

DÉFINITION ET CLASSIFICATION DES SOLS FERRALLITIQUES DE MADAGASCAR

par

J. RIQUIER *

1 - INTRODUCTION

Les sols ferrallitiques couvrent à Madagascar la Côte Est et les hauts-plateaux du centre (voir croquis de situation) ce qui correspond à une zone climatique bien déterminée à pluviosité et température assez fortes.

1.1 - Climat

Malgré des oscillations climatiques antérieures, en particulier des phases plus sèches peut-être au Pleistocène, qui ont découpé les sols et créé un niveau d'éléments grossiers (ou "stone-line") sur une surface d'érosion, le climat fut dans l'ensemble ferrallitisant depuis le Tertiaire.

A Madagascar, la pluviosité est en relation directe avec le relief. Les alizés chargés d'humidité heurtent les montagnes et falaises orientées nord-sud et créent des pluies de relief sur toute la Côte Est et sur les hauts-plateaux. Nous pensons donc que l'est et, à un moindre degré, le centre furent toujours plus arrosés que l'ouest dans les temps géologiques, ce qui explique que la répartition des sols ferrallitiques anciens correspond approximativement aux zones climatiques actuelles.

Les conditions climatiques actuelles des régions à sols ferrallitiques sont : pluie de 1 200 à 3 500 mm, durée de la saison des pluies supérieure à six mois, température moyenne annuelle $> 15^{\circ}\text{C}$.

Les indices climatiques sont pour les sols ferrallitiques :

- $\frac{P}{T}$ (Lang) > 60 ,
- $\frac{P}{sd}$ (Meyer) > 200 ,
- D (Henin) > 600 mm,
- climats A et B de Thornthwaite
- et 4 b, 4 d, 6 a, 6 b Th de Gaussen.

* Directeur de recherches de l'O.R.S.T.O.M., F.A.O (Rome).

pour les sols faiblement ferrallitiques :

- $\frac{P}{T}$ de 40 à 60,
- $\frac{P}{sd}$ de 150 à 200,
- D de 400 à 700,
- climats B1 à C2 de Thornthwaite,
- 4b Tr de Gaussen.

1.2 - Relief

Si la Côte Est est généralement constituée d'une bande étroite basse et sableuse, rapidement le relief s'élève en une zone de collines extrêmement fragmentées, mais de formes arrondies, pour aboutir à une ou deux falaises relativement continues du nord au sud et bordant les hauts-plateaux du Centre. Ces hauts-plateaux sont en réalité des croupes plus ou moins pénéplanées, avec quelques massifs en relief, mais les surfaces planes d'une certaine étendue y sont extrêmement rares. Les collines sont toujours très arrondies, plutôt convexes. Sur la partie ouest des Hauts-Plateaux des pédiplains très anciennes, maintenant disséquées, ont donné naissance à quelques petits plateaux.

1.3 - Géologie, roches-mères

La plus grande partie de la zone ferrallitique est occupée par le socle métamorphique précambrien : gneiss, quartzites, cipolins ; avec des granites, gabbros, et quelques roches volcaniques (basalte) beaucoup plus récentes. Les formations sédimentaires sont très restreintes. Elles sont au contraire très abondantes dans la zone climatique des sols ferrugineux tropicaux.

1.4 - Végétation

Si la Côte Est, les premières collines et les falaises sont couvertes de forêt ombrophile plus ou moins dégradée en Savoka*, par contre les Hauts-Plateaux, soumis à une saison sèche plus longue et à une intense déforestation par l'homme, ne comprennent que des pseudo-steppes entretenues par les feux, avec quelques îlots forestiers résiduels.

2 - PLACE DES SOLS FERRALLITIQUES DANS LA CLASSIFICATION

La distinction entre les sols ferrallitiques, faiblement ferrallitiques et ferrugineux tropicaux ou fersallitiques, est fondée à Madagascar sur les critères cités en annexe.

Nous soulignons bien que ces critères ne sont valables que pour les roches éruptives et méta-

* Savoka désigne à Madagascar une forêt dégradée souvent constituée d'espèces acidifiantes : *Philippia*, Fougères, *Helychrysum*.

Nous soulignons bien que ces critères ne sont valables que pour les roches éruptives et métamorphiques à minéraux alumineux, à l'exclusion de la plupart des roches sédimentaires, et également pour des sols bien drainés.

Ces critères ne sont ni obligatoires, ni exclusifs.

