G. Aubert

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série D — Tome V — 1953

INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION SUR L'ÉVOLUTION ORGANIQUE DES SOLS GNEISSIQUES ET BASALTIQUES

par

R. PERNET

SOMMAIRE

FORÊT NATIVE MALGACHE 251
Forêt sur sol basaltique 252
Forêt sur sol gneissique 254
FORÊTS UTILITAIRES 258
Pinus 258
Petits peuplements sur sols basaltiques 261
Acacia 262
Avantages et dangers de l'espèce unique 263
PRAIRIES 264
DISCUSSION ET RÉSUMÉ 269
CONCLUSIONS 272
ANNEXES 274
BIBLIOGRAPHIE 285

LA FORÊT NATIVE MALGACHE

Comme le disait si bien BAKER, cité par LAMBERTON (**11**), « la flore de la zone tropicale à travers le monde est remarquablement homogène dans son caractère général et Madagascar ne fournit pas une exception marquée à cette règle. Elle ne possède pas de type bien défini et largement répandu, qu'on ne puisse trouver ailleurs et, aucun de ceux qu'on pouvait, *a priori*, lui supposer, ne lui fait défaut ».

La majorité des espèces composant la forêt ombrophile malgache sont particulières à la grande Ile, mais ne sont en fait, que des variantes de genres ou de familles répandus dans toute la zone tropicale, notamment en Afrique Centrale.

Nous n'examinerons dans cette étude que la forêt des Hauts-Plateaux qui, du pays Betsiléo à la Montagne d'Ambre, présente peu de différences,

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 37152
Cote : B

MAD. 55.11

mais dont la composition moyenne varie sensiblement selon que la forêt s'est développée sur un sol gneissique ou sur un sol brun basaltique.

PERRIER DE LA BATHIE (**18**) remarquait, d'ailleurs très justement, que le nombre d'espèces de la forêt malgache était très grand, et que les essences dominantes manquaient absolument. Cependant, malgré la complexité des associations forestières, il est possible de distinguer quelques essences dont la fréquence permet d'établir de grands groupes.

L'aspect le plus fréquent de la végétation forestière est celui d'une futaie peu élevée, dépassant rarement 15 mètres et, comprenant peu de fûts élancés, mais au contraire, des troncs tordus et maigres couverts d'épiphytes. Les lisières, où les bas fonds riches en *Pandanus*, en Bambous-lianes, sont pratiquement impénétrables, mais si la strate arbustive est mal représentée en forêt, celle-ci par contre est très riche en lianes diverses.

1° LA FORÊT SUR SOL BASALTIQUE

Cette forêt (Ankaratra, Ankaizinana, Massif d'Ambre) est surtout caractérisée par la grande fréquence des *Tambourissa, Weinmannia, Vernonia, Dombeya, Halleria, Carphalea,* avec un sous bois assez fourni de Graminées, Fougères, *Phillipia, Agauria, Drymaria*...

Sous l'influence des pluies abondantes et des fortes variations de température, les roches basaltiques et intrusives, peu homogènes, sont assez rapidement décomposées mais d'une manière très irrégulière. Les bases entraînées par l'eau et les acides humiques sont, sans doute, aussi décomposées que dans les sols gneissiques, mais la présence à faible profondeur de roches déjà en décomposition compense assez bien la disparition des bases. D'autre part, la structure moins compacte, due à la différence des argiles produites, amène une meilleure aération du sol, favorable à une pénétration plus profonde de la vie microbienne. Une meilleure décomposition de la matière organique et une plus forte production d'acides humiques amènent la formation d'un important complexe organo-minéral qui joue un rôle essentiel dans le maintien de la structure grumeleuse du sol et la conservation des bases assimilables dans l'horizon superficiel.

Nous avons étudié l'horizon vivant de ces sols de forêts natives, sur 5 profils prélevés dans l'Ankaratra, l'Ankaizinana et le massif d'Ambre. Pour ne pas alourdir cette étude, en donnant la description morphologique de ces sols, nous renvoyons aux publications de SEGALEN (**23-25**) qui a étudié deux de ces régions.

Le sol qui passe du noir au brun rougeâtre reste très grumeleux jusqu'au voisinage de la zone d'altération de la roche-mère, où la forte quantité d'argile le rend un peu plus compact, sans cependant qu'il soit jamais plastique.

Les bases échangeables sont assez peu abondantes ; compte tenu de la composition de la roche-mère, la libération du magnésium et du potassium est, en particulier, assez faible.

Nous donnons ci-dessous pour l'Ankaratra et l'Ankaizinana, la composition moyenne des basaltes (selon les analyses de A. LACROIX, **10**) et des sols qui en sont issus (selon nos propres analyses).

	ANKAIZINANA			ANKARATRA		
Composition %	Basalte	Sol à 0m.50	Sol à 1 m.	Basalte	Sol à 0 m. 50	Sol à 1 m.
SiO_2	43,2	26,5	32,9	44,7	32,0	39,5
Fe_2O_3	11,7	24,3	24,9	14,8	22,0	26,7
Al_2O_3	13,4	19,2	20,6	11,5	19,0	21,5
MgO	8,8	0,2	0,3	9,2	—	—
CaO	12,7	0,2	0,3	11,2	—	—
Na_2O	2,3	—	—	2,2	—	—
K_2O	1,4	0,2	0,3	0,9	—	—
TiO_2	3,5	3,7	3,8	3,3	4,3	3,1
P_2O_5	0,6	0,4	0,7	0,6	—	—
H_2O	2,4	24,8	15,9	1,6	20,7	8,0

Il est évident que les chiffres que nous donnons ci-dessus ne sont que des moyennes très approximatives mais, il apparaît avec évidence, que les sols issus du basalte sont très appauvris en bases, d'autant plus que nous nous éloignons davantage de la roche-mère. La silice, elle-même, subit un lessivage très marqué, tandis que les hydroxydes, peu entraînés, particulièrement le fer, conservent un même taux dans tout le profil.

Malgré un entraînement comparable pour des sols soumis à une même température et à une même pluviométrie, les bases échangeables seront plus abondantes en surface qu'en profondeur. Les différences quantitatives relevées dans le taux des bases échangeables, pour un même sol, ne seront donc imputables qu'aux différences de composition de la matière organique. Les différences relevées dans la vie microbienne des sols, seront responsables de la plus ou moins bonne conservation des bases, au sein du complexe organo-minéral. La valeur et la quantité de ce complexe auront une répercussion immédiate sur le lessivage et l'érosion du sol arable.

En général, l'humification augmente avec la profondeur et la transformation des produits carbonés en humus est particulièrement importante entre 30 et 40 centimètres, dans la zone radicellaire la plus dense. Elle diminue ensuite sensiblement dans la zone argileuse, où les conditions de décomposition anaérobie amènent une forte production d'acide fulvique, corrélative à une légère augmentation du taux de potasse assimilable.

Le taux de transformation du carbone en acide humique se maintient à peu près semblable, tout au long du profil, où la quantité d'acide humique est égale, à peu près, au dixième de la teneur en carbone.

Une activité microbienne intense, marquée par une humification active, est assurée grâce à un taux élevé d'azote. Le pourcentage de l'azote, par rapport au carbone, ne dépasse pas cinq en surface, mais, l'accroissement de la vie bactérienne avec la profondeur, assurant une décomposition plus rapide, amène à partir de 50 centimètres le rapport C/N au voisinage de 10.

Le complexe organo-minéral est très faible dans la couche superficielle, mais, en profondeur, englobe la presque totalité des éléments minéraux fins et la majorité des éléments humiques (fig. 1, tableau 1).

Le complexe échangeable reste très désaturé tout au long du profil, bien que le pH du sol soit assez élevé. D'ailleurs, l'acidité des horizons paraît proportionnelle à l'élévation du pourcentage de CaO dans le complexe. Nous constaterons, au contraire, que l'horizon le plus désaturé, correspond à un niveau de transformation plus intense des éléments organiques en humine. Nous ferons la même constatation sous d'autres couverts végétaux et nous aurons à y revenir plus loin.

Le rapport, humidité équivalente/capacité d'échange, se maintient autour de 1,3, sauf dans la litière et la zone de départ, où il est plus élevé par suite de l'absence du complexe organo-minéral ; la quantité d'argile dans la litière et la quantité d'humus dans l'horizon de départ étant insignifiantes.

La pauvreté du complexe échangeable en bases correspond sans doute essentiellement à un phénomène climatique. Les forêts sur basalte sont des forêts d'altitude (1.500 à 1.800 m.) et on y compte plus de 200 jours où la pluie est supérieure à 1 mm., tandis que la température ne dépassant pas 19° rend l'évaporation assez faible.

2° La forêt sur sol gneissique

Cette forêt (Analamazoatra, falaise Betsileo, lambeaux de l'Imerina) est caractérisée par la fréquence des *Dalbergia, Diospyros, Ocotea, Tambourissa, Ravensara,* Kijy, *Weinmannia, Protorhus, Eugenia, Symphonia, Dombeya, Grewia, Dilobeia...* avec sur les lisières : *Pandanus, Harongana, Ravenala, Trema, Dombeya, Psiadia* et Mélastomacées qui leur confèrent une certaine vitalité détournant l'attention de l'aspect vermoulu et moisi de la forêt elle-même.

Notre étude a porté sur 11 profils, prélevés dans l'Analamazoatra, la Mandraka et le Betsileo. Pour la description morphologique de ces sols nous renvoyons aux notes de Segalen (**24**) et à nos propres études sur Périnet et Ampamaherana (**16-17**).

Le sol qui passe du brun rougeâtre au brun jaune, est aéré et peu argileux jusqu'à 20 cm. ; l'horizon jaune, peu compact malgré une forte proportion d'argile, est l'intermédiaire, plus ou moins épais mais toujours présent sous forêt, entre l'horizon riche en matières organiques et l'horizon rouge argileux ; celui-ci surmontant la zone de départ argileuse et compacte, souvent caillouteuse.

La proportion de bases échangeables dans le profil est assez variable, mais, en général, les horizons supérieurs sont mieux pourvus que les horizons correspondants des sols basaltiques. Ce fait tient essentiellement à ce que l'altitude de ces forêts est nettement inférieure à celle des forêts sur sol

basaltique. L'altitude varie de 800 à 1.400 m. ; la température moyenne est de 22° pour 100 à 150 jours de pluies supérieures à 1 mm. Nous y trouverons donc, pour une décomposition plus rapide, un lessivage moins intense du sol.

Nous indiquerons ici la composition moyenne des gneiss et granits des Hauts-Plateaux, selon A. LACROIX (**10**) et des sols qui en sont issus, selon nos propres analyses.

