

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES SOLS SUR SOCLE ANCIEN A MADAGASCAR

Types de différenciation et interprétation chronologique
au cours du quaternaire

de *F. BOURGEAT* (1)

Présentation par *MM. ROEDERER et SOURDAT*

Cette étude est essentiellement consacrée à la description, à l'étude des propriétés, et à la répartition des sols ferrallitiques formés à Madagascar, sur socle ancien dans la zone comprise entre les parallèles 18° et 20°,30° de latitude Sud. Mais l'auteur a élargi volontairement le champ de ses observations pour généraliser certaines hypothèses concernant les cycles d'érosion et les variations climatiques quaternaires. Il a pu de la sorte confronter ses conclusions avec celles des auteurs qui ont travaillé dans les régions plus sèches de Madagascar.

Dans une première partie introductive sur le milieu naturel, l'auteur insiste tout spécialement sur la description et la genèse des différentes formes du relief. Les résultats obtenus dans ce domaine sont d'ailleurs le fruit d'une étroite collaboration avec M. PETIT (chargé de maîtrise de conférence à la faculté des lettres) et ont déjà fait l'objet de plusieurs publications (2).

Ils présentent les relations qui existent entre le modelé et les roches-mères. Aux schistes cristallins, aux gabbros anciens correspondent des zones déprimées qui forment des alvéoles dominées par des roches plus difficilement décomposables (granites, migmatites granitoïdes). Les nombreux bancs de granite stratoïde déterminent dans la zone centrale et occidentale, une succession de reliefs dissymétriques, véritables crêts dégagés par l'érosion différentielle. Les faciès pétrographiques sont donc susceptibles d'influencer directement le relief; cependant les surfaces d'érosion ont tronqué des roches d'origine et de composition différentes. Avec M. PETIT, F. BOURGEAT a repéré sur les Hautes Terres des témoins correspondant à 3 cycles d'aplanissement ancien. Aucune formation pédologique n'est caractéristique d'un niveau d'érosion déterminé car on ne peut pas

- (1) Thèse de Sciences soutenue à Strasbourg le 17 Mars 1970. Document ronéotypé, Centre ORSTOM Tananarive, 310 p. + annexe 126 p.
- (2) PETIT (M.) et BOURGEAT (F.). — 1965 — Etude morphologique du bassin versant de la Tafaina (centre de Madagascar). C.R. Sem. Géol. Madagascar, pp. 9-13.
PETIT (M.) et BOURGEAT (F.). — 1965 — Les lavaka malgaches, un agent naturel d'évolution des versants. Bull. Ass. Géogr. Fr. n°332-333, pp. 29-33.
BOURGEAT (F.) et PETIT (M.). — 1966 — Les «stones-lines» et les terrasses alluviales des Hautes Terres malgaches. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IV, 2, pp. 3-19, bibliog.
BOURGEAT (F.) et PETIT (M.). — 1967 — Carte géomorphologique des Hautes Terres centrales de Madagascar au 1/500.000. 1 feuille en couleur. Centre ORSTOM de Tananarive.
BOURGEAT (F.) et PETIT (M.). — 1969 — Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissement sur les Hautes Terres centrales malgaches. Ann. Géogr. t. 78, n°426, pp. 158-188.

28 NOV. 1973

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

Collection de Référence

6491 P 000

attribuer aux sols l'âge des surfaces qu'ils recouvrent (en l'absence de formation indurée on doit admettre que l'érosion a tronqué les horizons pédologiques anciens). La répartition des sols est essentiellement conditionnée par l'évolution du relief au cours du quaternaire. L'encaissement du système hydrographique établi sur une surface d'érosion entraîne le passage à des formes de rajeunissement. Parmi celles-ci, on peut distinguer — des niveaux rajeunis qui correspondent à de larges interfluves très plats, séparés par des talwegs encaissés — des reliefs de rajeunissement constitué par une succession de croupes d'interfluves convexes qui ne présentent pas de véritables replats sommitaux mais culminent à des altitudes subégales — des reliefs dérivés où les pentes sont très marquées et les sommets culminent à des altitudes différentes.