La présence d'alumine libre dans un sol est vérifiée par trois méthodes :

- 1 - Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ déterminé par une attaque triacide (qui, en principe, n'attaque ni le quartz, ni les minéraux résistant à l'altération). Il est d'autant plus faible que le kaolin est mélangé à des quantités croissantes d'hydroxydes d'alumine, cristallisés ou non.
- 2 - L'importance du crochet de gibbsite à l'analyse thermique différentielle.
- 3 - La quantité d'alumine libre déterminée par une attaque du sol à la soude 0,5 N pendant quatre heures.

Toutes ces déterminations sont faites sur l'horizon B du sol ou le niveau 1 (voir plus loin). Elles sont en général très concordantes.

Il semble que des sols, situés en bas de pente ou près d'une zone de suintement de nappe, s'enrichissent en silice, et que dans ces conditions l'alumine se recombine avec la silice pour donner de la kaolinite.

Les sols ferrallitiques kaoliniques se distinguent alors des sols faiblement ferrallitiques par leur faible teneur en limon et l'absence de minéraux altérables. Ils présentent souvent des traces d'hydromorphie et possèdent parfois de l'alumine amorphe.

Les sols ferrallitiques sont donc soit kaoliniques, soit gibbsitiques selon le drainage, mais la roche-mère intervient aussi, soit par l'intermédiaire du drainage, soit par la présence de cations en quantité plus ou moins importante. A conditions climatiques égales, il semble que les sols sur basalte, gabbro, pegmatite, sont plus riches en gibbsite.

Certains sols riches en gibbsite ont tendance à conserver des morceaux de roches altérées dont le squelette quartzueux est maintenu par des lamelles de gibbsite. Ces morceaux de roches indurés se trouvent épars dans la zone d'altération du profil, enrobés dans une pellicule ferrugineuse et souvent concentrés en "stone-line".

Les sols kaoliniques ont une tendance à l'hydromorphie et présentent souvent des horizons tachetés.

3 - BASES DE LA CLASSIFICATION PROPOSÉE

3.1 - Une classification des sols ferrallitiques logique mettrait en premier le type d'altération (fonction du climat), en second la morphologie du profil (fonction de la roche-mère, de la topographie et du temps), en troisième les variations minimales de la morphologie (portant surtout sur les horizons supérieurs dûs à la végétation).

Nous ne pouvons pas adopter cette classification qui insisterait en particulier sur l'influence de la roche-mère : dans la classification de G. AUBERT, admise par les pédologues français, la roche-mère n'apparaît qu'au niveau de la famille.

3.2 - Cependant, nous proposons une classification que nous nous sommes efforcés d'intégrer à la classification française, bien que la hiérarchie des critères de classification ne nous satisfasse pas, et que nous ayons pris quelques libertés avec les définitions admises des unités de classification. Nous avons élevé en particulier les sols ferrallitiques au niveau de la classe.

Les sous-classes sont déterminées par le type et l'intensité du processus d'altération ferrallitique, sauf les "sols ferrallitiques humifères" caractérisés par le processus d'accumulation de la matière organique. Cette accumulation se produit souvent en altitude, dans des sols qui peuvent être, soit faiblement ferrallitiques, soit ferrallitiques kaoliniques ou ferrallitiques gibbsitiques, soit même allophaniques. En général, un climat plus froid et une pluviosité plus forte sont à l'origine de cette sous-classe.

Nous citons cette sous-classe pour mémoire, ainsi que les sols "faiblement ferrallitiques" qui peuvent être, soit climatiques (climat faiblement ferrallitisant), soit d'érosion (sol rajeuni et évoluant de nouveau vers un sol ferrallitique typique).

Pour ces deux sous-classes, les subdivisions déjà existantes sont conservées : groupes et sous-groupes.

La subdivision des sols ferrallitiques typiques, soit kaoliniques, soit gibbsitiques, sera par contre originale. Elle repose sur le fait que la plus grande surface des pays tropicaux est en réalité couverte d'un sol tertiaire remanié au quaternaire, donc un sol polyphasé. La présence de la "stone line", indice d'une ancienne surface d'érosion, est presque générale. A Madagascar, en particulier, les sols jeunes sont extrêmement rares, sauf sur roches volcaniques quaternaires bien entendu. Mais les sols dont les horizons pédologiques sont peu distincts sont presque toujours, soit des vieux sols tronqués jusqu'à la zone d'altération, soit des nappes de recouvrements issues de vieux sols. Nous partons donc d'un profil typique qui est le suivant :

- | | |
|----------|---|
| Niveau 1 | Horizons dûs à la végétation
Horizons très altérés, remaniés, homogènes, jaunes ou rouges |
| Niveau 2 | Niveau grossier provenant de matériaux non altérables, soit quartz, concrétions, cherts, galets roulés, morceaux de roches ferruginisées. |
| Niveau 3 | Zone d'altération de la roche-mère souvent tachetée et plus claire. |

Le niveau 2 peut ne pas exister, soit par l'absence de matériaux inaltérables dans la roche-mère, soit par entraînement total par l'érosion au moment où ce niveau était en surface, soit que le profil ferrallitique ne se soit développé complètement qu'après la période d'érosion majeure.