Composition %	Granito-gneiss	Gneiss	Sol : 50 cm.	Sol : 1 m.
SiO_2	72,2	65,4	61,5	69,9
Fe_2O_3	4,2	5,6	8,2	11,5
Al_2O_3	12,8	13,9	14,8	20,7
MgO	0,34	2,2	0,02	0,06
CaO	1,48	3,4	0,25	12,0
Na_2O	3,11	3,9	—	—
K_2O	4,10	3,2	0,08	0,10
TiO_2	0,23	0,8	0,10	0,15
P_2O_5	0,12	0,3	0,12	0,10
H_2O	0,8	0,6	14,4	7,5

Les sols issus de gneiss sont en général moins riches en CaO et en MgO, que ceux issus de basalte, mais plus riches en K_2O. Ils sont également moins riches en hydroxydes et en silice. Le lessivage des bases y est nettement moins intense, mais la dissolution de la silice est très comparable, avec un pourcentage de quartz très élevé. L'accumulation des hydroxydes sera du même ordre, avec une proportion plus élevée d'alumine.

Un plus gros apport de matière organique conduira à une plus forte quantité de bases en surface. Par contre, la pauvreté de la roche-mère sera cause d'une diminution marquée avec la profondeur.

L'humification s'accroît considérablement avec la profondeur et, dès 25 cm., la majorité des produits carbonés entre dans la formation du complexe organo-minéral. L'argile kaolinique participe à ce complexe d'une manière beaucoup plus restreinte que l'argile montmorillonitique, issue du basalte.

Au niveau de la plus forte densité radicellaire, l'humification produit une assez grande quantité d'acides humiques et fulviques. Celle d'acide fulvique semble d'autant plus élevée que l'accroissement du taux de l'argile entraîne une vie microbienne partiellement anaérobie (le taux des *Clostridium* est, à 20 cm., double du taux de surface).

La vie microbienne aérobie ou anaérobie reste très active tout au long du profil et, très vite le taux d'azote s'équilibre à celui du carbone avec un rapport C/N voisin de 10 à 15 cm., où le nombre des Azotobacters atteint son maximum.

Le complexe organo-minéral directement lié à la qualité de l'argile augmente jusqu'à 20 cm., pour devenir rapidement très faible, dès que la quantité d'argile augmente, au point d'arrêter la pénétration des matières organiques.

Le complexe échangeable est plus saturé que dans les sols basaltiques, mais avec un abaissement marqué du pourcentage de calcium échangeable. Cette régression correspond à la zone de plus forte teneur en humine et acide fulvique. Sous l'horizon de forte densité radicellaire, le taux de calcium dans le complexe se relève un peu, tandis que le taux de magnésium diminue considérablement. Ce phénomène semble correspondre à un certain lessivage latéral le long de la pente (fig. 1, tableau 1).

Le rapport, humidité équivalente/capacité d'échange augmente avec la profondeur, passant de 1 à 2 parallèlement à l'augmentation de la quantité d'argile et à la diminution rapide du taux de matière organique.

Les différences essentielles entre les deux types de sol examinés, paraissent pouvoir se résumer par :

1° Un lessivage plus prononcé du sol sur basalte, dû à une pluviométrie plus forte, à une production organique moins abondante et, à ce que la structure grumeleuse s'étend jusqu'au voisinage de la zone de départ.

2° Un lessivage moins fort du sol sur gneiss, mais avec une érosion de la surface beaucoup plus forte, dûe vraisemblablement à la moins grande proportion d'argile entrant dans le complexe organo-minéral. La structure du sol devient très rapidement compacte, arrêtant ainsi la pénétration du matériel organique, tandis que l'horizon supérieur, moins intimement lié à la matière organique, sera plus facilement entraîné par le ruissellement.

3° Malgré une teneur en magnésium, beaucoup plus faible dans la roche-mère, le complexe minéral d'un sol gneissique contient une quantité de MgO remarquablement élevée. Il ne semble pas possible d'imputer ce fait à l'apport végétal, mais bien à des préférences absortives différentes selon les argiles et les complexes organo-minéraux formés.

La quantité de potassium retenue est, elle aussi, plus forte, mais reste proportionnelle à la teneur de la roche-mère.

La capacité d'échange et l'humidité équivalente des sols sur gneiss, sont beaucoup moins élevées que celles des sols sur basaltes, ceci semble directement lié aux différences qualitatives des argiles formées.

Par contre, les rapports silice sur hydroxydes, et silice sur alumine restent parfaitement comparables, étant compris entre 0,4 et 1,5 pour le premier, et 0,2 et 1,2 pour le second.

L'entraînement de la silice est à peu près aussi important pour les deux types de sol, entre 800 et 1.800 m. La formation de concrétions s'effectue donc aussi facilement ; la différence ne résidant que dans les proportions respectives de l'alumine et du fer, résultant de la composition différente des roches-mères.

Il paraît vraisemblable que la disparition de la forêt, amenant l'érosion rapide des horizons organiques, provoquera le cuirassement des gravillons latéritiques, non par la remontée des solutions d'hydroxydes, mais au

contraire, par l'arrêt de la circulation des bases. Cet arrêt est dû à la disparition des racines profondes qui, en se décomposant en milieu semi-anaérobie, produisent une forte quantité d'acide fulvique, dont l'extrême mobilité

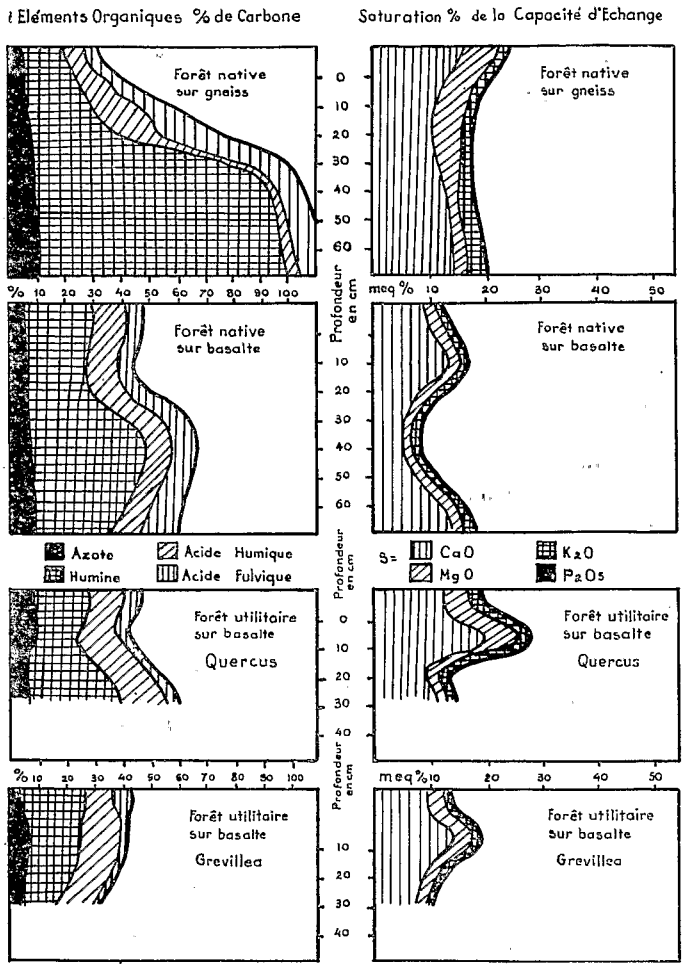

FIG. 1.

accélère le lessivage des bases et de la silice. L'amenuisement des horizons supérieurs du sol devenus, par la cémentation des hydroxydes accumulés, une sorte de revêtement moribond sans contact physique ou chimique avec la roche créatrice, se poursuivra sans relâche, sous l'action de l'eau et du vent, jusqu'à l'apparition de la zone cuirassée. Beaucoup moins rapidement

mais non moins inexorablement, celle-ci finira, elle aussi, par se désagréger et permettra une nouvelle période pédogénétique avec le départ d'une végétation créatrice d'un pédoclimat propice.

FORÊTS UTILITAIRES

En fait de forêts artificielles d'intérêt économique, Madagascar ne comporte, en dehors de l'Eucalyptus, que des bois de Pins et des boqueteaux d'Acacia. Nous n'étudierons pas ici les peuplements d'Eucalyptus, dont les incidences très particulières sur le sol méritent une étude spéciale, mais nous examinerons les boisements de *Pinus khasya* (5 profils sur gneiss et 5 profils sur basalte) et d'*Acacia dealbata* (4 profils sur gneiss et 4 profils sur basalte) ; ceux-ci voisins, tant par la situation géographique que par la situation pédologique, des sols forestiers étudiés plus haut.

Nous examinerons également le cas de quelques petits peuplements isolés de *Pinus pinaster, Pinus patula, Cupressus lusitanica, Grevillea robusta* et *Quercus ruber* étudiés dans les stations forestières d'Ampamaherana, Périnet et Manjakatompo.

L'apport des bases par la couverture morte est assez variable pour un même poids de cendres ; nous citerons ci-dessous quelques chiffres moyens de divers auteurs (**12, 6, 8**).

Éléments %	*Pinus* sp.	*Quercus* sp.	*Populus* sp.
CaO	15 à 21	47 à 76	49 à 76
MgO	4 à 5	2 à 6	4 à 9
K_2O	5 à 8	3 à 22	6 à 18
P_2O_5	1 à 2	2 à 12	3 à 9

Il est évident que de telles différences se répercutent dans le taux de bases échangeables présentes dans les horizons supérieurs des sols ; cependant les variations de l'humification sont telles que le rapport des bases et la saturation du complexe absorbant, restent comparables.

1° Pinus

a) *Sol gneissique*

Sous *Pinus khasya*, l'évolution de la matière organique et la composition du complexe absorbant sont parfaitement comparables à ceux relevés sous la forêt native. On note cependant une transformation beaucoup plus forte de l'humus en acide humique et fulvique entre 15 et 30 cm., ce qui correspond très vraisemblablement à un approfondissement marqué du sol vivant. Le complexe absorbant présente une composition identique avec, cependant, un certain lessivage du magnésium en surface et, une sensible accumulation, entre 10 et 20 cm., qui pourrait être liée à l'accroissement de l'humification.

Le taux d'éléments échangeables, sauf celui de K_2O, est plus élevé, pour tout le profil sous forêt primaire que sous Pin et, si l'humidité équivalente

atteint des taux comparables, la capacité d'échange est nettement plus élevée, dans les 10 premiers centimètres du sol forestier.

Le taux des matières organiques présentes et celui des matières humiques produites sont semblables avec la seule différence que le taux d'azote est plus élevé sous Pin.

