige (5 Y 7/2), devenant gris brunâtre clair en séchant (10 YR 6/2) petites taches rouilles et noires ; petits minéraux brillants, argilo-limoneux ; canaux racinaires assez importants ; structure continue ; assez plastique ; racines ; transition graduelle à : |
| 50 - 70 cm | : | Noyé ; gris clair (5 Y 7/1), taches rouilles ; présence de minéraux brillants et blancs ; argilo-limoneux ; structure continue ; assez plastique ; pas de racine ; nappe phréatique à 60 cm ; transition graduelle à : |
| 70 - 140 cm | : | Noyé ; gris (5 Y 6/1), petites taches noires ; présence de minéraux blanchâtres ; argilo-limoneux ; plastique ; pas de racine ; transition graduelle à : |
| 140 - 200 cm | : | Noyé ; gris bleuté (5 B 6/1) ; nombreuses concrétions blanchâtres assez dures, argilo-sableux, assez plastique. |
-
- ABR 15 : sol à amphigley.
 - X = 711 Y = 441,8 Z = 1.636 m.
 - A l'est d'Antanetizaka
 - Rizière en terrasse, pente faible vers l'ouest, drainage possible dans la partie supérieure du sol.
 - Observation en saison sèche.
 - Surface du sol légèrement humide.
- | | | |
|--------------|---|--|
| 0 - 30 cm | : | Humide, brun à brun foncé (7,5 YR 4/4), taches rouilles notamment le long des pores tubulaires laissés par les racines ; bien pourvu en fines paillettes de mica ; limono-argileux ; structure polyédrique moyenne ; cohésion moyenne ; assez perméable ; volume des vides assez important entre les agrégats ; nombreuses racines ; transition nette, régulière à : |
| 30 - 50 cm | : | Humide ; jaune pâle (2,5 Y 7/4), nombreuses taches rouilles ; présence de mica ; sablo-argileux ; structure continue ; pores tubulaires importants ; faible cohésion ; quelques racines ; transition graduelle à : |
| 50 - 70 cm | : | Très humide ; gris clair (5 Y 7/1) ; taches rouilles et noires ; bien pourvu en mica, sablo-limoneux à sablo-argileux ; structure continue ; pas de racines ; transition graduelle à : |
| 70 - 130 cm | : | Noyé ; gris (5 Y 5/1) ; très micacé ; sableux ; pas de racines ; nappe phréatique à 100 cm ; transition graduelle à : |
| 130 - 200 cm | : | Noyé ; gris clair (5 Y 7/1) ; micacé ; finement sablo-argileux ; structure continue ; assez plastique ; pas de racine. |

Caractères analytiques

Les sols à gley profond sont plus argileux en surface, alors que les sols à amphigley sont plus limoneux dans l'horizon de pseudogley. Les sols à gley sont plus riches en matière organique mais les rapports C/N restent semblables pour les 2 types de sols (11 à 13).

Le pH est très acide sur tout le profil (4,8 à 5,5). La capacité d'échange est élevée pour le sol à gley d'ensemble (10 à 25 mé), descend à 8-10 mé dans les sols à amphigley. Ces derniers contiennent en effet plus d'éléments sableux et de limons et moins de matière organique.

Le taux de saturation est variable pour les 2 types de sols (9 à 25 % suivant les horizons). Ces sols sont bien pourvus en phosphore total.

Les réserves en éléments totaux sont à un niveau convenable.

Extension - Utilisation

Ces sols n'ont jamais une grande extension, ils sont disséminés au pied des massifs cristallins. Les sols à gley d'ensemble occupent les fond des vallées encaissées et ceux à amphigley se trouvent à un niveau légèrement supérieur. Les sols à gley ne conviennent qu'à la riziculture, ceux à amphigley, plus riches et présentant une certaine structure en surface, sont en plus favorables aux cultures maraîchères. En contre saison, on peut y pratiquer d'autres cultures telles que : haricot, colocasse, maïs, plantes fourragères... Le pH devrait cependant être relevé.

3.2. Les sols à pseudogley

Dans ce groupe de sol, on a distingué 2 familles :

- sur alluvions volcano-lacustres anciennes,
- sur matériaux volcaniques récents.

Les premiers se sont formés au fond des vallées entaillées par le réseau hydrographique actuel dans la terrasse volcano-lacustre d'Antsirabe. La couleur dominante de ces sols est jaune. Ils sont généralement très argileux. Le dessèchement pendant une partie de l'année favorise la formation d'une structure assez bien individualisée dans la partie supérieure du profil. Il provoque également une réprécipitation du fer sous forme d'oxydes ou d'hydroxydes, donnant au profil un aspect tacheté de jaune, ocre-rouille.

Le deuxième type de sol s'est formé sur des coulées volcaniques récentes, à pente faible ; des terrasses ont été aménagées en vue de la riziculture. La submersion du sol ne dure que pendant la période de végétation du riz (6 mois). L'expression des processus de l'hydromorphie sur la morphologie du profil est peu sensible, d'une part parce que la durée de l'engorgement est relativement faible, d'autre part parce que les sols sont très riches en fer et manganèse et de couleur sombre. Seules des taches

rouilles de réoxydation du fer s'individualisent dès la surface.

Morphologie

— ABR 47 : sol à pseudogley sur alluvions volcano-lacustres anciennes.

— X = 683,5 Y = 465,5 Z = 1.425 m.

— Au nord de Vinaninkarena.

— Rizière, pas d'eau à la surface du sol au moment de l'observation.

- | | | |
|--------------|---|--|
| 0 - 20 cm | : | Humide; brun grisâtre foncé (10 YR 4/2) quelques taches rouilles; présence de fines paillettes de mica; limono-argileux; structure à tendance polyédrique subanguleuse; cohésion faible; volume des vides assez important entre les agrégats; nombreuses racines fines et moyennes; transition graduelle à : |
| 20 - 40 cm | : | Humide; brun à brun foncé (7,5 YR 4/4) taches noires et rouilles, fines paillettes de mica; limono-argileux; structure à tendance polyédrique subanguleuse; degré de structuration faible; nombreuses racines; transition distincte à : |
| 40 - 60 cm | : | Très humide; brun jaunâtre (10 YR 5/8), nombreuses taches grises et noires; présence de minéraux brillants; argileux; structure continue; racines; transition distincte à : |
| 60 - 80 cm | : | Même caractéristiques mais les taches grises prennent de l'importance. |
| 80 - 100 cm | : | Très humide; jaune brunâtre (10 YR 6/6); très nombreuses taches grises à reflet bleuâtre; micacé; argileux; structure continue; plastique; pas de racines; transition nette, régulière à : |
| 100 - 180 cm | : | Noyé; blanc (2,5 Y 8/0); sable grossier; nappe phréatique. |

ABR 11 : sol à pseudogley sur matériaux volcaniques.

— X = 697 Y = 447,8 Z = 1.575 m.

— A l'est du village d'Ambanizato.

— Pente faible vers le sud-est.

— Rizière en terrasse.

— Observation en saison sèche.

- | | | |
|-------------|---|---|
| 0 - 10 cm | : | Légèrement humide, brun gris foncé (10 YR 4/2); fines paillettes de mica; limoneux; structure à tendance polyédrique subanguleuse; peu compact en place; cohésion moyenne; volume des vides assez important entre les agrégats; nombreuses racines; transition graduelle à : |
| 10 - 35 cm | : | Légèrement humide, brun à brun foncé (10 YR 4/3); taches rouilles surtout sur les agrégats et le long des canaux racinaires; argilo-limoneux; structure à tendance polyédrique subanguleuse, moyenne à fine; volume des vides entre les agrégats assez important; assez compact en place; cohésion moyenne; racines; transition distincte à : |
| 35 - 60 cm | : | Légèrement humide; brun grisâtre à brun foncé (7,5 YR 3/2); nombreuses taches rouilles; fines paillettes de mica; argilo-limoneux; structure polyédrique subanguleuse; assez bon degré de structuration; moins compact que l'horizon supérieur; nombreux pores tubulaires; peu de racines; transition distincte à : |
| 60 - 70 cm | : | Humide; jaune brunâtre (10 YR 6/6); taches rouilles et noires; riche en mica et minéraux altérables; argilo-limoneux; structure polyédrique moyenne à fine; assez bon degré de structuration; assez friable; volume des vides important entre les agrégats; assez compact en place; transition assez nette, régulière à : |
| 70 - 130 cm | : | Légèrement humide; brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3); quelques zones de décoloration; fines paillettes de mica; limono-argileux; structure polyédrique subanguleuse; faible degré de structuration; |

- volume des vides très important entre les agrégats, peu compact en place ; friable ; transition graduelle à :
- 130 - 190 cm : Légèrement humide ; brun rougeâtre foncé ; quelques taches noires ; un peu de mica ; limono-argileux ; structure polyédrique subanguleuse ; assez bon degré de structuration ; quelques pores tubulaires ; compacité moyenne ; assez friable ; pas de racine ; transition diffuse à :
- 190 - 200 cm : Matériau brun rouge mélangé à des cendres volcaniques peu altérées.

Ces sols se rapprochent des sols ferrallitiques moyennement désaturés en B, hydromorphes sur matériaux volcaniques, mais le mouvement du fer et du manganèse s'observe même dans l'horizon de surface.

Caractères analytiques

Le manque de résultats analytiques concernant ces 2 types de sols ne nous permet pas de préciser leurs propriétés chimiques. Néanmoins la connaissance que nous avons de leurs matériaux originels nous autorise à avancer des ordres de grandeur.

Les sols sur alluvions lacustres anciennes sont nettement argileux, au moins dans la partie supérieure et la structure y est mauvaise. Ils sont bien pourvus en matière organique. Le pH est très acide, le taux de saturation en bases du complexe absorbant est faible (10 à 20 % dans les 50 premiers centimètres).

Les réserves en éléments totaux sont faibles, le phosphore assimilable serait déficient.

Les sols à pseudogley sur matériaux volcaniques sont moins marqués par l'hydromorphie, ils sont plus limoneux, mieux structurés. La teneur en matière organique est élevée avec un rapport C/N variant entre 10 et 15. Le pH est faiblement acide, la capacité d'échange élevée, de même que le taux de saturation en bases (40 à 50 % en surface, 15 à 25 % dans les horizons inférieurs). Les réserves en éléments totaux sont en quantité élevée, le phosphore assimilable serait par contre nettement insuffisant.

Extension - Utilisation

1. Sols à pseudogley sur alluvions volcano-lacustres

Ces sols, formés dans les étroites vallées entaillées dans la terrasse volcano-lacustre ancienne de la région d'Antsirabe, n'occupent que des surfaces restreintes. Ils sont exploités en rizière. Mais en contre saison et dans les endroits plus élevés, d'autres cultures vivrières sont possibles. Un redressement du niveau de fertilité chimique est nécessaire.

2. Sols à pseudogley sur matériaux volcaniques

Ces sols occupent des étendues assez vastes sur les coulées et projections volcaniques autour de Betafo et les volcans de l'Ivohitra, Itavy et Amboniloha. Les surfaces à pente faible y sont en effet aménagées en terrasses en vue de la riziculture. Les sols formés sur ces matériaux étant relativement riches, les rendements qu'on y obtient en paddy sont élevés. Il est cependant à signaler que la riziculture semble rendre ce type de sol sensible à la formation de semelle de labour. Il serait donc souhaitable de mettre en contre saison des plantes à enracinement dense et profond, graminées ou légumineuses pour essayer de dissiper les effets des travaux de préparation du sol.

Outre la riziculture, ce type de sol est apte à porter toutes cultures, les pentes étant faibles. On pourrait préconiser les cultures maraîchères, vivrières, ou mieux encore les arbres fruitiers.

UNITÉS CARTOGRAPHIQUES COMPLEXES

Nous regroupons dans ce chapitre les associations constituées de deux ou plusieurs unités, chacune de ces unités ayant été cartographiée par ailleurs en unité simple. Ces associations sont soit des séquences de sols, quand elles correspondent à un ensemble de sols dont la succession se retrouve constamment dans un ordre déterminé du fait de l'influence prépondérante et régulièrement répétée d'un de leur facteur de formation, soit des juxtapositions, s'il n'y a pas de règle de répartition précise.

1. Sols peu évolués sur coulée et andosols

Cette association, que l'on observe sur les coulées récentes de la région de Betafo, est liée à la topographie des coulées qui forment un paysage caractéristique de « cheires ».

Sur les bosses ou petits sommets dégagés par l'érosion on trouve des sols peu évolués lithiques. Dans les creux et vallons où les lapillis se sont accumulés, des andosols désaturés se développent qui présentent un horizon humifère toujours épais. Ils sont cultivés soit en maïs, soit en rizière.

2. Sols ferrallitiques fortement désaturés allitiques humifères sur projections acides et sols ferrallitiques fortement désaturés rajeunis humifères sur matériaux volcaniques acides

Cette association s'observe dans le massif trachytique situé au nord-est de la feuille. Dans cette région très accidentée, les lapillis issus de la phase ultime du volcanisme acide, ne sont conservés que sur les replats tandis qu'il ont été dégagés, par érosion, des pentes les plus fortes.

Les sols allitiques s'observent donc sur les sommets, les sols rajeunis dans les pentes.

3. Les sols des cônes volcaniques

Seuls les sols formés sur les cônes de la période II ont été cartographiés en unités complexes. Sur ces cônes déjà anciens mais bien conservés et soumis à une érosion permanente, la pédogenèse dépend étroitement de la nature des roches-mères constituant ces édifices.