Un prochain article sur les "stone-lines" fera le point sur ces sols polyphasés à deux cycles. Il est probable d'ailleurs que la surface d'érosion ne date pas d'un cycle climatique très distinct mais de plusieurs cycles érosifs ayant façonné la même surface. Le niveau 1 résulte, soit de l'action biologique, soit de colluvionnement. Il a pour origine le matériau sous-jacent à la "stone-line" mais a été homogénéisé et déplacé sur de faibles distances. C'est le matériau le plus évolué au point de vue ferrallitisation : absence de minéraux altérables, rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ faible, etc..

Il est cependant certain que la plupart des roches précambriennes ont subi une altération énorme depuis leur mise en surface, et dans la "stone-line", en particulier, nous pouvons trouver les résidus de plusieurs étages géologiques supérieurs disparus. Au Congo, nous trouvons, dans des sols sur schisto-calcaire précambrien, une "stone-line" contenant des galets provenant de l'étage Inkisi tertiaire et des grès provenant de sables Batéké miopllocènes.

La division en **groupes** se fera donc suivant la troncature par érosion récente d'un profil ancien. Nous ajoutons cependant l'hydromorphie qui peut avoir lieu à n'importe quel niveau du profil original. Cette distinction permet de séparer les sols à cuirasse ou concrétions formés sur place, des sols à cuirasse et concrétions allochtones.

Les **sous-groupes** seront distingués par la nature de la végétation, donc par la nature de l'humus, et par la morphologie des horizons sous-jacents influencés par ce type d'humus (horizons lessivés en fer, en argile, pénétration de la matière organique, etc..).

Les **familles** seront distinguées par la roche-mère, avec la réserve exprimée plus haut, à savoir que la morphologie et les propriétés physiques et chimiques du profil en dépendent plus que de n'importe quel autre facteur pédogénétique. Nous distinguons surtout : roche-mère acide, basique, et roche-mère sableuse. Les profils ferrallitiques sur sable se différencient très fortement des autres profils.

Les **séries** feront intervenir le lessivage en bases très important pour l'utilisation agricole du sol. Notons que ce processus paraît entièrement indépendant du profil morphologique. Nous

distinguerons les très lixivés* avec degré de saturation de 0 à 10 %, les moyennement lixivés avec V de 10 à 20 %, et les peu lixivés de 20 à 40 %, étant bien entendu que le lessivage des bases est un critère des sols ferrallitiques et que la notion est relative.

4 - CLASSIFICATION

Classe : Sols ferrallitiques

Sous-Classes	1 - Sols faiblement ferrallitiques
	2 - " ferrallitiques typiques kaoliniques
	3 - " " " gibbsitiques
	4 - " " humifères

- Groupe des sous-classes 2 et 3 (Sols ferrallitiques typiques kaoliniques et gibbsitiques)

Groupes	1 - Sols ferrallitiques non tronqués
	2 - " " tronqués au niveau 2 (niveau grossier)
	3 - " " " " 3 (niveau d'altération)
	4 - " " à hydromorphie

- Sous-groupes des sols ferrallitiques non tronqués ou développés *in situ* (donc sans niveau 2)

Sous-groupes	1 - à humus de prairie	} + (paléotype)
	2 - à humus grossier (ou de savoka)	
	3 - à humus de forêt	

- Sous-groupes des sols ferrallitiques tronqués au niveau 2

Sous-groupes	1 - à quartz
	2 - à concrétions
	3 - à morceaux de roches ferruginisés
	4 - à cuirasse ressoudée

- Sous-groupes des sols ferrallitiques tronqués au niveau 3

Sous-groupes	1 - à humus de prairie
	2 - à humus de savoka
	3 - à humus de forêt

- Sous-groupes des sols ferrallitiques à hydromorphie

Sous-groupes	1 - à concrétions
	2 - à cuirasse
	3 - indurés à taches et pseudogley

- Pour tous les sous-groupes, subdivision en familles :

Familles	1 - famille sur roche basique
	2 - famille sur roche acide
	3 - famille sur roche sableuse

* Nous utilisons le terme "lixivié" pour les bases et "lessivé" pour l'argile et le fer.