Certains caractères et certaines formations observées dans des « profils types » confirment une évolution sous un climat différent de l'actuel et ceci amène l'auteur à préciser dans la 2ème partie de son mémoire (p. 67-149) les variations climatiques quaternaires. Ces variations ne peuvent être établies à partir d'observations et d'analyses uniquement pédologiques, car on manque ici de repères stratigraphiques. Des études géomorphologiques conjointes faites sur des formations anciennes (dunes, alluvions) sur l'évolution du relief avec formation de «lavaka», «stone-line» et «cuvettes» se sont avérées particulièrement intéressantes pour établir la succession des périodes climatiques.

En ce qui concerne les formations fluviales anciennes, F. BOURGEAT considère que celles-ci correspondent à des dépôts de haute et de moyenne terrasse. L'âge de certains échantillons tourbeux fossiles prélevés à la base de la moyenne terrasse a été déterminé par la méthode du C 14; il dépasse 35.000 ans; un horizon tourbeux prélevé au sommet d'un cône de déjection à la sortie d'un lavaka ancien a pu être estimé à 11580 ± 40 ans. La formation des lavaka paraît ainsi contemporaine de celles des terrasses fluviales et cette forme normale d'évolution des versants s'est manifestée au cours de certaines périodes favorables à l'érosion en ravin. En ce qui concerne l'origine des dépôts fluviaux anciens, F. BOURGEAT reprend une hypothèse déjà émise par J. HERVIEU. Se basant sur des données actuelles il considère que ces dépôts doivent être attribués à l'existence de périodes sèches qui réduisent le couvert végétal, accentuent les processus de ruissellement et de transport sur les versants et modifient le rapport charge/débit des rivières. Au contraire pendant les périodes très humides l'alluvionnement cesse, on assiste à un encaissement linéaire des rivières, l'altération et la pédogenèse s'intensifient sur les versants. Pour modifier le couvert végétal et entraîner une évolution différente des versants, il n'est pas nécessaire d'entrevoir des variations climatiques catastrophiques. Ces modifications peuvent résulter du passage d'un climat de type équatorial ou tropical peu contrasté (designé sous le nom de pluvial) à un régime tropical contrasté ou semi-aride designé sous le nom de displuvial.

Le chapitre II intitulé «Essais de chronologie des périodes climatiques quaternaires» constitue un essai de synthèse sur les variations du climat depuis la période fini-tertiaire. Il est apparu indispensable à l'auteur d'intégrer ses conclusions dans le cadre précédemment défini par R. BATTISTINI (1).

La mise en place de dépôts alluviaux anciens à un niveau inférieur à celui de la surface présumée fini-tertiaire permet d'envisager la succession d'au moins deux périodes displuviales quaternaires. Les témoins de la terrasse supérieure étant bien développés dans la région de Moramanga, le premier displuvial a été designé sous le nom de displuvial moramangien. Cet épisode a été marqué par un comblement généralisé des talwegs, la prédominance des actions éoliennes dans les zones littorales arides, la formation de cuirasses, la mise en place de «stone-line» sur les niveaux locaux d'aplanissement et la réduction du couvert forestier.

La mise en place d'un deuxième système dunaire dans les régions littorales et la sédimentation des dépôts de moyenne terrasse correspondent vraisemblablement à un même épisode climatique. Celui-ci a été designé sous le nom de displuvial sambainien, car les dépôts de moyenne terrasse sont très caractéristiques dans la région de Sambaina (sur la Haute vallée de l'Ihadiana). Les âges donnés par datation des horizons tourbeux

(1) BATTISTINI (R.). — 1964 — L'Extrême Sud de Madagascar. Etude géomorphologique. Thèse de Doc. lettres. Etudes malgaches n°10 et 11, 636 p.

fossiles prouvent que la sédimentation a commencé il y a plus de 35.000 ans et qu'elle aurait pu cesser il y a environ 10.000 ans.

L'altération intense des roches cristallines et volcaniques post-pliocènes, est liée à l'existence de pluviaux. Les pluviaux ambovombien (définis par R. BATTISTINI) et post-sambainien s'intercalent entre les displuviaux précédemment définis. On peut considérer que l'on assiste actuellement à un assèchement du climat et celui-ci se trouve accentué par l'action de l'homme.

Les processus de pédogenèse et d'altération sont étudiés dans la 3ème partie de cet ouvrage (p. 142-285), les descriptions et analyses concernant les principaux types de sols sont reportées en annexe (126 p.).

