

SÉRIE A, N° 625

N° D'ORDRE :
649

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ
MENTION SCIENCES

PAR

ROBERT PERNET

1^{re} THÈSE.

ÉVOLUTION DES SOLS DE MADAGASCAR
SOUS L'INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 22 février 1954 devant la Commission d'examen.

MM. BOURCART	<i>Président.</i>
FROMAGEOT	{ <i>Examineurs.</i>
CHOUARD	

IMPRESSIONS PIERRE ANDRÉ
244, BOULEVARD RASPAIL
PARIS XIV^e

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen. M. J. PÉRÈS.

PROFESSEURS

G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	KASTLER	T	Physique.
A. DENJOY	T	Théorie des Fonctions.	EPHROSSI	T	Génétique.
L. LUTAUD	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	WURMSER	T	Biologie physico-chimique.
E. DARMOIS	T	Enseignement de Physique.	RIVIÈRE	T	Géologie (P.C.B.).
Robert LÉVY	T	Physiologie comparée.	GAUTHERET	T	Biologie végétale (P.C.B.).
FOCH	T	Mécanique physique et expérimentale.	LUCAS	T	Physique.
PAUTHENIER	T	Electrotechnique générale.	A. THOMAS	T	Biologie cellulaire.
DE BROGLIE	T	Théories physiques.	ARNULF	T	Optique appliquée.
JOH.	T	Chimie générale.	Max MORAND	T	Physique.
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparées.	SOLEILLET	T	Physique.
GARNIER	T	Géométrie supérieure.	FORTIER	T	Mécanique expérimentale des fluides.
PÉRÈS	T	Mécanique des fluides et applications.	DANJON	T	Astronomie.
LAUGIER	T	Physiologie générale.	FROMAGEOT	T	Chimie Biologique.
M. CURIE	T	Physique (P.C.B.).	LAPORTE	T	Physique générale et Radio-activité.
G. RIBAUD	T	Hautes températures.	JANET	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.
CROZE	T	Physique théorique et Physique céleste.	PETIT	T	Biologie maritime.
DUPONT	T	Théories chimiques.	QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique.
VALIRON	T	Calcul différentiel et Calcul intégral.	GALLIEN	T	Biologie animale (P.C.B.).
BARRABÉ	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.	EICHHORN	T	Biologie végétale (P.C.B.).
G. DARMOIS	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	DE CUGNAC	T	Biologie végétale (P.C.B.).
Jacques BOURCART	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	Mlle CAUCHOIS	T	Chimie-Physique.
AUBEL	T	Chimie biologique.	THELLIER	T	Physique du Globe.
Mme JOLIOT-CURIE	T	Physique générale et Radioactivité.	AUDUBERT	T	Electrochimie.
PLANTEFOL	T	Botanique.	L'HÉRITIER	T	Génétique.
CABANNES	T	Recherches physiques.	GRIVET	T	Radio-Electricité.
GRASSÉ	T	Évolution des êtres organisés.	PONCIN	T	Mécanique des fluides.
PRÉVOST	T	Chimie organique.	THIRY	T	Mécanique appliquée.
BOULIGAND	T	Application de l'analyse à la Géométrie.	DUBREIL	T	Mathématiques générales.
CHAUDRON	T	Chimie appliquée.	QUELET	T	Chimie (P.C.B.).
WYART	T	Minéralogie.	CAGNIARD	T	Géophysique appliquée.
TEISSIER	T	Zoologie.	CHAMPETIER	T	Chimie macromoléculaire.
MANGENOT	T	Biologie végétale.	CUVILLIER	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.
P. AUGER	T	Physique quantique et relativité.	JUNG	T	Pétrographie.
MONNIER	T	Physiologie générale.	TRILLAT	T	Chimie Physique.
PIVETEAU	T	Géologie.	WIEMANN	T	Chimie (P.C.B.).
ROCARD	T	Physique.	JACQUINOT	T	Physique (P.C.B.).
H. CARTAN	T	Mathématiques (E. N. Supérieure).	VASSY	T	Physique de l'atmosphère.
LAFFITTE	T	Chimie générale.	DESTOUCHES	T	Théories physiques.
FAVARD	T	Mécanique générale.	M. PRUVOST	T	Géologie.
COULOMB	T	Physique du Globe.	AMIEL	T	Chimie (P.C.B.).
Mlle COUSIN	T	Biologie animale (P.C.B.).	HOCART	T	Minéralogie.
CHRÉTIEN	T	Chimie minérale.	J.-P. MATHIEU	T	Physique (P.C.B.).
P. DRACH	T	Zoologie.	COUTEAUX	T	Biologie animale (P.C.B.).
			MAY	T	Biologie animale (P.C.B.).
			CHOQUET	T	Calcul différentiel.
			FELDMANN	T	Biologie (P.C.B.).
			GUINIER	T	Physique (P.C.B.).
			JOST	T	Biologie (P.C.B.).
			FORTET	T	Calcul des probabilités.
			SCHWARTZ	T	Méthode mathématique de la Physique.
			CHOUARD	T	Physiologie végétale.
			MALAVARD	T	Aviation.

Secrétaire Ch. MONIER.

**ÉVOLUTION DES SOLS DE MADAGASCAR SOUS
L'INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION**

par

R. PERNET

SOMMAIRE

INTRODUCTION	202
CHAPITRE I. — Aspect général des conditions géologiques, climatiques et pédologiques de Madagascar.	203
Aspect géologique général	203
Climatologie de l'Ile	205
Les principaux types de sols de la Grande-Ile	208
CHAPITRE II. — Étude des principales variables influençant la genèse des sols	225
Rôle et importance du climat, de la topographie et du niveau hydro- statique	225
Rôle et importance de la végétation.	227
CHAPITRE III. — Les solutions du sol et le complexe absorbant dans les sols malgaches	235
Circulation et rétention des solutions du sol	235
Solutions ou suspensions d'éléments minéraux ou organiques. . . .	237
Complexe organo-minéral	241
CHAPITRE IV. — L'évolution des quatre principaux types génétiques des sols malgaches sous l'influence des divers types végétaux	244
Sols granito-gneissiques	246
Sols volcaniques	271
Sols calcaires.	283
Sols sableux	291
CHAPITRE V. — Analogies et dissemblances des types végétaux étudiés. Comparaison de leur influence sur l'évolution des sols	300
Étude de la décomposition de quelques végétaux	301
Répercussions du type de végétation sur l'évolution du sol.	308
RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.	322
ANNEXES : TABLEAUX	335
BIBLIOGRAPHIE	408

INTRODUCTION

Nous avons réuni le résultat de cinq années d'études sur la matière organique des sols. Ce travail ne se présente pas comme une étude pédologique, au sens étroit du terme, sur la classification des sols et les rapports des types principaux entre eux. Nous avons seulement étudié la dynamique chimique de certains éléments organiques et minéraux dans les différents types de sols et l'influence de certains peuplements végétaux dans ce processus.

