

LES UNITÉS PÉDOMORPHOLOGIQUES À MADAGASCAR LES FACTEURS DE PÉDOGENÈSE POTENTIALITÉS ET CONTRAINTES RÉGIONALES

par BOURGEAT F.¹, RANDRIAMBOAVONJY J.C.², SOURDAT M.³

Des études conduites dans différentes régions de l'île (BOURGEAT, 1973; SOURDAT, 1976, 1977; RANDRIAMBOAVONJY, 1990, 1995), ont montré les étroites relations qui associent la nature des couvertures pédologiques et leurs propriétés aux formes de relief qui les portent. Cette interdépendance, déjà reconnue dans les années 1965-1970 (BOURGEAT *et al.*, 1973), a permis de définir des «unités pédomorphologiques» pour la mise en valeur desquelles il est possible de préciser des contraintes et des potentialités.

Nous nous proposons donc de décrire deux séries d'unités pédomorphologiques, puis de déterminer les facteurs de leur pédogenèse, afin de comprendre la répartition des sols dans les paysages et de préciser l'influence qu'ont exercé ces facteurs sur leurs propriétés physico-chimiques. Cette démarche, en plus de l'intérêt théorique qu'elle présente, vise à interpréter les documents existants (cartes climatiques, botaniques, géologiques et topographiques ainsi que les photographies aériennes) pour pronostiquer la nature des sols et leurs propriétés.

1. Les unités pédomorphologiques

La démarche que nous préconisons consiste à reconnaître, simultanément, les types de paysages et les sols qui leur sont associés.

Les unités pédomorphologiques correspondent à des espaces à modèles identifiables où l'on reconnaît, soit un type de sol dominant, soit des associations complexes de sols qui se répartissent selon des toposéquences bien définies. Il en existe un grand nombre sur le territoire de Madagascar et, à titre d'exemple, nous en décrivons deux séries : l'une située sur les roches cristallines des Hautes Terres et l'autre sur les sédiments du Sud-Ouest.

1.1. Les unités pédomorphologiques des Hautes Terres Centrales

Sur les Hautes Terres, trois anciens niveaux d'érosion ont été reconnus.

La surface supérieure, (S1), encore désignée sous le nom de «surface des tampoketsa», arase des roches difficilement altérables comme les granites migmatitiques. Elle n'est que rarement surmontée de reliefs résiduels et les témoins conservés se situent vers 1650 m d'altitude à la latitude d'Antananarivo.

La surface intermédiaire, (S2), dite méso-tertiaire, a été repérée à la même latitude vers 1350-1450 m. Elle arase également des roches d'altérabilités différentes, mais elle est dominée par de nombreux reliefs résiduels dérivés de S1, portés par des roches résistantes à l'altération (granites filoniens, granites migmatitiques). Ce niveau est moins bien conservé que celui des tampoketsa.

Le niveau inférieur, (S3), dit fini-tertiaire, se distingue nettement des précédents car il est limité aux affleurements de roches facilement altérables (schistes, gneiss et migmatites). Il ne procède pas d'un aplanissement généralisé mais de l'évolution lente d'unités indépendantes à l'amont de certains seuils rocheux. Ce niveau est représenté par des alvéoles ou bassins enclavés, entourés par des reliefs dominants portés par des roches résistantes à l'altération. Les horizons d'altération des roches schisteuses sont profonds et peuvent atteindre jusqu'à 30 ou 40 mètres d'épaisseur.

Toutefois, entre les types de sols et ces surfaces anciennes, il n'existe généralement pas de relation directe stricte⁴. En fait, c'est aux reliefs résultant des reprises d'érosion quaternaires que la nature et la répartition des sols sont plus souvent liées, reprises qui se sont généralement manifestées par un remodelage, accentuant la dissection, lors des périodes displyviales. Les types de modelé qui en ont résulté peuvent être hiérarchisés. Ils constituent, avec les sols qui leur sont associés, autant d'unités pédomorphologiques dont on peut préciser les aptitudes.

On ne traitera ici que des reliefs afférents au niveau inférieur S3. L'encaissement progressif du système hydrographique en a dégagé un modelé de croupes, autrement dit de collines allongées en forme de lanières. Leurs pentes longitudinales sont peu marquées. En coupes transversales on observe, notamment à l'amont, des versants de raccordement aux talwegs très redressés et des parties sommitales convexes ou quasi planes, de sorte qu'on peut parler dans ce cas de replats sommitaux.

¹ BOURGEAT, F. : Professeur émérite ENSAT, 31320 Vieille-Toulouse, France.

² RANDRIAMBOAVONJY, J. C. : Docteur -Ingénieur en pédologie forestière ESSA, Département Eaux et Forêts, Antananarivo, Madagascar.

³ SOURDAT, M. : ORSTOM, BP 434, Antananarivo, Madagascar.

⁴ Sauf une teneur plus forte en sables grossiers et une couleur plus jaunâtre des sols situés sur les plus anciennes surfaces où les affleurements de roches granitiques sont plus fréquents.