Les roches-mères sont très variables d'un cône à l'autre et également sur un même cône, aussi n'est-il pas possible de définir une loi de répartition des sols.

En fonction de l'intensité de l'érosion et de la nature de la roche-mère on observe :

- des sols minéraux bruts et des sols peu évolués lithiques, sur les pentes les plus fortes et sur roche-mère compacte ;
- des andosols plus ou moins différenciés selon l'intensité du rajeunissement, sur les matériaux pyroclastiques ;
- des sols ferrallitiques fortement désaturés allitiques lorsque le sol est formé sur lapillis et que les pentes ne sont pas trop fortes. Par troncature du profil ces sols donnent des rankers ;
- des sols ferrallitiques fortement désaturés rajeunis modaux ou humifères, lorsque la roche-mère est compacte et que l'érosion n'est pas trop forte.

L'utilisation des sols de ces cônes est variable, et dépend surtout de la densité de population. Dans la région d'Antsirabe les édifices sont soit cultivés, soit boisés ; alors que dans les régions les moins peuplées, ils sont souvent laissés sous couvert naturel. La mise en valeur la plus rationnelle de ces cônes est en général le reboisement.

TROISIEME PARTIE

APTITUDES CULTURALES ET MISE EN VALEUR

La mise en valeur des sols est évidemment fonction du climat dont les principaux éléments, température et précipitations, déterminent les spéculations envisageables. Il faut à ce sujet rappeler que pour la région d'Antsirabe la température est un facteur limitant dans le cas de l'utilisation des sols situés en altitude.

En dehors de cette contrainte, générale à la région, les aptitudes culturales des sols dépendent d'un certain nombre de facteurs qui peuvent être intrinsèques (propriétés physiques ou chimiques), ou liés à l'environnement. Sans étudier en détail tous ces facteurs, il faut toutefois attirer l'attention sur certains d'entre eux qui ont, dans le cas des sols de la région étudiée, un rôle primordial dans la mise en valeur.

FACTEURS DE LA FERTILITÉ

— Matière organique

Elle est habituellement considérée comme un facteur important de la fertilité des sols ; elle est en effet source d'azote pour les plantes et intervient dans la structure des horizons superficiels en augmentant généralement la cohésion des agrégats.

Les sols étudiés ont des teneurs en matière organique élevées, et d'autant plus que les sols sont situés à plus haute altitude. Les teneurs sont plus fortes dans les sols formés sur roches volcaniques que dans ceux issus du socle.

Mais ces teneurs élevées en matière organique ne vont pas toujours de pair avec une bonne structure de l'horizon superficiel. Bien au contraire, les andosols et

les sols ferrallitiques humifères qui possèdent des taux de matière organique supérieurs à 10 % ont un horizon humifère à structure massive parfois légèrement polyédrique émoussée, très friable. Ces horizons humifères, caractérisés par un rapport C/N de 14 à 18, correspondent à un humus de type moder (hydromoder ou moder alpin). L'absence de minéraux phylliteux dont découle une impossibilité de formation d'un complexe argilo-humique, pourrait, dans le cas de ces sols, expliquer le manque de structuration des horizons humifères.

La mise en culture ne fait qu'accroître la dégradation de la structure. Sur profil sec, ces horizons sont poudreux et très meubles. Lorsqu'ils sont humides, ils se gorgent d'eau et tout en restant friables, donc facilement pénétrés par les racines, peuvent devenir asphyxiants pour ces dernières.

Ce phénomène, particulièrement à craindre sur les surfaces planes ou très légèrement concaves, rend nécessaire la pratique de semis sur billons. Il est également possible d'effectuer des semis précoces afin que les plantes, ayant atteint un certain développement au moment des grosses pluies, soient moins affectés par l'engorgement des horizons superficiels.

— Complexe absorbant et éléments totaux

Les teneurs en éléments échangeables et totaux (fig. 8 et 9) dans les horizons supérieurs des sols sont d'autant plus faibles que l'évolution du sol est plus prononcée. Élevées dans la plupart des sols peu évolués et dans les andosols, elles deviennent très faibles dans les sols ferrallitiques. Les sols formés sur roches volcaniques sont en général plus riches que ceux formés sur socle. Parmi les sols sur roches volcaniques, ceux développés sur roches basiques sont mieux pourvus en éléments échangeables et totaux que ceux développés sur roches acides.

La capacité d'échange étant en général forte dans les horizons de surface, du fait de leur teneur élevée en matière organique, le taux de saturation du complexe absorbant est faible à très faible.

Dans la plupart des sols cultivables une forte fumure de redressement s'impose. Les essais effectués par l'I.R.A.M. ont montré qu'une fumure comportant 600 kg de P_2O_5 , 330 kg de K_2O et 2,2 t de dolomie par hectare peut être appliquée sur les sols les plus pauvres. Sur les andosols et les sols moyennement désaturés ces doses pourraient être diminuées. Par contre, dans les sols les plus acides (pH de 4,3 à 4,8), dans lesquels des risques de toxicité aluminiques sont à craindre, les amendements calcaires pourraient être plus importants. Seuls des essais localisés sur ces sols permettent de déterminer la fumure de redressement nécessaire à leur mise en valeur.

FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT

Parmi les facteurs de l'environnement influençant directement la mise en valeur des sols il faut souligner le rôle de la topographie. Dans cette région accidentée

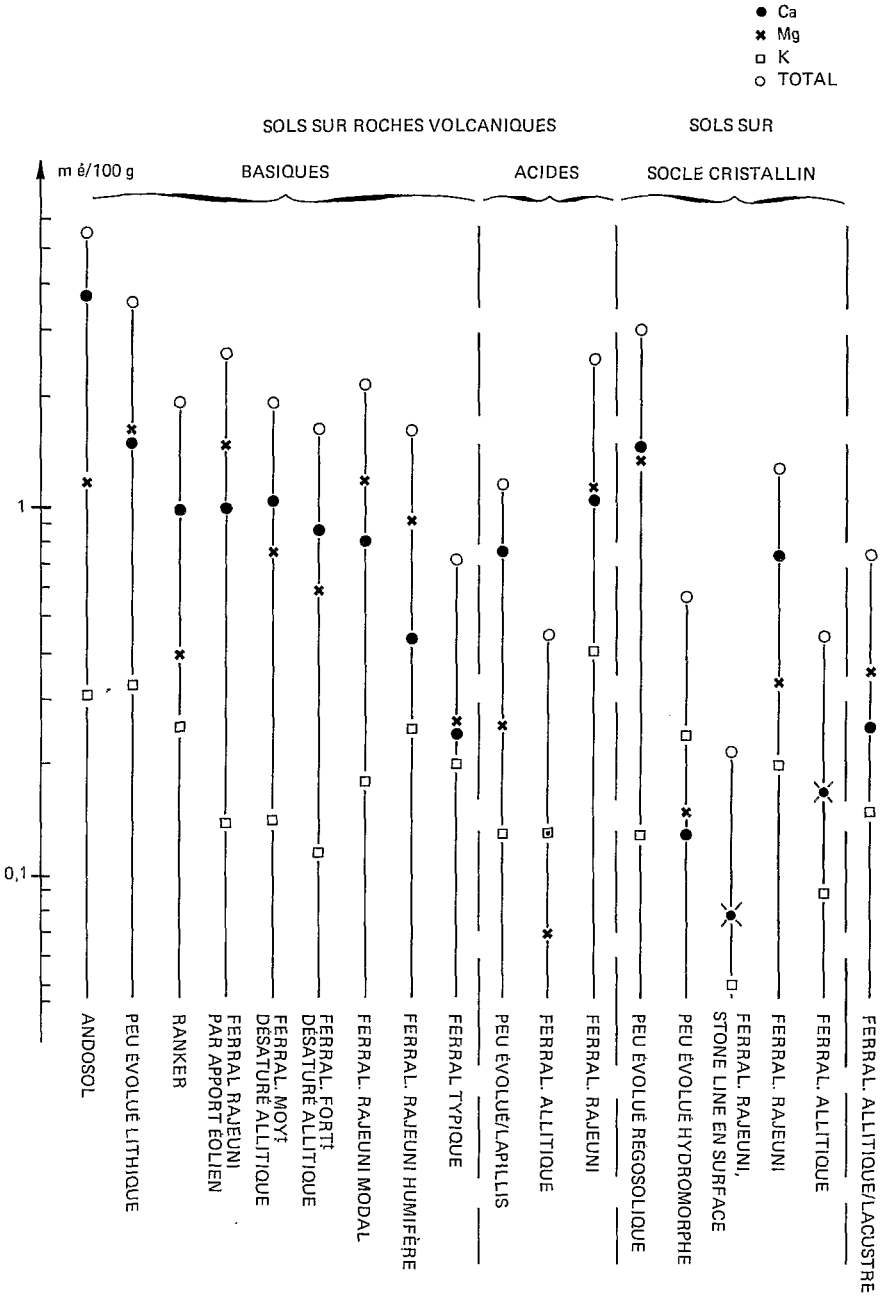


Figure 8
Éléments échangeables dans les horizons humifères

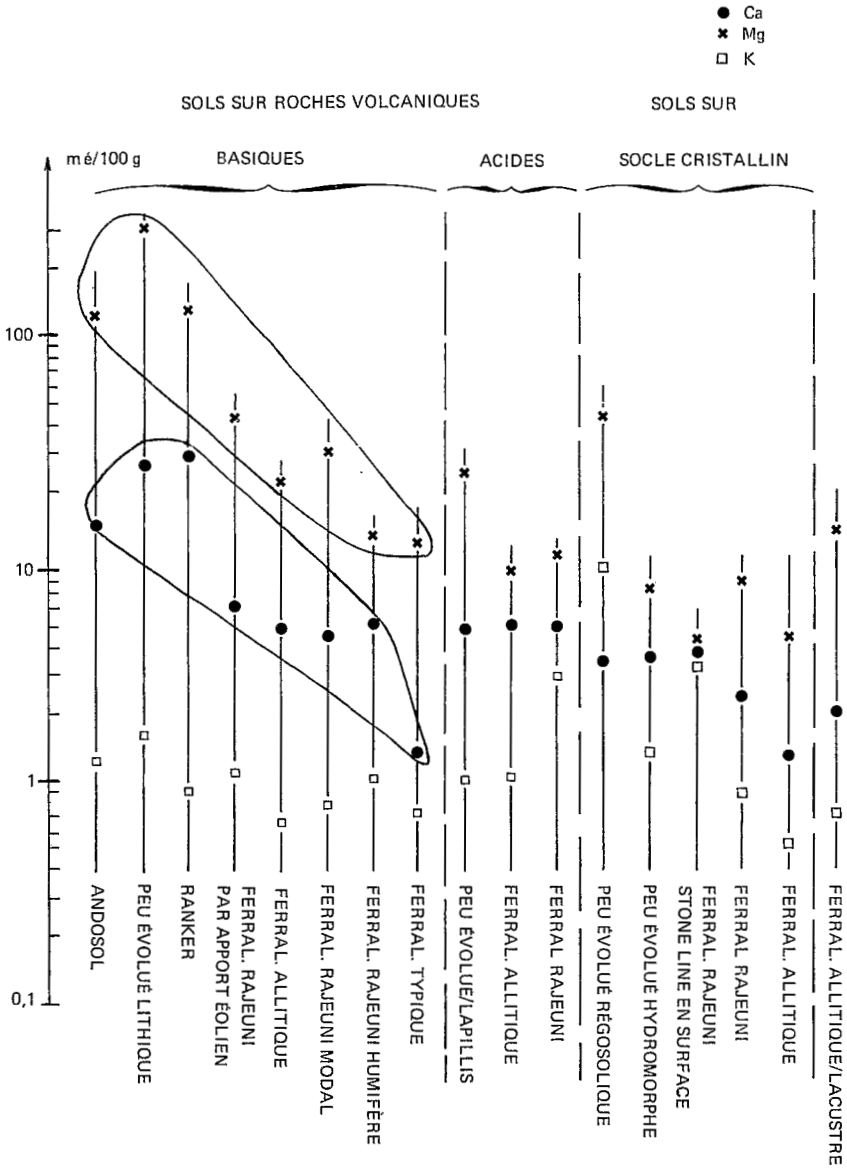


Figure 9
Éléments totaux dans les horizons humifères

la pente, en favorisant l'érosion, est en effet un facteur primordial limitant la mise en culture intensive des sols.

La protection des sols contre l'érosion impose des travaux de conservation d'autant plus importants que la pente est plus forte. Sur les pentes faibles, la culture en billons isohypses est souvent suffisante. Il faut à ce sujet rappeler (travaux de l'I.R.A.M. et du C.T.F.T. sur le ruissellement et les pertes en terre en parcelles élémentaires dans la région de Nanokely (1967)) que les pertes en terre sont 3 à 4 fois plus importantes en culture sur billons traditionnels (billons suivant la ligne de plus grande pente) que sur billons isohypses.

Sur les pentes plus fortes des travaux plus coûteux, allant jusqu'à l'aménagement de terrasses, sont nécessaires.

APTITUDES CULTURALES

En fonction des facteurs intrinsèques et d'environnement, on peut distinguer huit classes d'aptitudes culturelles, leurs répartition étant représentée par la carte d'aptitude culturelle (H. T.).

CLASSE I – Terres de bonne qualité dont l'utilisation pour la culture n'impose pas, ou peu, de travaux de conservation.