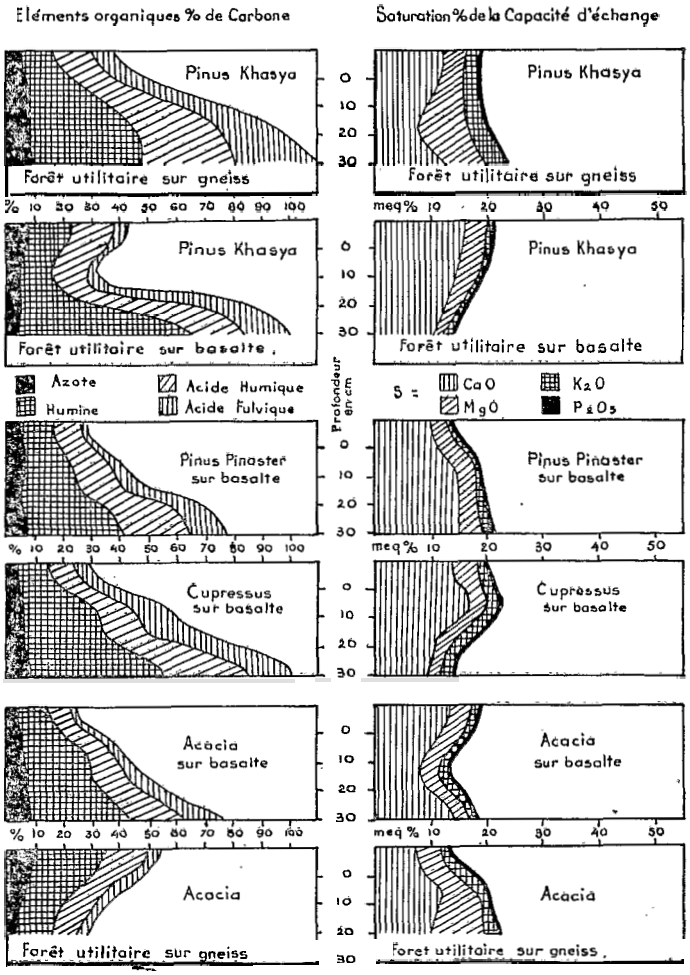

FIG. 2.

La valeur du complexe organo-minéral est meilleure que sous forêt par suite de la production plus abondante de matières humiques et de leur plus grande pénétration dans le sol (fig. 2, tableau 2).

Sous *Pinus patula* les analyses des matières organiques ou minérales

donnent les mêmes valeurs que pour le *Pinus khasya*, à l'exception du potassium échangeable qui se montre extrêmement faible.

La couverture morte, beaucoup plus clairsemée que sous *Pinus khasya*, permet une vie aérobie plus intense assurant une décomposition plus rapide du matériel organique, et amenant la création d'un complexe organo-minéral plus important et surtout plus profond, comparable aux profils des *Pinus khasya* sur sol basaltique (tableau 2).

b) *Sol basaltique*

Sous *Pinus khasya* la décomposition de la matière organique est soumise, comme sous la forêt primaire, à une forte activité biologique et à un lessivage intense. Celui-ci semble cependant un peu ralenti par la litière très épaisse et l'humification en profondeur est un peu plus forte que sous forêt.

Le complexe absorbant est un peu moins désaturé que sous forêt et mieux pourvu en calcium et magnésium.

Le taux de potasse et de phosphore dans le sol est un peu plus faible, imputable sans doute à un moindre apport par la litière végétale.

L'humidité équivalente atteint le même taux que sous forêt, mais la capacité d'échange est beaucoup plus faible en surface.

L'analyse du matériel organique donne des taux comparables à ceux de la forêt avec, cependant, sous *Pinus*, une plus faible transformation en humine. Les valeurs du complexe organo-minéral sont très élevées de part et d'autre ; mais la décomposition subit une nette régression dans l'horizon minéral superficiel. Cette diminution correspond à la présence d'une grosse quantité d'azote et à une réduction de la cellulolyse, vraisemblablement due à la production d'antibiotiques que la plus forte quantité de pluie amène au contact du sol minéral. L'humification reprend rapidement dès 15 cm., mais la formation réduite d'acides humiques et fulviques indique un lessivage très fort (fig. 2, tableau 3).

Sous *Pinus pinaster* nous constatons les mêmes phénomènes que sous *Pinus patula*.

La couverture morte, beaucoup plus clairsemée que sous *Pinus khasya*, assure une décomposition plus rapide du matériel organique. Le taux des matières organiques et minérales est le même et le complexe organo-minéral de même valeur. Un lessivage rendu plus fort par la moindre épaisseur de la litière, a provoqué un net approfondissement du sol organique.

En définitive, pour un même type de sol, nous ne constatons que des différences quantitatives, entre la forêt native et le boisement de Pins. Sur sol basaltique, les Pins amènent une acidification caractéristique du sol ; en conséquence il apparaît assez dangereux de créer des peuplements purs de Conifères, qui, à la longue, risqueraient d'accélérer encore le lessivage des bases échangeables et l'évolution latéritique ou podzolique du sol (fig. 2, tableau 3).

2° Petits peuplements purs sur sols basaltiques

a) *Cupressus lusitanica*

L'impression générale est que l'influence du Cyprès sur le sol est semblable à celle des *Pinus* ; cependant, trois différences importantes sont à relever.

La première constatation est que le Cyprès apporte au sol une quantité de potasse aussi importante que la forêt native. Mais nous constatons, d'abord, que la matière organique ne pénètre qu'assez superficiellement dans le sol et, ensuite, que la production d'acide fulvique est très forte, entraînant ainsi une chute rapide des éléments minéraux du complexe, plus importante que sous *Pinus khasya*. Le complexe organo-minéral, lent à se former, retombe très vite à une valeur faible.

En définitive, le Cyprès reste comparable au *Pinus khasya*, mais, malgré la faible épaisseur de la litière, le couvert herbacé ne peut s'installer et le sol reste soumis à une érosion active. Gomez (7) avait déjà constaté, dans les peuplements du Haut-Lomani, que l'infiltration des matières organiques était assez faible dans le profil, ce qui nous permet de supposer que nos constatations peuvent être étendues à tous les peuplements de Cyprès.

b) *Quercus ruber et Grevillea robusta*

A la station forestière de Manjakatompo, sous le petit peuplement de Chênes clairsemés, rappelant par son aspect les bois de Chênes de haute altitude des contrées méditerranéennes, le taux des matières organiques et des éléments assimilables est strictement semblable à celui que l'on relève sous forêt. L'effet du feuillage de Chêne est seul en cause, car ce peuplement s'est développé sur une petite prairie, environnée de résineux, sous lesquels les éléments se trouvent avoir des valeurs très différentes. D'autre part, la forêt primaire se trouve à plus de 1 km. de ce peuplement.

Entre 5 et 10 cm. un excès d'azote correspond à un léger ralentissement de l'humification. Si la couverture végétale est faible, avec une litière négligeable, une cellulolyse deux fois plus active que sous Pin explique la décomposition rapide de cette litière. Le complexe d'échange est, lui aussi, de même composition que celui de la forêt native, avec un taux de magnésium un peu plus fort et une saturation très augmentée au niveau de la zone d'humification.

Dans cette même station, le peuplement de *Grevillea* est beaucoup plus étendu et offre un couvert dense avec une forte litière. La vie microbienne paraît très active et le taux des éléments organiques n'est pas plus élevé que sous Chêne. Les taux d'éléments minéraux sont nettement plus faibles, par suite d'une richesse différente de la couverture, mais aussi d'un lessivage plus marqué amenant une pénétration des éléments organiques.

Le taux d'argile paraissant plus élevé sous *Grevillea*, la formation du complexe organo-minéral reste semblable sous les deux peuplements, et comparable à celle de la forêt.

Le reboisement en Chêne ne peut être envisagé, car il souffre trop des conditions climatiques. Les essais de boisements tentés avec *Grevillea robusta* à la station forestière d'Ampamaherana semblent prouver une très mauvaise adaptation de cette essence aux sols latéritiques sur gneiss. Par contre, elle s'accomode très bien des sols basaltiques.

Comme la population examinée est resserrée entre deux peuplements de Pins et ne paraît nullement en souffrir, il serait intéressant de mêler ces essences en un boisement mixte assez élargi, ce qui diminuerait les risques d'incendie et permettrait, sans doute, le développement d'une strate herbacée (fig. 1, tableau 5).

3° Acacia

a) *Sol gneissique*

L'humification diminue rapidement avec la profondeur, malgré un lessivage très net dès les premiers centimètres. La litière produite est assez abondante et se décompose bien, mais la formation d'un complexe organo-minéral est assez faible et les bases minérales, déjà peu abondantes, sont assez vite entraînées.

Sous un horizon humifère peu épais, où la strate herbacée se développe, mais sans jamais devenir très abondante, il apparaît sur les pentes une érosion intense découvrant le sol compact.

b) *Sol basaltique*

Le sol beaucoup plus profond et le lessivage plus intense, conduisent à une plus grande pénétration des éléments assimilables.

D'autre part, la décomposition moins active de la litière, du fait du climat différent, et le voisinage d'un peuplement de *Pinus pinaster*, confère au complexe organo-minéral, une meilleure composition que sur sol gneissique.

Dans les deux cas, humidité équivalente et capacité d'échange restent très faibles.

En définitive, si les peuplements d'*Acacia decurrens* sont intéressants pour l'exploitation de leur tanin, leur utilisation dans la reforestation ne saurait être envisagée que dans des cas bien particuliers. Son bois n'offre guère d'utilisation en dehors du chauffage et, contrairement à l'opinion courante, il n'apporte au sol que peu d'azote.

Par suite de sa courte vie, il n'est pas indiqué comme essence mixte dans un peuplement de bois d'œuvre à long développement. Nous avons vu à Manjakatompo des reboisements Pins et Mimosas en très mauvais état, par suite de la mort des Acacias qui, devenus trop âgés, s'étaient abattus en entraînant les Pins voisins.

Sa seule utilisation intéressante serait, par exemple lors de la reforestation des tanety érodées, un embroussaillement à recouvrement rapide, au sein d'une plantation très claire d'Eucalyptus.

4° Avantages et dangers de l'espèce unique

Les peuplements à une seule espèce offrent le très gros avantage d'une exploitation aisée. Ainsi à Madagascar, la création de forêts d'Eucalyptus et de Pins, répondait avant tout à des nécessités économiques.

La forêt native, exploitée au-delà des limites raisonnables, n'offrait plus de ressources suffisantes en bois d'œuvre ou en bois à brûler. L'absence d'exploitations houillères obligeait les deux uniques lignes de chemin de fer de l'Ile à utiliser le bois pour leur traction. C'est cette première nécessité qui fut à l'origine du repeuplement en Eucalyptus ; essence à croissance rapide, futaie facile à exploiter et de plus se recépant vite.

Beaucoup plus tard il devint évident que la reforestation sans but utilitaire immédiat, devenait nécessaire pour protéger les sols dénudés d'une érosion qui emportait très rapidement la terre cultivable.

En dehors de la proximité de la forêt native, ces essences ne sont nullement propres à recréer des conditions forestières, mais, leur danger n'a pas paru évident, jusqu'à présent.

L'Eucalyptus et l'Acacia sont certes, susceptibles de revaloriser une terre mais, comme ils ne produisent qu'une minime couche organique à maigre complexe, une ou deux années de cultures consécutives suffiront à épuiser à nouveau le sol.