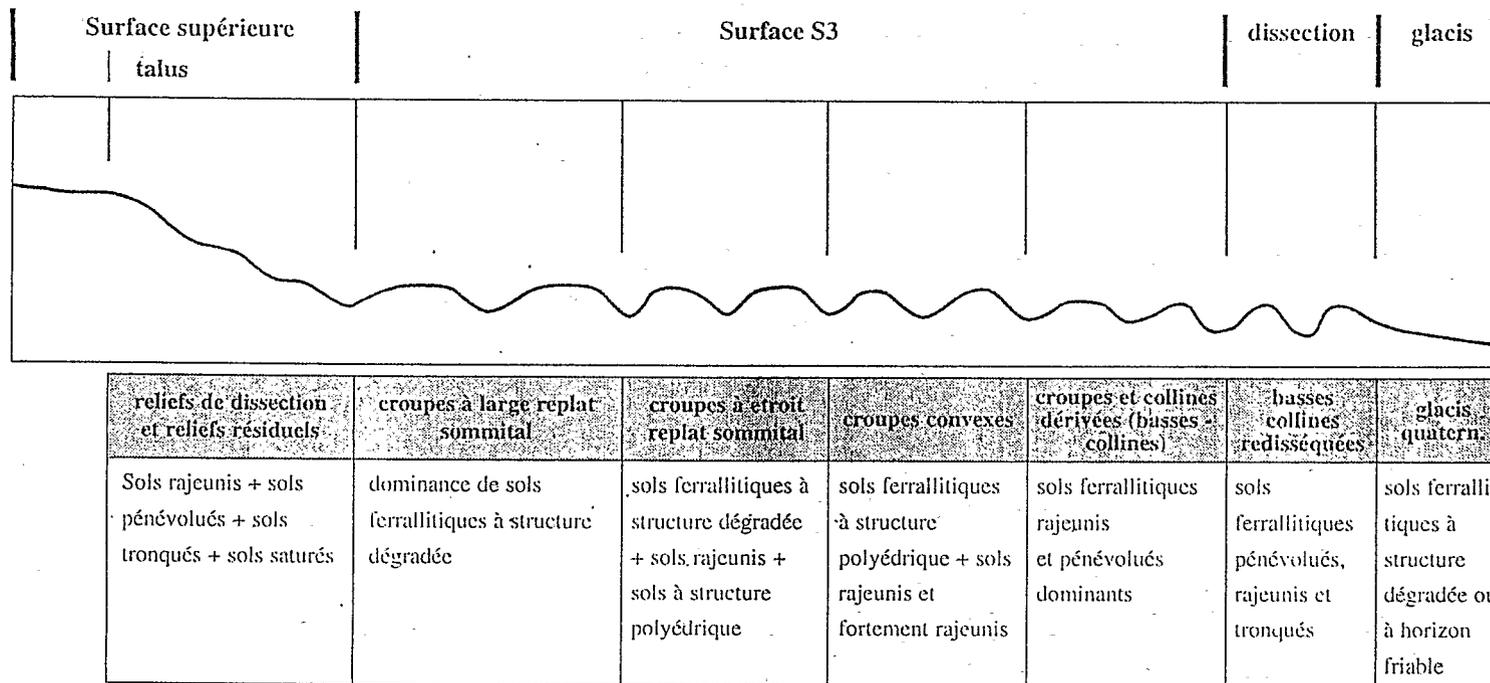


fig.1 : Les divers modelés dégagés de la surface S3





En fonction du degré de dissection, on peut donc distinguer, en contrebas des reliefs dominants :

- les croupes à large replat sommital
- les croupes à étroit replat sommital
- les croupes convexes(sans replat sommital)
- les croupes et collines dérivées (basses-collines)
- les croupes et collines re-disséquées
- accessoirement des glaciés.

La figure n°1 représente les divers modelés dégagés de la surface S3.

Tous ces modelés sont couverts par des sols ferrallitiques qui appartiennent dans leur très grande majorité à la sous-classe des sols ferrallitiques désaturés définis par AUBERT et SEGALIN (1966). Cependant, si l'on tient compte de leurs caractéristiques physiques, identifiables sur les profils et liées au degré de rajeunissement des modelés, on peut distinguer plus finement divers types dont les aptitudes sont significativement différentes (BOURGEAT *et al.*, 1973). C'est ce que nous nous proposons de faire, sans vouloir «situer» plus précisément ces sols par rapport aux classifications universelles, celles-ci ayant montré leurs limites quant à la mise en valeur des pays tropicaux.

De même nous abandonnons l'idée de ranger ces sols dans les classes, sous-classes, groupes et sous-groupes que nous avons définis dans une classification antérieure (BOURGEAT et AUBERT, 1972) car elle est trop complexe, et ne présente que peu d'intérêt du point de vue agronomique.

C'est ainsi que nous avons regroupé sous le même vocable les sols anciens et profonds et les sols rajeunis à structure dégradée (sols appauvris et sols enrichis en minéraux peu altérables). Aux sols ferrallitiques typiques, argileux, plus ou moins profonds, qui n'ont pas subi de rajeunissement au cours des derniers displuviaux quaternaires, nous opposons les sols rajeunis et fortement rajeunis qui ont été plus ou moins décapés au cours de ces mêmes périodes. Les sols tronqués, quant à eux, résultent de l'érosion accélérée actuelle qui fait disparaître les horizons superficiels, notamment l'horizon humifère.

1.1.1. Les sols ferrallitiques typiques, à structure dégradée, dominants sur les croupes à large replat sommital

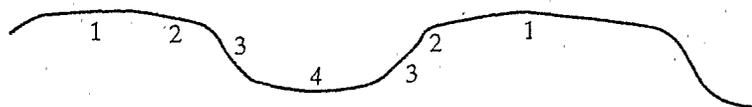
Sur les replats de ces croupes, on observe des sols ferrallitiques à horizon B1 argileux, à structure dégradée (continue), compacts, peu poreux. L'horizon humifère A, de faible épaisseur, est seul pénétré par les racines dont le cheminement est horizontal. En dessous de l'horizon B1, épais de 50 à 80 cm au minimum, on reconnaît un horizon B2 mieux structuré. C'est seulement vers 180-200 cm, parfois même en-dessous, que l'on peut reconnaître quelques fantômes de minéraux primaires.

Par contre, les versants de raccordement aux talwegs présentent des sols ferrallitiques à structure polyédrique, avec un horizon B argileux à structure marquée, bien exploré par les racines. Sur leur partie la plus raide, les sols typiques font place à des sols ferrallitiques rajeunis, plus limoneux et dotés d'une plus faible stabilité structurale avec un horizon B poreux à structure polyédrique prononcée, très bien exploré par les racines. A faible profondeur (au maximum vers 50-60 cm), on note la présence de fantômes de minéraux primaires identifiables, notamment de micas altérés.

Les bas-fonds à faible pente, mal drainés, sont occupés par des sols hydromorphes organiques. On doit donc retenir la très forte prédominance des sols à structure dégradée et à faible potentialité sur les tanety de cette unité dont la figure n° 2 évoque la toposéquence.(fig.1)

1.1.2. L'association de sols ferrallitiques typiques à structure dégradée, de sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique et de sols ferrallitiques rajeunis des croupes à étroit replat sommital.

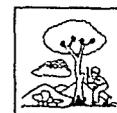
Sur les croupes à étroit replat sommital, on reconnaît la même séquence de sols que dans l'unité précédente mais la proportion diffère. Ici, les sols ferrallitiques à structure polyédrique et les sols ferrallitiques rajeunis ont une extension plus grande; ils peuvent couvrir jusqu'à 50% de la surface. Dans les bas-fonds, les sols sont hydromorphes moyennement organiques et mieux drainés.(fig.n°2)



1. Sols ferrallitiques à structure dégradée
2. Sols ferrallitiques à structure polyédrique
3. Sols ferrallitiques rajeunis
4. Sols hydromorphes organiques

fig. n° 2 : toposéquences de sols des reliefs de croupes à large replat

⁵ Cet horizon B montre un changement de couleur très marqué lorsqu'il passe de l'état sec (rose blanchâtre) à l'état humide (rouge).

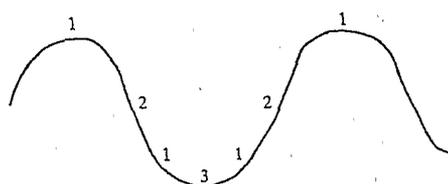


1.1.3. L'association de sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique, de sols ferrallitiques rajeunis et de sols fortement rajeunis (ou «pénévolués») des croupes convexes.

Sur les croupes convexes (sans replat sommital), on observe la disparition quasi totale des sols à structure dégradée. Les sommets et les bas de versants sont occupés par des sols typiques à structure polyédrique. Sur les pentes fortes, les sols rajeunis et les sols fortement rajeunis forment une mosaïque complexe.