Les sols, ferrallitiques allitiques, sont profonds et ont de bonnes propriétés physiques. Ils sont par contre chimiquement pauvres ce qui nécessite une importante fumure de fond, du type de celle recommandée par l'I.R.A.M. sur les sols de la station d'Ambohimandroso (600 kg de P_2O_5 , 330 kg de K_2O , 2,2 t de dolomie par hectare). La topographie plane permet une culture mécanisée intense sans crainte d'érosion des terres.

Toutes les cultures vivrières autorisées par le climat peuvent être pratiquées sur ces sols.

Ils couvrent une surface de 9.150 hectares soit 6,5 % du total.

CLASSE II – Terres de bonne qualité dont l'utilisation pour la culture impose des travaux de conservation plus ou moins importants.

Les terres sont moins pauvres que celles de la classe précédente, mais leur utilisation pour les cultures nécessite des travaux de protection contre l'érosion ou des travaux d'irrigation. Deux sous-classes sont ainsi distinguées :

II1 – Les terres de cette sous-classe sont situées dans une topographie vallonnée impliquant un système anti-érosif allant des cultures en bandes à l'aménagement de terrasses.

Les sols ferrallitiques allitiques sur matériaux volcaniques basiques, bien que désaturés, ont des réserves en éléments totaux moyennes qui autorisent l'emploi d'une fumure moins forte que dans le cas précédent. Les propriétés physiques des sols sont bonnes mais, dans les dépressions, la présence d'un horizon humifère épais se gorgeant d'eau en saison des pluies, rend nécessaire la pratique de cultures sur billons.

Les andosols ont d'importantes réserves en éléments chimiques ; ils sont par contre peu épais et doivent donc être énergiquement protégés contre l'érosion : cultures en bandes sur pente faible, en terrasses sur les pentes un peu plus fortes. Les semis sur billons sont presque toujours nécessaires. Les sols cultivés sont en effet peu perméables (1) et se gorgent d'eau facilement.

Une gamme très large de cultures vivrières peut être envisagée sur ces terres : maïs, haricot, colocale, pomme de terre, etc...

Elles couvrent une superficie de 15.090 hectares soit 10,73 % au total.

II₂ — Les sols de cette sous-classe sont marqués par l'hydromorphie et sont actuellement cultivés en rizière. Diverses cultures peuvent être envisagées en contre-saison : cultures maraîchères lorsque les sols peuvent être irrigués en saison sèche, cultures de céréales ou fourrages lorsque l'irrigation n'est pas possible.

Ces sols occupent une surface de 8.650 hectares soit 6,15 % du total des terres.

CLASSE III — Terres de bonne à moyenne qualité dont l'utilisation pour la culture impose des travaux de conservation plus ou moins importants.

Cette classe comporte des terres dont la mise en culture est limitée par des facteurs tels que : degré de fertilité, topographie, climat. Dans tous les cas, des mesures anti-érosives sont nécessaires.

Les sols ferrallitiques typiques sont chimiquement pauvres mais ont de bonnes propriétés physiques, leur mise en valeur nécessite une importante fumure de fond. Les cultures doivent être faites en bandes, souvent même en terrasses.

Les sols ferrallitiques rajeunis par apport et les andosols sont chimiquement riches mais sont situés sur des pentes telles que leur mise en valeur ne peut être réalisée sans un aménagement important de terrasses. Ils conviennent aux cultures vivrières et surtout maraîchères.

Les sols ferrallitiques allitiques sur projections acides sont situés dans une topographie telle que la pratique de cultures en bandes ou en billons suffit à assurer leur protection contre l'érosion. Ils sont par contre chimiquement très pauvres et une

(1) Des mesures de perméabilité effectuées par la méthode Müntz modifiée Pioger ont donné un coefficient $K = 0,36$ cm/mm pour les sols sous végétation naturelle et $0,037$ cm/mm pour des sols sous cultures.

fumure de fond importante doit être apportée avant leur mise en culture. Le pH, toujours très faible doit être relevé par des amendements calciques importants. Ces sols sont situés dans des régions froides qui limitent le choix des spéculations. Les cultures arbustives sont envisageables.

L'ensemble de ces terres couvre une surface de 24.450 hectares soit 17,39 % du total.

CLASSE IV – Terres de qualité moyenne ou médiocre dont l'utilisation pour la culture impose des travaux plus ou moins importants.

Cette classe correspond à des sols développés sur socle cristallin dans des régions aux pentes plus ou moins fortes.

Les sols ferrallitiques allitiques sont situés sur des reliefs d'aplanissement aux pentes relativement faibles. La culture en bandes suffit à protéger les terres contre l'érosion. Les sols sont chimiquement très pauvres et ont de mauvaises propriétés physiques (structure massive). Moyennant une importante fumure de fond ces sols peuvent porter des cultures vivrières en système intensif.

Les sols rajeunis avec érosion et remaniement ont de meilleures propriétés physiques que les sols précédents, ils sont chimiquement moins pauvres mais sont situés sur des reliefs plus accidentés. Les cultures vivrières ou arbustives sont possibles, à condition de protéger les sols contre l'érosion par l'aménagement de terrasses.

Ces sols couvrent une superficie de 14.200 hectares soit 10,1 % du total.

CLASSE V – Terres de qualité moyenne, pour le pâturage, nécessitant peu de travaux de conservation.

Les sols de cette classe sont pauvres mais le développement de la prairie est favorisé par un climat humide. Ils sont peu épais mais situés sur des pentes faibles, donc sans risque majeur d'érosion. Une réglementation du pâturage serait souhaitable.

Ces sols couvrent une superficie de 5.060 hectares soit 3,6 % du total.

CLASSE VI – Terres médiocres nécessitant d'importants travaux de conservation.

Les sols de cette classe sont des sols ferrallitiques rajeunis avec érosion et remaniement. Ils sont situés sur des pentes assez fortes et ne peuvent être cultivés sans l'aménagement d'un système anti-érosif tel que des banquettes. La présence d'éléments grossiers en surface est souvent défavorable à la mise en culture. Ils peuvent être utilisés en pâturage en évitant les surcharges.

Ces sols couvrent une surface de 11.770 hectares soit 8,37 % du total.

CLASSE VII – Terres à reboiser.

Elles correspondent à des sols situés sur des pentes trop fortes (supérieures à 30°) pour être mis en culture de façon rentable ou pâturés.

Les sols développés sur socle sont souvent plus pauvres et plus facilement érodables que ceux situés sur formations volcaniques. Un reboisement « anti-érosif » ou une mise en défens qui aurait essentiellement pour but d'éviter l'érosion et l'ensablement des vallées aménagées en rizières est préférable sur les premiers ; un reboisement « productif » peut être envisagé sur les seconds.

Ces sols occupent respectivement 24.970 et 16.500 hectares soit 17,76 % et 11,73 % de la totalité des sols de la carte.

CLASSE VIII – Terres inaptées à la mise en valeur.

Elles occupent 9.770 hectares soit 6,95 % de la superficie totale et correspondent essentiellement à des sols minéraux bruts.

CONCLUSION

PÉDOGENESE

L'étude pédologique de la région d'Antsirabe montre que l'action des différents facteurs de la pédogenèse aboutit à l'individualisation des types de sol suivants :

- Les sols minéraux bruts ;

Ce sont des sols d'érosion qui sont pour la plupart situés sur les reliefs résiduels des massifs anciens.

- Les sols peu évolués ;

Ils sont situés sur des pentes en général fortes pour lesquelles la faible évolution morphologique du sol (profil A-C) est attribuable à l'érosion. Cette faible différenciation du profil peut, en particulier dans le cas des sols développés sur lapillis, s'accompagner d'une lixiviation intense des bases et de la silice, donc d'un processus de ferrallitisation.

- Les andosols ;

Ils se sont développés sur les matériaux pyroclastiques basiques les plus récents. Ils sont caractérisés par la présence de produits silico-alumineux amorphes : Ce sont des sols riches en éléments totaux mais dans lesquels la silice est déjà fortement lixiviée.

- Les sols ferrallitiques ;

Ils couvrent la plus grande partie de la zone étudiée. Les sols ferrallitiques moyennement désaturés ont une extension très limitée. Ce sont des sols rajeunis par apport éolien ou des sols situés dans des positions topographiques basses dans lesquels la lixiviation des bases est limitée.

Les sols ferrallitiques fortement désaturés représentent l'évolution normale des sols de la région. Le caractère allitique de certains d'entre eux, résultant d'une lixiviation intense de la silice, s'explique par la nature très perméable de la roche-mère (lapillis ou roche vacuolaire). L'accumulation humifère est favorisée par le climat frais et humide des régions d'altitude, elle est plus importante dans les sols issus de roches volcaniques que dans ceux développés sur socle.

Les sols ferrallitiques rajeunis sont situés sur des pentes relativement fortes dans lesquelles l'érosion tronque la partie supérieure des profils. Le rajeunissement est presque toujours concomittant à un processus de remaniement. Celui-ci s'extériorise dans le profil par une stone-line, surtout dans le cas des sols issus des formations riches en quartz.

— Les sols hydromorphes ;

Ils couvrent de faibles surfaces du fait de l'encaissement du système hydrographique. Le processus pédogénétique fondamental est la redistribution des sesquioxides dans le profil avec parfois immobilisation et concrétionnement.

Le processus pédogénétique influençant le plus fortement l'évolution des sols dans cette région est donc la ferrallitisation. A ce processus géochimique, étroitement lié aux facteurs climatiques, s'oppose un processus essentiellement physique (rajeunissement) qui, dans les régions accidentées, limite les effets de la ferrallitisation par troncature des sols.

Dans le cas particulier des sols formés sur roches volcaniques, l'âge et la texture de la roche-mère sont des facteurs essentiels de l'évolution des sols : les sols les plus évolués se trouvent sur les formations les plus anciennes, ce caractère général étant toutefois nuancé par la nature de ces formations. En effet la lixiviation des bases et de la silice est d'autant plus forte que les roches-mères sont plus perméables. Sur lapillis, elle conduit à l'individualisation des sols ferrallitiques allitiques caractérisés par un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ très faible (souvent proche de 0,1-0,2).

APTITUDES CULTURALES

La mise en valeur des sols dépend de leurs propriétés morphologiques et physico-chimiques mais aussi des facteurs d'environnement tels que climat ou topographie.

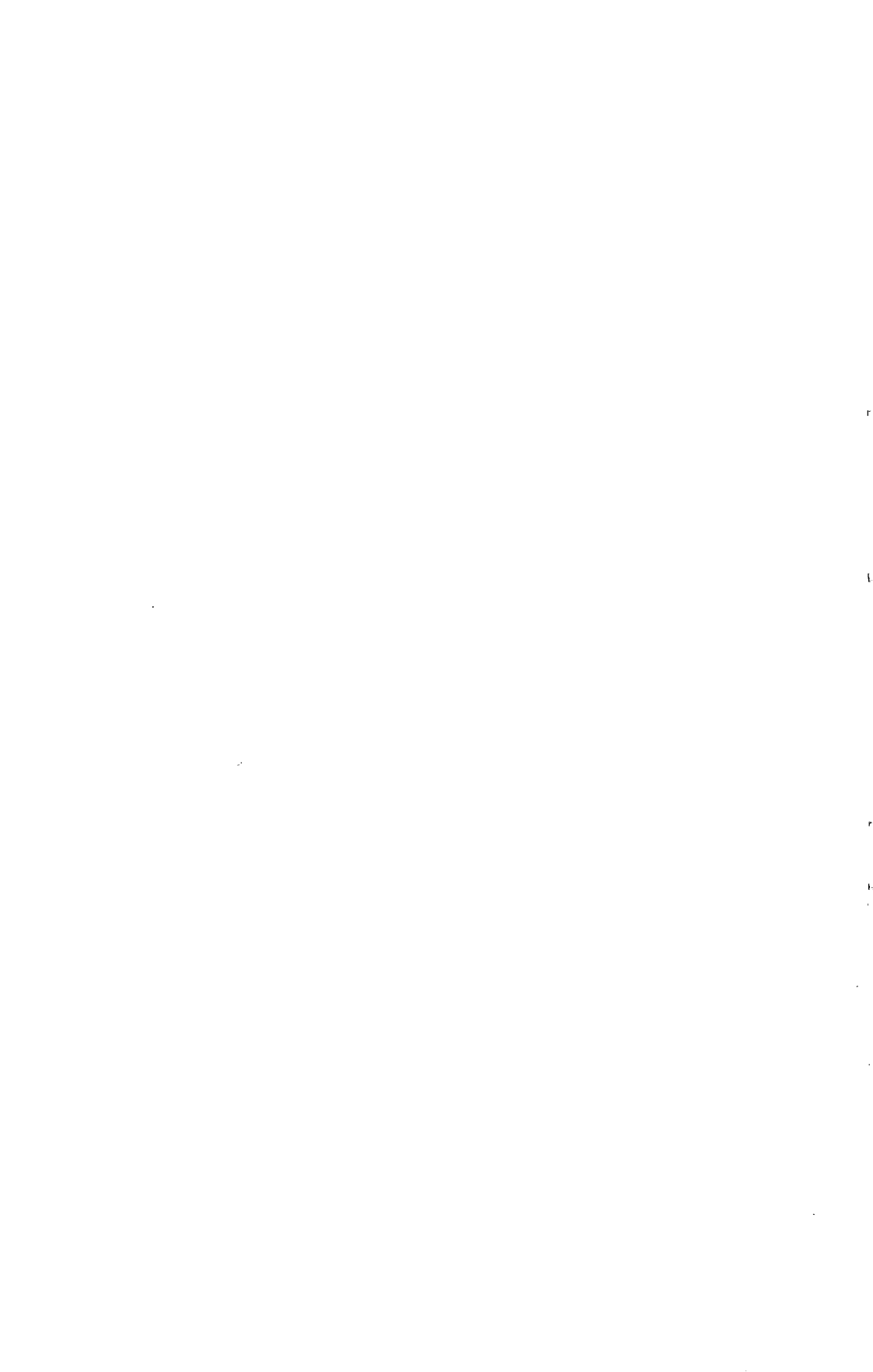
Mis à part les andosols et les sols peu évolués régosoliques, les sols sont pauvres à très pauvres du point de vue chimique, et demandent, lors de leur mise en valeur, d'importantes fumures de fond ainsi que des amendements calciques, ces derniers d'autant plus importants que le pH est plus faible.