Notre étude portera donc sur l'évolution de l'horizon vivant du sol et visera à montrer le rôle de la végétation sur les caractères physiques des sols, leur résistance à l'érosion et leur dynamique chimique.

A propos de ce dernier rôle, nous insisterons sur l'influence particulière des produits de décomposition de la matière végétale déposée à la surface du sol (feuilles, brindilles...) ou dans le sol lui-même (éléments morts du système racinaire). Ces produits humiques sont très complexes et les éléments qui les constituent, possédant des propriétés particulières, entraînent des actions différentes dans les sols. Nous avons donc tenté de les différencier et d'étudier leur action en détail.

Dans ce travail, nous avons d'abord réuni quelques données générales sur l'ensemble du problème de l'évolution des sols à Madagascar. Ensuite, nous avons tenté de situer le cadre de notre étude dans les principales familles de sols en mettant en relief les particularités d'action des types végétaux les plus courants sur les sols formés à partir des principales roches-mères.

Enfin, nous avons cru utile de mettre en relief l'action des divers types végétaux, en comparant les observations précédentes et les résultats d'expérimentation sur la décomposition des matières végétales de mêmes types.

Nous ne prétendons nullement exposer ici des découvertes nouvelles, mais nous pensons néanmoins qu'un tel travail peut présenter de l'intérêt, car la comparaison de sols sous des types de peuplements végétaux différents n'a que rarement été effectuée. Quand elle le fut, les conditions de climat et de roche-mère n'étaient que rarement comparables. Dans notre étude, nous avons tenté de ne faire varier, dans chaque cas, que le facteur végétation.

De plus, nous pensons apporter des enseignements utiles sur les sols des régions tropicales dont l'étude des caractères généraux n'a encore été que peu poussée.

Enfin, ce travail peut contribuer à enrichir la somme de documents nécessaires à l'établissement d'une branche de la pédologie, propre à permettre le renouvellement ou l'enrichissement du domaine forestier.

CHAPITRE I

**Aspect général des conditions géologiques, climatiques et
pédologiques de Madagascar.****A. — ASPECT GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL**

Nous inspirant des études de A. LACROIX (127 à 132), COLCANAP (43-44-45), DECARY (49 à 53), PERRIER DE LA BATHIE (191 à 196), H. BESAIRIE (19-20-21-22) et de A. LENOBLE (140-141), nous essaierons de situer le cadre de notre étude des sols en décrivant sommairement les principaux faciès géologiques rencontrés à Madagascar : le plateau central reposant sur socle de granite, gneiss et micaschistes avec ses nombreuses intrusions volcaniques plus ou moins étendues ; les sols sur roches sédimentaires du versant Ouest et les sols métamorphiques du versant Est.

1°) LE MASSIF CRISTALLIN sur lequel repose Madagascar, limité à l'Est et à l'Ouest par des failles d'effondrement, est occupé par des vallées de plissement N.E., N.W. avec quelques chaînes E.W. Ce massif est formé d'alternances très complexes de roches primitives, plus ou moins métamorphisées. La base de ces assises est le gneiss souvent surmonté de micaschistes. Ces schistes cristallins passent par paliers à des roches sédimentaires de plus en plus schisteuses. Le passage du gneiss au granite est progressif et, il est souvent difficile de distinguer le gneiss et les formes de granite à structure rubannée.

Le gneiss commun des hauts plateaux est une roche rubannée, pauvre en biotite, sans muscovite, mais contenant fréquemment de l'amphibole (hornblende) et du pyroxène. Le feldspath de ces gneiss est une orthose ou une microline avec des inclusions de quartz vermiculé comportant fréquemment des plagioclases. Tous ces gneiss à structure granulitique sont riches en quartz.

Le granite présente des aspects minéralogiques très variés : granite à biotite riche en hornblende ou en diopside, parfois porphyroïde ; granulite à deux micas (aplites) ; pegmatites à éléments de grande taille et riches en éléments accessoires (tourmaline, quartz, amazonite...) ; microgranulites et micropegmatites ; porphyres pétrosiliceux ; syénites...

Nous énumérerons encore parmi les roches fréquentes du massif cristallin : les gabbros à pyroxènes, diallagites, microgabbros à olivines (diabases), les cipolins riches en minéraux accessoires, les quartzites souvent riches en magnétite, les micaschistes les plus variés ; et, enfin, les schistes paléozoïques

métamorphisés par le granite et qui se trouvent en gisements ardoisiers mêlés à des calcaires.

2°) LES MASSIFS VOLCANIQUES de l'île sont plus ou moins anciens. Nous y distinguerons les principaux massifs dont l'évolution pédologique répond à un type bien différencié. Les sommets volcaniques qui, de la haute Mahavavy à la haute Sofia couronnent la région de l'Ankaizina. Les massifs volcaniques de l'Ankaratra, de l'Itasy et du Valafotsy qui dominent les hauts plateaux. Le massif volcanique d'Ambre domine les massifs calcaires de la vallée permo-triasique. Sur la côte Est, de Vohémar à Fort-Dauphin, des coulées basaltiques ont recouvert en maints endroits des schistes cristallins, ou des intrusions quartziques antérieures. Le massif volcanique de l'Androy, traversé par le Mandrare et ses affluents, est composé de basalte, andésite, diabase, riches en éléments phosphatés et calciques. Sur la côte Ouest, de nombreuses coulées basaltiques sont venues au jour à travers la zone sédimentaire crétacée de l'Onilahy, du Mangoky, du Manambolo au Ranobe. Le plateau d'Antanimena coupé par la Mahavavy est composé d'épaisses coulées basaltiques mais qui, vers le Bongolava et l'Ankarafantsika, sont souvent recouvertes par des grès du Sénonien inférieur, ou des calcaires du Sénonien supérieur.