Egalement dits sols pénévolués, les sols fortement rajeunis (qui ont là une extension encore limitée) sont très limoneux, avec une structure polyédrique moyennement développée et des agrégats poreux. L'enracinement y est exceptionnellement abondant. La stabilité structurale est très faible et, dès la surface ou immédiatement en dessous de l'horizon A, on reconnaît des minéraux altérés, notamment des micas.

Par rapport aux unités précédentes, les bas-fonds prennent ici une certaine extension. Ils sont mieux drainés et occupés par des sols hydromorphes peu organiques notamment des sols à pseudogley. La figure n° 3 représente la séquence de sols correspondante.



1. Sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique
2. Sols ferrallitiques rajeunis et fortement rajeunis
3. Sols hydromorphes peu organiques

fig. n° 3. Séquence de sols dans le modèle des croupes convexes

1.1.4. Les sols ferrallitiques rajeunis et fortement rajeunis des collines et croupes dérivées (basses-collines)

Dans le modèle de collines et de croupes dérivées du niveau 3, le relief est inégal. Alors que, dans les unités précédentes, les sommets culminaient tous à des altitudes subégales, ici, on relève des altitudes variables. Les pentes deviennent très fortes. Les sols à structure polyédrique sont en voie de disparition et les sols fortement rajeunis prédominent.

Les bas-fonds sont occupés par des sols hydromorphes peu organiques, la plupart du temps des sols tachetés, relativement riches en minéraux altérés.

1.1.5. Les sols ferrallitiques fortement rajeunis et les sols tronqués des collines et croupes re-disséquées

Dans cette zone, une accentuation de la dissection, liée à l'insertion profonde du système hydrographique, provoque un redressement des versants sur lesquels s'ouvrent des lavaka. Les sols fortement rajeunis prédominent et les sols tronqués, dépourvus d'horizon humifère, sont fréquents.

Les bas-fonds à forte pente sont occupés par des sols hydromorphes tachetés mais aussi, à l'aval des lavaka, par des sols peu évolués d'apport.

1.1.6. Les sols ferrallitiques typiques à structure dégradée et les sols à horizon friable des glacis

En contrebas des reliefs précédents on observe (localement sur les Hautes Terres mais plus généralement dans le Moyen-Ouest) la formation de glacis à larges interfluves et à pentes très faibles orientées vers les principaux axes hydrographiques.

En ce qui concerne les glacis des Hautes Terres, ils ont une extension très limitée. Sur les roches leucocrates et mésocrates on reconnaît des sols à structure fortement dégradée, tandis que sur les roches mélanocrates, les sols présentent un horizon B légèrement compact dans sa partie supérieure mais très friable et poreux en-dessous, riche en pseudoparticules, bien exploré par les racines. Dans le Moyen-Ouest, ce sont ces sols à horizon friable que l'on observe.

Les versants sont couverts par des sols ferrallitiques rajeunis. Dans les bas-fonds du Moyen-Ouest, on reconnaît des sols hydromorphes organiques, voire peu évolués d'apport à l'aval des lavaka, sur leurs déjections.

1.1.7. Les associations complexes de sols des reliefs dominants

Les reliefs qui dominent la surface fini-tertiaire appartiennent à deux types. Ce sont, soit des reliefs résiduels granitiques, soit des reliefs de dissection issus du talus de raccordement avec la surface S2.



Sur les reliefs résiduels granitiques, les sols sont sableux avec des horizons d'altération peu profonds et les affleurements de roches saines, sous forme de boules, sont fréquents. On observe là une mosaïque fort complexe de sols : aux sols ferrallitiques rajeunis et fortement rajeunis dominants s'ajoutent des lithosols, des sols tronqués et des sols peu évolués (où l'horizon humifère repose directement sur un horizon d'altération). Des sols ferrallitiques à structure polyédrique peuvent même être reconnus à la base de ces reliefs. L'érosion sévit fréquemment sous forme de ravines mais celles-ci dégénèrent rarement en lavaka.

Sur les reliefs de dissection, les zones d'altération sont profondes, les sols fortement rajeunis prédominent ainsi que les sols peu évolués. L'érosion en lavaka est générale. Sur les cônes de déjection de ces lavaka, qui colmatent certains talwegs, on observe des sols peu évolués d'apport.

1.2. Les unités pédomorphologiques du Sud-Ouest

De même que sur les Hautes Terres Centrales, on observe dans le bassin sédimentaire du Sud-Ouest de fortes corrélations entre les reliefs et les sols. Toutefois, elles s'analysent à une échelle beaucoup plus large.

1.2.1. Le domaine des grès et sables de l'Isalo

Dans le domaine d'affleurement des grès grossiers de l'Isalo⁶ et des nappes de sables roux⁷, trois types de paysages se différencient, non sans interpénétrations. Ils se succèdent d'Est en Ouest en bandes subméridiennes. Ce sont : le massif ruiniforme de l'Isalo proprement dit, les «tables», la zone des glacis et «dômes sableux».

Dans le massif ruiniforme, l'érosion a sculpté les grès en une multitude de bastions et tourelles d'aspects tourmentés très pittoresques. Les sols sont discontinus : à des lithosols sont associés des sols peu évolués et, sur quelques surfaces structurales, des sommets subsistent des sols jaunes riches en kaolinite, de type ferrugineux tropical, auxquels il faut adjoindre quelques vestiges de cuirasses ferrallitiques.

Le massif tabulaire s'étend au centre du domaine. Il est constitué d'un ensemble de buttes dont les sommets sont rigoureusement arasés et nivelés à des altitudes voisines de 1100 m, témoins d'un aplanissement méso-tertiaire dont la conservation est due au cuirassement de leurs pourtours.

Les tables les plus larges portent un sol ferrallitique dont les horizons supérieurs sont argileux, rouges, dotés d'une structure massive, friable néanmoins en raison de l'abondance des pseudoparticules. Ils se prolongent par des horizons concrétionnés, les concrétions étant de plus en plus abondantes et soudées vers la périphérie jusqu'à former une cuirasse pisolithique en corniche. Encore en-dessous se trouve une épaisse altérite quartzo-kaolinique, blanche, dont on peut évaluer l'épaisseur à plus de 10 mètres au moins. Elle affleure sous les corniches cuirassées, masquée par les éboulis.

Sur les tables les plus étroites, l'érosion en nappe a éliminé le sol rouge et dégagé totalement les horizons concrétionnés qui affleurent en cuirasse, tant sur le sommet qu'en corniche.

En contrebas des reliefs ruiniformes ou tabulaires s'étendent des glacis qui procèdent de l'érosion de ces reliefs et de l'accumulation colluviale des matériaux détritiques. A l'Ouest du domaine, les reliefs originels ont été totalement réduits pour faire place aux «dômes sableux», par coalescence des glacis. L'enveloppe des dômes et glacis représente l'aplanissement fini-tertiaire. Plusieurs phases quaternaires d'érosion les ont disséqués et remaniés, chacune ayant laissé sa signature dans les profils de sols sous forme notamment d'une nappe ou ligne de gravats quartzitiques ou ferrugineux (stone lines).