SOLS FERRALLITIQUES
A MADAGASCAR

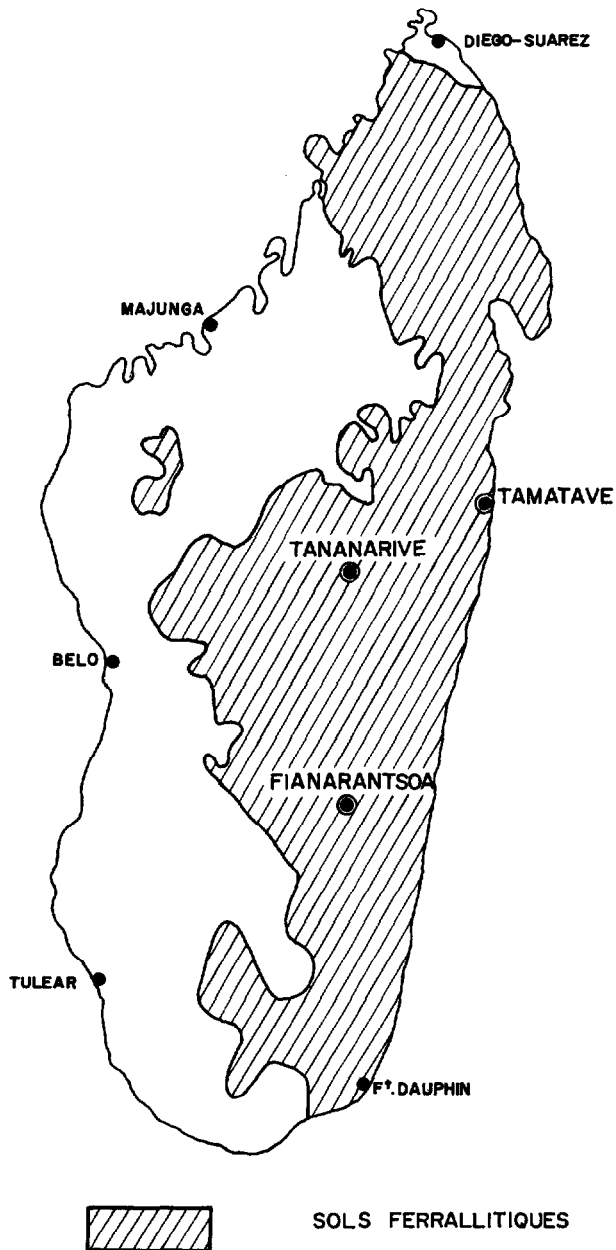


FIG. 1

COUPE SCHEMATIQUE
D'UN SOL FERRALLITIQUE

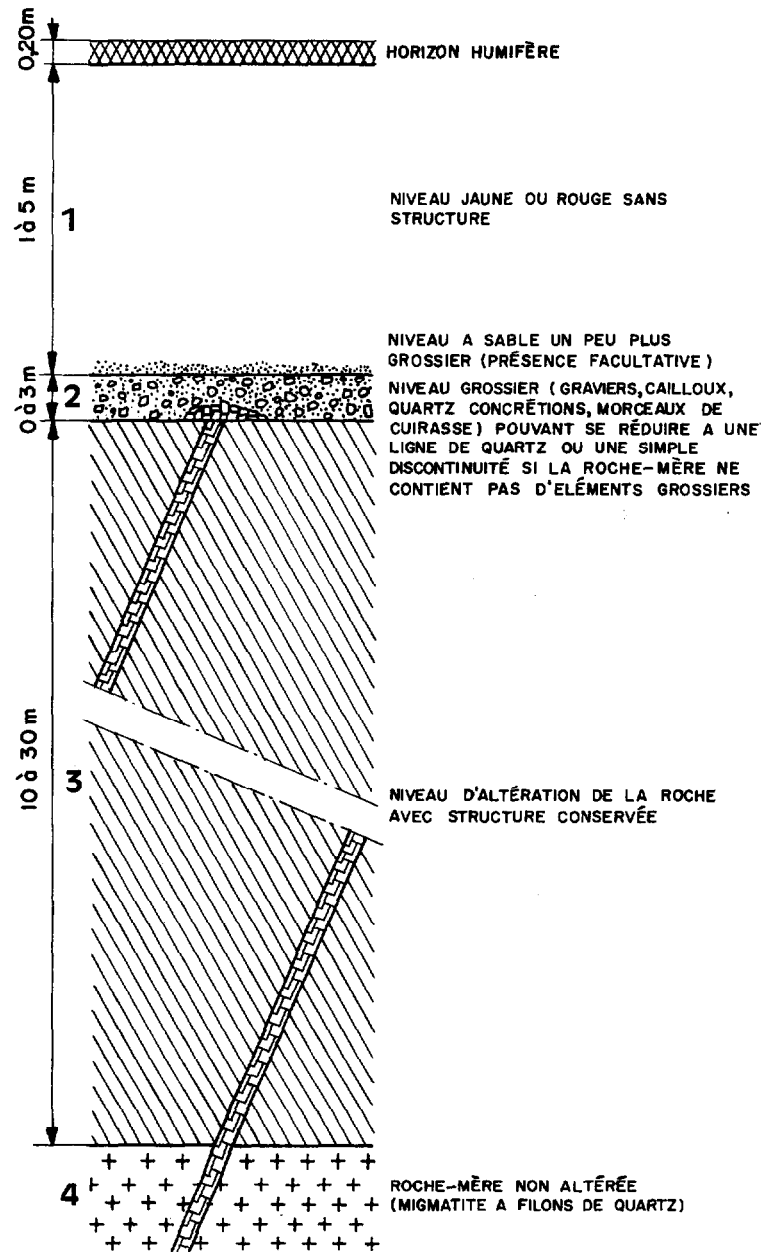


FIG. 2

- Pour toutes les familles, subdivision en séries :

Séries 1 - série très lixiviée	V = 0 - 10 %
2 - série moyennement lixiviée	V = 10 - 20 %
3 - série peu lixiviée	V = 20 - 40 %

5 - DESCRIPTION DE QUELQUES PROFILS TYPES

5.1 - Le profil type complet, souvent hérité d'une époque antérieure, se trouve principalement sur les vieilles surfaces. Schématiquement (voir croquis), il peut être décrit de la manière suivante :

En surface, niveau 1 :

- 1 - horizon soumis à l'action de la végétation, en général dénommé horizon A,
- 2 - horizons rouges ou jaunes de structure fondue à polyédrique fine, ou horizon B.
Ces horizons ont été presque toujours remaniés par colluvionnement et par l'action des racines ou de la faune ; la structure de la roche n'est plus visible.

Le niveau 2 correspond à une ancienne surface d'érosion et est constitué de tous les résidus d'altération des couches géologiques supérieures ou de morceaux de roche altérée et ferruginisée, des concrétions et des quartz que l'érosion a exhumé du niveau 3. C'est le niveau grossier ou "stone-line" des auteurs anglais. Cet horizon peut être mince (une ligne de quartz) ou encore marqué par une discontinuité brutale entre 1 et 3.

Le niveau 3 est la zone de roche pourrie, très épaisse sur gneiss, très mince sur basalte et gabbro, etc.. On reconnaît encore la texture et la structure de la roche, en particulier les divers filons. Si l'altération est gibbsitique dès la roche-mère, ce niveau est très riche en alumine. Par contre, si l'altération est kaolinique, le rapport SiO_2/Al_2O_3 est encore proche de 2 et l'alumine peut s'être libérée ou non dans le niveau 1 par décomposition du kaolin. Tous les cas sont possibles.