Les formes minéralogiques des massifs volcaniques présentent trois types différents, tant par leur couleur que par leur composition :

a) *Roches basaltiques noires et denses* : Basaltes et roches chimiquement voisines (Dolérite, Gabbros grenu, Labradorites).

b) *Roches volcaniques claires* : Andésites, Ponce andésitique, Trachytes (parfois phonolitiques), Phonolites, Obsidiennes.

c) *Laves basaltiques récentes* : riches en Phosphore et formant des coulées importantes dans les massifs d'Ambre et de l'Ankaizina.

3°) SÉRIE MÉTAMORPHIQUE DE LA CÔTE EST. D'Antalaha à Farafangana s'étend, entre la lagune et la falaise cristalline, une zone de roches intrusives, diabasiques ou rhyolitiques, surmontant fréquemment les coulées basaltiques plus anciennes. Nous passerons rapidement sur ces formations, car elles sont le plus souvent recouvertes sur une grande épaisseur d'alluvions issues de la falaise ou de sables dunaires.

4°) LES MASSIFS CALCAIRES OU GRÉSEUX DE L'OUEST ET DU SUD-OUEST. De Vohémar à la muraille calcaire de l'Ankara, la série triasique est surtout gréseuse. Au Sud de la Betsiboka, elle est couronnée de calcaires coralliens. Les plateaux jurassiques qui s'étendent entre la Mahavavy et la Betsiboka, ainsi que les chaînes crétacées du Manasamody, Bongolava, Ankarafantsika et Anjia, sont couverts de sols sableux ou rocailleux, devenant très calcaires sur les séries Sénoniennes et Tertiaires.

La dépression permo-triasique qui s'étend de la Sofia au Manombo, renferme beaucoup de calcaires marneux et des marnes. Sur le Bemaraha,

le ressaut lias-trias est couronné de calcaires coralliens et s'étend jusqu'au Sud de la Tsiribihina où il fait place à des grès qui constituent les chaînes du Makay et de l'Isalo. L'Antsingy entre le Ranobe et la Tsiribihina à l'Ouest du Bemaraha est constitué de calcaires coralliens jurassiques. En pays Mahafaly apparaît une carapace en dalle ou en concrétions, formée par l'évaporation des solutions calcaires des eaux profondes.

Les plateaux crétacés et éocènes s'étendent de l'Onilahy à la Linta (plateaux Bara et Mahafaly) constituant entre les sables gréseux de l'Ouest et les sables roux du Sud, une zone de calcaire stérile.

Entre les formations éocènes et la mer, s'étend une bande continue de dunes marines à massifs de travertins calcaires ; les sables roux ou fauves qui occupent d'importantes surfaces dans l'Ouest et le Sud-Ouest, dérivent des grès ferrugineux ou des calcaires, recouvrant sur de grandes surfaces les formations les plus diverses.

La zone côtière de l'extrême Sud se compose de sables marins plus ou moins calcaires s'étendant souvent sur le calcaire ou les marnes.

Le long de la côte Est, entre la mer et la lagune, s'étend une série plus ou moins large de dunes marines quelquefois entremêlées de sables gréseux crétacés.

B. — CLIMATOLOGIE DE L'ILE

Nous ne donnerons qu'un aperçu sommaire des principales caractéristiques climatologiques de Madagascar, selon les données du Service météorologique et une récente étude de J. RAVET (212).

La situation de Madagascar entre 12 et 26° de latitude Sud lui donne un caractère nettement tropical, mais son relief tourmenté crée des conditions si variées que les chutes de pluie passent de 350 mm annuels à 3.750 mm, et leur répartition s'étend de 30 à 250 jours.

Le centre et la côte Ouest ont des saisons bien tranchées, tandis que le versant Est est très arrosé et, que le Sud et le Sud-Ouest sont très secs.

Ces variations importantes des conditions climatiques font que l'évolution du sol est plus souvent soumise au climat qu'à la composition de la roche originelle. De même, bien que certains types végétaux se retrouvent dans toute l'Ile, nous pourrions observer des associations propres aux différentes zones climatiques. Nous devons donc tenir essentiellement compte du type climatique pour étudier l'évolution d'un type de sol sous une végétation donnée.

Le climat agit sur l'évolution du sol à la fois par l'intermédiaire de la végétation et par celui de la température et de l'humidité, aussi les isohyètes comme les isothermes ne pourront refléter d'une manière suffisante son action sur le sol.

En l'absence de mesures directes de l'évaporation, permettant de connaître le degré de sécheresse ou d'humidité, nous devons rechercher

une valeur d'aridité à partir des éléments climatiques agissant directement sur l'évaporation.

Le plus souvent, les facteurs proposés font appel à la température et à la pluviométrie, seules valeurs mesurées avec une fréquence suffisante. Le facteur de LANG (131), $1 = P/T$, le quotient N.S de MAYER (153), qns $= P/D$, l'indice d'aridité de DE MARTONNE (149), $I = \frac{P}{T + 10}$, le quotient pluviométrique d'EMBERGER (70), $\frac{P}{M^2 - m^2} \times 100$, et l'indice de drainage de HENIN (102), $\frac{\gamma P^3}{1 + \gamma P^2}$ sont parmi les plus connus.

Mais les hypothèses sur lesquelles reposent le calcul de ces indices sont assez arbitraires, et tiennent rarement compte à la fois de la fréquence des chutes de pluies et des écarts de température, aussi ne reflètent-ils qu'assez mal les conditions d'évaporation du sol, lesquelles sont soumises à la discontinuité des précipitations au cours de l'année, et à la fréquence des maxima et des minima de température.