Le Pin est beaucoup plus intéressant comme essence de reforestation car, en dehors de son utilisation industrielle, il recrée un sol profond. Son danger réside dans une acidification progressive du sol, qui risque d'amener à la longue une évolution défavorable et, aussi, dans les risques d'une propagation catastrophique des incendies toujours à craindre.

Enfin, un dernier et grave danger des peuplements purs est le risque d'installation d'une maladie bactérienne ou d'insectes pathogènes qui anéantiraient le peuplement avec une très grande rapidité.

Il serait donc intéressant de multiplier les peuplements mixtes, en étudiant les associations au point de vue sociologique et utilitaire. Les plantations en layons forestiers, les semis d'espèces différentes, en lignes croisées ou en carrés entremêlés, semblent les techniques les plus fructueuses.

Une étude pédologique préalable du sol serait nécessaire pour déterminer les peuplements préférentiels.

Selon le sol, le Pin, le Grevillea, le Hêtre, le Cyprès et le Cedrela seraient des espèces dont l'association pourrait être intéressante et l'exploitation aisée.

L'Eucalyptus associé au Mimosa serait à réserver exclusivement pour les sols trop érodés, où leur plantation en boules d'argile, enrichies en engrais minéraux, permettrait la création d'une végétation rapide.

L'Eucalyptus employé au Maroc et en Corse pour assécher les lieux bas et humides trouverait également son emploi pour le reboisement des lieux malsains, irrécupérables pour les cultures.

PRAIRIES

Perrier de la Bathie (**19**) qui a étudié les prairies malgaches sur une large échelle, considère celle à *Imperata* (Tena, Manevika) comme une prairie

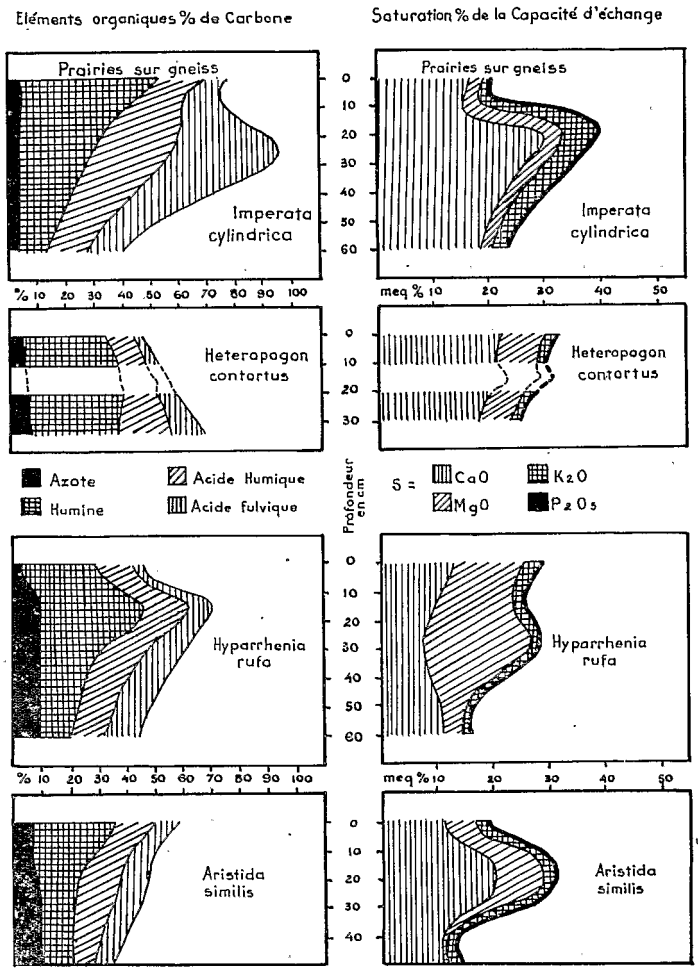

Fig. 3.

de transition. Il rejoint ainsi l'avis de Mohr (**15**) pour qui la prairie à *Imperata* succède directement à la forêt brûlée, quel que soit le type de sol.

Sur le sol épuisé par de nombreux feux, un bon fourrage l'*Hyparrhenia rufa* (Vero, Fantaka) succède à l'*Imperata*.

Sur les pentes et les plateaux fortement érodés l'*Hyparrhenia rufa* cède lui-même la place à la prairie à *Aristida* sans aucune valeur fourragère et qui tend rapidement à ne former que des touffes isolées, n'assurant plus aucune protection au sol.

On peut ainsi distinguer un type de prairie primaire lorsque le niveau de fertilité du sol se maintient, en l'absence d'érosion sérieuse, et un type de prairie secondaire, non productive, qui ne protège pas le sol et régresse vers le stade en touffe à mesure que l'érosion augmente.

Nous ne trouverons que rarement des prairies à *Imperata* sur les sols très érodés, bien que, selon MOHR, l'*Imperata* n'assure pas une bonne protection contre l'érosion.

Avant d'examiner les analyses des sols couverts par les principales Graminées, nous donnerons quelques compositions moyennes des différents fourrages, afin de situer tout de suite les exigences de ceux-ci ainsi que leurs richesses en éléments minéraux susceptibles d'enrichir le sol.

Nous prendons comme source principale les analyses citées par Mlle CAMUS (**3**) et le Ministère Américain de l'Agriculture (**14**).

Composition % de cendres	Canne à sucre	Avoine	*Panicum maximum*	*Heteropogon contortus*	*Cymbopogon cymbarius*	*Eragrostis pilosa*
—	—	—	—	—	—	—
CaO.	20	9,0	10,5	9,0	18	13,0
MgO	11	9,5	6,0	—	19	8,4
K_2O.	26	21,0	—	8,5	—	—
P_2O_5	12	31,0	6,5	6,07	18	5,5

Il est évident que ces chiffres n'ont qu'une valeur purement indicative, car la composition peut varier fortement selon l'âge de la plante et la nature du terrain. Néanmoins, si la quantité des éléments présents dans la plante ne reflète pas la composition du sol, plus la plante sera exigeante, moins nous aurons de chance de la trouver sur un sol très appauvri.

Nous examinerons les principaux types de prairie des Hauts-Plateaux, tant sur sol volcanique que sur sol gneissique. Nous n'avons retenu pour cette étude que des peuplements couvrant le sol à plus de 75 % et dans lesquels l'espèce dominante comptait un pourcentage compris entre 50 et 100.

1° PRAIRIES A IMPERATA

L'*Imperata* malgré sa réputation déplorable, est certainement de toutes les Graminées de station sèche, celle qui crée les conditions biologiques les plus favorables à une forte humification, et à la meilleure saturation du complexe absorbant.

En fait, à l'exception du potassium, elle conserve plutôt moins d'éléments organiques et minéraux que les autres Graminées, mais son système radiculaire profond et dense, conserve au sol une structure grumeleuse, favorable à la pullulation microbienne.

Avec la prairie à *Heteropogon*, la prairie à *Imperata* sera la seule à créer en sol gneissique un complexe organo-minéral important. La circulation plus aisée de l'eau amène un lessivage marqué de la couche supérieure, avec

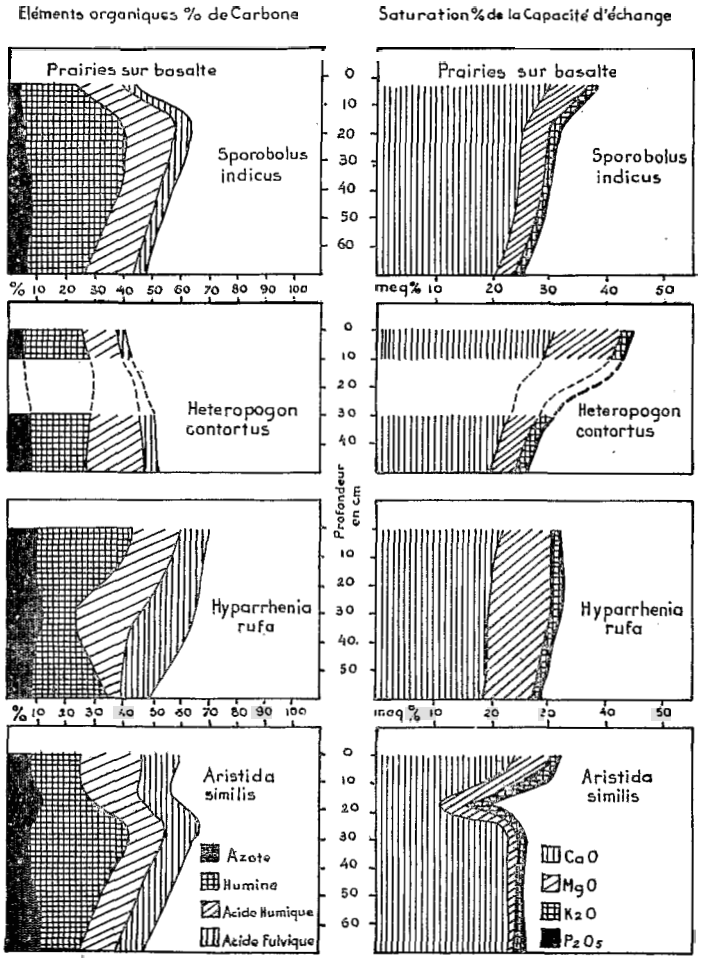

FIG. 4.

une importante accumulation dans la zone des racines, sans pénétration véritable dans l'horizon inférieur, qui reste très pauvre et compact.

En sol basaltique, une végétation plus luxuriante crée un horizon organique plus profond et plus riche en humus, mais où un lessivage plus abondant amène une grave désaturation du complexe absorbant, et un entraînement en profondeur des bases échangeables.

Il semble donc que l'intérêt de la prairie à *Imperata* reste très contestable. Les avantages biologiques qu'elle procure sont largement compensés par les difficultés techniques d'une mise en valeur ultérieure.

D'autre part, le sol sera effectivement préservé de l'érosion, mais souvent appauvri en éléments fertilisants, ou bien comme dans le cas d'un sol sur gneiss, nous n'aurons qu'une couverture de terre noire, épaisse au maximum de 30 cm., et reposant sur un sol rouge, durci, sans zone de transition appréciable. Il est probable que dans le cas d'une mise en culture d'un tel sol, après une ou deux récoltes de valeur, nous verrons se produire le même phénomène que dans les cultures sur forêt incendiée. Le sol superficiellement riche, sera rapidement entraîné par l'érosion et, dès l'apparition du sol sec et pauvre, toute culture deviendra impossible (fig. 3, tableau 6).

2° Prairies a Sporobolus et a Panicum

Beaucoup plus riches en éléments assimilables et en éléments organiques, ces prairies seraient plus intéressantes que celles à *Imperata*. Malgré un feutrage de racines moins épais et moins profond, nous n'avons pas une séparation nette entre un sol très humifère et un sol minéral pauvre. La vie microbienne y est assez active et les conditions aérobies, dominantes dans tout le profil, assurent une bonne humification des éléments carbonés, avec une faible production d'acides fulviques. La saturation du complexe est satisfaisante et semble déterminer une élévation du pH. La quantité de calcium est très élevée dans tout le profil entraînant une forte capacité d'échange et une forte humidité équivalente.