On peut quelquefois distinguer un niveau 4, véritable zone de départ pour les bases et la silice, zone extrêmement humide au contact de la roche-mère.

Sur des surfaces relativement récentes, à la géomorphologie très jeune, on peut trouver le profil complet en place sans "stone-line". Le niveau 2 manque et le niveau 1 est alors généralement en place, bien que la structure de la roche ne soit plus reconnaissable. Un filon de quartz, par exemple, peut montrer qu'il n'y a pas eu déplacement de la partie supérieure du profil.

Bien souvent, le niveau grossier a existé sur ces sols mais a été complètement entraîné par érosion et l'altération a progressé en profondeur donnant naissance à un sol en place.

Mais le profil complet est rare : il a été souvent tronqué par l'érosion à différents niveaux.

5.2 - Sur l'horizon tronqué la végétation s'établit et provoque la formation d'horizons pédologiques superficiels. Mais la végétation évolue, soit naturellement, soit sous l'action de l'homme. L'évolution très rapide de la végétation n'est pas suivie aussi rapidement par les horizons du sol. Il peut y avoir, par exemple, persistance d'un humus forestier sous une végétation de pseudo-steppe. On dit alors qu'on a affaire à un "paléotype". Le terme est mis entre parenthèses après le nom du sous-groupe. Le type de sol ne correspond plus à la végétation qui le recouvre, le climax n'est pas atteint. Ce cas est fréquent dans les régions parcourues par les feux.

Le profil à humus de prairie est caractérisé par un horizon supérieur peu distinct, grisâtre, beige ou brunâtre, sans litière, suivi d'une pénétration de la matière organique ou d'une décomposition sur place des racines de graminées. L'horizon humifère est donc épais et dégradé vers le bas. C'est une véritable steppisation du sol ferrallitique.