Le chapitre VII qui traite de l'alumine libre dans les sols est sans doute le plus discutable mais également le plus original. Avant d'étudier les processus de genèse de la gibbsite dans les sols et zones d'altération, l'auteur précise la répartition et la description des différentes formes d'accumulation d'alumine libre.

A côté des horizons meubles superficiels ou profonds, qui sont riches en gibbsite, il existe des formations gibbsitiques indurées : résidus d'altération à faciès variés, concrétions bourgeonnantes ou radiciformes. L'enrichissement en gibbsite des horizons pédologiques meubles, ou la formation de résidus d'altération cariés sont toujours observés sur d'anciens niveaux d'aplanissement rajeunis ;

Les faciès poreux riches en lamelles de gibbsite conservent, par ailleurs, des éléments de structure originelle de la roche-mère, localement on peut y reconnaître, en lame mince, l'emplacement d'anciens feldspaths : on devine le contour originel des minéraux et le développement des microcristaux qui s'est effectué à partir d'anciennes fissures.

L'auteur a montré que l'individualisation massive de gibbsite ne peut pas être une conséquence de l'altération directe des minéraux primaires ou de la kaolinite. Cette individualisation se produit au sein des zones de départ profondes lixivées, riches en minéraux primaires altérés (minéraux qui ont perdu leurs cations et ne donnent pas de pics caractéristiques aux rayons X). La transformation des minéraux altérés en kaolinite paraît lente et progressive, et le front de la kaolinisation n'atteint jamais la roche-mère. Si à la suite de phénomène de troncature (lié à une phase d'érosion ancienne) les zones de départ, profondes et riches en minéraux altérés sont ramenées près de la surface, on peut envisager leur transformation rapide en gibbsite au cours d'une période plus humide. L'hypothèse émise par F. BOURGEAT bouleversait la conception généralement admise d'une altération normale qui se fait vers la synthèse progressive de la kaolinite. La formation plus ou moins marquée de la gibbsite dépend du niveau décapé. La genèse des résidus d'altération et de concrétions gibbsitiques semble liée à un décapage moramangien car ces formations ont subi un remaniement au cours du displuvial sambainien.

Dans le chapitre VII, les principaux processus d'évolution des sols sont étudiés. Parmi ceux-ci, on peut citer en premier lieu les phénomènes de rajeunissement.

En plus d'une érosion plus ou moins permanente liée à la topographie, l'auteur envisage des rajeunissements intenses ou troncatures qui se sont produits au cours de certaines périodes particulièrement érosives.

Les sols ferrallitiques en fonction de l'intensité de rajeunissement qu'ils ont subie ont été subdivisés en sols pénévoulés, en sols rajeunis et en sols anciens et profonds. Ces distinctions apparaissent comme ayant une valeur de sous-classes cependant elles ne sont pas proposées comme telles car de nouvelles études doivent montrer si ces subdivisions ont la même valeur dans d'autres régions.

Les sols ferrallitiques pénévoulés s'observent surtout sur des reliefs accusés (reliefs résiduels ou dérivés); la principale caractéristique de ces sols réside dans la présence, à faible profondeur (en général à moins de 60 cm) d'un horizon limoneux où l'on reconnaît des minéraux primaires.

Les sols ferrallitiques rajeunis prédominent sur les reliefs dérivés d'anciens niveaux d'aplanissement; ces sols possèdent à profondeur moyenne (le plus souvent à plus de 60 cm et à moins de 2 ou 3 mètres) un horizon limoneux.

Les sols ferrallitiques anciens n'ont été reconnus que sur des témoins d'aplanissement épargnés par les reprises d'érosion récentes; ils sont caractérisés par la présence sur 5 ou 6 mètres (parfois davantage) d'horizons dépourvus de minéraux primaires et très argileux.

La composition minéralogique de ces différents sols est précisée ainsi que leurs propriétés. F. BOURGEAT admet que les sols pénévoulés et rajeunis résultent d'une troncature des sols anciens au cours du displuvial sambainien. Dans le premier cas, cette troncature aurait atteint l'horizon C riche en minéraux primaires, dans le second cas elle n'aurait pas dépassé l'horizon BC. La troncature des profils pédologiques au cours du displuvial sambainien a mis à nu des matériaux plus ou moins lixiviés et le taux de saturation des sols pénévoulés dépend de la roche-mère, de l'intensité du décapage ancien.