Sur ces glacis et dômes, on observe donc des profils remaniés complexes (constitués d'horizons superposés, séparés par les stone lines) dont la profondeur est bien moindre que celle des sols rouges des tables. Les horizons les plus profonds, héritiers de ceux-ci, présentent des traits de sols ferrallitiques tandis que l'aspect, l'organisation et la constitution des horizons supérieurs les apparentent aux sols dits ferrugineux tropicaux. Ils sont plus connus sous le nom de sables roux.

On y observe aussi, sous forêt, des sols à caractères podzoliques qui semblent être dérivés des précédents sous l'influence d'un humus forestier grossier très acide.

1.2.2. Le domaine calcaro-basaltique

A l'Ouest et à l'aval du domaine isalien vient une succession de plateaux calcaires structuraux crétacés, éocènes et miocènes, limités par des cuestas et des falaises de failles qui permettent aux basaltes interstratifiés du Crétacé d'affleurer localement. De plus, ce domaine a été autrefois fossilisé par des nappes détritiques sableuses pliocènes venues de l'amont isalien et dont il subsiste des buttes-témoins. Les calcaires présentent des modèles subkarstiques ou karstiques selon leur degré de pureté.

Les sols ont hérité des sables des calcaires, des basaltes ou de leurs colluvions et alluvions, selon diverses modalités dont nous reparlerons. Il en existe une gamme, depuis les ferrallitiques jusqu'aux calcimagnésiques, vertiques et peu évolués, liés à autant d'unités pédomorphologiques.

1.2.3. Le domaine côtier et ses dunes

On observe aux abords de Tuléar les témoins de quatre formations dunaires qui se succèdent d'Est en Ouest en se fossilisant mutuellement. Chacune d'elle, originellement constituée de sables calcaires beiges, a été projetée vers le continent depuis les

⁶ Etage supérieur du Karoo, équivalent africain et malgache d'une période Carbonifère-Lias.

⁷ Dépôts détritiques grossiers, plio-quaternaires.



rivages correspondants aux divers niveaux marins aepyorniens. Puis, les horizons supérieurs des trois plus anciennes ont été décarbonatés et rubéfiés. La fossilisation d'horizons rubéfiés non-calcaires par des matériaux beiges et calcaires démontre qu'à quatre reprises (sans parler de la dune bordière actuelle), lors d'une phase displuviale, des sables calcaires ont été déposés; qu'à trois reprises, lors de phases relativement pluviales mais d'humidités décroissantes, ils ont été décarbonatés et rubéfiés à divers degrés (sables roux-rouge, roux-foncé puis roux-clair); que la quatrième phase climatique, post-flandrienne, fut impuissante à modifier significativement le dépôt flandrien. La nature des divers sables roux dunaires est liée à la situation et au modelé de la formation correspondante.

Il existe bien entendu d'autres unités encore, marquées par l'hydromorphie, la salinité ou autres facteurs pédomorphologiques.

2. Les facteurs de la pédogenèse et de la morphogenèse

La nature et les propriétés des sols associés aux divers paysages sont sous la dépendance des facteurs de la pédogenèse. L'étude de ces facteurs participe à la reconnaissance des reliefs et des sols, ainsi qu'à l'expression des contraintes et potentialités des unités pédomorphologiques. Dès les années 1960, il a été reconnu que l'âge et l'histoire des sols exerçaient un rôle essentiel sur leur individualisation et leurs propriétés (RIQUIER et BOURGEAT, 1964).

2.1. Influence de l'âge et de l'histoire des sols sur leur nature et leurs propriétés.

A partir de quelques exemples, on peut aisément montrer que les types de sols et leurs propriétés sont fortement dépendants de la durée de leur évolution.

Ainsi dans l'Ankaratra, au Sud d'Imerintsiatosika, sur des coulées anciennes pliocènes, on observe des sols ferrallitiques profonds désaturés avec localement des sols cuirassés. Sur les coulées quaternaires du Nord d'Antsirabe, des sols ferrallitiques à structure polyédrique plus ou moins désaturés. Enfin, sur des projections très récentes du massif de l'Itasy, des sols bruns eutrophes moyennement saturés et riches en réserves (BOURGEAT, 1964).

Dé même sur alluvions, la nature et les propriétés des sols varient avec l'âge des dépôts. Ainsi reconnaît-on, à la latitude d'Antananarivo, sur les plus anciennes terrasses d'âge moramangien, des sols «jaune sur rouge» ferrallitiques typiques à structure dégradée, fortement désaturés, et l'on note la disparition des minéraux primaires sur toute la hauteur des dépôts. Sur les moyennes terrasses d'âge sambainien, dans des sols à gley lessivés, des fantômes de micas apparaissent vers 150 cm. Sur les basses-terrasses de la côte Est, des restes de micas sont présents à faible profondeur au sein de sols ferrallitiques jeunes qui possèdent d'excellentes propriétés physiques. Sur les dépôts actuels enfin (baiboho), les sols peu évolués sont riches en minéraux primaires plus ou moins altérés dès la surface.

Le cas des sols formés à partir des altérites profondes qui surmontent les roches facilement décomposables apparaît plus complexe. On doit considérer que, suite à une altération qui s'est poursuivie sur une très longue période, ces roches (schistes, gneiss, migmatites) ont disparu sous un épais manteau d'altérites qui peut dépasser 30 à 40 m de puissance. Ce dernier renferme encore quelques fantômes de minéraux primaires, notamment de micas transformés en kaolinite après élimination des cations. C'est ce manteau qui constitue la véritable roche-mère des sols.

Cette roche-mère altéritique a pu, selon sa position topographique, être mise à nu par décapage à plusieurs reprises lors des périodes érosives quaternaires qualifiées de displuviales*. Sur les altérites décapées anciennes, de nouvelles pédogenèses se sont développées aux cours des phases pluviales qui ont alterné avec les displuviales. Le niveau de décapage atteint lors d'une période de morphogénèse active commande l'évolution pédologique ultérieure, et celle-ci pourra s'exercer d'autant plus intensément que le décapage aura atteint plus profondément l'altérite. Ainsi s'explique la différenciation des types de sols associés aux diverses unités morphologiques, selon qu'elles ont été soumises à des rajeunissements plus ou moins vigoureux.

Les sols les plus anciens, les plus dégradés, s'observent tout naturellement dans les sites épargnés par la morphodynamique. Des raisonnements analogues peuvent s'appliquer aux sols du Sud-Ouest.

Dans le domaine gréseux isalien, les vieux sols rouges ferrallitiques sont conservés sur les tables, au centre de l'interfluve régional, en extrême amont des réseaux de la Mangoky et de l'Onilahy, protégés par les cuirasses périphériques des atteintes de l'érosion régressive. Sur les dômes, les profils ne présentent plus de traits ferrallitiques que dans la mesure où ils recyclent des matériaux venus des tables, et ressortissent plus généralement au degré d'évolution dit ferrugineux, sans parler des profils peu évolués correspondant aux nappes de sables les plus récemment recyclés.