Le profil à humus grossier, sous végétation de savoka (*Philippia, Helychrysum*), comporte

- 1 - une litière très peu épaisse,
- 2 - un horizon humifère très noir de 10 à 15 cm, dont la matière organique se décompose mal ;
- 3 - un horizon jaunâtre, plus pâle (quelquefois d'un jaune très franc même sur un horizon B très rouge). Par contre, ce dernier horizon peut manquer sur les sols très rouges provenant de roches basiques ; la quantité de fer et sa fixation à l'argile semble empêcher le phénomène de décoloration. Il y a, en général, lessivage plus ou moins marqué du fer et de l'argile de l'horizon jaune : parfois il y a simplement hydratation ou complexation des oxydes de fer par l'humus sans lessivage. Il y a encore beaucoup d'acides fulviques dans cet horizon jaune.

Le profil à humus forestier possède une litière peu épaisse, 5 cm environ, un horizon beige-jaunâtre ou brun-rougeâtre imprégné de matière organique, pénétré par les racines, assez meuble, souvent remanié, soit par ruissellement diffus ou creep, soit par les animaux, vers, fourmis, termites. Cet horizon est peu épais, 30 cm environ. Mais on note parfois, surtout sur roche acide sableuse, une nette tendance à la podzolisation avec horizons supérieurs appauvris en fer et en argile mais l'intensité du processus est plus faible que sous les sols à humus de savoka.

5.3 - Sols ferrallitiques sur roche-mère basique

Le niveau 3 d'altération est en général réduit, moins épais que celui des roches acides. Le faciès pain d'épice est fréquent, des blocs rocheux arrondis par l'altération chimique persistent assez haut dans le profil. La richesse en minéraux ferro-magnésiens conduit à des niveaux beaucoup plus rouges, de meilleure structure grâce à la stabilisation des agrégats par le fer. La richesse chimique est plus grande, surtout en Ca. La podzolisation superficielle par l'humus est plus rare. Le niveau 2 est le plus souvent formé de concrétions.

5.4 - Sols ferrallitiques sur roche-mère acide

La présence de quartz facilite la pénétration de l'eau et l'altération est très profonde : le niveau 3 peut atteindre 20 à 30 m, le niveau 2 est surtout formé de morceaux de quartz, le niveau 1 est jaunâtre, le début de podzolisation est fréquent. La richesse chimique est réduite.

5.5 - Sols ferrallitiques sur roche-mère sableuse

Le niveau 3 d'altération est peu distinct, parce que le drainage est bon et qu'il n'y a donc pas d'horizon tacheté ; les minéraux altérables sont en faible quantité, enfin l'eau percole jusqu'à la couche géologique imperméable sous-jacente. Le niveau 2 n'existe pas, par suite d'un manque de résidus d'altération, où il est seulement représenté par des concrétions très quartzueuses ou des débris de cuirasse si le sable est associé à une certaine proportion d'argile. Mais ces concrétions sont rares, car elles demandent, en général, pour se former une certaine hydromorphie, difficile dans un sol sableux. Par contre, les podzols vrais sont fréquents, la plupart du temps créés par une nappe suspendue due à une hétérogénéité du sable (couche plus argileuse). La podzolisation se manifeste de préférence dans les sols filtrants avec couche imperméable sous-jacente.

Le profil d'un sol ferrallitique sur roche-mère sableuse est donc constitué la plupart du temps par une épaisseur très grande de sable jaune avec humus superficiel, soit de prairie, soit de forêt.

Les sols sur alluvions anciennes des terrasses ressemblent beaucoup à ce type, par l'absence de zone d'altération, et par la nature généralement sableuse de ces alluvions.

5.6 - Sols ferrallitiques tronqués jusqu'au niveau grossier 2

Ce sont les sols érodés, à concrétions, à débris quartzeux, ou à morceaux de roches ferruginisés étalés en surface, ce qui n'empêche pas un horizon humifère de se développer au milieu de ces roches et graviers. Des morceaux de cuirasse démantelée peuvent persister dans l'horizon supérieur. Ces cuirasses et concrétions sont rarement actuelles, à moins que l'hydromorphie ne se développe dans le niveau 3 sous-jacent. On les classe alors dans les sols ferrallitiques à hydromorphie.

5.7 - Sols ferrallitiques tronqués au niveau 3

Le sol est réduit à son niveau 3 de roche altérée, généralement clair, tacheté, rubané, à minéraux en voie d'altération, à texture plus limoneuse, à structure de la roche conservée. Les filons de quartz, les passées siliceuses restent en place. L'horizon A se forme directement dans le niveau 3. La végétation surimpose un profil pédologique subactuel à la zone d'altération plus ancienne du vieux sol ferrallitique. Cet horizon A possède l'humus correspondant à son type de végétation : son épaisseur n'est pas grande : de 10 à 50 cm. Des minéraux peu altérés peuvent persister dans l'horizon supérieur.