La prairie à *Sporobolus*, peu utilisable pour l'alimentation du bétail, serait certainement à favoriser sur les pentes, tandis que la prairie à *Panicum*, fournissant un fourrage apprécié, trouverait son emploi sur les plateaux (fig. 3 et 4, tableau 7).

3° Prairies a Heteropogon contortus et a Hyparrhenia rufa

L'*Heteropogon* et l'*Hyparrhenia*, de composition semblable, présentent des caractères voisins.

Le complexe échangeable, riche en calcium et en magnésium, offre le même aspect pour les deux types de prairies, souvent associées en un type mixte.

Sur sol basaltique, la décomposition des matières organiques est bonne et la zone des racines présente une activité nitrificatrice, particulièrement intense, entraînant une forte augmentation de production des acides humiques et fulviques.

Sur sol gneissique, un fort lessivage de l'azote en surface est peu favorable à une humification active mais, dès 10 cm., nous retrouvons des conditions normales, avec une proportion très élevée de magnésium sous *Hyparrhenia rufa* ; phénomène particulier que nous devons attribuer à une différence

minéralogique, car nous le trouvons sur 3 des 4 profils étudiés et ces 3 profils ont une situation semblable, le quatrième se rapprochant davantage des conditions normales.

En définitive, les conditions d'évolution du sol, sous *Hyparrhenia* et *Heteropogon*, sont comparables ; le sol est plus riche et plus profond que sous *Imperata*, mais l'humification est loin d'être aussi favorable que sous *Sporobolus* (fig. 3 et 4, tableaux 8 et 9).

4° Prairies a Aristida

L'évolution des sols sous *Aristida*, que ce soit en sol gneissique ou en sol basaltique, ressemble beaucoup à celle des sols sous *Hyparrhenia* et *Heteropogon*.

Quelques différences importantes apparaissent cependant dans la composition du complexe absorbant : réduction très forte de la proportion de magnésium et, au niveau des racines, désaturation très marquée en calcium, correspondant d'ailleurs à une humification plus intense de l'horizon inférieur. Le taux des matières organiques est assez faible et l'humification plutôt médiocre.

Il est surtout important de distinguer divers stades de la prairie à *Aristida*. Celle-ci est toujours considérée comme prairie de sols très dégradés ; ceci n'est exact que pour la prairie en touffes ; mais il existe de nombreuses prairies fermées, se développant sur des sols peu érodés, relativement riches en Légumineuses et Composées diverses.

Sur les 10 profils, dont nous étudierons ici les caractères, cinq appartiennent à ce type riche, les cinq autres à un type intermédiaire, où *Hyparrhenia*, *Heteropogon*, *Cymbopogon* et *Eulalia* participent à la composition floristique dans une large mesure (50 à 60 % seulement d'*Aristida*).

Les prairies à *Aristida* en touffes, sont le stade ultime de la végétation des sols très érodés. La vie microbienne y est si réduite et la pauvreté, en éléments minéraux et organiques, si marquée que nous n'avons pas voulu faire figurer ce type dans notre étude.

5° La prairie est-elle une suite normale de la déforestation ?

Les divers types de prairies possèdent deux traits communs ; leur complexe est riche en calcium et l'humification de la matière organique est beaucoup plus forte. Nous avons là une différenciation nette du stade forêt et du stade prairie.

Si nous admettons que sur un sol déforesté, la prairie riche qui succède à la forêt, est un stade régressif de la végétation, favorisant l'érosion, nous admettrons également que la régression sera continue de l'*Imperata* à l'*Aristida* en touffes, sans que le feu joue un rôle plus important que la simple érosion en nappe.

En fait, la prairie à *Aristida, Hyparrhenia, Digitaria* et *Panicum* est un stade de végétation beaucoup plus exigeant que la forêt.

La forêt détruite par le feu laisse un horizon de cendres mince mais très riche. Comme nous l'avons signalé dans une étude précédente (**16**), après un an l'excès de CaO apporté par les cendres de l'horizon organique, est encore sensible, bien qu'il n'ait que peu pénétré dans le sol.

Si la zone brûlée est cultivée, l'enrichissement temporaire assurera une belle récolte, mais l'exportation des éléments minéraux par les végétaux cultivés, et le ruissellement abondant sur un sol dénudé, auront vite anéanti cette richesse.

Au contraire, si la zone brûlée n'est pas mise en culture, il s'y développera, dès la saison suivante des pluies, une prairie broussailleuse, à base de Graminées exigeantes et de Légumineuses ; *Desmodium, Acacia, Zornia,* etc.

Comme l'avait déjà fort bien observé WILLIAMS (**27**), les Graminées trouvent une riche alimentation minérale et azotée dans les produits de décomposition aérobie de la substance organique des horizons supérieurs enrichis par la forêt. Les racines et les rhizomes, bien développés, assurent un réseau d'aération et une nouvelle source d'alimentation.

Par ailleurs, les Légumineuses herbacées et buissonnantes jouent un rôle primordial dans l'évolution du sol. Elles se développent au sein des Graminées, assimilent l'azote atmosphérique et satisfont par leur décomposition annuelle, les exigences azotées des Graminées. Leurs racines, profondes de plusieurs mètres, prennent la succession de celles des arbres dans la remontée des substances minérales de la zone de décomposition de la roche.

En conséquence, si la prairie riche est préservée du feu, son évolution naturelle amènera rapidement la régénération d'une strate arborée. Le feu seul assurera la régression de la prairie couvrante aux espèces riches, en une prairie moins exigeante et chaque feu annuel fera rétrograder rapidement les espèces, vers le stade de la prairie pauvre, ouverte, couvrant mal un sol très appauvri par le ruissellement.

Il importe donc, comme le signale H. HUMBERT (**9**), de ne pas confondre deux effets très différents du feu. Si un premier incendie enrichit le sol, permettant le développement d'une prairie riche, mais souvent peu appréciée des animaux (*Imperata*), un deuxième incendie peut provoquer l'apparition d'une prairie tendre à base d'espèces plus comestibles. Mais par la suite, le renouvellement des feux amènera la substitution d'espèces dures et mauvaises fourragères, aux espèces des premiers stades, en liaison directe avec l'appauvrissement progressif du sol.

DISCUSSION ET RÉSUMÉ

La charge négative de surface des cristaux d'argile est responsable de l'échange de bases et de la capacité de combinaison des bases (**21**).

Des suspensions d'argiles kaoliniques se maintiennent en présence d'eau de mer, si elles contiennent des traces d'humate de soude. Dans les mêmes conditions des suspensions illitique ou montmorillonitique floculent (**22**).

Cette différence de comportement des deux principaux types d'argile que nous retrouvons sur les Hauts-Plateaux, la première sur les roches gneissiques, la seconde sur les roches basaltiques, pourrait fort bien expliquer l'action physique très différente d'une même quantité d'humus dans les deux types de sol.

La variation des propriétés colloïdales de l'humus et des humates, au cours de la décomposition microbienne des déchets organiques, paraît être liée à la qualité de l'argile en présence.

L'activité structurale de l'humus dépend de la formation plus ou moins importante du complexe organo-minéral. Nous avons pu voir que l'argile kaolinique, possédant une capacité d'échange beaucoup plus faible, participait à la formation du complexe, d'une manière plus restreinte que l'argile montmorillonitique. Il est donc probable que la matière humifère se répartira moins bien dans le profil et s'adsorbera sur l'argile d'une manière moins homogène. Ce serait sans doute là, l'une des différences d'évolution des deux profils gneissiques et basaltiques, sous un même couvert végétal, et avec une humification comparable.

En sol gneissique, la matière humique produite en surface pénètre en profondeur et ne se combine qu'assez faiblement avec la kaolinite. Elle forme surtout des complexes avec les hydroxydes libres et les bases, de sorte que la protection qu'elle assure au sol reste superficielle, et n'entraîne que de minimes changements structuraux. L'argile privée de la protection d'un horizon humifère reste facilement dispersable.

En sol basaltique, au contraire, la matière humique forme un complexe étroit avec l'argile, lui faisant acquérir, avec une couleur très foncée, une structure grumeleuse, pratiquement indestructible, et accroissant d'autant la capacité d'échange du sol minéral.

Aussi, malgré un lessivage beaucoup plus marqué, les profils restent riches, tant en matières organiques que minérales et, même après l'ablation des horizons supérieurs, l'argile conserve longtemps son état grumeleux, permettant pendant beaucoup plus longtemps la reprise d'une végétation vigoureuse.

Tiulin (**26**) a reconnu trois états de la matière humique dans le sol.

Dans le premier la matière humique est libre ; cet état ne se rencontre que lorsque la surface des particules minérales est déjà saturée.

Le second est constitué par des humates fixés selon les forces de Van der Waals.

Dans cet état, l'humus possède une fonction régulatrice sur la composition du sol en éléments fertilisants. Son accumulation favorise l'adsorption des substances minérales sur le complexe argileux. Ici encore la qualité de l'argile jouera un rôle prépondérant ; la quantité de bases retenues étant

fonction directe de la quantité et de l'homogénéité du complexe argilo-humique.

Dans le troisième état, la matière humique est liée de façon irréversible à la fraction minérale du sol, par la formation de composés chimiques avec les sesquioxydes. Dans cet état, il est vraisemblable que la fraction fulvique de l'humus assure la libération accélérée des bases minérales, à partir des minéraux insolubles.

Réalisant quelques expériences élémentaires pour mettre en évidence cette action, nous avons examiné l'aptitude à former des complexes pour les trois formes de l'humus soluble aux alcalins. Les trois fractions de l'humus possèdent en commun la faculté de se combiner aux hydroxydes, comme aux bases alcalines ou alcalino-terreuses. Cependant, l'acide fulvique, pour une molécule à même valeur de carbone que celle d'acide humique et d'humine, retient trois fois plus d'alumine que les deux autres, mais peu de bases et de fer. Cependant, une solution d'acide fulvique percolant à travers une terre enrichie artificiellement entraîne une forte quantité de fer et de bases ; ceux-ci se trouvant sous forme d'une simple suspension qui se dépose rapidement.

Comme d'autre part, l'acide fulvique ne se combine pratiquement pas avec l'argile, sa solubilité aux acides lui assure dans le sol une très grande mobilité. Cet acide entraînera donc avec lui une très forte quantité d'hydroxydes et de bases utilisables par les plantes. Sa production à partir de l'humine s'effectuant de préférence en milieu anaérobie, son abondance entraînera un lessivage intense du milieu. Sa concentration dans une zone d'écoulement latéral créera une acidité favorable à la précipitation des hydroxydes en excès, notamment du fer dont la plus grande quantité doit se trouver libre.