Faute de mesures directes par évaporométrie ou d'études lysimétriques, nous avons choisi le coefficient d'EMBERGER pour dresser une carte très schématique des lignes d'égale humidité.

$$\frac{P}{\frac{2(M + m)}{2} (M - m)} \times 100$$

P = pluviosité annuelle,

M = moyenne des maxima du mois le plus chaud,

m = moyenne des minima du mois le plus froid.

Le quotient obtenu est d'autant plus bas que la région est plus sèche et d'autant plus élevé que la région est plus humide. Comme nous le voyons sur la carte (fig. 1), les régions de haute altitude ont une humidité presque aussi forte que les régions côtières de l'Est, où cependant la pluviométrie est deux fois plus élevée. Il est bien évident que nous ne pouvons tirer des conclusions valables d'une telle carte, car le nombre de stations est assez restreint; les moyennes sont établies sur un nombre d'années très variables selon les stations, et dans la plupart des cas les perturbations cycloniques viennent fausser les moyennes établies sur un trop petit nombre d'années. Néanmoins, nous verrons au chapitre suivant que les zones, grossièrement déterminées sur la carte, correspondent assez bien à certains grands types d'évolution des sols et à certaines associations végétales.

Bien entendu, cette humidité théorique sera soumise à de fortes variations locales. Si pour une même valeur et une même répartition des pluies, l'évaporation est fonction directe de la température, l'influence de la nature du sol et du couvert végétal jouera un rôle aussi important. Pour une même température, l'évaporation diminuera avec l'augmentation de la teneur du

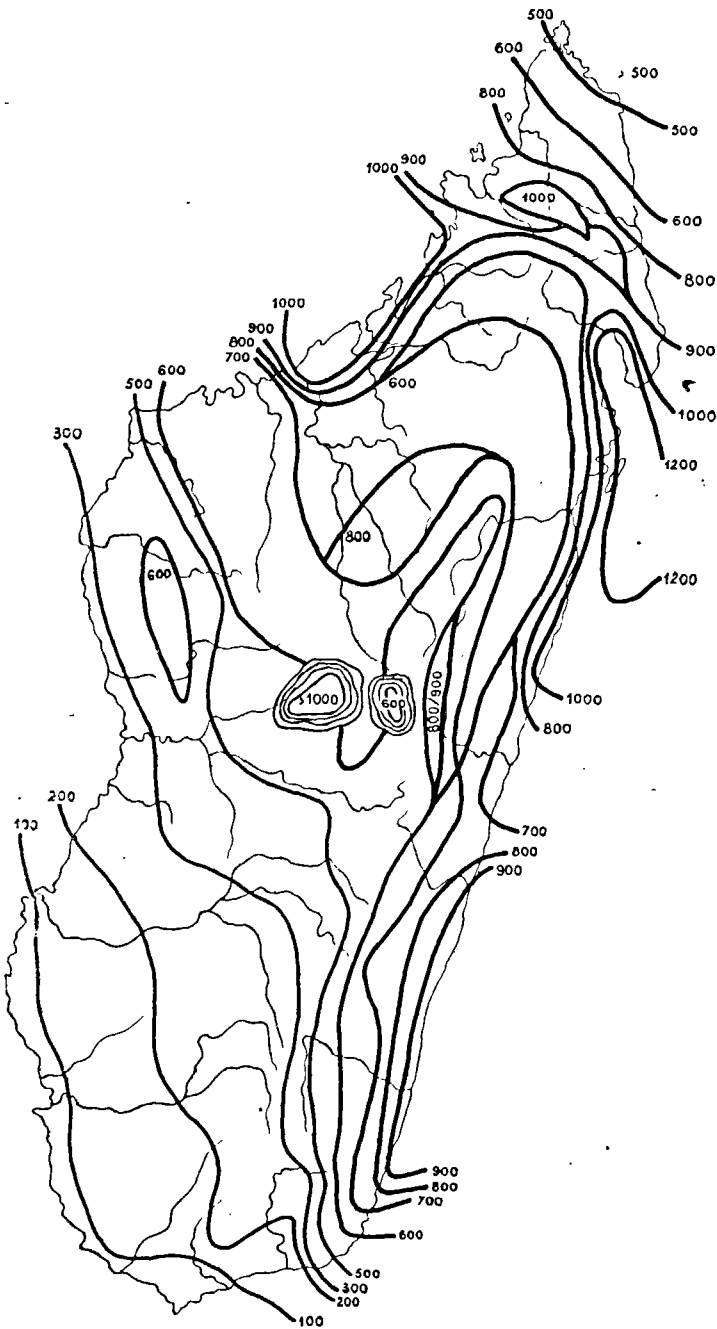


FIG. 1. — Carte des zones d'égale humidité.

sol en colloïdes argileux et en composés humiques ; elle augmentera avec le degré de dénudation du sol.

Nous aurons donc à tenir compte, en dehors du climat général précédemment défini, du microclimat qui, lui, sera fonction de la topographie, de la nature du sol et de la végétation.

C. — LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS DE LA GRANDE ILE

I. — SOLS FERALLITIQUES DES HAUTS-PLATEAUX.

Sur toute l'étendue des Hauts-Plateaux malgaches, le paysage monotone incite le voyageur à ne voir que deux types de sols : les sols latéritiques rougeâtres des collines couvertes d'herbe rase et les sols gris ou noirs des vallées presque toutes cultivées en riz.

Cependant, en prêtant une attention soutenue, l'on aperçoit une véritable mosaïque de sols s'enchevêtrant de toutes les gammes de couleur du blanc au noir et du jaune au rouge.

La démarcation entre ces sols est faite d'une succession de nuances, aussi nous semble-t-il difficile d'utiliser les notations pédologiques usuelles pour une étude aussi générale que celle que nous entreprenons. Il est, en effet, certain que l'influence du type de végétation sera souvent plus grande que les divers facteurs habituels de différenciation : climat, composition physique et chimique du sol.