Ces sols ressemblent aux ferrisols par la présence des minéraux altérables encore reconnaissables, et par la présence de limon que l'on trouve dans toutes les roches en voie d'altération.

Presque tous les sols de montagnes ou de collines à relief très accentué présentent ce type de sol qui n'est pas forcément un sol jeune mais un sol rajeuni. Le rapport SiO_2/Al_2O_3 est relativement fort dans le niveau 3, rapprochant ces sols des sols faiblement ferrallitiques ; mais souvent la zone d'altération a 10 à 20 m d'épaisseur, ce qui exclut, à notre avis, la jeunesse de ce type de sol.

5.8 - Sols ferrallitiques à hydromorphie

Les conditions de mauvais drainage, aussi bien interne (sols argileux provenant de basalte, roche-mère granitique homogène formant couche imperméable) qu'externe (pénéplation, colluvions de bas de pente, etc.), peuvent créer des horizons d'hydromorphie dans les niveaux 1 et 3. Ils se matérialisent par des horizons tachetés, des concrétions, des cuirasses, souvent des pseudo-gley à différentes profondeurs, mais notamment au sommet de la zone d'altération.

Cette dernière peut d'ailleurs se confondre elle-même avec un gley. Ex. : les argiles bleues résultant de l'altération de basalte en position de mauvais drainage.

Les pseudo-gley ont une nette tendance à s'indurer par dessiccation, surtout lorsqu'ils sont près de la surface, et donnent alors soit des "sols ferrallitiques hydromorphes indurés", soit des "sols ferrallitiques hydromorphes à concrétions ou à cuirasse individualisées en place", par opposition au sol ferrallitique fossile tronqué au niveau 2. Le comportement vis-à-vis de la végétation est très différent.

6 - CONCLUSION

La classification des sols ferrallitiques de Madagascar est donc basée :

- 1 - sur l'existence d'un profil ferrallitique ancien caractéristique de chaque roche-mère ;
- 2 - sur la troncature de ce profil par l'érosion ;
- 3 - sur l'influence de la végétation sur la partie supérieure du profil ;
- 4 - sur le processus d'hydromorphie ;
- 5 - sur le degré de lixiviation

Les combinaisons très nombreuses rendues possibles par ces cinq processus expliquent la grande diversité des profils pédologiques rencontrés à Madagascar. Cette grande diversité empêche la caractérisation d'un profil morphologique type du sol ferrallitique.

Cette classification doit pouvoir s'étendre aux sols ferrallitiques d'Afrique.

ANNEXE

Critères* utilisés à Madagascar pour distinguer les sols

SOLS FERRALLITIQUES GIBBSITIQUES

Critères principaux de l'horizon B ou Niveau 1

- 1 - $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1,7$ (triacide sur sol ou, de préférence, sur argile, si le sol est sableux).
- 2 - Fort crochet de gibbsite à l'analyse thermique différentielle ou alumine libre (dosage à la soude) > 100 méq./100 g.
- 3 - Forte proportion de Kaolinite, très peu d'autres argiles.
- 4 - Pas de minéraux en voie d'altération.
- 5 - Très peu de limon.
- 6 - pH de 4,0 à 5,5.
- 7 - Faible capacité d'échange de l'argile.
- 8 - Ca échangeable faible en général : $\frac{\text{Ca}}{\text{T}} < 20\%$.
- 9 - Degré de saturation faible : $V < 40\%$.
- 10 - Structure massive sur gneiss, mais pouvant devenir polyédrique sur roches basiques. Par contre, l'horizon C, ou niveau 3, lorsqu'il est sec présente une grande friabilité et une grande porosité (zone d'altération).

Critères secondaires

- 1 - Fer en général adsorbé sur l'argile et peu mobile (sauf tendance hydromorphe).
- 2 - Roche-mère passant assez brusquement à un magma argilo-limoneux.
- 3 - Epaisseur du profil : 4 à 20 m.
 - a - horizon supérieur humifère ;
 - b - horizon jaune, rouge ou brun de 1 à 2 m. Possibilité de "stone line" ;
 - c - horizon rubané de toutes couleurs, mais rarement tacheté, sauf dans le cas d'une nappe phréatique actuelle ou ancienne ;

* Critères non obligatoires, ni exclusifs, mais l'ensemble de ces critères entraîne la classification au niveau de la sous-classe.

Les sols ferrallitiques ont des caractères variables suivant la roche-mère (en particulier $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, épaisseur et structure des horizons). Les critères sont donnés ici pour une roche acide, sauf contre-indication.