Les sols formés sur roches volcaniques ont en général des propriétés physiques plus favorables que celles des sols développés sur socle cristallin, ce qui justifie leur mise en valeur préférentielle.

La topographie accidentée impose, dans la majorité des cas, des mesures anti-érosives ; celles-ci peuvent aller de la simple culture sur billons isohypses, sur les pentes les plus faibles, à l'aménagement de terrasses sur les fortes pentes.

En fonction des facteurs intrinsèques et d'environnement on peut admettre que :

- 71.540 hectares peuvent être mis en culture, parmi lesquels 32.890 de façon continue.
- 16.830 hectares doivent être réservés aux pâturages.
- 41.470 hectares sont à reboiser parmi lesquels 16.500 en reboisement productif.



BIBLIOGRAPHIE

- ALSAC (C.), 1962 – Contribution à l'étude des pouzzolanes de Madagascar. Rapport annuel du service géologique République malgache pp. 209-220.
- ALSAC (C.), 1963 – Étude géologique et prospection de la feuille de Faratsibo. Travaux du bureau géologique n° 112 - Service géologique Tananarive, 24 p. carte à 1/100.000.
- BOURGEAT (F.), 1972 – Sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire. Mémoire O.R.S.T.O.M. n° 57, Paris.
- CORNET (A.), 1972 – Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. O.R.S.T.O.M. Tananarive, 37 p. multigr.
- DONQUE (G.), 1971 – Ebauche de la classification des climats de Madagascar selon les critères de KOPPEN. Revue de géographie, Madagascar, n° 19, pp. 107-122.
- DUFOURNET (R.), 1972 – Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. Revue de géographie, Madagascar, n° 20, pp. 25-118.
- Groupe de travail sur les andosols, 1972 – Proposition de classification des andosols. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. 10, n° 3, pp. 303-304.
- GUIGUES (J.), 1952 – Etude géologique des feuilles Antsirabe - Ambatolampy. Travaux du bureau géologique n° 28 - Tananarive.
- LENOBLE (A.), 1949 – Les dépôts lacustres pliocènes-pleistocènes de l'Ankaratra (Madagascar). Annales géologiques du service des mines, fasc. n° 18.
- MORAT (Ph.), 1969 – Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviométrique d'Emberger. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol., n° 10, pp. 117-132.

- MOTTET (G.), 1972 — Note sur quelques observations dans les terrains volcano-lacustres de la région d'Antsirabe.
Compte rendu de la semaine géologique 1972.
- MOTTET (G.), ZEBROWSKI (Cl.), 1974 — Sur l'extension d'une phase récente de projections acides dans la partie méridionale de l'Ankaratra. Communication à la semaine géologique de Madagascar, 7 p. multigr.
- NOIZET (G.), RANTOANINA (M.), 1963 — Contribution à l'étude géologique de la feuille d'Antsirabe.
Rapport annuel du service géologique — Madagascar, pp. 191-200.
- PERRIER DE LA BATHIE (H.), 1921 — La végétation malgache.
Ann. Mus. Colon. Marseille, 270 p.
- RATZIMBAZAFY (Cl.), 1972 — Interaction potassium-fer dans certains sols de Madagascar.
Cah. O.R.S.T.O.M., série Pédol., vol. IX, n° 2, 111-131.
- RIQUIER (J.), 1958 — Note sur l'évapotranspiration de Thorthwaite et le bilan hydrique des sols.
Le naturaliste malgache, tome X, fasc. 1-2 pp. 1-18.
- SEGALEN (P.), 1968 — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux.
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol 6, n° 1, pp. 105-126.
- VERGNETTE (de), BAILLY (C.), BENOIT de COIGNAC (G.) et ROCHE (P.), 1967 — Note résumant les expérimentations réalisées à Madagascar sur le ruissellement et les pertes en terre en parcelles élémentaires.
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive (Madagascar) pp. 1343-1361.
- ZEBROWSKI (Cl.), 1974 — Contribution pédologique à la chronologie des éruptions volcaniques dans la région de Betafo-Antsirabe. Communication à la semaine géologique de Madagascar. 10 p. multigr.

ANNEXES ANALYTIQUES

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 59

CLASSIFICATION : Sol peu évolué humifère - ranker
à moder sur matériaux volcani-
ques.

	échantillon profondeur	591 0-20	592 30-40	593 40-60
granulométrie en %	humidité	11,6	11,2	10,9
	argile	0,3	12,3	8,5
	limon fin	18,2	16,7	12,2
	limon grossier	6,8	6,7	8,7
	sable fin	6,6	10,0	18,5
	sable grossier	6,9	30,0	
Matières organiques en %	carbone	137,5	64,3	21,2
	matière organique	237	111	36,6
	azote	9,5	4,5	1,7
	C/N	14,5	14,3	12,8
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	5,5	6,0	6,3
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,99	0,06	0,52
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,4	0,0	0,0
	Potassium K ⁺	0,26	0,08	0,14
	Sodium Na ⁺	0,34	0,08	0,52
	S	1,99	0,22	1,18
	T	32,8	17,8	16,6
	V %	6,1	1,2	7,1
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	34,30	19,88	14,30
	Résidu	22,71	22,15	17,41
	Silice SiO ₂	9,65	14,12	19,60
	Alumine Al ₂ O ₃	16,16	19,26	22,53
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,0	1,2	1,5
	Fer Fe ₂ O ₃	12,70	17,50	19,30
	Titane TiO ₂	2,7	2,8	3,7
	Calcium Ca ⁺⁺	28,4	59,9	73,9
	Magnésium Mg ⁺⁺	131,4	242,7	293,2
	Potassium K ⁺	0,85	0,40	0,75
Sodium Na ⁺	2,75	3,63	6,00	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 52
ATZ 53

CLASSIFICATION : Sol peu évolué non climatique
d'érosion régosolique sur maté-
riau pyroclastique acide.

	échantillon profondeur	521 0-20	522 20-40	531 0-20	532 30-40
granulométrie en %	humidité	9,4	4,4	7,3	4,6
	argile	17,5	6,0	15,9	5,9
	limon fin	25,5	19,5	21,6	21,1
	limon grossier	12,7	19,4	16,0	17,6
	sable fin	11,7	22,3	16,1	21,4
	sable grossier	11,1	26,6	16,1	25,5
Matières organiques en ‰	carbone	67,1	7,4	46,8	8,6
	matière organique	117,2	12,7	80,8	14,9
	azote	3,7	0,67	3,6	0,8
	C/N	18	11	13	10
	acides humiques acides fulviques				
Acidité	PH eau 2/5	5,1	5,2	5,4	6,0
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,36	0,63	1,18	0,49
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,0	0,14	0,5	0,0
	Potassium K ⁺	0,15	0,11	0,12	0,03
	Sodium Na ⁺	0,0	0,01	0,0	0,0
	S	0,51	0,89	1,80	0,52
	T	22,0	9,9	16,4	5,7
	V %	2,3	9,0	11,0	9,1
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	19,7	6,1	12,4	5,3
	Résidu	46,0	64,0	67,5	77,0
	Silice SiO ₂	8,0	10,6	5,1	4,5
	Alumine Al ₂ O ₃	15,4	10,9	9,3	8,5
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,9	1,7	0,9	0,9
	Fer Fe ₂ O ₃	10,1	8,3	5,7	5,5
	Titane TiO ₂	1,7	1,7	0,8	0,7
	Calcium Ca ⁺⁺	2,20	4,90	7,40	4,20
	Magnésium Mg ⁺⁺	9,60	6,80	36,50	15,60
	Potassium K ⁺	1,00	2,40	0,90	1,75
Sodium Na ⁺	3,25	4,25	4,25	4,50	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 12

CLASSIFICATION : Sol peu évolué - non climatique -
d'érosion régosolique - sur socle
cristallin.

	échantillon profondeur	121 0-10	122 20-30	123 60-70
granulométrie en %	humidité	1,8	1,8	2,5
	argile.	17,9	2,7	4,2
	limon fin	21,0	13,0	18,5
	limon grossier	9,6	7,4	10,0
	sable fin	24,4	32,8	44,7
	sable grossier	25,1	44,0	22,0
Matières organiques en ‰	carbone	4,9	0,3	0,2
	matière organique	8,5	0,5	0,3
	azote	0,24	0,04	0,01
	C/N	20	7,8	19
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	5,5	6,2	6,3
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	1,19	1,56	2,62
	Magnésium Mg ⁺⁺	1,91	2,20	3,24
	Potassium K ⁺	0,12	0,14	0,20
	Sodium Na ⁺	0,03	0,09	0,08
	S	3,25	3,99	6,14
	T	3,30	4,0	5,5
	V %	99	100	—
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	8,39	6,91	8,97
	Résidu	40,16	40,70	23,75
	Silice SiO ₂	19,70	24,54	29,70
	Alumine Al ₂ O ₃	18,24	19,46	23,04
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,8	2,1	2,2
	Fer Fe ₂ O ₃	10,60	6,15	10,40
	Titane TiO ₂	1,3	0,9	2,3
	Calcium Ca ⁺⁺	2,60	2,00	3,40
	Magnésium Mg ⁺⁺	41,40	56,10	89,00
	Potassium K ⁺	8,60	19,00	22,50
Sodium Na ⁺	0,25	0,25	0,77	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 91

CLASSIFICATION : Sol peu évolué - non climatique -
d'érosion hydromorphe sur socle
cristallin.

	échantillon profondeur	911 0-20	912 50-60	913 75-80
granulométrie en %	humidité		3,5	2,0
	argile,		13,2	14,8
	limon fin		8,3	7,6
	limon grossier		10,1	8,6
	sable fin		26,4	30,0
	sable grossier		30,3	32,1
Matières organiques en $\frac{\circ}{\circ\circ}$	carbone	65,8	27,3	4,7
	matière organique	113,4	47,1	8,1
	azote	3,5	1,4	0,8
	C/N	18,8	19,5	5,9
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	5,1	5,1	5,2
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,13	0,13	0,13
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,14	0,00	0,06
	Potassium K ⁺	0,20	0,03	0,02
	Sodium Na ⁺	0,04	0,04	0,03
	S	0,51	0,20	0,24
	T	24,15	12,57	6,54
	V %	2,1	1,6	3,7
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	16,80	9,89	7,49
	Résidu	68,02	72,25	69,88
	Silice SiO ₂	5,90	7,30	8,60
	Alumine Al ₂ O ₃	7,60	9,50	12,80
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,3	1,3	1,1
	Fer Fe ₂ O ₃	3,13	3,50	3,50
	Titane TiO ₂	0,6	0,4	0,3
	Calcium Ca ⁺⁺	5,0	7,5	5,0
	Magnésium Mg ⁺⁺	7,0	8,4	5,4
	Potassium K ⁺	0,96	0,96	0,96
Sodium Na ⁺	2,5	1,4	2,5	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 104

CLASSIFICATION : Andosol différencié désaturé mé-
lanique sur matériaux pyroclasti-
ques basiques.

	échantillon profondeur	1041 0-10	1042 20-30	1043 40-50
granulométrie en %	humidité	9,6	9,9	12,9
	argile	11,1	16,3	2,7
	limon fin	30,6	24,6	21,2
	limon grossier	9,2	10,3	12,8
	sable fin	14,4	14,3	20,4
	sable grossier	16,4	16,6	31,8
Matières organiques en ‰	carbone	67,1	66,3	28,9
	matière organique	115,7	114,3	49,8
	azote	4,3	4,7	2,6
	C/N	15,6	14,1	11,1
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	6,0	5,9	6,5
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	1,37	1,12	1,25
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,51	0,25	0,35
	Potassium K ⁺	0,12	0,03	0,01
	Sodium Na ⁺	0,03	0,04	0,04
	S	2,03	1,44	1,65
	T	12,2	14,2	6,8
	V %	16,6	10,2	24,3
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu		22,2	17,8
	Résidu		35,1	24,4
	Silice SiO ₂		12,2	14,4
	Alumine Al ₂ O ₃		11,5	17,2
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1,8	1,4
	Fer Fe ₂ O ₃		11,1	16,0
	Titane TiO ₂			
	Calcium Ca ⁺⁺		11,9	23,8
	Magnésium Mg ⁺⁺		—	—
	Potassium K ⁺		0,64	1,28
Sodium Na ⁺		2,06	4,24	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 21

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique - moyennement
désaturé rajeuni par apport éolien -
sur matériau volcanique basique.