En effet, sur les reliefs très marqués des Hauts-Plateaux, les profils sont profondément modifiés par les agents d'érosion. Les sommets dénudés sont presque toujours décapés jusqu'à la zone de départ, voire même jusqu'à la roche ; les versants et le fond des vallées sont recouverts d'une couche meuble provenant de l'écoulement continu et parfois massif des horizons terreux des sommets. Ces sols remaniés présentent des compositions physiques assez hétérogènes, par suite de l'intercalation de couches épaisses de glissement et de minces couches argileuses de ruissellement.

Ainsi, l'érosion intense qui sévit sur tous les sols malgaches ne laisse subsister qu'un nombre assez restreint de profils répondant aux descriptions théoriques.

Ces sols appartiennent d'une façon très générale aux groupes des sols rouges latéritiques, selon la définition usuelle (AUBERT 10). Ce sont les sols latéritiques de la classification française, les Latosols de la classification américaine (KELLOGG 121), les Allites pures de DE SIGMOND (59) et le cycle sialferrique (secteur allitique) d'HUGUET DEL VILLAR (67).

KELLOG (121) propose de définir ces sols par les caractéristiques suivantes :

- Bas rapport silice/sesquioxyde des fractions argileuses ;
- Capacité moyenne ou faible en bases échangeables des fractions minérales, compte tenu de la proportion d'argile qu'elles renferment ;



A

Dépression forestée dans
les sables roux du Sud.

(Cliché Pernet).



B

Ravines d'érosion dans les
terrasses alluviales du Man-
drare.

(Cliché Pernet).



C

Forêt à *Alluaudia*, *Adan-
sonia* et Euphorbiacées sur
sables roux (région d'Ifo-
taka).

(Cliché Pernet).

- Faible teneur en minéraux primaires à l'exception des plus résistants ;
- Faible teneur en éléments solubles ;
- Degré relativement élevé de stabilité des agrégats ;
- Couleur rouge ou tons rougeâtres d'autres couleurs ;
- Pas d'horizon important d'accumulation par suite d'apports ;
- Couche humifère relativement peu épaisse au-dessus de A1 ;
- Proportion généralement faible en limon (éléments fins non colloïdaux) par rapport aux autres composants.

Nous diviserons ce sous-ordre des sols ferallitiques tropicaux en trois groupes comprenant chacun deux types géologiques : sols granito-gneissiques et sols diorito-basaltiques.

Sols ferallitiques ou argiles rouges.

Ces sols se développent sous une pluviométrie forte (600 à 1.000 mm) et une température assez faible pour Madagascar (15 à 20°), ainsi que sous plus faible pluviométrie (500 à 800 mm) et forte température (20 à 30°). Le mouvement des solutions du sol tend au lessivage (celui-ci étant proportionnel à la richesse chimique des sols). Il peut se former ainsi une zone d'accumulation, surtout argileuse au-dessus de la roche mère.

Le rapport $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ est en général élevé, voisin de 2, et demeure constant dans tout le profil.

La couleur de ces sols est extrêmement variable avec toutefois dominance du rouge dans les types granito-gneissiques et du brun dans les types basaltiques. L'intensification ou l'atténuation de ces teintes sera fonction de la quantité de matières humiques, de fer, de titane, et de manganèse présents, de la composition physico-chimique du sol et du degré de lessivage.

Sols ferallitiques très évolués ou Latosols.

Se développent sous une pluviométrie moyenne ou forte, mais une température élevée. Ils peuvent s'observer aussi sous les types climatiques précédents. La condition essentielle de leur évolution est la présence d'un régime alternant d'imbibition et de dessiccation. Ce régime entraînera la libération de la silice et des hydroxydes durant la saison pluvieuse, tandis que la saison sèche entraînera la dessiccation progressive des horizons supérieurs. Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique créeront une zone limitée où se produiront des mouvements successifs ascendants et descendants des solutions du sol et des conditions successivement réductrices et oxydantes du milieu, avec concentration et peptisation des solutions riches en hydroxydes. On constatera donc souvent la formation de gravillons ferrugineux principalement dans les zones localement enrichies en humus. Par ailleurs, il se formera entre les couches hétérogènes des colluvions de pentes de véritables zones pelliculaires de concrétionnement des hydroxydes.

Le rapport $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ reste compris entre 1 et 2. Ce rapport pourra varier

entre ces deux limites du haut en bas du profil selon le régime hydrique de celui-ci, le degré de lessivage, la perméabilité et la richesse en éléments peu décomposés. La couleur de ces sols sera très variable, du jaune au gris en passant par le rouge, selon la richesse en fer et en humus, selon l'origine géologique et le degré de dessiccation (perméabilité), la profondeur et la végétation.

Sols ferallitiques concrétionnés ou latérites à cuirasse.

Ils se développent dans les zones à température élevée mais l'indice pluviométrique paraît assez variable. L'origine de leur évolution réside essentiellement dans le régime hydrique du sol : cuvettes à nappe battante recevant les solutions, riches en hydroxydes, et parfois en humus, lessivées des sols environnants, pénéplaines argileuses à nappe peu profonde et à mouvement latéral insignifiant, zones d'écoulement de la nappe phréatique chargée de fer et d'humus en solution.

Ces sols ont un rapport $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ inférieur à 1 par suite de l'enrichissement relatif en hydroxydes. Ceux-ci pectisent en masse dans la zone de battement de nappe en formant une cuirasse alvéolaire dont l'argile sera éliminée peu à peu à chaque période de circulation d'eau créant ainsi de véritables tufs caverneux en cuirasse.

Ces sols, qu'ils soient issus de basalte ou de gneiss, ont tous un rapport $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ entre 0,5 et 1, et un rapport $\frac{\text{MnO} + \text{TiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ entre 0,1 et 0,3.

Les latérites à cuirasse ou à gravillons sont des formations secondaires qui ne résultent pas uniquement d'un enrichissement poussé de l'horizon illuvial en fer et en alumine. Selon CASTAGNOL (36), elles résulteraient d'un processus de reclassement des éléments principaux (fer, alumine et silice), conduisant à la formation de parties compactes, riches en sesquioxides, et de parties granuleuses, décolorées, riches en silice, dans lesquelles certains alumino-silicates colloïdaux se décomposeraient et, libérant de l'alumine, enrichiraient cette partie en silice secondaire.