Dans un même groupe, la morphologie du profil varie plus d'une roche-mère à une autre que d'un groupe à un autre groupe et même que d'une sous-classe à une autre sous-classe (sols ferrallitiques et ferrallitiques). L'emploi du critère morphologique seul, sans tenir compte de critères géomorphologiques, chimiques et climatiques, est donc impossible.

- d - horizon d'altération très humide toute l'année ;
- e - roche-mère.

- 4 - Parois de talus restant verticales et gardant la trace des coups de bêche.
- 5 - Peu de termitières.

Environnement

- 1 - Topographie arrondie, assez accentuée, convexe.
- 2 - Possibilité de lavaka énormes à parois verticales.
- 3 - Association avec sols tourbeux à gley dans les bas-fonds.
- 4 - Pluviométrie > 1 200 mm.

$$\frac{P}{T} > 60$$

$$\frac{P}{sd} > 200$$

$$\text{Indice Hénin} > 600$$

Climats A et B de Thornthwaite

4 b	ThMes'	
4 d		
6 a		de Gaussen
6 b		

SOLS FERRALLITIQUES KAOLINIQUES

idem sauf les deux premiers critères principaux remplacés par :

- 1 - $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \neq 2$.
- 2 - Pas de crochet de gibbsite, possibilité d'alumine amorphe.

SOLS FAIBLEMENT FERRALLITIQUES

Critères principaux de l'horizon B ou Niveau 1

- 1 - $1,7 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 2$
- 2 - Faible crochet de gibbsite à l'analyse thermique différentielle.
- 3 - Kaolinite, mais quelquefois un peu d'illite.
- 4 - Quelques minéraux en voie d'altération.
- 5 - Quantité de limon plus importante que les sols ferrallitiques.
- 6 - pH de 5 à 6.
- 7 - Structure nuciforme ou particulière plus évidente.

Autres critères

- 1 - Epaisseur du profil de 2 à 4 m. L'horizon B est peu épais.
- 2 - Peu de vrais lavakas, en raison du manque de profondeur du profil, mais souvent glissement de la masse de sol sur la roche-mère.
- 3 - Topographie déjà atténuée par rapport aux sols ferrallitiques.
- 4 - Erosion superficielle très intense, par suite de la meilleure structure et de la faible couverture végétale.
- 5 - Pluviométrie : 1 000 à 1 600 mm.

$$40 < \frac{P}{T} < 70$$

Climats B, à C₂ de Thornthwaite

$$\frac{P}{sd} \text{ de } 150 \text{ à } 200$$

4 bTh' de Gaussen

Indice Hénin : 400 à 700

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX OU FERRALLITIQUES

Critères principaux de l'horizon B

- 1 - $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 2$
- 2 - Pas de crochet de gibbsite à l'analyse thermique différentielle.
- 3 - Kaolinite en forte proportion, mais présence d'autres argiles.
- 4 - Présence de minéraux en voie d'altération.
- 5 - pH de 5,5 à 6,5.
- 6 - Richesse plus grande en Ca échangeable : $\frac{\text{Ca}}{T} > 20\%$.
- 7 - Taux de saturation : $V > 40\%$.
- 8 - Sol plus poreux, plus sableux, structure particulière ou poudreuse, plus friable grâce au fer pectisé.
- 9 - Fer libre en assez grosse quantité, peu adsorbé sur l'argile mais pectisé. Tendance très nette au lessivage du fer, lorsque les conditions hydriques le permettent.

Autres critères

- 1 - Teinte rouge plus sombre que les sols ferrallitiques, souvent un peu violacée, mais traces jaunes laissées par la bêche.
- 2 - Présence de bioxyde de manganèse fréquent (petites taches noires), surtout sur roches basiques.
- 3 - Epaisseur du profil faible : 1 à 2 m.
- 4 - La roche-mère s'altère physiquement et chimiquement en une espèce d'arène (zone d'altération), souvent sèche au cours de l'année, mais non en bouillie argileuse comme les sols ferrallitiques.

Critères d'environnement

- 1 - Parois de talus s'écroulant à cause de la structure plus meuble.
- 2 - Topographie plus plane, concave et souvent en nappe d'épandage et pédiplaines.
- 3 - Termitières fréquentes.
- 4 - Ravins disséquant la surface, mais non lavaka, érosion en nappe intense et quelques glissements en terrassettes.
- 5 - Association avec sols jaunes ou gris hydromorphes de dépression et avec les argiles noires tropicales.
- 6 - Pluviométrie < 1 200 mm

$$\frac{P}{T} < 60$$

Climat C de Thornthwaite

$$\frac{P}{sd} < 150$$

4a 4b Th' de Gaussen

$$\text{Indice Hénin} < 600.$$