Ponomareva (**20**) avait déjà reconnu que l'acide fulvique jouant un rôle protecteur des sols ferriques, caractérisait la formation des horizons podzoliques. Nous ajouterons qu'il est possible de lui attribuer un rôle essentiel dans la formation des concrétions et des zones cuirassées profondes.

Ce complexe argilo-humique doué de propriétés d'absorption et d'échange remarquables, joue également un grand rôle dans la circulation et la retention de l'eau du sol.

Plus la quantité d'humus est importante dans le sol, plus la capacité pour l'eau augmente. Le point de flétrissement (humidité hygroscopique) s'élève aussi corrélativement. Mais comme l'observait Boyoucos (**1**) l'élévation du point de flétrissement étant beaucoup plus faible que l'élévation de la capacité pour l'eau, il en résulte que la quantité d'eau utilisable par la plante est considérablement accrue.

L'augmentation de la capacité d'échange et de l'humidité du sol sont corrélatives et dépendent toutes deux de l'importance du complexe organo-minéral.

Le rapport de l'humidité équivalente à la capacité d'échange oscille entre 1 et 2, quel que soit le couvert végétal et le type de sol. Pour 52 sols

basaltiques la valeur calculée de ce rapport est de 1,4 avec un coefficient de corrélation égal à 0,977 et une regression de x en y de 0,0585.

L'humus possède une capacité d'échange considérable, voisine de 400 méq. pour 100 gr. (5) ; aussi, le pouvoir de rétention d'un sol est-il en proportion directe de la quantité d'humus, entrant dans le complexe organo-minéral, plus encore que dans la quantité d'argile.

Mais cette capacité est soumise à un facteur limitant, qui est la quantité d'hydroxydes susceptibles d'entrer en combinaison avec l'humus.

En conséquence, plus le taux d'acide fulvique sera fort, dans le complexe huminique, plus la capacité d'échange sera réduite sans que le taux d'humidité équivalente en soit affecté.

Ainsi, dans une zone argileuse riche en hydroxydes et en acide fulvique, nous trouverons une forte humidité équivalente, mais une capacité d'échange très faible.

Un complexe organo-minéral aura donc peu de chance de se former dans un tel horizon, et le lessivage des bases minérales n'amènera qu'une accumulation temporaire qui, faute d'être récupérée par une zone de racines abondantes, sera entraînée peu à peu par l'acide fulvique s'écoulant latéralement.

CONCLUSIONS

Nous voyons donc que la forêt et la prairie jouent chacune un rôle bien différent dans la production et la conservation d'un sol cultivable.

La forêt assure une couverture constante du sol et, par une zone de racines très serrée, provoque une circulation d'air et d'eau favorable à une vie microbienne intense.

Les condensations occultes permettent une humidité de la litière favorable à l'humification des débris organiques. L'apport continuel d'éléments minéraux, par la couverture morte, permet la création d'un complexe argilo-humique riche et d'une grande stabilité.

Cependant, les exigences alimentaires de la forêt naturelle en place sont telles, qu'en fait, le taux des éléments vitaux du sol reste assez faible et la forêt vit en cycle fermé ; si elle n'appauvrit pas le sol, elle ne l'enrichit pas non plus. Son couvert assure, d'autre part, une forte humidité, mais son évaporation très active, fait que l'humidité du sol sous forêt n'est pas pour autant plus forte que l'humidité du sol sous prairie.

Sous une prairie fermée, l'humidité du sol sera au moins aussi forte que sous forêt, la quantité de matières humiques aussi importante, la formation du complexe organo-minéral du même ordre, et le complexe absorbant beaucoup mieux saturé.

La prairie fermée produira, pour un sol initial de même nature et de même degré d'érosion, un sol plus riche et utilisable de façons multiples.

Mais la prairie présente deux inconvénients majeurs. Elle n'offre aucune

protection contre le feu et nous avons vu combien celui-ci était un agent de dégradation rapide. D'autre part elle couvre le plus souvent des versants à forte pente où n'existe aucune protection contre l'érosion. Sur de grands espaces, mal préservés par un couvert discontinu, le ruissellement prend des allures catastrophiques et, conjugué au feu annuel, il emportera très vite le sol en place pour ne laisser qu'une zone d'altération pauvre en éléments assimilables, sinon une carapace de sesquioxydes, impropre à toute végétation.

Il est donc indispensable, si l'on veut conserver des sols de prairies, propres à offrir de bons pâturages, ou à porter des cultures vivrières rentables, de combiner la strate herbacée avec une strate arborée de protection, du type pré-bois, ou du type prairie à lignes d'arbres de protection.

En résumé, l'évolution différente du sol sous forêt et sous prairie, ne peut faire conclure à une supériorité de l'une de ces formations sur l'autre, mais montre clairement que l'état du sol et la topographie conditionnent l'utilisation sous l'une ou l'autre forme. La détermination du mode d'évolution moyen sous les principaux types de végétation sera donc d'une très grande utilité pour permettre une sûre détermination de la vocation culturale et l'établissement des cartes d'utilisation.

L'exploitation permanente du sol malgache est donc possible à condition qu'elle soit organisée rationnellement. Il est avant tout nécessaire de conserver ce qui existe encore de ce sol et d'introduire des méthodes d'utilisation judicieuses, en fixant des limites précises, destinées à maintenir ou à rétablir l'équilibre entre les terrains cultivés, pâturés ou boisés.

ANNEXES

TABLEAU 1

	Forêt native sur sol basaltique				*Forêt native* sur sol gneissique			
	A0	**A1**	**A2**	**B**	**A0**	**A1**	**A2**	**B**
Profondeur en cm.	*litière*	*0 à 10*	*15 à 30*	*50 à 100*	*litière*	*0 à 10*	*15 à 40*	*60 à 100*
Analyse physique % :								
pH	6,4	6,1	6,3	5,6	6,1	5,8	5,7	5,0
Argile	—	13,5	16,1	42,5	—	21,0	22,7	35,0
Limon	—	14,8	20,3	27,2	—	15,1	23,0	24,0
Sable	—	35,0	53,0	27,5	—	50	55,7	40,0
Humidité hygrosc.	23,2	15,7	16,8	—	22,6	18,8	7,8	10,8
Humidité équival.	118,0	79,2	48,1	31,8	50,8	38,7	27,6	21,8
Analyse chimique ‰ :								
Humine	42,6	34,5	18,3	5,6	32,8	19,2	7,2	2,9
Acides humiques	16,6	12,4	6,3	1,6	13,2	8,5	3,3	0,2
Acides fulviques	8,0	5,1	4,5	2,2	7,3	4,9	2,6	0,5
Carbone	144,0	124,5	54,0	15,7	168,5	74,1	18,3	2,4
Azote total	7,64	7,0	3,52	1,68	8,97	3,55	1,57	0,25
Azote assimilable	0,93	—	—	—	—	—	—	
C/N	18,7	17,8	15,3	9,3	18,8	20,9	17,6	9,6
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	66,00	70,80	58,30	42,00	64,40	63,40	57,60	28,50
CaO échangeable	1,95	2,28	0,81	0,71	2,66	1,06	0,45	0,54
MgO	0,51	0,43	0,20	0,11	0,82	0,38	0,10	0,05
K_2O	0,35	0,14	0,07	0,04	0,48	0,18	0,10	0,17
P_2O_5 assimilable	0,04	0,05	0,05	0,09	0,08	0,03	0,02	0,02
T. méq. %	72,80	58,50	37,90	18,40	59,30	30,90	13,60	12,70
Fractionnement % :								
Densité < 1,8	91	16,5	0,5	0	49,7	13,4	2,5	0,0
1,8 à 2,4	7	82,5	93,0	25	27,0	28,6	19,5	1,5
2,4 à 2,6	1	0,5	2,5	28	23,1	58,0	78,0	98,5
> 2,6	1	0,5	4,0	47				

TABLEAU 2

	Pinus khasya sur sol gneissique				*Pinus patula* sur sol gneissique		
	A0	**A1**	**A2**	**A3**	**A0**	**A1**	**A2**
Profondeur en cm.	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*
Analyse physique % :							
pH	5,0	5,4	5,5	5,8	4,8	5,4	5,3
Argile	16	20,8	20,5	20,0	20,9	12,0	12,7
Limon	5,5	17,0	19,0	13,0	11,7	14,1	17,7
Sable	57,5	56,5	59,5	76,5	59,4	66,9	64,1
Humidité hygrosc.	—	—	—	—	—	6,5	7,4
Humidité équival.	96,2	36,5	32,6	30,6	38,2	30,8	27,7
Analyse chimique ‰ :							
Humine	18,5	12,6	9,6	6,2	23,1	13,9	13,3
Acides humiques	14,6	7,4	6,5	5,8	14,4	11,6	6,6
Acides fulviques	7,9	4,0	3,9	4,6	4,8	4,7	4,6
Carbone	99,3	40,0	22,1	13,2	43,4	37,0	32,0
Azote total	4,87	2,93	1,39	1,22	3,73	2,40	1,84
Azote assimilable	—	—	—	—	0,38	0,98	0,96
C/N	18,4	13,6	15,8	10,5	18,4	15,4	17,3
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	65,0	65,0	62,5	55,0	75,0	71,0	59,0
CaO échangeable	1,00	0,65	0,36	0,40	0,75	0,65	0,46
MgO	0,24	0,26	0,27	0,14	0,26	0,21	0,10
K_2O	0,35	0,21	0,23	0,18	0,09	0,06	0,03
P_2O_5 assimilable	0,06	0,05	0,03	0,01	0,07	0,06	0,03
T. méq. %	29,1	22,5	17,3	10,6	26,8	21,2	20,2
Fractionnement % :							
Densité $<$ 1,8	14,2	2,0	0	0	42,0	2,8	2,3
1,8 à 2,4	43,0	40,5	35,3	35,0	32,5	48,5	48,8
$>$ 2,4	42,8	57,5	64,7	65,0	24,5	48,7	48,9