	échantillon profondeur	211 0-20	212 30-40	213 60-80	214 100-120	215 180-200
granulométrie en %	humidité	7,0	9,1	5,1	4,4	7,9
	argile	51,6	49,8	61,5	63,7	24,5
	limon fin	16,0	19,0	13,3	13,0	19,3
	limon grossier	5,3	5,6	5,5	5,2	9,8
	sable fin	6,0	5,7	4,7	5,0	17,3
	sable grossier	6,1	5,6	8,6	8,3	19,6
Matières organiques en ‰	carbone	43,5	34,4	5,6	2,8	0,83
	matière organique	75,1	59,3	9,6	4,8	1,4
	azote	2,81	2,06	0,52	0,43	0,11
	C/N	15,5	16,7	10,8	6,4	7,5
	acides humiques acides fulviques					
Acidité	PH eau 2/5	5,4	5,7	6,6	6,5	6,0
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,96	2,24	1,84	0,70	1,77
	Magnésium Mg ⁺⁺	1,82	2,16	3,72	3,44	6,64
	Potassium K ⁺	0,10	0,08	0,05	0,03	0,58
	Sodium Na ⁺	0,00	0,03	0,03	0,00	0,01
	S	2,88	4,51	5,64	4,17	9,00
	T	21,9	16,4	12,1	8,7	12,00
	V %	13,1	27,5	46,5	48,0	75,3
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	15,61	15,02	9,00	9,22	7,80
	Résidu	18,28	16,08	20,27	21,45	21,45
	Silice SiO ₂	17,20	15,98	21,97	18,31	23,28
	Alumine Al ₂ O ₃	21,92	24,10	24,64	24,77	22,46
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,3	1,1	1,5	1,3	1,8
	Fer Fe ₂ O ₃	19,6	20,6	19,4	19,5	19,10
	Titane TiO ₂	5,1	5,0	5,0	4,9	4,8
	Calcium Ca ⁺⁺	7,6	7,2	4,4	3,6	5,3
	Magnésium Mg ⁺⁺	45,7	54,5	21,7	18,8	30,8
	Potassium K ⁺	1,25	1,25	0,75	0,75	2,6
	Sodium Na ⁺					

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 13

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique - moyennement
désaturé - allitique - humifère sur
coulée volcanique basique.

	échantillon profondeur	131 0-20	132 40-60	133 80-100
granulométrie en %	humidité	11,5	7,1	4,6
	argile	16,1	50,7	49,5
	limon fin	31,1	22,5	10,7
	limon grossier	11,1	8,1	9,9
	sable fin	7,8	4,6	6,6
	sable grossier	6,6	5,1	6,4
Matières organiques en ‰	carbone	66,20	15,85	4,39
	matière organique	114,1	27,3	7,6
	azote	4,8	0,98	0,69
	C/N	13,8	16,2	6,4
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	5,1	5,7	6,1
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,12	1,38	0,98
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,11	0,98	0,73
	Potassium K ⁺	0,09	0,08	0,02
	Sodium Na ⁺	0,00	0,02	0,01
	S	0,32	2,46	1,74
	T	23,2	10,04	3,77
	V %	1,4	24,5	46,2
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	22,8	15,32	14,64
	Résidu	24,54	20,83	16,58
	Silice SiO ₂	11,00	10,85	10,82
	Alumine Al ₂ O ₃	20,16	26,46	28,58
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,9	0,7	0,6
	Fer Fe ₂ O ₃	17,50	23,25	24,35
	Titane TiO ₂	4,8	6,0	6,5
	Calcium Ca ⁺⁺	4,5	2,3	1,8
	Magnésium Mg ⁺⁺	17,0	18,9	14,8
	Potassium K ⁺	1,00	0,60	0,70
Sodium Na ⁺	0,12	0,25	0,50	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ABR 3

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique moyennement
désaturé en B, hydromorphe sur
matériau volcanique.

	échantillon profondeur	31 0-20	32 20-60	33 60-90	34 90-150
granulométrie en %	humidité	11,2	13,6	9,2	6,2
	argile	25,5	29,0	21,2	43,0
	limon fin	30,2	30,6	33,2	19,7
	limon grossier	10,1	8,6	6,8	9,1
	sable fin	9,8	7,0	8,5	10,9
	sable grossier	4,7	4,0	7,4	6,2
Matières organiques en ‰	carbone	54,03	49,9	38,98	7,91
	matière organique	93,15	86,03	67,20	13,64
	azote	3,98	3,92	2,59	0,77
	C/N	13,6	12,7	15,1	10,3
	acides humiques	6,47	8,89	6,02	
acides fulviques	4,12	1,45	4,86		
Acidité	PH eau 2/5	6,3	6,6	6,5	6,5
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	9,59	3,19	2,92	1,19
	Magnésium Mg ⁺⁺	3,53	3,55	1,92	1,08
	Potassium K ⁺	0,34	0,06	0,05	0,05
	Sodium Na ⁺	0,06	0,04	0,06	0,06
	S	13,52	6,84	4,95	2,38
	T	28,50	27,12	21,62	9,60
	V %	47,8	25,2	22,9	24,8
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	20,75	20,70	19,97	17,20
	Résidu	15,46	18,21	17,97	10,95
	Silice SiO ₂	18,19	16,12	9,60	7,34
	Alumine Al ₂ O ₃	24,96	24,48	26,40	31,10
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,2	1,1	0,6	0,4
	Fer Fe ₂ O ₃	17,10	17,30	22,75	27,65
	Titane TiO ₂	6,3	6,2	3,6	9,2
	Calcium Ca ⁺⁺	17,50	4,80	5,20	3,10
	Magnésium Mg ⁺⁺	29,50	31,90	34,00	27,10
	Potassium K ⁺	2,40	2,05	0,80	0,90
Sodium Na ⁺	2,25	1,00	2,00	2,25	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 73
ATZ 9

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé, typique rajeuni, sur matériau volcanique.

	échantillon profondeur	731 0-10	732 20-40	733 90-100	91 0-10	92 20-30	93 80-90	94 130-140
granulométrie en %	humidité	5,7	5,4	5,1	3,5	2,6	3,1	3,2
	argile	51,1	54,7	41,1	49,1	54,1	50,2	39,8
	limon fin	11,7	10,9	22,5	15,1	16,3	18,5	17
	limon grossier	2,0	3,0	19,3	13,3	13,2	11,7	12,7
	sable fin	7,0	6,0	11,3	5,2	4,2	5,2	21,1
	sable grossier	11,1	11,4	2,4	6,9	5,9	5,8	5,1
Matières organiques en $\frac{O}{OO}$	carbone	44,8	17,2		37,06	14,32	2,72	1,50
	matière organique	77,2	29,7		63,9	24,7	4,7	2,6
	azote	3,1	1,3		2,84	1,32	0,52	0,28
	C/N	14,5	13,2		13,0	10,8	5,2	5,4
	acides humiques acides fulviques							
Acidité	PH eau 2/5	4,9	5,1	5,4	4,8	5,1	5,1	5,2
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,25	0,13	0,13	0,39	0,13	0,06	0,08
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,44	0,25	0,11	0,21	0,00	0,14	0,16
	Potassium K ⁺	0,29	0,03	0,08	0,22	0,08	0,11	0,12
	Sodium Na ⁺	0,03	0,06	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01
	S	1,01	0,47	0,36	0,83	0,22	0,33	0,37
	T	18,08	13,14	7,04	11,95	9,79	7,31	6,84
	V %	5,6	3,6	5,1	6,9	2,2	4,5	5,4
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu		15,28	12,66	14,10	11,10	9,05	10,92
	Résidu		19,06	0,41	38,11	36,50	31,34	12,40
	Silice SiO ₂		20,00	30,25	16,85	19,40	24,16	19,65
	Alumine Al ₂ O ₃		23,00	26,88	18,30	21,12	22,24	26,88
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1,5	1,9	1,6	1,6	1,8	1,9
	Fer Fe ₂ O ₃		15,6	22,6	10,35	10,60	11,25	15,30
	Titane TiO ₂							
	Calcium Ca ⁺⁺		2,80	5,95	0,80	1,00	—	1,00
	Magnésium Mg ⁺⁺		10,28	14,39	12,30	7,70	—	13,20
	Potassium K ⁺		0,73	0,50	0,40	0,25	—	0,40
Sodium Na ⁺		1,45	1,20	0,62	0,77	—	0,62	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 60
ATZ 25

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé, allitique humifère, sur coulées basiques.

	échantillon profondeur	601 0-20	602 30-50	603 60-75	251 0-20	252 40-60	253 80-100	254 140-150
granulométrie en %	humidité	9,6	7,9	7,9	11,0	6,5	3,1	0,6
	argile	27,8	21,1	19,1	21,7	20,2	37,4	17,8
	limon fin	30,5	33,7	28,2	33,2	22,4	28,4	15,4
	limon grossier	5,4	10,7	10,3	6,7	12,0	11,8	21,5
	sable fin	5,7	11,1	14,3	4,8	13,5	11,6	16,0
	sable grossier	4,3	7,4	18,8	4,7	7,0	7,1	23,1
Matières organiques en ‰	carbone	95,48	39,34	7,89	110,0	32,34	5,27	1,93
	matière organique	165	67,8	13,6	189	55,7	9,1	3,3
	azote	6,2	2,5	0,7	6,3	1,9	1,1	0,9
	C/N	15,4	15,5	11,1	17,4	17,4	4,7	2,1
	acides humiques acides fulviques							
Acidité	PH eau 2/5	4,9	6,1	6,4	5,3	5,8	6,4	6,5
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,04	0,00	0,27	1,04	0,17	0,07	0,10
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,00	0,00	0,00	0,45	0,16	0,00	0,00
	Potassium K ⁺	0,11	0,07	0,11	0,06	0,01	0,00	0,03
	Sodium Na ⁺	0,08	0,31	0,82	0,01	0,00	0,00	0,00
	S	0,23	0,38	1,20	1,56	0,34	0,07	0,13
	T	25,5	13,3	8,97	26,6	9,43	2,88	4,47
	V %	0,9	2,9	13,4	5,9	3,6	2,4	2,9
Eléments totaux TRIACIDÉ en % en mé/100 g	Perte au feu	28,65	21,17	18,41	31,80	22,01	21,48	19,48
	Résidu	17,59	12,88	4,41	16,77	13,03	9,00	3,01
	Silice SiO ₂	5,10	3,65	7,76	8,61	3,54	3,90	3,27
	Alumine Al ₂ O ₃	24,54	31,87	31,30	22,72	32,64	36,90	34,72
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,4	0,2	0,4	0,6	0,2	0,2	0,2
	Fer Fe ₂ O ₃	20,35	27,75	31,25	18,75	25,90	26,85	34,00
	Titane TiO ₂	3,5	4,7	5,6	3,5	3,8	3,8	5,5
	Calcium Ca ⁺⁺	5,5	2,8	2,1	4,4	2,4	1,8	1,0
	Magnésium Mg ⁺⁺	20,9	30,6	113,5	34,0	35,5	20,5	63,1
	Potassium K ⁺	0,5	0,4	0,3	0,30	0,30	0,20	0,10
Sodium Na ⁺	1,9	2,1	2,5	0,25	0,50	1,00	0,1	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 77

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé - allitique humifère sur matériaux pyroclastiques acides.

	échantillon profondeur	771 0-15	772 25-40	773 80-95	774 140-150
granulométrie en %	humidité	7,0	6,1	9,2	11,8
	argile	26,7	33,4	41,7	30,9
	limon fin	30,7	28,6	17,7	26,7
	limon grossier	6,2	6,9	4,9	13,1
	sable fin	7,3	8,7	7,3	7,8
	sable grossier	5,7	6,9	15,7	7,6
Matières organiques en ‰	carbone	60,8	34,3	1,8	
	matière organique	104,8	59,1	3,1	
	azote	4,5	2,1	0,6	
	C/N	13,5	16,3	3,0	
	acides humiques acides fulviques				
Acidité	PH eau 2/5	4,4	5,2	5,5	5,0
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,13	0,13	0,75	1,19
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,06	0,06	0,00	1,13
	Potassium K ⁺	0,13	0,06	0,17	0,30
	Sodium Na ⁺	0,05	0,05	0,11	0,08
	S	0,37	0,30	1,03	2,70
	T	20,92	11,23	12,73	16,85
	V %	1,8	2,7	8,1	16,0
Eléments totaux TRIACIDE en %	Perte au feu	29,00	25,02	16,68	14,42
	Résidu	11,38	11,35	5,55	3,07
	Silice SiO ₂	10,40	10,50	29,60	35,80
	Alumine Al ₂ O ₃	30,70	37,30	37,80	35,90
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,6	0,5	1,3	1,7
	Fer Fe ₂ O ₃	15,50	16,50	9,00	8,00
	Titane TiO ₂	3,3	3,3	1,5	1,4
	Calcium Ca ⁺⁺	5,0	5,0	5,0	5,0
	Magnésium Mg ⁺⁺	8,4	11,5	10,7	8,8
	Potassium K ⁺	0,96	0,64	1,9	1,9
en mé/100 g	Sodium Na ⁺	1,2	1,4	1,4	2,5

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 28

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé allitique.