Dans le domaine calcaro-basaltique, des sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux ou ferrallitiques, rouges et décarbonatés, voire décalcifiés et fortement acides, ont été conservés par piégeage dans les cavités des karsts ou sur des sites éloignés des atteintes de l'érosion régressive, tels que le sommet de l'Analavelona, tandis que des sols calcomagnésimorphes ou vertiques, bruns, calcaires et basiques, occupent les sites dont l'érosion a pu amincir ou éliminer les anciennes couvertures rubéfiées.

* L'ablation dans les sites d'érosion entraîne une accumulation corrélative dans des sites voisins sous forme de terrasses.



2.2. Influence des climats sur les sols

Le climat actuel peut agir contradictoirement sur la morphogénèse et la pédogénèse, et par là sur les propriétés des sols. Ainsi peut-on dire, d'une façon générale, que les sols du versant oriental, soumis à un climat plus lixiviant, sont plus désaturés que leurs homologues des Hautes Terres et, a fortiori, que ceux du versant occidental. Cependant, il existe sur la côte Est des sols ferrallitiques fortement rajeunis qui ne sont que moyennement désaturés et restent bien pourvus de réserves. Il s'agit de sols issus de roches mésocrates, portés par des reliefs très accidentés, récemment soumis à une érosion intense du fait du climat.

La nature même des sols peut parfois être liée à l'influence du climat actuel. Ainsi sur les hauts sommets de l'Ankaratra, la formation des andosols⁹ est attribuée à la permanence d'un climat relativement froid et humide qui favorise le maintien des gels amorphes, lesquels confèrent aux sols une très forte capacité anionique et cationique et assurent de fortes liaisons entre matière organique et matière minérale.

Quant aux paysages du Sud-Ouest, ils sont soumis actuellement à des climats nettement plus favorables à la morphogénèse qu'à la pédogénèse. Si donc certains sols rouges et sables roux profonds (des tables et dômes de l'Isalo comme sur calcaires ou basaltes) sont riches en kaolinite, voire en gibbsite, pauvres en réserves cationiques et classés ferrallitiques, ferrugineux tropicaux ou fersiallitiques (dits méditerranéens), c'est qu'il s'agit en fait de sols relictuels dont l'évolution s'est effectuée anciennement sous des climats plus agressifs. Actuellement, trop évolués déjà pour le climat, ils sont comme inertes et ne subissent plus que des modifications faibles et superficielles. Il n'y a plus de transformations minéralochimiques mais seulement des remaniements et réorganisation des constituants.

En définitive on peut dire que, par suite de la très longue durée d'évolution de la majorité des sols malgaches, le climat actuel n'a généralement plus qu'une influence secondaire sur leur évolution, de même que la végétation.

2.3. La couverture végétale des unités pédomorphologiques

On pourrait logiquement penser que la composition et la structure de la couverture végétale offrent de bons indices pour reconnaître et délimiter les unités morphologiques et les sols qui leur sont associés.

Sur les Hautes Terres et leur versant occidental cependant, le type de végétation dépend plutôt de l'activité humaine. La pratique des tavy et/ou la répétition des feux de brousse¹⁰ ont éliminé la forêt originelle et favorisé l'établissement d'une pseudosteppes ou de savanes, constituées de quelques espèces dominantes qui résistent aux feux et aux fortes contraintes pédologiques¹¹.

Sur les reliefs résiduels toutefois, le couvert végétal est plus diversifié. Les sols récents, formés à partir de roches peu profondément décomposées, offrent des contraintes moins marquées et, aux espèces précédemment citées s'ajoutent des graminées réputées plus exigeantes¹².

Sur le versant oriental de l'île, le climax est réputé forestier. C'est vrai pour presque tout l'ensemble de cette zone couverte par des reliefs accidentés avec des sols rajeunis et fortement rajeunis limoneux et poreux dominants. Certes, la forêt régresse régulièrement sous l'effet des tavy mais, si les feux venaient à s'espacer, un retour à la savoka puis à une forêt secondaire serait possible.

Par contre sur les anciens niveaux d'aplanissement qui portent des sols ferrallitiques à structure dégradée, les conditions sont moins favorables aux espèces forestières. Après le brûlis, on note le passage rapide et sans intermédiaire à des formations très pauvres comme les savoka à *Ravenala madagascariensis*. En cas d'interruption des feux, on n'y observe qu'un réembroussaillage limité et tardif. Seules s'installent quelques espèces buissonnantes¹³.

Dans ce type de situation, qui a été reconnu notamment sur la surface de Brickaville et dans la région de Farafangana (BOURGEAT, 1964), on ne peut parler de climax forestier. Aussi ne faut-il pas se contenter d'un inventaire statique mais suivre le dynamisme des groupements végétaux. Les paysans malgaches le savent d'ailleurs bien puisqu'ils considèrent que les meilleurs sols sont ceux où se réinstalle très vite, après le tavy, la savoka à *Aframomum angustifolium*, cette plante étant l'indice d'une bonne régénération des sols.

Il faut encore noter que sous forêt, même dégradée, la pédogénèse l'emporte nettement sur la morphogénèse. La stabilité du milieu a été confirmée par les expérimentations du CTFT (SOUCHIER, 1963), ainsi que par la cicatrisation rapide des niches de glissement provoquées, sur les versants, par les pluies diluviennes des dépressions cycloniques. La prédominance de sols ferrallitiques rajeunis et fortement rajeunis sur les reliefs accidentés de cette région laisse supposer que la forêt y avait disparu au cours des derniers displuviaux.

En ce qui concerne le Sud-Ouest, les sols squelettiques des reliefs ruiniformes de l'Isalo et des flancs sous corniche des tables, ainsi que de quelques épandages sableux très grossiers sur glacis, sont le domaine d'élection de la forêt sclérophylle à tapias.

Le sol ferrallitique des sommets des tables porte une savane herbeuse à base de *Loudetia sp.*, installée vraisemblablement par suite des feux.

⁹ Sols riches en allophanes, développés sur matériaux pyroclastiques.

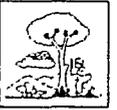
¹⁰ En particulier sur les témoins d'aplanissement les mieux conservés, couverts par des sols ferrallitiques à structure dégradée.

¹¹ *Loudetia sp.* sur les tampoketsa, *Ctenium* ou *Aristida* sur les témoins de S2 et S3.

¹² *Hyparrhenia cymbaria*, *H. rufa*, *H. hirta*, *Neyraudia madagascariensis*, des *Helichrysum*, des fougères, des *Philippia* et différentes espèces appartenant aux familles des Labiées, Orchidées, Liliacées...

¹³ A *Loudetia sp.* ou *Heteropogon contortus* avec *Poupartia caffra*, *Stereospermum euphorioïdes*, *Medemia nobilis*...

¹⁴ Parmi lesquelles on reconnaît *Rubus mollucanus*, *Lantana camara* et *Philippia*.