TABLEAU 3

	Pinus khasya sur sol basaltique				*Pinus pinaster* sur sol basaltique			
	A0	**A1**	**A2**	**A3**	**A0**	**A1**	**A2**	**A3**
Profondeur en cm.	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*
Analyse physique % :								
pH	5,4	5,5	5,5	5,6	5,5	5,3	5,3	5,6
Argile		16,0		11,0		16,0	20,0	12,0
Limon		11,0		16,0		18,0	14,0	14,0
Sable		47		65		48,0	56,0	58,0
Humidité hygrosc.	20,8	29,5	—	21,6	20,7	23,4	19,8	18,0
Humidité équival.	88,5	77,0	48,0	45,0	84,2	60,2	50,0	44,7
Analyse chimique ‰ :								
Humine	21,5	18,5	16,0	20,3	26,3	23,1	15,8	13,8
Acides humiques	17,0	17,0	10,5	5,6	15,5	14,2	9,1	7,8
Acides fulviques	4,0	1,0	2,6	4,6	2,4	2,7	4,1	4,4
Carbone	106,0	131,0	92,0	32,0	173,0	107,3	57,7	36,5
Azote total	7,04	6,60	4,95	1,53	7,14	5,79	3,02	2,77
Azote assimilable	0,20	0,95	—	0,99	0,99	0,53	0,62	0,25
C/N	15,0	19,8	18,6	20,8	24,0	18,5	19,1	13,2
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	63,0	89	80,0	55,0	86,5	84,0	68,8	59,1
CaO échangeable	2,12	1,48	1,31	1,03	1,41	1,56	1,09	0,95
MgO	0,40	0,31	0,22	0,11	0,40	0,33	0,21	0,20
K_2O	0,17	0,06	0,08	0,14	0,08	0,10	0,16	0,14
P_2O_5 assimilable	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
T. méq. %	48,7	35,0	34,8	35,1	53,7	42,5	29,8	26,0
Fractionnement % :								
Densité < 1,8	28,0	10,0	2,0	0,5	56,5	14,8	1,5	0,5
1,8 à 2,4	69,0	72,0	71,0	70,0	40,7	72,2	43,5	70,5
2,4 à 2,6	1,5	3,0	17,0	23,5	1,3	3,5	44,5	21,0
> 2,6	1,5	5,0	10,0	6,0	1,5	9,5	10,5	8,0

TABLEAU 4

	Cupressus lusitanica sur sol basaltique			
	A0	**A1**	**A2**	**A3**
Profondeur en cm	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*
Analyse physique % :				
pH	5,2	5,4	5,2	5,4
Argile		10,0	10,0	
Limon		24,0	16,0	
Sable grossier		29,0	7,0	
Sable fin		26,0	63,0	
Humidité hygroscopique	25,3	—	17,3	19,5
Humidité équivalente	86,0	59,5	43,0	41,5
Analyse chimique ‰ :				
Humine	27,1	17,6	10,0	12,9
Acides humiques	13,4	7,6	5,0	6,6
Acides fulviques	7,0	5,8	5,0	4,0
Carbone	168,0	56,0	33,0	24,0
Azote total	5,98	2,69	1,63	1,94
Azote assimilable	0,43	0,66	0,21	0,51
C/N	28,1	20,8	20,0	12,3
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	65,0	56,0	50,0	60,0
CaO échangeable	1,73	1,12	0,69	0,68
MgO échangeable	0,38	0,22	0,12	0,11
K_2O échangeable	0,27	0,26	0,24	0,16
P_2O_5 assimilable	0,01	0,01	0,01	0,01
T: méq/100 g	44,6	34,8	22,8	24,3
Fractionnement % :				
Densité < 1,8	77,0	7,5	1,0	1,0
1,8 à 2,4	16,5	78,5	66,0	31,0
2,4 à 2,6				
> 2,6	2,5	10,0	10,5	30,0

TABLEAU 5

	Quercus ruber sur sol basaltique				*Grevillea robusta* sur sol basaltique			
	A0	**A1**	**A2**	**A3**	**A0**	**A1**	**A2**	**A3**
Profondeur en cm.	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*
Analyse physique % :								
pH	5,6	5,4	5,2	5,4	5,6	5,2	5,4	5,4
Argile			17,0	15,0		30,0		
Limon			17,0	22,0		28,0		
Sable			52,0	44,0		22,0		
Humidité/hygrosc.	25,0	32,0	26,8	—	15,5	29,5	—	19,5
Humidité équival.	95,0	63,8	61,2	46,0	102,0	63,8	58,0	45
Analyse chimique ‰ :								
Humine	33,5	23,5	21,2	18,8	36,9	24,9	20,2	12,0
Acides humiques	18,0	18,0	10,6	8,0	12,2	14,4	10,6	6,8
Acides fulviques	3,0	1,6	1,4	3,2	4,4	1,2	2,8	1,2
Carbone	120,0	105,8	74,3	50,0	136,0	95,8	83,6	60,0
Azote total	7,63	10,55	4,10	2,90	4,26	6,03	5,75	2,45
Azote assimilable	0,32	0,07	1,45	0,40	1,10	1,47	—	0,66
C/N	15,7	10	18,1	17,5	32,0	16,0	14,5	24,5
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	69,0	85,0	88,0	66,0	78,0	92,0	80,0	75,5
CaO échangeable	2,25	2,58	1,12	1,07	1,88	1,78	1,02	0,56
MgO	0,50	0,59	0,21	0,15	0,33	0,32	0,22	0,10
K_2O	0,42	0,05	0,05	0,12	0,22	0,05	0,05	0,04
P_2O_5 assimilable	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
T. méq. %	62,8	46,0	43,1	32,1	70,0	44,0	37,0	25,7
Fractionnement % :								
Densité < 1,8	44,0	27,0	3,0	2,5	60,0	21,5	2,0	2,5
1,8 à 2,4	55,5	66,0	64,0	68,5	37,5	60,5	76,0	78,5
2,4 à 2,6	0,5	6,0	26,0	16,0	1,0	7,0	12,0	11,0
> 2,6	1,0	2,0	7,0	13,0	1,5	10,0	10,0	8,0

TABLEAU 6

	Acacia decurrens sur sol gneissique			*Acacia decurrens* sur sol basaltique			
	A0	**A1**	**A2**	**A0**	**A1**	**A2**	**A3**
Profondeur en cm.	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*litière*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*
Analyse physique % :							
pH.	5,2	5,2	5,3	5,4	5,4	5,3	5,6
Argile.	16,7	14,0	16,7		22,0	7,0	12,0
Limon.	18,7	12,5	17,5		21,0	18,0	20,0
Sable.	48,6	60,0	53,8		48,0	72,0	68,0
Humidité hygroscopique .		9,7	8,1	23,7	20,0	19,0	16,8
Humidité équivalente. . .	38,6	27,5	6,8	80,0	56,5	47,5	31,5
Analyse chimique % :							
Humine.	28,0	16,4	11,3	33,5	26,5	14,7	4,0
Acides humiques.	13,0	7,7	7,7	20,0	11,0	7,3	4,0
Acides fulviques	4,0	4,9	4,1	4,1	4,2	3,4	2,2
Carbone.	87,0	69,8	67,5	237,0	93,0	49,8	20,4
Azote total	6,68	3,57	3,05	8,28	4,59	3,21	1,30
Azote assimilable.	—			0,34	0,32	0,65	0,40
C/N	13,0	19,5	22,1	28,6	20,2	15,5	15,2
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	76,5	61,1	65,2	83,0	72,3	70,0	63,0
CaO échangeable.	0,64	1,00	0,58	2,0	1,22	0,63	0,76
MgO	0,28	0,29	0,22	0,52	0,25	0,17	0,09
K_2O	0,07	0,09	0,06	0,17	0,15	0,14	0,06
P_2O_5 assimilable	0,05	0,02	0,04	0,05	0,02	0,02	0,01
T. méq/100 g.	30,7	21,9	12,5	58,7	42,8	29,5	15,3
Fractionnement % :							
Densité < 1,8	20,0	11,0	5,0	71,0	18,3	4,0	1,5
1,8 à 2,4. . . .	26,0	29,5	37,5	26,6	64,7	57,0	24,5
2,4 à 2,6				1,5	6,0	25,0	18,0
> 2,6	54,0	60,5	57,5	1,0	11,0	14,0	55,0

TABLEAU 7

	Imperata arundinacea sur sol basaltique				*Imperata cylindrica* sur sol gneissique			
	A1	A2	A3	B	A1	A2	A3	B
Profondeur en cm.	*0 à 10*	*25 à 30*	*40*	*50*	*0 à 5*	*10*	*20*	*60*
Analyse physique % :								
pH	5,5	6,2	6,0	6,0	5,2	5,2	5,4	6,2
Argile	18,3	8,4	6,8	8,5	15,0	23,0		
Limon	22,5	32,5	22,6	33,5	13,0	29,0		
Sable	39,1	40,7	58,5	47,3	66,0	46,0		
Humidité hygrosc.	—	—	—	—	12,0	7,4	8,6	9,6
Humidité équival.	52,2	41,3	37,9	38,9	29,5	26,0	18,0	24,5
Analyse chimique ‰ :								
Humine	—	—	—	—	12,2	6,1	4,7	1,3
Acides humiques	14,6	8,0	0,8	0,4	3,9	3,0	3,4	1,2
Acides fulviques	6,8	5,7	0,6	0,5	2,5	2,4	4,8	1,0
Carbone	57,6	32,8	8,0	12,7	26,0	15,0	13,0	8,8
Azote total	6,42	4,59	1,10	1,39	0,95	0,68	0,48	0,4
Azote assimilable								
C/N	9,0	7,2	7,3	9,1	27,3	22,0	27,5	20,0
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	68,0	58,0	57,0	44,0	61,0	55,0	41,0	54,0
CaO échangeable	0,78	0,42	0,39	0,73	1,50	0,73	0,88	0,91
MgO	0,15	0,05	0,10	0,22	0,32	0,20	0,13	0,15
K_2O	0,05	0,06	0,04	0,08	0,25	0,34	0,46	0,24
P_2O_5 assimilable	0,10	0,05	0,08	0,07	0,04	0,02	0,03	0,01
T. méq. %	47,6	27,2	28,5	23,6	32,2	18,3	10,6	18,6
Fractionnement % :								
Densité < 1,8					1,5	1,0	1,0	0
1,8 à 2,4					70,0	58,2	48,5	5,0
2,4 à 2,6					12,5	24,3	40,5	43,5
> 2,6					16,0	16,5	10,0	51,5

TABLEAU 8

	Sporobolus indicus sur sol basaltique				*Panicum maximum* sur sol basaltique			
	A1	**A2**	**A3**	**B**	**A1**	**A2**	**A3**	**B**
Profondeur en cm.	*0 à 10*	*15 à 20*	*30 à 50*	*60 à 100*	*0 à 5*	*10 à 20*		*60*
Analyse physique % :								
pH	6,3	6,3	6,3	6,5	6,3	6,3		6,3
Argile	13,4	31,5	33,5	47,0	8,5	16,2		56,6
Limon	22,3	20,0	24,0	18,5	15,2	20,0		17,6
Sable	38,2	34,0	34,0	21,4	60,1	50,9		15,0
Humidité hygrosc.					15,8			
Humidité équival.	47,0	46,8	45,2	33,2	39,1	40,0	—	39,5
Analyse chimique ‰ :								
Humine	15,9	11,6	8,1	3,0	16,5	13,6	—	2,1
Acides humiques	10,7	5,2	3,2	2,1	10,6	8,0	—	0,4
Acides fulviques	1,2	1,2	0,5	0,3	1,4	0,7	—	0,3
Carbone	61,3	28,8	21,0	11,5	42,0	24,0	—	5,5
Azote total	3,01	1,78	1,56	0,80	2,92	2,87	—	0,88
Azote assimilable							—	
C/N	20,3	16,2	13,5	14,7	14,2	8,4	—	6,4
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	89,5	81,0	86,5	87,5	88,0	92,0	—	57,0
CaO échangeable	3,21	1,54	1,44	1,23	2,69	1,53	—	1,33
MgO	0,89	0,38	0,30	0,29	0,63	0,59	—	0,25
K_2O	0,06	0,04	0,03	0,03	0,07	0,04	—	0,04
P_2O_5 assimilable	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	—	0,02
T. méq. %	36,6	22,3	21,9	20,2	35,10	28,3	—	24,4
Fractionnement % :								
Densité < 1,8	—	—	—	—	—	—		—
1,8 à 2,4	—	—	—	—	—	—		—
2,4 à 2,6	—	—	—	—	—	—		—
> 2,6	—	—	—	—	—	—		—