Nous n'avons pas observé de cuirasse de dessiccation telles celles décrites pour l'A.O.F. (8) ; les étendues cuirassées de certains plateaux seraient probablement des paléo-sols dont l'érosion actuelle a mis à nu la zone cuirassée selon la définition donnée par GÈZE (94).

La formation de cuirasse sera donc pratiquement toujours due, à Madagascar, au faible écoulement des solutions du sol sur une zone peu perméable soumise aux alternances de saturation et de dessiccation provoquant la fixation par déshydratation irréversible.

Dans certaines zones dépressionnaires soumises aux mêmes conditions climatiques mais où la nappe est affleurante, la saturation permanente, il n'y aura pas formation de cuirasse malgré l'enrichissement continu en hydroxydes dû au lessivage latéral du relief avoisinant. De plus, il est possible

que l'enrichissement corrélatif en silice puisse dans certaines conditions entraîner une recombinaison génératrice d'argile du type montmorillonitique à capacité d'échange élevée (argiles noires basaltiques de bas-fonds).

Nous avons cru utile, pour éviter un marquetage ininterprétable, de baser l'étude des sols de ce sous-ordre sur la nature géologique de la roche mère et sur la nature de la végétation ; l'évolution des horizons supérieurs se trouvant plus nettement sous leur dépendance.

Nous rappellerons rapidement les caractères et les conséquences de l'altération des principales roches, tels qu'ils sont définis dans les ouvrages de base : LACROIX (130-131), DE SIGMOND (59), DEMOLON (56-57), ROBINSON (221), CASTAGNOL (36), DEL VILLAR (67).

L'action mécanique de l'eau, du vent, de la température et des végétaux amène la désagrégation plus ou moins rapide des roches.

La finesse de la texture augmentera la résistance à la désagrégation, mais fournira une part plus importante d'éléments fins argileux.

Les roches volcaniques et les roches basaltiques primitives à structure grenue, sont de constitution structurale et chimique très variées. La diorite possédant une teneur élevée en calcium fournira une argile riche en chaux et en magnésie. Le trachyte, cristallin ou vitreux, fournira un limon riche en silice, chaux, fer et magnésie.

Le basalte et la dolérite sont riches en silicates basiques très altérables. Les plus riches en chaux se désagrègent vite et fournissent une argile perméable riche en bases.

Les coulées de laves sont composées de silicates plus ou moins basiques, riches en phosphates (jusqu'à 10 %).

L'altération des roches basiques sera proportionnelle à leur richesse en bases et en fer, dans une certaine mesure, à la finesse de leur texture.

Parmi les roches volcaniques il convient de différencier les minéraux acides, pauvres en fer, à décomposition difficile qui donnent des sols pauvres, et les minéraux basiques riches en fer, à décomposition rapide, qui donnent des sols riches.

Les minéraux de formation secondaire assumant une part importante dans le sol seront donc les : Feldspaths potassiques (orthose, microline), potassiques et sodiques (anorthose), sodiques (albite), calciques (anorthite), calcosodiques (oligoclases, andésines, labradors) ; Micas (muscovite, biotite) ; Calcite, Chlorite, Epidote, Feldspathoïdes...

La décomposition de ces minéraux fournira un mélange de composés alumino-silicatés, de silice colloïdale, d'hydrates et d'oxydes d'alumine et de fer.

Ce mélange en proportion variable fournira l'argile et la fraction fine du limon, tandis que le quartz inaltérable, les micas et autres minéraux, non encore altérés, fourniront la fraction limono-sableuse et sableuse du sol.

Les composés alumino-silicatés, composés essentiels de l'argile, se présentent selon leur composition, sous forme de kaolinite, halloysite, montmoril-

lonite, illite. Ils sont plus ou moins décomposables par les acides organiques ou minéraux des solutions du sol et possèdent la propriété de fixer et d'échanger les ions minéraux selon une grandeur variable avec leur structure et leur composition.

Dans les régions tropicales qui nous intéressent, les Feldspaths subissent une décomposition très profonde jusqu'au terme kaolinique ou, par une décomposition plus poussée, jusqu'à l'abandon de la presque totalité de la silice et des bases fixées donnant un composé formé d'un mélange d'hydrate d'alumine (hydrargillite et Gibbsite) et d'hydrate ferrique (Goëthite et mélanges tels que Limonite et Stillpnosidërite).

Nous décrirons donc selon leur origine géologique les deux principaux types de sols ferallitiques que nous trouvons à Madagascar, sols sur granite et gneiss du plateau central, sols sur diorite et basalte des massifs volcaniques des Hauts-Plateaux et des régions sédimentaires. Tous ces sols étudiés ici appartiennent au groupe des sols ferallitiques très évolués (Latosols).

1°) SOLS SUR ROCHES GRANITO-GNEISSIQUES.

Le type d'évolution tropical des sols développés sur roches intrusives et filoniennes du massif cristallin, conduit à un type de sol à trois horizons.

Nous étudierons les principales formes d'évolution observées sur les Hauts-Plateaux en donnant la composition moyenne des sols sur granite et gneiss, et en décrivant ensuite quelques profils caractéristiques.

Pour les diverses régions étudiées, nous avons établi des moyennes comprenant les analyses de roches par A. LACROIX (131) et par nous-mêmes ainsi que les analyses de sols effectuées au Laboratoire de pédologie de l'Institut Scientifique de Madagascar, regroupées en régions comparables

Granite et Migmatite.

La composition de la roche elle-même est assez variable selon sa forme minéralogique, cependant les granites sont très riches en quartz (80 à 95 %) et assez pauvres en fer (10 %), les bases peu abondantes sont surtout composées de potasse (25 % du total). Les granites sont assez lentement altérables et souvent l'érosion est trop forte pour qu'un sol ait pu se former. Nous trouverons donc souvent une arène quartzeuse avec un sol très peu profond sans horizons différenciés (tableau 1 ; fig. 6).

Quand une végétation dense s'est installée, l'altération du granite devient plus rapide que l'érosion et nous trouvons des sols rouge jaunâtre sur une zone d'altération quartzeuse, blanchâtre ou rosée. Les bancs de quartzites développent un sol squelettique qui présente une très nette tendance à la podzolisation.