Les sols ferrugineux tropicaux ou sables roux des replats structuraux, des glacis et dômes portent des savanes herbeuses ou arborées¹⁵, autour de vastes massifs de forêt dense sèche semidécidue qui avaient bien résisté aux feux courants mais sont depuis peu entamés par les tavy. On observe cependant que, sous forêt, les sables roux cèdent souvent la place à des sols podzoliques.

A la surface du domaine calcaro-basaltique, la couverture était naguère partagée entre la forêt sèche semidécidue (sur affleurements de calcaires ou de basaltes), les savanes (sur sols rouges et sables roux) et quelques cultures. La forêt vient d'y être détruite par les tavy, pratiqués surtout en vue de la production de charbon de bois, et les cultures gagnent du terrain sur les savanes.

Les sables roux dunaires du domaine côtier sont couverts par le fourré xérophile calcifuge à *Didierea madagascariensis*, tandis que les sables beiges calcaires sont fixés par le fourré calcicole à *Euphorbia stenoclada*.

Dans le Sud-Ouest, c'est donc plutôt la végétation qui est liée aux contraintes des sols dont elle est un assez bon indice quand elle n'est pas modifiée par les feux. Dans le cas particulier des sols podzoliques par contre, ce sont les forêts sèches qui en conditionnaient la genèse par le biais de l'humus grossier acide¹⁶.

2.4. La lithologie, les sols et le relief

La roche-mère intervient au bénéfice des propriétés chimiques des sols lorsqu'elle constitue une réserve de nutriments à portée des racines, ce qui n'est le cas que des sols peu ou moyennement profonds, jeunes ou rajeunis.

Ainsi dans le massif volcanique de l'Itasy, on reconnaît des sols bruns eutrophes saturés sur des projections basaltiques récentes alors que les sols dérivés de coulées trachytiques, de même âge, sont acides et désaturés.

Autre exemple, sur les reliefs granitiques escarpés des Hautes Terres, le taux de saturation des sols à horizon d'altération peu profond varie suivant la composition de la roche. Sur granite migmatitique leucocrate, les sols sont toujours pauvres tandis que sur granite d'Ambatomiranty, mésocrate, on peut trouver des sols moyennement désaturés.

La plupart du temps néanmoins, les propriétés chimiques des sols sont affranchies de la nature de la roche sous-jacente. Cette absence de relation est de règle lorsque le sol ne s'est pas développé directement à partir de la roche mais à partir de son altérite qui pouvait être, elle-même, très ancienne et déjà fortement lixiviée, ne pouvant donc plus générer que des sols acides, désaturés et pauvres en réserves, quelle que fut la roche-mère dont elle était dérivée.

C'est bien ce que l'on constate sur les Hautes Terres et la côte Est. Les sols localisés sur les anciens niveaux d'érosion conservés ou sur les coulées volcaniques anciennes sont toujours fortement désaturés. Il en va de même pour les sols qui recouvrent les reliefs de dissection portés par des schistes cristallins facilement altérables. Toutefois, dans le Moyen-Ouest, les glacis portent des sols à pseudoparticules, à faible réserve mais moyennement désaturés, alors qu'ils surmontent des altérites relativement profondes. Sur les versants, les sols rajeunis sont même faiblement désaturés et riches en réserve. Il faut admettre qu'ici, le manteau d'altération serait plus récent et qu'il aurait été fortement décapé au cours du Quaternaire.

Si les roches n'exercent bien souvent qu'une action limitée sur les propriétés chimiques des sols, il n'en va pas de même pour leurs propriétés physiques. Sur roches acides, les sols sont sableux, de teinte jaunâtre dans les zones perhumides et humides et ont une forte tendance au compactage. Sur roches basiques, en topographie plane, des sols friables à pseudoparticules bien explorés par les racines remplacent les sols ferrallitiques à structure dégradée propres aux roches acides.

La lithologie joue également un rôle essentiel sur l'évolution du modelé. Il suffit à ce propos de rappeler que, dans l'Imerina, les reliefs dominants sont portés par des roches résistantes à l'altération (gabbros et surtout granites), tandis que les niveaux locaux d'aplanissement sont localisés sur affleurements de roches facilement altérables.

Dans le Sud-Ouest, les paysages et les sols sont plus nettement déterminés par les roches, souvent par l'intermédiaire des modelés, eux-mêmes liés à la nature de ces roches. Les grès quartzitiques favorisent l'extension des glacis et la formation de sols de type ferrugineux. Les calcaires, selon qu'ils sont plus ou moins purs, et plus ou moins couverts par des sables allochtones, favorisent soit les dissolutions karstiques, soit la dissection banale, ainsi que la genèse de sols soit sableux et kaolinitiques, soit argileux et montmorillonitiques. Sur basaltes ou colluvions basaltiques on observe fréquemment des vertisols.

3. Potentialités et contraintes des unités pédomorphologiques

En règle générale, les sols dotés de fortes potentialités (sous réserve d'une profondeur suffisante) dérivent des matériaux les plus récents. C'est le cas des baiboho, des sols bruns eutrophes et des vertisols, formés sur alluvions, colluvions, cendres ou lapillis, et aussi des sols des bas-fonds aménagés.

Dans le domaine des Hautes Terres, c'est sur les modelés les plus accidentés que l'on observe les sols les plus meubles et poreux, limoneux ou sableux, riches en minéraux primaires plus ou moins altérés. Malheureusement, ils sont très sensibles à l'érosion du fait de leur position topographique et de leur faible stabilité structurale. Leur mise en valeur pose donc de sérieux problèmes et nécessite des précautions particulières¹⁶.

Aux surfaces relativement planes sont le plus souvent associés des sols anciens à structure dégradée, compacts, difficiles à aménager et chimiquement pauvres. Sur roches mélanocrates toutefois, des sols à horizon friable plus propices aux cultures prennent le relais. Malgré un taux de saturation moyen, la faiblesse de leurs réserves exige de fortes fumures de restitution mais ils y répondent bien. Ces sols friables prennent une grande extension sur les glacis du Moyen-Ouest dont la mise en valeur est favorisée par la topographie.

¹⁵ Bien sûr, dans le cas de sols hydromorphes ou salés, la végétation est strictement adaptée.

¹⁶ Exception à cette règle: on relève une forte infertilité dans certains sols de versant lorsqu'ils renferment des lithoreliques (ou pseudo-concrétions), éléments grossiers ferruginisés, constitués par des quartz, du fer et de la goëthite, où l'on reconnaît la structure originelle de la roche mère.



Des suivis et des expérimentations de cultures et de plantations sont encore nécessaires pour mieux préciser les aptitudes et potentialités des unités pédomorphologiques mais des relations étroites entre les reliefs, les sols et les aptitudes culturales ont déjà été reconnues (BOURGEAT *et al.*, 1973).