TABLEAU 9

	Heteropogon contortus sur sol basaltique		*Heteropogon contortus* sur sol gneissique	
	A1	B3	A1	A3
Profondeur en cm	*0 à 5*	*50*	*0 à 5*	*30*
Analyse physique % :				
pH	6,3	6,5	5,3	5,3
Argile	22,0	56,2	14,5	21,5
Limon	16,8	12,1	20,5	18,5
Sable	49,9	19	49,5	59,5
Humidité hygroscopique			11,6	10,2
Humidité équivalente	46,3	34,8	25,5	20,5
Analyse chimique ‰ :				
Humine	13,2	5,8	14,5	1,8
Acides humiques	5,6	4,2	3,7	0,8
Acides fulviques	1,4	0,6	1,1	0,5
Carbone	46,5	21,9	41,5	4,6
Azote total	2,03	1,31	1,47	0,36
Azote assimilable				
C/N	22,9	16,7	27,8	12,7
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	80,0	87,5	76,0	61,0
CaO échangeable	2,59	1,18	1,90	0,84
MgO échangeable	0,70	0,31	0,44	0,17
K_2O échangeable	0,06	0,04	0,17	0,10
P_2O_5 assimilable	0,03	0,02	0,08	0,05
T. méq/100 g	30,4	19,5	29,4	17,1
Fractionnement % :				
Densité < 1,8			1,0	0
1,8 à 2,4			58,0	22,0
2,4 à 2,6			12,0	20,5
> 2,6			25,0	57,5

TABLEAU 10

	Hyparrhenia rufa sur sol basaltique				*Hyparrhenia rufa* sur sol gneissique			
	A1	**A2**	**A3**	**B**	**A1**	**A2**	**A3**	**B**
Profondeur en cm.	*0 à 10*	*15 à 20*	*30 à 40*	*100*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 30*	*40 à 50*
Analyse physique % :								
pH	5,8		5,8	6,0	5,0	4,9	4,8	5,0
Argile	38,0		28,0	22,0	11,6	18,4	22,3	59,1
Limon	21,2		17,9	27,8	11,2	12,7	12,6	19,1
Sable	34,8		52,1	49,4	73,2	58,9	62,5	20,7
Humidité hygrosc.					7,8	10,6	12,1	—
Humidité équival.	34,4		32,0	31,4	21,5	22,0	22,5	—
Analyse chimique ‰ :								
Humine	11,0		2,2	1,5	22,6	24,2	4,4	1,5
Acides humiques	4,5		2,3	0,25	8,1	8,0	2,1	0,7
Acides fulviques	2,1		1,7	0,5	2,3	1,4	1,3	0,7
Carbone	25,8		10,3	4,0	70,2	51,0	13,4	5,9
Azote total	2,14		1,16	0,37	2,22	4,05	1,10	0,46
Azote assimilable								
C/N	12,0		8,8	10,8	31,6	12,6	12,2	12,9
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	68,0		57,5	33,3	77,5	85,0	62,0	50,0
CaO échangeable	1,09		0,71	0,75	0,91	0,56	0,30	0,52
MgO	0,27		0,26	0,26	0,55	0,59	0,66	0,15
K_2O	0,07		0,07	0,04	0,20	0,09	0,04	0,05
P_2O_5 assimilable	0,03		0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02
T. méq. %	17,8		11,8	15,0	24,3	18,9	15,0	16,6
Fractionnement % :								
Densité $<$ 1,8	1,0		0	0				
1,8 à 2,4	55,0		21,5	1,6				
2,4 à 2,6	4,0		3,5	5,4				
$>$ 2,6	40,0		75,0	93,0				

TABLEAU 11

	Aristida similis sur sol basaltique				*Aristida similis* sur sol gneissique			
	A1	**A2**	**A3**	**B**	**A1**	**A2**	**A3**	**B**
Profondeur en cm.	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*	*75 à 100*	*0 à 5*	*10 à 15*	*20 à 25*	*40 à 50*
Analyse physique % :								
pH	5,4	5,4	5,6	5,8	5,5	5,3	5,2	5,9
Argile	24,1	12,5	28,0	44,6				
Limon	18,4	14,2	21,4	23,8				
Sable								
Humidité hygrosc.	17,1	17,4	10,7	—	8,5	8,2	8,0	12,0
Humidité équival.	40,8	36,6	28,6	33,9	30,2	25,5	30,4	22,5
Analyse chimique ‰ :								
Humine	11,5	9,6	5,1	1,3	11,6	5,7	3,5	1,5
Acides humiques	9,4	6,6	2,2	0,65	4,6	2,2	2,9	0,5
Acides fulviques	5,3	3,9	1,4	0,60	3,3	1,7	1,7	0,6
Carbone	44,3	38,2	12,0	5,2	34,0	21,3	16,5	6,4
Azote total	3,41	4,15	0,93	0,54	2,36	1,38	1,81	0,62
Azote assimilable	0,83	1,00	0,56	—				
C/N	12,9	9,2	12,9	9,6	14,4	15,4	9,1	10,3
$\frac{\text{M.H.P.}}{\text{M.H.T.}} \times 100$	64,0	63,0	61,0	53,0	58,2	58,9	63,0	45,0
CaO échangeable	1,63	0,84	0,69	0,65	0,86	1,04	1,20	0,50
MgO	0,28	0,15	0,06	0,03	0,31	0,29	0,34	0,05
K_2O	0,13	0,10	0,07	0,05	0,21	0,14	0,10	0,09
P_2O_5 assimilable	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01
T. méq. %	22,3	22,3	13,5	10,5	28,5	17,3	20,8	16,2
Fractionnement % :								
Densité < 1,8	2,0	0,5	0,5	0	2,3	1,2	0,5	0
1,8 à 2,4	33,5	28,5	33,0	1,0	43,0	56,0	45,0	10,0
2,4 à 2,6	33,5	21,0	4,5	2,0				
> 2,6	31,0	50,0	62,0	97,0	54,7	42,8	54,5	90,0

BIBLIOGRAPHIE

1. Bouyoucos (G. J.), 1939. — Effect of organic matter on the water holding capacity and the wilting point of mineral soils. — *Soil Sci.*, 47, pp. 377-385.
2. Du Bois (H.) et Lecomte (M.), 1949. — Note sur la conservation des sols et la régénération forestière à la station et dans le paysannat de Bambessa. — *Bull. agric. Congo belge*, XL, 3-4, pp. 2456-2467.
3. Camus (A.), 1947. — Les Graminées de Madagascar. — *Rev. Bot. appl.*, pp. 295-296.
4. F.A.O., 1948. — Conservation du sol. — *Etude agric.* n° 4, Washington-Rome, 220 p., 5 fig.
5. George (W.T.Mc), 1931. — The base exchange properties of soil organic matter. — *J. Amer. Soc. agron.*, 23, 5, pp. 331-336.
6. Guilloteau (J.), 1949. — La dégradation des sols dans les territoires d'Outre-Mer. Enquête en Afrique Occidentale Française et au Cameroun. — *Bull. Agric. Congo belge*, XL, 2, pp. 1193-1242.
7. Gomez (P.), 1949. — L'organisation forestière du Haut et Moyen Ituri dans le cadre du double problème de la reforestation et de la conservation des sols de ces régions d'altitude. — *Bull. agric. Congo belge*, XL, 3-4, pp. 2353-2393.
8. Henry (E.), 1908. — Les sols forestiers. — Paris, Berger Levrault.
9. Humbert (H.), 1927. — Principaux aspects de la végétation à Madagascar. — *Mém. Acad. Malgache*, V, pp. 14-79.
10. Lacroix (A.), 1922. — Minéralogie de Madagascar. — Paris, 3 tomes, fig.
11. Lamberton (C.), 1912. — La flore de Madagascar. — *Bull. économ. Madag.*, XII, 2-2, pp. 39-82.
12. Lutz (H. J.) et Chandler (R. F.), 1949. — Forest Soils. — New-York.
13. Louvel (M.), 1921-1924. — Note sur les bois de Madagascar. — *Bull. économ. Madag.*, XX, XXIII et XXIV.
14. Ministère de l'Agriculture, 1938. — Yearbook of Agriculture. — New-York.
15. Mohr (E. C. J.), 1944. — The soils of equatorial Regions. — Washington.
16. Pernet (R.), 1952. — L'humus forestier et son évolution après destruction du couvert végétal. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 1.
17. Pernet (R.), 1952. — De l'effet du labour et de la fumure dans la reforestation d'un sol latéritique. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 1.
18. Perrier de la Bathie (H.), 1921. — La végétation malgache. — *Ann. Musée Colonial de Marseille.*
19. Perrier de la Bathie (H.), 1920. — Les prairies malgaches. — *Bull. économ. Madag.*, XX, 1-2, pp. 1-16.
20. Ponomareva (V. V.), 1949. — Les interactions des groupes d'acides créniques et apocréniques avec les hydroxydes de bases. — *Pochvovedenie SSR*, 51, p. 638.
21. Mitra (R. P.) et Rajagopalan (K. S.), 1952. — Origin of the Base-Exchange capacity of clays and significance of its upper limiting value. — *Soil Sci.*, 73, 5, pp. 349-360.
22. Rivière (A.) et Vernhet (S.), 1951. — Sur la sédimentation des minéraux en milieu marin en présence de matières humiques. — *C. R. Acad. Sc.*, 233, 15, pp. 807-808.
23. Ségalen (P.), 1951. — Etude des sols de la station des Quinquinas. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 165-179.
24. Ségalen (P.), 1951. — Etude des sols du périmètre forestier d'Ampamaherana. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 147-163.

25. SÉGALEN (P.) et TERCINIER (G.), 1951. — Notice sur la carte pédologique de l'Ankaizina. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 2, pp. 181-283.
26. TIULIN (A. F.), 1938. — On the forms of bonds between humic substances and the mineral part of soil colloids and their significance for the understanding of the different properties of soil colloids. — *Pochvovedenie SSR.*, 7, 8, pp. 998-999.
27. WILLIAMS (V. P.), 1946. — Pédologie. — Tananarive, traduction Saint-Aubin, Service géologique.
28. CONFÉRENCE DE NURVARA ELIYA (Ceylan), 1952. — Programme pour l'utilisation des sols tropicaux. — *Agron. trop.*, VII, 2, pp. 170-176.