	échantillon profondeur	281 0-20	282 30-40	283 90-110	284 150-170	285 190-210	286 250-270
granulométrie en %	humidité	5,8	4,1	2,1	1,6	3,4	4,0
	argile	30,5	52,8	72,7	45,1	48,7	8,4
	limon fin	32,6	14,4	6,3	18,9	15,3	16,7
	limon grossier	7,5	4,7	3,1	4,2	5,0	8,8
	sable fin	8,5	7,2	6,2	13,8	10,9	29,3
	sable grossier	6,4	8,0	6,8	15,2	16,4	31,8
Matières organiques en ‰	carbone	53,20	26,98				
	matière organique	91,7	46,5				
	azote	3,85	1,75				
	C/N	13,8	15,4				
	acides humiques acides fulviques						
Acidité	PH eau 2/5	5,1	5,1	5,5	5,2	5,2	4,9
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,51	0,04	0,11	0,63	0,40	0,92
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,49	0,00	0,03	0,05	0,86	1,66
	Potassium K ⁺	0,19	0,12	0,04	0,05	0,09	0,18
	Sodium Na ⁺	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04
	S	1,20	0,17	0,18	0,74	1,36	2,80
	T	19,17	11,53	3,74	3,56	10,12	16,15
	V %	6,3					
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	23,05	19,40	18,92	17,55	14,05	10,91
	Résidu	20,73	22,30	14,74	13,89	15,38	23,60
	Silice SiO ₂	15,68	13,74	13,25	17,96	27,92	29,57
	Alumine Al ₂ O ₃	26,88	30,40	35,52	35,20	31,78	26,66
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,0	0,8	0,6	0,9	1,5	1,9
	Fer Fe ₂ O ₃	13,50	14,00	17,25	15,00	10,50	9,75
	Titane TiO ₂	2,6	2,7	2,3	2,4	2,1	1,8
	Calcium Ca ⁺⁺	1,8	4,9	0,8	2,3	1,8	4,5
	Magnésium Mg ⁺⁺	15,5	13,1	9,5	9,0	11,0	16,5
	Potassium K ⁺	1,1	1,5	0,5	0,8	0,9	1,5
Sodium Na ⁺	0,5	4,0	1,1	0,5	0,5	0,8	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 6

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé - allitique avec érosion et remaniement sur migmatites.

	échantillon profondeur	61 0-10	62 20-40	63 60-80	64 100-110	65 150-160
granulométrie en %	humidité	3,5	2,4	1,7	0,7	0,7
	argile	33,2	46,1	46,7	45,2	28,2
	limon fin	18,2	13,1	15,7	14,5	22,7
	limon grossier	5,2	6,4	4,4	5,7	7,3
	sable fin	9,1	8,2	9,7	10,1	20,2
	sable grossier	19,7	20,8	19,7	22,8	18,1
Matières organiques en %/oo	carbone	43,84	16,76	6,99	0,43	
	matière organique	75,6	28,9	12,0	0,74	
	azote	2,18	1,13	0,46	0,18	
	C/N	20,1	14,8	15,2	2,4	
	acides humiques acides fulviques					
Acidité	PH eau 2/5	5,1	5,4	5,7	5,8	5,6
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,26	0,11	0,05	0,07	0,12
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,34	0,20	0,18	0,19	0,13
	Potassium K ⁺	0,13	0,03	0,02	0,02	0,03
	Sodium Na ⁺	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
	S	0,76	0,37	0,27	0,30	0,29
	T	12,41	8,00	4,29	0,76	1,54
	V %	6,1	4,6	6,3	39,5	18,8
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	18,41	15,40	14,30	14,08	12,90
	Résidu	38,11	38,99	37,84	28,34	18,45
	Silice SiO ₂	8,49	8,91	9,47	15,63	26,99
	Alumine Al ₂ O ₃	23,04	24,38	26,08	29,28	31,04
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,6	0,6	0,6	0,9	1,5
	Fer Fe ₂ O ₃	9,90	10,75	11,15	10,10	10,10
	Titane TiO ₂	2,0	3,1	2,5	2,3	2,1
	Calcium Ca ⁺⁺	1,2	2,0	1,3	1,1	1,0
	Magnésium Mg ⁺⁺	4,7	2,6	2,4	2,2	2,0
	Potassium K ⁺	0,50	0,40	0,25	0,25	0,15
Sodium Na ⁺	0,25	0,50	0,25	0,62	0,25	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 41

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé rajeuni modal sur matériau volcanique basique.

	échantillon profondeur	411 0-5	412 15-25	413 45-55	414 90-100	415 190-200
granulométrie en %	humidité	5,3	5,4	5,8	7,4	7,8
	argile	52,2	57,2	43,4	20,9	21,4
	limon fin	20,2	17,5	25,7	30,0	34,2
	limon grossier	12,0	10,5	12,8	16,0	15,9
	sable fin	3,3	4,0	7,8	17,6	18,3
	sable grossier	2,3	2,3	2,1	8,1	3,6
Matières organiques en ‰	carbone	37,64	22,27	5,09	1,09	
	matière organique	64,9	38,4	8,8	1,9	
	azote	2,52	1,50	0,43	0,10	
	C/N	14,9	14,8	11,8	10,9	
	acides humiques acides fulviques					
Acidité	PH eau 2/5	5,0	5,1	5,2	5,1	5,2
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,90	0,60	0,61	1,35	0,39
	Magnésium Mg ⁺⁺	2,02	0,42	0,68	1,38	3,34
	Potassium K ⁺	0,22	0,07	0,05	0,05	0,06
	Sodium Na ⁺	0,01	0,00	0,02	0,03	0,06
	S	3,15	1,09	1,36	2,81	3,85
	T	15,26	12,84	12,13	15,58	14,81
	V %	20,6	8,5	11,2	18,0	26,0
Eléments totaux TRIACIDE en %	Perte au feu	16,12	14,38	12,20	10,89	10,85
	Résidu	2,00	1,70	0,90	0,50	0,75
	Silice SiO ₂	30,35	32,65	33,05	31,75	32,77
	Alumine Al ₂ O ₃	25,70	27,90	27,78	27,14	26,66
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1
	Fer Fe ₂ O ₃	24,25	24,0	22,56	27,40	26,25
	Titane TiO ₂	4,0	2,8	4,8	5,3	5,2
	Calcium Ca ⁺⁺	6,9	7,3	6,8	6,8	7,5
	Magnésium Mg ⁺⁺	50,0	39,7	55,0	69,0	57,2
	Potassium K ⁺	1,15	1,00	0,80	0,65	1,00
Sodium Na ⁺	1,12	1,6	3,5	3,5	2,8	
en mé/100 g						

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 79

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique - fortement désaturé - rajeuni humifère - sur matériaux volcaniques basiques.

	échantillon profondeur	791 0-15	792 30-40	793 90-110
granulométrie en %	humidité	9,0	11,4	10,1
	argile	34,7	38,2	6,1
	limon fin	26,8	30,2	26,6
	limon grossier	2,1	5,7	23,0
	sable fin	2,3	2,2	20,1
	sable grossier	1,4	1,1	17,4
Matières organiques en %	carbone	73,3	35,6	
	matière organique	126,4	61,4	
	azote	5,6	3,6	
	C/N	13,1	9,9	
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	4,8	5,2	5,2
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,44	0,13	0,66
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,93	0,20	0,74
	Potassium K ⁺	0,25	0,10	0,10
	Sodium Na ⁺	0,05	0,05	0,08
	S	1,67	0,48	1,58
	T	29,7	9,74	14,7
	V %	5,6	4,9	10,8
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu μ	29,9	24,39	12,55
	Résidu	5,20	3,70	0,65
	Silice SiO ₂	25,00	28,50	38,20
	Alumine Al ₂ O ₃	23,60	26,00	27,40
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,8	1,9	2,4
	Fer Fe ₂ O ₃	13,75	15,50	16,50
	Titane TiO ₂	2,7	2,8	2,9
	Calcium Ca ⁺⁺	5,0	2,5	5,0
	Magnésium Mg ⁺⁺	12,3	13,4	62,7
	Potassium K ⁺	0,96	1,60	0,96
	Sodium Na ⁺	1,41	1,41	1,41

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 80

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique - fortement désaturé - rajeuni humifère - sur matériaux volcaniques acides.

	échantillon profondeur	801 0-15	802 25-35	803 100-120
granulométrie en %	humidité	6,4	4,2	2,8
	argile.	33,0	33,4	14,4
	limon fin	18,5	22,3	20,7
	limon grossier	8,7	9,7	9,9
	sable fin	8,7	11,0	14,3
	sable grossier	9,5	16,3	39,0
Matières organiques en ‰	carbone	71,8	16,8	1,8
	matière organique	123,8	29,0	3,1
	azote	4,0	1,2	0,6
	C/N	18,0	14,0	3,0
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	5,6	5,5	5,9
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	1,06	0,13	0,13
	Magnésium Mg ⁺⁺	1,09	0,04	0,04
	Potassium K ⁺	0,43	0,06	0,21
	Sodium Na ⁺	0,05	0,08	0,10
	S	2,63	0,31	0,48
	T	18,52	9,18	3,45
	V %	14,2	3,4	13,9
Eléments totaux TRIACIDE en %	Perte au feu	21,67	11,97	7,98
	Résidu	41,20	44,65	53,87
	Silice SiO ₂	16,90	18,50	17,80
	Alumine Al ₂ O ₃	16,20	19,90	16,30
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,8	1,6	1,9
	Fer Fe ₂ O ₃	5,30	6,40	5,60
	Titane TiO ₂	0,9	1,0	0,9
	Calcium Ca ⁺⁺	5,0	7,5	27,5
	Magnésium Mg ⁺⁺	10,3	20,0	32,9
	Potassium K ⁺	2,9	3,8	6,7
en mé/100 g	Sodium Na ⁺	1,4	2,5	5,2

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 127

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé - rajeuni - humifère - sur gabbro.

	échantillon profondeur	1271 0-10	1272 20-30	1273 80-100
granulométrie en %	humidité	5,8	5,0	3,2
	argile	49,1	54,9	30,5
	limon fin	25,4	23,7	37,4
	limon grossier	6,9	6,7	14,6
	sable fin	5,8	5,4	13,5
	sable grossier	4,8	5,2	5,1
Matières organiques en ‰	carbone	56,5	21,3	
	matière organique	97,4	36,7	
	azote			
	C/N			
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 2/5	5,4	5,2	5,7
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺			
	Magnésium Mg ⁺⁺			
	Potassium K ⁺			
	Sodium Na ⁺			
	S			
	T			
	V %			
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu			
	Résidu			
	Silice SiO ₂			
	Alumine Al ₂ O ₃			
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃			
	Fer Fe ₂ O ₃			
	Titane TiO ₂			
	Calcium Ca ⁺⁺			
	Magnésium Mg ⁺⁺			
	Potassium K ⁺			
Sodium Na ⁺				

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ATZ 18
ATZ 5

CLASSIFICATION : Sol ferrallitique fortement désaturé, rajeuni avec érosion et remaniement, sur socle cristallin.

	échantillon profondeur	51 0-10	52 20-40	53 110-130	181 0-10	182 30-40	183 90-110
granulométrie en %	humidité	2,6	2,0	1,6	1,6	1,4	2,6
	argile	35,6	47,0	7,4	18,2	38,3	46,6
	limon fin	9,5	2,2	28,5	3,2	10,6	25,4
	limon grossier	4,3	4,6	8,1	2,7	3,2	4,9
	sable fin	9,2	9,1	28,8	13,3	11,6	11,7
	sable grossier	32,1	29,5	26,0	58,1	32,0	7,9
Matières organiques en ‰	carbone	21,73	12,28	0,34	31,16	7,8	
	matière organique	37,5	21,2	0,59	53,7	13,4	
	azote	1,54	0,92	0,15	1,93	0,53	
	C/N	14,1	13,3	2,3	16,1	14,7	
	acides humiques acides fulviques						
Acidité	PH eau 2/5	5,1	5,2	5,5	5,0	5,1	5,2
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	1,24	0,18	0,52	0,13	0,06	0,08
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,00	0,00	1,74	0,16	0,00	0,00
	Potassium K ⁺	0,14	0,04	0,11	0,10	0,03	0,03
	Sodium Na ⁺	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
	S	1,39	0,23	2,40	0,39	0,09	0,11
	T	7,08	5,37	4,80	10,28	4,09	7,98
V %	19,6	4,3	50	3,8	2,2	1,4	
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	12,62	10,12	9,25	6,05	6,09	10,83
	Résidu	47,03	46,55	34,95	72,31	50,93	4,93
	Silice SiO ₂	15,23	16,50	23,85	7,25	16,60	27,92
	Alumine Al ₂ O ₃	18,30	18,08	20,96	7,52	18,05	27,58
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,4	1,6	1,9	1,6	1,6	1,7
	Fer Fe ₂ O ₃	7,90	8,00	9,65	3,75	4,50	23,25
	Titane TiO ₂	1,4	1,4	1,5	0,7	1,3	4,2
	Calcium Ca ⁺⁺	1,3	2,1	1,5	4,8	2,9	4,1
	Magnésium Mg ⁺⁺	12,7	20,2	41,7	6,3	7,4	7,0
	Potassium K ⁺	0,9	0,7	7,3	2,6	3,1	1,2
Sodium Na ⁺	0,6	0,1	0,2	1,5	1,5	1,5	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ABR 8

CLASSIFICATION : Sol hydromorphe moyennement organique à gley à anmoor acide, à horizon organique enterré, sur matériau indifférencié.