Dans le Sud-Ouest, les sols rouges à pseudosables des tables sont pauvres et leur situation topographique les met hors de cause. Les cuirasses des tables, les lithosols des reliefs ruiniformes ainsi que des affleurements calcaires sont stériles. Le défrichage et la culture des sables dunaires, excessivement filtrants, ne devraient normalement pas être envisagés. Les sables roux ou sols rouges des glacis, dômes sableux et d'une partie des plateaux calcaires bénéficient de topographies relativement favorables et sont moins désaturés mais leurs textures sableuses leur confèrent de faibles capacités pour l'eau et une grande vulnérabilité à l'érosion qui, eu égard au climat local, sont très contraignantes. Sur les plateaux calcaires cependant, les sols rouges sont parfois réduits à des poches piégées entre les dalles et les croûtes, ce qui rend leur récupération illusoire.

Aussi est-ce sur les sols peu évolués, hydromorphes ou vertiques des baiboho et bas-fonds divers que se concentrent les potentialités du Sud-Ouest.

4. Déforestation, érosion et reboisements

La déforestation et l'érosion qui résultent de la pratique persistante des tavy et feux courants posent à Madagascar des problèmes de plus en plus préoccupants, selon des modalités propres à chaque région.

Sur les replats des témoins d'aplanissement des Hautes Terres ou des anciennes surfaces structurales du versant occidental, l'érosion resterait limitée si le couvert graminéen dense n'était pas parcouru périodiquement par les feux. Sur les sols à structure dégradée, elle n'a guère de prise car ils sont argileux et compacts, même si la faible perméabilité de leur horizon B induit un ruissellement important. Sur les sols à pseudoparticules, ruissellement et érosion restent modérés grâce à leur bonne perméabilité verticale. Les risques étant limités, les reboisements de «replats» doivent être productifs, en vue d'obtenir des bois d'œuvre ou de chauffage; toutefois, il faut éviter les espèces exigeantes et à enracinement pivotant, et s'attendre à de faibles rendements.

Sur les reliefs de dissection entaillés de lavaka et les reliefs résiduels creusés de rigoles où l'érosion prend des allures catastrophiques, les reboisements anti-érosifs sont pleinement justifiés (notamment sur les reliefs portés par les roches granitiques car le décapage de leurs sols et de leurs altérites riches en quartz provoque l'ensablement des rizières en contrebas). Ils peuvent donner de bons résultats, notamment lorsque la roche sous-jacente est bien pourvue en minéraux calcaïques et ferro-magnésiens (et sous réserve de la sécheresse qui peut sévir durant les premiers hivers après plantation). La profondeur du sol est un élément dont il faut aussi tenir compte. Les résineux s'adaptent bien aux sols ferrallitiques rajeunis, non tronqués. Sur les sols tronqués, des carences en azote sont à craindre. Il vaut mieux prévoir le reboisement en espèces pourvues de nodosités fixatrices d'azote. La culture de légumineuses ligneuses pourrait être expérimentée, avec enfouissement pour enrichir le sol.

Sur les reliefs de dissection sur altérites profondes, les reboisements donnent généralement des résultats de qualité bien que l'exploitation en soit gênée par la topographie, d'autant plus que l'ouverture de pistes dégénère rapidement en lavaka et doit être évitée.

Dans l'Ouest et le Sud, on avait pu croire les forêts et les fourrés xérophyles (bush) protégés par le fait que les sols qu'ils couvraient (sols podzoliques, lithosols calcaires ou sables roux dunaires) sont souvent impropres à l'agriculture voire à l'extension des pâturages, mais la demande en charbon de bois les condamne à terme. Ainsi, une partie de la forêt des plateaux calcaires du Sud-Ouest vient-elle de disparaître en peu d'années. Les sols rouges et sables roux des savanes sont en voie de perdre le statut pastoral qui leur assurait une relative pérennité et le bush lui-même est menacé. Cette évolution des choses est inquiétante.

Les contraintes sus-énoncées et les pressions exercées sur le milieu rendent prioritaire la protection de ce qui reste des forêts et bush. Une façon de limiter les dégâts est de récupérer les sols déjà défrichés pour en éviter la dégradation. Le reboisement, notamment d'arbres à croissance rapide producteurs de bois de chauffe et de charbon, voire d'arbres fourragers, dont la couverture contribuerait aussi à la protection des sols, est une autre voie qui devrait être étudiée.

On a pu dire qu'à Madagascar, il fallait laisser agir l'érosion car elle favorisait le rajeunissement des sols en amont et la constitution de baiboho riches en nutriments en aval. En fait, le rajeunissement ou la reconstitution de sols tels que les baiboho sont des phénomènes qui ne s'exercent utilement qu'à de longues échelles de temps, tandis que l'érosion accélérée qui sévit dans toutes les régions de l'île non couvertes de forêts se traduit plutôt par le décapage rapide des horizons humifères dans les sites d'ablation et par l'ensablement des vallées par les matériaux des lavaka. Les changements de cours des fleuves deviennent plus fréquents, les ponts et routes se voient menacés, etc. Autant de préjudices qui mettent en péril l'économie de l'île. Aussi faut-il bien admettre que l'érosion actuelle constitue un danger permanent contre lequel il faut agir avec détermination.

5. Conclusions

La mise en relation des formes du relief et des types de sols qui leur sont associés a permis de distinguer, sur les Hautes Terres Centrales et dans le Sud-Ouest de Madagascar, diverses unités pédomorphologiques. Le climat, la lithologie et la végétation dans une certaine mesure ont exercé (ou exercent encore) leurs influences sur le façonnement des modelés et, parallèlement, sur le développement, la morphologie et les propriétés physico-chimiques des sols. L'étude intégrée de ces facteurs permet donc de préciser les contraintes et potentialités de la mise en valeur à partir de l'observation des profils, de leur situation dans les paysages et du dynamisme de la végétation.

Le rythme actuel de la détérioration de l'environnement malgache par le tavy, les feux courants et l'exploitation minière des forêts manifeste l'urgence d'aménagements, associant une gestion appropriée des terres (selon leur vocation agricole, forestière ou pastorale) à la préservation des forêts et au reboisement, surtout dans les régions qu'un climat contrasté, sinon aride, rend plus sensibles.



Les paysans, notamment ceux des Hautes Terres Centrales, savent tirer parti de la diversité pédomorphologique de leurs terroirs qu'ils accentuent d'ailleurs par leurs travaux mais il faut reconnaître qu'à l'heure actuelle, la communauté paysanne malgache n'a d'autre solution à la mesure de ses moyens que de satisfaire ses besoins immédiats, en compensant la faible productivité et le caractère extensif de ses systèmes d'exploitation par l'accroissement continu des surfaces exploitées, notamment en débordant des bas-fonds vers les interfluvies, non sans en provoquer l'érosion.

La communauté scientifique, quant à elle, ne peut préconiser qu'une intensification méthodique des systèmes d'exploitation (agricoles, pastoraux ou forestiers), appliquée à des surfaces restreintes pour libérer les grands espaces et leurs couverts naturels dont la préservation est indispensable. Il est souhaitable que la communauté rurale et l'Etat soient prochainement en mesure de s'engager dans ce sens.

Bibliographie

AUBERT (G.), SEGALEN (P.), 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. n° 4, pp. 97-112.