Tous les types de granites sont accompagnés de pegmatites (granites à grands éléments, riches en éléments rares) en relation minéralogique et génétique avec eux. Pauvres en minéraux ferrugineux, elles donnent une

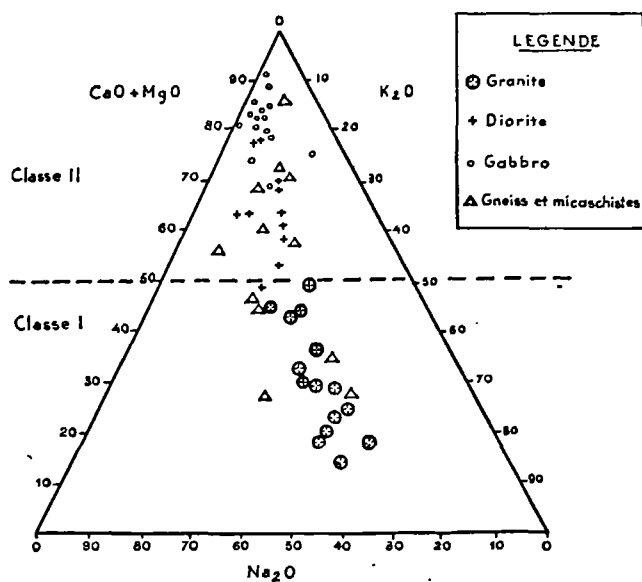


FIG. 2. — Proportion des bases totales dans la roche.

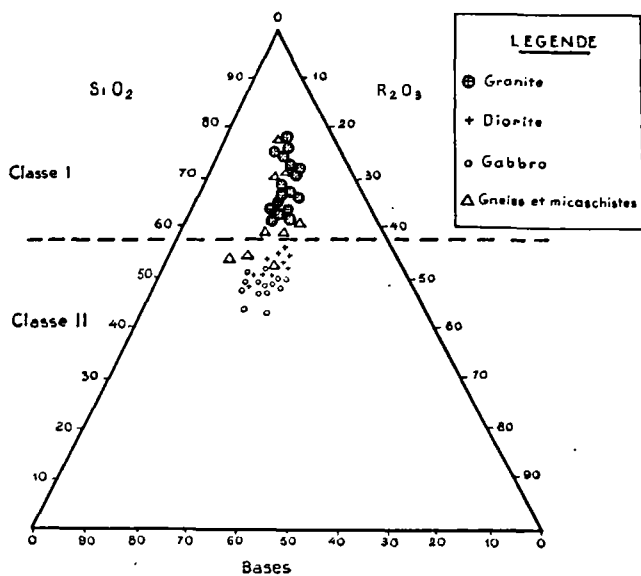


FIG. 3. — Composition des roches granito-gneissiques.

latérite blanche, très décomposée, surmontée d'une zone éluviale rubéfiée, de fréquentes imprégnations de psilomélane donnant une couleur légèrement rosée à tout ou une partie de la zone de départ qui a un aspect rubanné blanc et rouge caractéristique.

Gneiss et Micaschistes.

De teneur assez variable en quartz et en bases, les gneiss et micaschistes sont plus riches en fer que les granites et migmatites. La proportion des diverses bases entre elles est extrêmement variable et présente une transition très large entre les teneurs des granites et des diorites. On distingue deux séries principales selon qu'ils sont riches en potasse ou en chaux, conduisant de roches dont la composition chimique se rapproche de celle des granitodiorites, aux gneiss à plagioclase du type dioritique (fig. 2 et 3).

Nous adopterons pour figurer nos profils des signes conventionnels nous permettant de reproduire les types de profils les plus classiques:

Les profils sans horizon de départ, ou à horizon de départ très réduit, sont le plus souvent des sols sur pente où l'eau ne séjourne pas, aussi sont-ils peu épais, poreux, et souvent recouverts d'un horizon colluvionné important.

Nous ne citerons que pour mémoire les profils tronqués ou les profils à horizons enterrés, dus à l'érosion ou au colluvionnement. S'ils n'entrent pas dans le cadre de cette étude, ils sont néanmoins assez fréquents sur les Hauts-Plateaux (fig. 6).

La composition de ces horizons en éléments solubles est extrêmement variable, mais en règle générale il est possible de poser en principe que l'horizon humifère sera riche en éléments organiques et en bases solubles et échangeables; l'horizon jaunâtre verra décroître d'une manière très forte le taux d'éléments organiques et sera plus pauvre en bases solubles et échangeables (proportion 2/3), mais sensiblement plus riche en hydroxydes (1/10). Pour l'horizon rouge de même composition minérale l'enrichissement en hydroxydes est souvent imperceptible. La zone de départ sera légèrement plus riche en bases solubles et échangeables et en silice (tableau 2).

En règle générale, nous voyons donc que la couleur du sol peut nous renseigner sur sa fertilité probable, mais nullement sur les phénomènes de migration des éléments minéraux, ces sols présentant justement des valeurs assez constantes de silice et d'hydroxydes.

Nous devons donc conclure que si la migration de ces éléments intervient dans l'évolution latéritique des sols étudiés, elle porte sur la forme des composés mobiles et non sur leur quantité.

2°) SOLS SUR ROCHES DIORITIQUES.

Les sols sur roches éruptives anciennes, parfois riches en plagioclases (diorites, gabbros), sont particulièrement fréquents dans la zone métamorphique très étendue sur la côte Est.