On peut en effet considérer que des sols récents peuvent se reconstituer sur un matériau d'altération plus ou moins ancien donc plus ou moins lixivié en bases.

A un niveau élevé de la classification, F. BOURGEAT est amené à distinguer des sols dont la genèse est liée à d'autres processus, ceux-ci sont essentiellement l'appauvrissement, l'enrichissement en minéraux peu altérables et le remaniement. Les phénomènes d'appauvrissement s'observent dans des sols qui couvrent des surfaces rajeunies. Les horizons superficiels sont plus pauvres en argile que les horizons profonds mais on n'observe jamais d'horizon d'accumulation.

Dans les sols enrichis en minéraux peu altérables, les horizons supérieurs sont plus riches en quartz et en minéraux résistants à l'altération que les horizons inférieurs mais la teneur en argile reste généralement constante sur 1 m-1 m 50. Ces sols sont localisés essentiellement sur des reliefs de rajeunissement où le drainage est très satisfaisant.

L'enrichissement en minéraux peu altérables peut être la conséquence d'un remaniement. Tout mouvement des particules sur les versants entraîne une perte en éléments fins lesquels sont toujours constitués par une très faible proportion de minéraux résistants à l'altération. Ce remaniement peut s'effectuer sur des versants à pente accusée au cours d'une période humide ou se produire au cours d'un displuvial sur des versants ayant atteint leur profil d'équilibre.

Les phénomènes d'appauvrissement paraissent être le résultat d'un lessivage oblique intense qui s'est produit en même temps que le profil se différenciait. Ce lessivage aurait porté sur des éléments solubles ou pseudosolubles. Il paraît en effet difficile d'admettre qu'un départ très important de substances des horizons supérieurs puisse correspondre (comme cela a été suggéré) à un entraînement des minéraux de néosynthèse en particules de kaolinite, réputés peu mobilisables.

Dans le chapitre X, F. BOURGEAT résume l'ensemble de ses observations et hypothèses faites sur environ 350 profils pédologiques. Le fait que la genèse présumée de ces sols (résumée dans deux tableaux) ait permis d'établir cet essai synthétique laisse à penser que les idées émises sont conformes à la réalité ou du moins très proches.

La thèse de F. BOURGEAT apparaît comme une œuvre originale et importante à plusieurs titres.

Deux méthodes d'approche s'offrent en effet aux pédologues : soit qu'ils étudient les causes et les résultats des phénomènes évolutifs actuels, et tentent d'expliquer ainsi la composition minéralogique, chimique et physique des sols ; soit qu'ils cherchent cette explication à travers les héritages successifs de matériaux et la reconstitution chronologique d'une succession de phases évolutives, fonction des climats et de la morphologie ancienne.

A l'issue de la soutenance J. HERVIEU a souligné le mérite qui revient à F. BOURGEAT pour avoir entrepris cette reconstitution, à une époque où la géomorphologie des Hautes Terres malgaches n'était encore qu'ébauchée et où certains processus pédogénétiques fondamentaux n'avaient pas encore été envisagés dans toutes leurs conséquences.

Ce n'est pas tant lorsqu'il établit des relations quantitatives entre la durée ou l'intensité de telle ou telle phase évolutive et les caractères physico-chimiques acquis par

les sols, que F. BOURGEAT se montre original que lorsqu'il envisage les orientations qualitatives des processus évolutifs en fonction des successions de phases.

Sa méthode et son interprétation trouvaient sans doute à Madagascar un champ d'application idéal en raison du relief très accusé de la Grande Ile et du fort contraste climatique qui distingue ses versants, mais il serait surprenant que les perspectives qu'il laisse entrevoir tant sur le plan de la recherche fondamentale que de la prospection minière ne trouvent bientôt à s'appliquer à d'autres régions de Madagascar ou du monde.

Nous soulignerons pour conclure, l'exceptionnelle « connaissance du terrain » dont F. BOURGEAT peut se prévaloir : c'est le fruit d'une pratique assidue — et souvent ingrate — de la prospection pédologique menée durant 10 ans dans toutes les régions de l'Ile. Il n'en fallait pas moins pour élaborer une œuvre dont l'audace et la prudence sont également remarquables.