BOURGEAT (F.), 1964 - Guide de tournée du Coll. U.N.E.S.C.O. Doc. Centre ORSTOM. Tananarive. 65 p.

BOURGEAT (F.), 1964 - Etude des sols de la basse vallée de la Manambato. Carte, notice. Centre ORSTOM. Tananarive, 60 p.

BOURGEAT (F.), 1973 - Sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du Quaternaire. Mém. ORSTOM n° 57, 335 p.

BOURGEAT (F.) et AUBERT (G.), 1972 - Les sols ferrallitiques à Madagascar. Madagascar. Rev. Géog. n° 20, pp. 1-23.

BOURGEAT (F.), HUYN VAN NHAN, VICARIOT (F.) et ZEBROWSKI (C.), 1973 - Relation entre le relief, les types de sols et leurs aptitudes culturelles sur les Hautes Terres malgaches. Cah. ORSTOM, sér. Biol. n° 19, pp. 23-41.

RANDRIAMBOAVONJY (J.-C.), 1990 - Délimitation des

unités pédomorphologiques dans la zone concernée par les reboisements villageois dans la région d'Ambatofotsy. Mémoire de D.E.A., option écologie forestière. Univ. d'Antananarivo.

RANDRIAMBOAVONJY (J.-C.), 1995 - Etudes des pédopaysages dans quatre zones-tests de Madagascar. Thèse, Univ. d'Antananarivo. 222 p.

RIQUIER (J.) et BOURGEAT (F.), 1964 - Histoire des sols ferrallitiques à Madagascar. Comm. Coll. U.N.E.S.C.O., Tananarive.

SOUCHIER (B.), 1963 - Mesures du ruissellement et de l'érosion - Résultats de 3 campagnes d'observation. Docum. C.T.F.T.

SOURDAT (M.), 1976 - Le Sud-Ouest de Madagascar. Etude géodynamique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 3, 245-251.

SOURDAT (M.), 1977 - Le Sud-Ouest de Madagascar. Morphogenèse et pédogenèse. Trav. Doc. ORSTOM n° 70, 212 p.

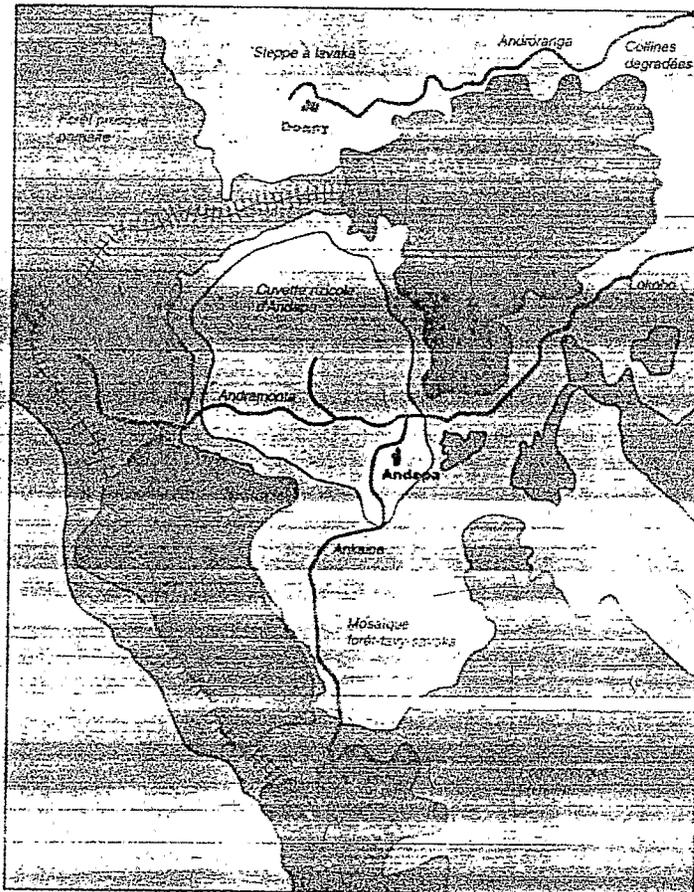


Akon'ny Ala

NUMÉRO 17

SEPTEMBRE 1995

BUNDEINBIA DEPARTE DE VEDENE



PLACE DE L'INVITÉ :

Note de la rédaction

NOTES DE RECHERCHE :

- Etudes des feux de brousse dans trois Firaisampokontany d'Antananarivo Atsimondrano concernés par le reboisement villageois.
- Application d'index de sélection aux tests de descendance maternelles de Pinus kesiya à Madagascar

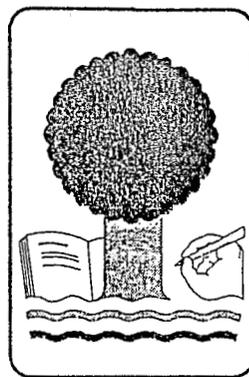
RECHERCHES :

- Où en sommes-nous en sylviculture tropicale ? Réflexions sur l'aménagement sylvicole en forêt tropicale humide.
- Préparation d'un volet forestier au sein d'un PCDI de la Région Est de Madagascar : cas du complexe des réserves de Marojejy et d'Anjanaharibe.
1ère Partie : Problématique et cadre conceptuel.
- Les unités pédomorphologiques à Madagascar. Les facteurs de pédogenèse. Potentialités et contraintes régionales

INFORMATIONS DIVERSES :

Semaine de soutenance de thèse

NOUVEAUX MÉMOIRES DE FIN D'ÉTUDES, DE DEA ET THÈSES



Akon'ny Ala

Bulletin du Département des Eaux et Forêts de l'ESSA

NUMÉRO 17 / SEPTEMBRE 1995

Sommaire

	<i>Place de l'invité</i>
Page 2	• Note de la rédaction. Par le Comité de Publication
	<i>Notes de recherche</i>
Page 4	• Etude des feux de brousse dans trois Firaisampokontany d'Antananarivo Atsimondrano concernés par le reboisement villageois. Par Gérard RAMBELOARISOA
Page 14	• Application d'index de sélection aux tests de descendance maternelle de <i>Pinus kesiya</i> à Madagascar. Par Philippe VANEBERG
	<i>Recherche</i>
Page 18	• Où en sommes-nous en sylviculture tropicale ? Réflexions sur l'aménagement sylvicole en forêt tropicale humide. Par Jean BLASER
Page 28	• Préparation d'un volet forestier au sein d'un PCDI de la région Est de Madagascar : cas du complexe des réserves de Marojejy et d'Anjanaharibe. 1ère partie : problématique et cadre conceptuel. Par Pierre O. BERNER
Page 40	• Les unités pédomorphologiques à Madagascar. Les facteurs de pédogenèse. Potentialités et contraintes régionales. Par F. BOURGEAT, J.C. RANDRIAMBOAVONJY et M. SOURDAT
	<i>Informations diverses</i>
Page 50	• Semaine de soutenance de thèses
Page 52	<i>Nouveaux mémoires de fin d'études, de DEA et thèses</i>