	échantillon profondeur	81 0-20	82 20-60	83 60-170	84 170-200
granulométrie en %	humidité	7,9	10,7	13,2	3,7
	argile	50,5	54,0	42,3	8,8
	limon fin	21,7	19,5	8,9	26,3
	limon grossier	7,6	4,2	5,6	22,8
	sable fin	3,3	1,8	4,0	34,9
	sable grossier	2,2	1,0	0,8	2,1
Matières organiques en ‰	carbone	61,77	100,70	174,80	7,03
	matière organique	106,49	173,61	301,36	12,12
	azote	4,55	5,95	10,07	0,39
	C/N	13,6	16,9	17,4	18,0
	acides humiques	13,82	14,85	18,82	
	acides fulviques	12,52	14,12	6,05	
Acidité	PH eau 2/5	5,3	4,8	5,0	5,6
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	5,93	7,04	9,57	4,89
	Magnésium Mg ⁺⁺	2,18	2,84	4,72	3,63
	Potassium K ⁺	0,05	0,05	0,08	0,32
	Sodium Na ⁺	0,04	0,10	0,26	0,29
	S	8,20	10,03	14,63	9,13
	T	20,09	27,83	44,09	14,80
	V %	40,8	36,0	33,2	61,7
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	20,33	26,79	26,98	6,73
	Résidu	22,96	18,50	16,43	47,33
	Silice SiO ₂	28,40	28,60	21,60	19,60
	Alumine Al ₂ O ₃	21,75	21,25	15,75	11,00
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,2	2,3	2,3	3,00
	Fer Fe ₂ O ₃	4,90	4,45	4,85	10,60
	Titane TiO ₂	2,2	2,1	1,7	1,5
	Calcium Ca ⁺⁺	11,25	16,25	19,37	39,37
	Magnésium Mg ⁺⁺	16,45	23,65	25,19	120,31
	Potassium K ⁺	1,92	1,60	1,92	15,70
Sodium Na ⁺	5,22	1,96	3,04	3,59	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ABR 12

CLASSIFICATION : Sol hydromorphe peu humifère
à gley d'ensemble sur alluvions
cristallines.

	échantillon profondeur	121 0-30	122 30-50	123 50-70	124 70-140	125 140-180
granulométrie en %	humidité	7,1	0,5	3,1	4,8	5,4
	argile	32,0	36,4	27,5	34,6	37,9
	limon fin	18,0	24,3	13,8	16,17	0,4
	limon grossier	10,0	12,9	13,5	14,0	9,3
	sable fin	11,4	10,3	26,2	18,0	18,9
	sable grossier	4,4	2,6	13,0	4,4	2,2
Matières organiques en ‰	carbone	67,4	38,8	9,2		
	matière organique	116,2	66,9	15,9		
	azote	5,4	3,2	1,3		
	C/N	12,5	12,1	7,1		
	acides humiques	18,8	6,8	1,9		
	acides fulviques	6,1	8,4	0,9		
Acidité	PH eau 2/5	5,3	5,0	5,2	4,5	4,8
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	1,47	0,88	0,88	1,47	1,16
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,66	0,58	0,48	0,66	0,68
	Potassium K ⁺	0,04	0,02	0,02	0,07	0,06
	Sodium Na ⁺	0,04	0,04	0,04	0,16	0,21
	S	2,21	1,52	1,42	2,36	2,11
	T	22,57	16,94	9,44	17,68	17,56
	V %	9,8	9,0	15,0	13,3	12,0
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	19,30	13,63	6,95	11,58	13,28
	Résidu	39,11	43,92	60,26	47,08	38,30
	Silice SiO ₂	20,40	22,80	16,00	21,80	24,40
	Alumine Al ₂ O ₃	15,40	14,10	12,20	16,40	20,00
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,3	2,7	2,2	2,3	2,1
	Fer Fe ₂ O ₃	3,85	3,64	4,12	3,12	3,20
	Titane TiO ₂	1,4	1,3	1,3	1,5	1,8
	Calcium Ca ⁺⁺	8,12	8,12	5,00	2,50	2,50
	Magnésium Mg ⁺⁺	12,55	11,31	13,98	13,37	19,13
	Potassium K ⁺	0,96	0,96	0,96	0,96	1,60
Sodium Na ⁺	1,96	2,50	1,41	3,04	3,04	

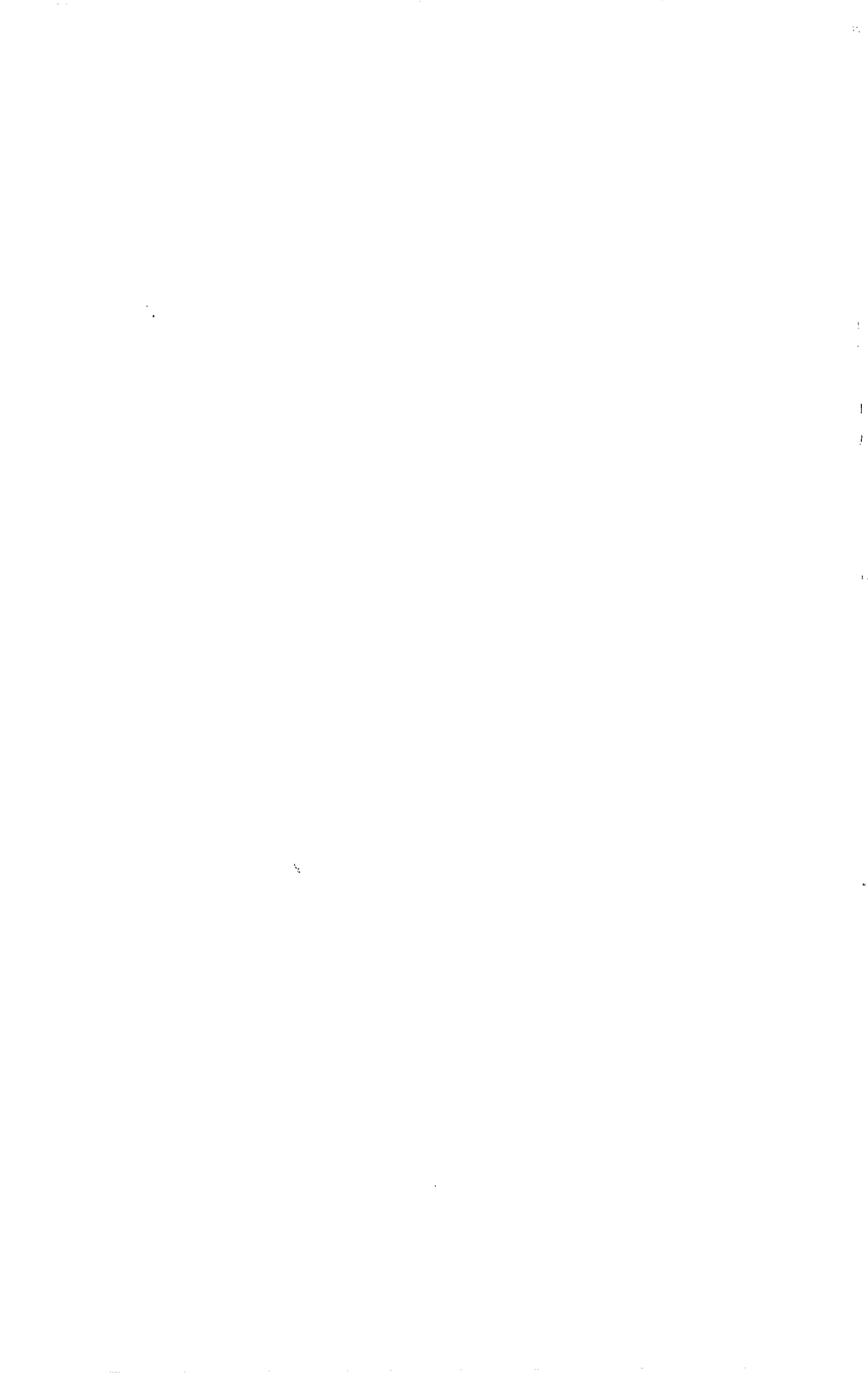
FICHE ANALYTIQUE

PROFIL : ABR 15

CLASSIFICATION : Sol hydromorphe peu humifère
à amphigley sur alluvions cristallines.

	échantillon profondeur	151 0-30	152 30-50	153 50-70	154 70-130	155 130-200
granulométrie en %	humidité	3,0	4,5	2,3	1,9	2,1
	argile	23,2	17,2	7,9	8,0	12,9
	limon fin	24,1	20,5	8,8	7,0	13,1
	limon grossier	15,3	15,2	6,6	7,0	11,4
	sable fin	23,1	29,5	39,2	55,9	47,1
	sable grossier	8,4	9,5	31,6	16,0	9,2
Matières organiques en ‰	carbone	17,3	16,5	12,2	15,6	8,3
	matière organique	29,8	28,4	21,0	26,9	14,3
	azote	1,6	1,5	1,4	1,4	0,9
	C/N	10,8	11,8	8,7	11,1	9,2
	acides humiques	3,5	4,8	5,0	4,8	3,8
	acides fulviques	0,8	1,2	0,8	2,2	0,7
Acidité	PH eau 2/5	5,0	5,4	5,4	5,2	5,2
Cations échangeables en mé/100 g de sol	Calcium Ca ⁺⁺	0,88	1,41	1,72	0,63	0,63
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,55	1,13	0,55	0,10	0,13
	Potassium K ⁺	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
	Sodium Na ⁺	0,04	0,05	0,05	0,11	0,14
	S	1,48	2,60	2,34	0,88	0,94
	T	8,89	15,03	10,33	9,58	8,24
	V %	16,6	17,3	22,7	9,2	11,4
Eléments totaux TRIACIDE en % en mé/100 g	Perte au feu	11,71	11,67	5,68	5,65	5,90
	Résidu	36,79	35,66	69,79	70,85	63,36
	Silice SiO ₂	23,20	23,40	10,80	11,40	5,80
	Alumine Al ₂ O ₃	20,25	18,30	7,50	7,25	9,50
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,9	2,2	2,4	2,7	1,0
	Fer Fe ₂ O ₃	8,40	10,80	6,00	4,20	5,00
	Titane TiO ₂	1,0	0,9	0,8	0,9	1,1
	Calcium Ca ⁺⁺	8,12	11,25	11,25	8,12	11,25
	Magnésium Mg ⁺⁺	54,50	64,78	49,87	41,13	45,76
	Potassium K ⁺	11,54	12,82	6,73	6,73	6,40
Sodium Na ⁺	6,85	9,02	18,80	3,04	1,96	

Achévé d'imprimer
sur les presses de Copédith
7, rue des Ardennes - 75019 PARIS
Dépôt légal n° 482 - 4^e trimestre 1979



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

Direction générale :

24, rue Bayard, 75008 PARIS

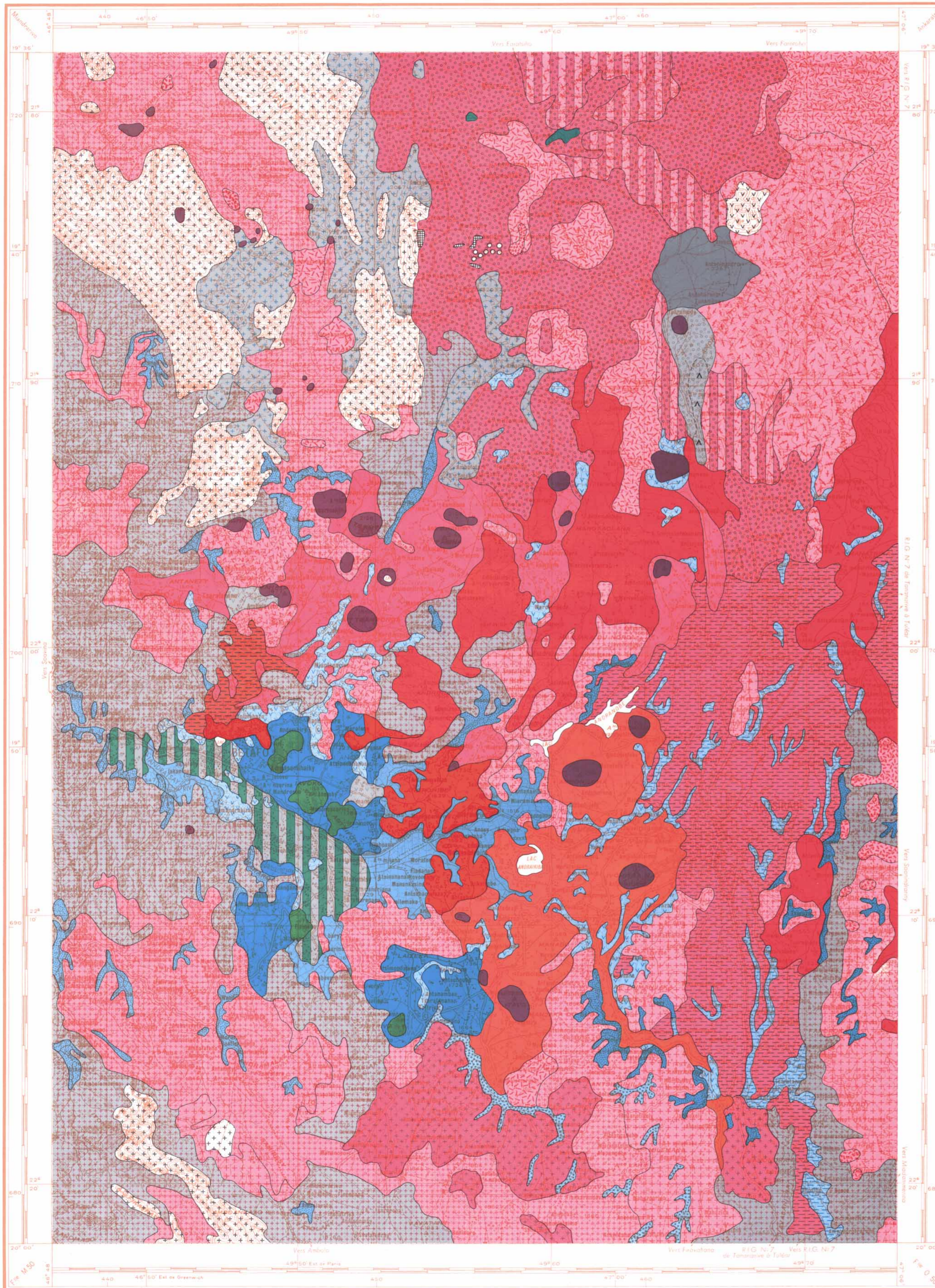
Service des Publications :

70-74, route d'Aulnay, 93140 BONDY

O.R.S.T.O.M. Editeur
Dépôt légal : n° 482
ISBN 2-7099-0547-7

CARTE PÉDOLOGIQUE DE MADAGASCAR ANTSIRABE

Dressée par Cl. ZEBROWSKI - 1974
avec la collaboration de Cl. RATSIMBAZAFY pour l'étude des sols hydromorphes



LEGENDE

I - SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION LITHOSOLS

- 1 Sur socle cristallin
- 2 Sur roche volcanique
- 3 Sur cuirasse ferrugineuse

II - SOLS PEU ÉVOLUÉS HUMIFÈRES RANKERS À MODER

- 1 Sur matériaux volcaniques associés à X 7

D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION REGOSOLIQUES

- 2 Sur matériaux pyroclastiques acides
- 3 Sur socle cristallin associés à X 15
- LITHIQUES
- 4 Sur coulée volcanique
- HYDROMORPHES
- 5 Sur socle cristallin

IV - ANDOSOLS PEU DIFFÉRENCIÉS DESATURÉS MÉLANIQUES

- 1 Sur matériaux pyroclastiques basiques

DIFFÉRENCIÉS DESATURÉS MÉLANIQUES

- 2 Sur matériaux pyroclastiques basiques

▲ ▲ Nombreux affleurements de roches

⊗ Blocs de cuirasse démantelée

X - SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURÉS RAJEUNIS PAR APPORT ÉOLIEN

- 1 Sur matériaux volcaniques basiques associés à X 15

ALLITIQUES HUMIFÈRES

- 2 Sur coulées et matériaux pyroclastiques basiques associés à X 5

HYDROMORPHES

- 3 Sur coulées et matériaux pyroclastiques basiques

FORTEMENT DESATURÉS TYPIQUES RAJEUNIS

- 4 Sur matériaux volcaniques basiques

ALLITIQUES HUMIFÈRES

- 5 Sur coulées et matériaux pyroclastiques basiques

- 6 Sur matériaux volcano-lacustres

- 7 Sur matériaux pyroclastiques acides

AVEC ÉROSION ET REMANIEMENT

- 8 Sur socle cristallin

RAJEUNIS MODAUX

- 9 Sur matériaux volcaniques basiques

HUMIFÈRES

- 10 Sur matériaux volcaniques basiques

- 11 Sur matériaux volcaniques acides

- 12 Sur gabbro

AVEC ÉROSION ET REMANIEMENT Sur socle cristallin

- 13 à stone line proche de la surface

- 14 à stone line en profondeur

XI - SOLS HYDROMORPHES ORGANIQUES À TOURBE SEMI-FIBREUSE OLIGOTROPHES

- 1 Sur matériaux volcaniques

MOYENNEMENT ORGANIQUES HUMIQUES À GLEY À ANMOOR ACIDE

- 2 Sur alluvions récentes indifférenciées

PEU HUMIFÈRES À GLEY PROFOND

- 3 Sur alluvions du socle associés à XI 4

À AMPHIGLEY À BATTEMENT DE NAPPE PHREATIQUE DE FORTE AMPLITUDE

- 4 Sur alluvions du socle

À PSEUDO-GLEY DE SURFACE

- 5 Sur sédiments volcano-lacustres

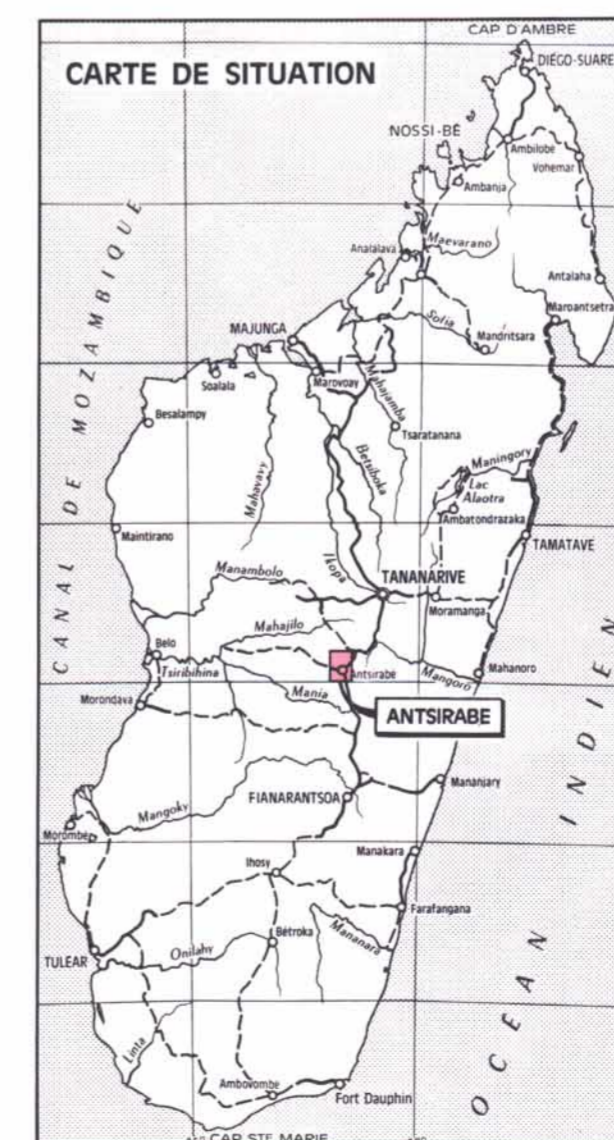
- 6 Sur matériaux volcaniques

UNITÉS CARTOGRAPHIQUES COMPLEXES

- II 4 + IV 2

- X 7 + X 11

- Sols des cônes volcaniques



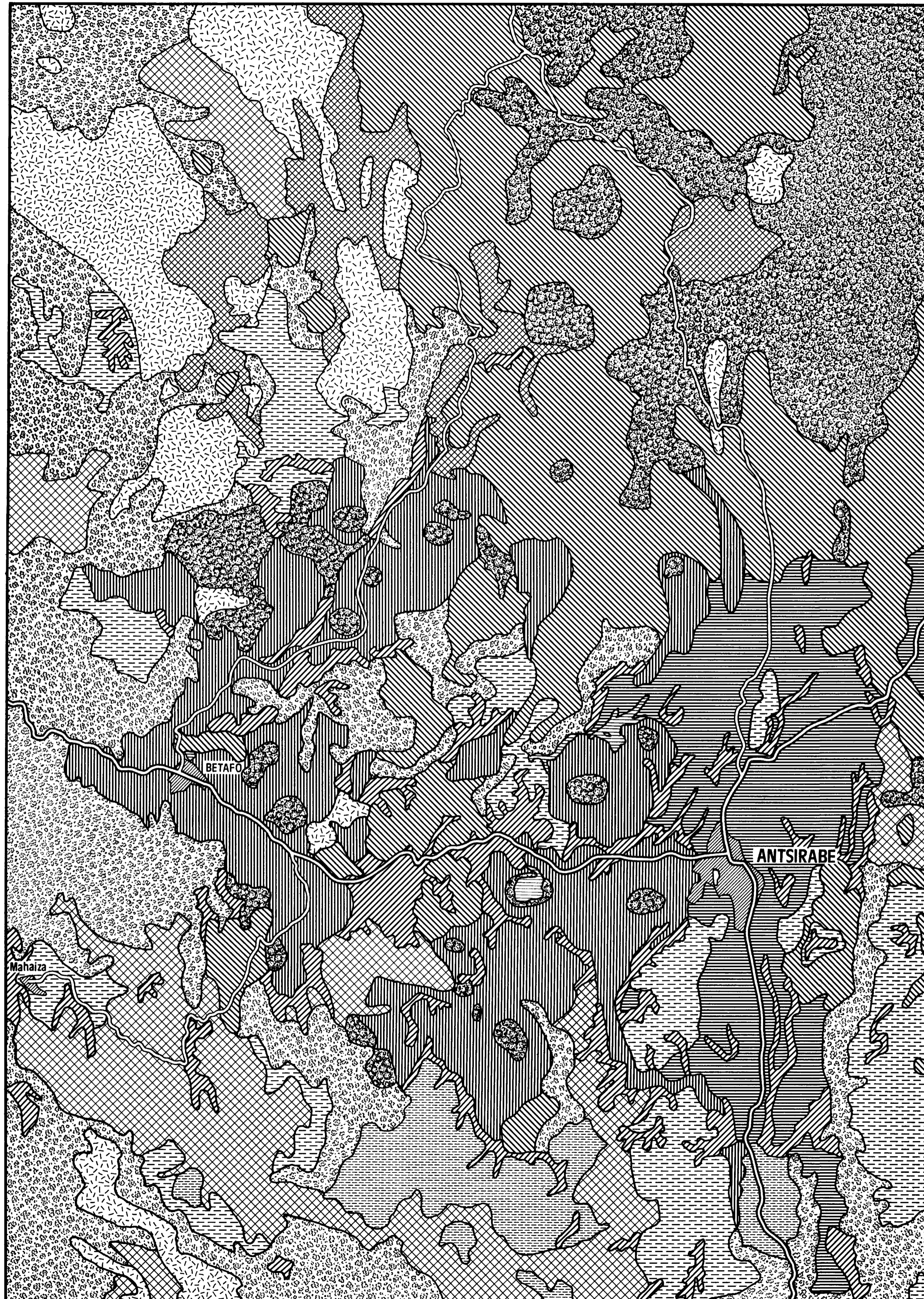
MADAGASCAR ANTSIRABE

REPUBLIQUE MALGACHE
DIRECTION DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

REPUBLIQUE FRANCAISE
OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

APTITUDES CULTURALES

Dressée par Cl. ZEBROWSKI - 1974
avec la collaboration de Cl. RATSIMBAZAFY pour l'étude des sols hydromorphes



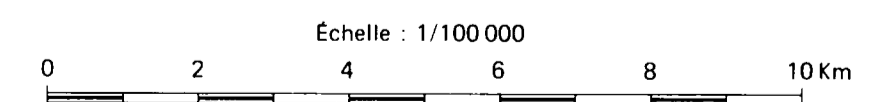
UTILISATION

TRAVAUX CORRESPONDANTS

I		1 Vivrière et arbustive 2 Toutes cultures	1 Engrais à faibles doses 2 Engrais - billons - mécanisation
II ₁		1 Vivrière (maïs) 2 Toutes cultures, sauf sur pentes fortes 3 Toutes cultures	1 Engrais à faibles doses 2 Engrais - billons isohypses 3 Terrasses en gradins
II ₂		1 Riziculture 2 Riziculture + fourrages, céréales en contre-saison 3 Riziculture + cultures maraîchères en contre-saison	1 Engrais à faibles doses - irrigation 2 Engrais 3 Engrais - irrigation ou drainage, suivant les cas, en saison sèche
III		1 Très partielle : vivrière et arbustive 2 Vivrière et arbustive sauf sur pentes fortes 3 Vivrière et arbustive	1 Billons dans le sens de la pente 2 Billons isohypses ou cultures en bandes - engrais 3 Engrais - terrasses en gradins
IV ₁		1 Très partielle : vivrière 2 Vivrière	2 Engrais - cultures en bandes
IV ₂		1 Très partielle : vivrière 2 Pâturage amélioré 3 Vivrière ou arbustive	2 Réglementation du pâturage 3 Engrais - terrasses en gradins
V		1 Partielle : pâturage extensif 2 Pâturage amélioré	2 Réglementation du pâturage
VI		1 Très partielle : pâturage extensif 2 Pâturage amélioré 3 Vivrière	2 Réglementation stricte du pâturage 3 Engrais - terrasses en gradins
VII ₁		1 Partielle : sylviculture, cultures vivrières 2 Sylviculture	2 Réglementation stricte de l'exploitation forestière
VII ₂		1 Nulle 2 En défens 3 Reboisement	3 Réglementation très stricte
VIII		1 Nulle 2 En défens	

INDICES CONVENTIONNELS

1 Actuelle dominante	1 Actuellement effectués
2 Solution peu coûteuse	2 Peu coûteux
3 Extension avec aménagement important	3 Coûteux



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Service Central de Documentation
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY - FRANCE

Étude exécutée dans le cadre d'un contrat de Recherche, signé le 12 février 1974, entre le Gouvernement de la République Malgache et l'O.R.S.T.O.M., en application de l'article 11 de la Convention de Coopération franco-malgache en matière culturelle du 4 juin 1973.

© O.R.S.T.O.M. 1977