Les diorites, roches grenues à andésine, passent souvent aux grano-

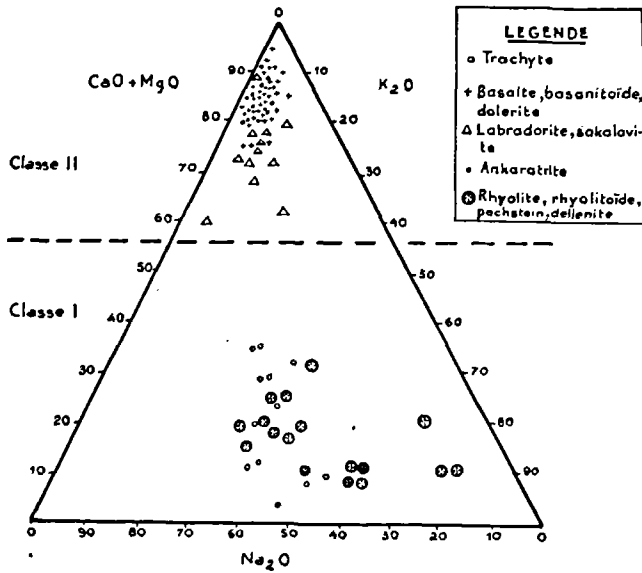


FIG. 4. — Proportion des bases totales dans la roche.

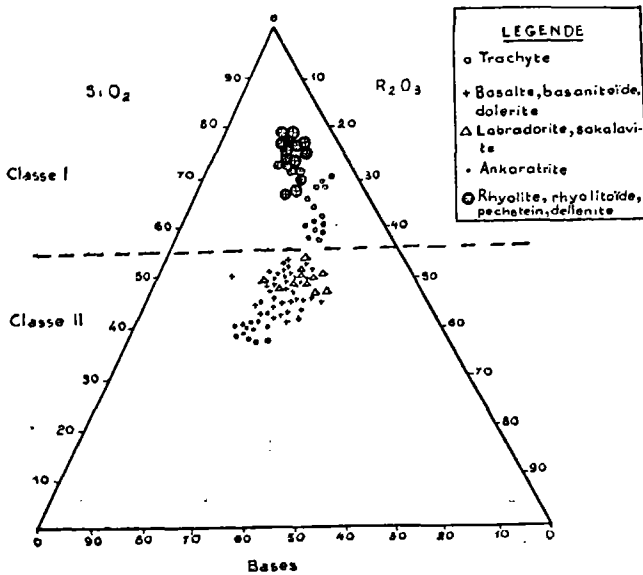


FIG. 5. — Composition des roches diorito-basaltiques.

diorites par apparition du feldspath potassique exprimé. Souvent mêlées de granite et de migmatite, elles comportent de nombreux types : diorites micacées à pyroxène, diabase, microdiorites micacées, diorites à augite et biotite, microdiorites micacées à amphibole, etc... Elles comportent souvent sur leurs franges une étroite zone de micaschistes et de quartzites ménageant le passage du gneiss. Riches en bases 20 à 35 % (prédominance de CaO et MgO), de teneur moyenne en quartz et en hydroxydes, les diorites comme les basaltes donnent des sols en général très argileux, de structure grumeleuse et de couleur foncée (tableau 3).

Les gabbros forment des massifs étendus au milieu des gneiss et possèdent l'aspect extérieur des granites à faciès malgachitique auxquels ils sont souvent associés et avec lesquels ils présentent souvent des passages ménagés. Ce sont des roches grenues à grain moyen ou gros, caractérisées par l'association de plagioclases (andésine basique à Labrador) à de la Biotite accompagnée d'Hypersthène, de Diabase, Hornblende, etc... associés entre eux dans des proportions très variables.

Sensiblement plus pauvres en Silice que les Diorites, les Gabbros sont particulièrement riches en Chaux et Magnésie et sont très pauvres en Potasse. Les sols formés présentent un aspect morphologique voisin de celui des sols sur Diorites et sur Basaltes.

Les filons de gneiss alcalins formés aux dépens des roches syénitiques et qui sont très riches en Potasse, les Syénites, Gneiss syénitiques micacés, Aplites syénitiques néphéliniques, les Dykes de granite et Syénite sodique ($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$) ne répondent pas aux compositions moyennes que nous venons d'exposer, mais ils sont en fait exceptionnels ou trop isolés pour que nous en tenions compte.

3°) SOLS SUR ROCHES BASALTIQUES.

Nous considérerons trois groupes essentiels dont la composition diffère notablement (tableaux 4 et 5 ; fig. 4 et 5).

a) Groupe des Basaltes, Basanitoïdes, Labradorites, Sakalavites, Ankaratrites, etc., pauvres en Quartz (35 à 50 %), moyennement pourvus en hydroxydes (20 à 35 %) et riches en bases (30 à 40 % pour l'Ankaratrite et 17 à 30 % pour les autres). Très riches en Chaux et Magnésie (60 à 78 % des bases pour les Labradorites et Sakalavites, 78 à 95 % pour les Basaltes, Basanitoïdes et Ankaratrites), ces roches sont assez pauvrement pourvues en Potasse (< 20 % des bases totales).

Ce groupe donne deux types de sols :

— Sols brun-rouge à chocolat brûlé, de structure grumeleuse mais généralement peu épais, car malgré une infiltration très rapide, l'érosion par ruissellement est souvent très intense. La zone d'altération, d'épaisseur très variable, est bigarrée, riche en veines de minéraux généralement très altérés ;

— Sols comportant un horizon humifère noir, le plus souvent grumeleux, quelquefois poudreux ; cet horizon très perméable est souvent profond et peut atteindre 80 cm. En dessous de celui-ci se trouve une zone constamment saturée, noirâtre mais qui, après séchage, devient gris à brun-jaunâtre. Cette zone assez compacte est souvent mouchetée de veines ou de nodules verdâtres, violacés et rougeâtres, résultant de la décomposition des parties hétérogènes de la roche ; d'épaisseur très variable, cette zone passe progressivement à la roche en voie d'altération.

Ces deux types de sols semblent correspondre aux groupes observés par VAN DER MERWE en Afrique du Sud (263). Le second groupe se rapproche très étroitement, du point de vue morphologique, de ceux que cet auteur a décrit pour les zones à drainage défectueux et dans lesquels il observe la présence presque exclusive de Montmorillonite à forte capacité d'échange.

Le massif volcanique de l'Androy, composé de Basalte, Andésite et Diabase, présente une apparence squelettique que nous observons fréquemment sur les coulées basaltiques de la côte Ouest. Le climat subdésertique de ces régions provoque une désagrégation essentiellement physique, génératrice d'arènes sableuses, soumises à une intense érosion éolienne ; les rares sols existants se développent dans des dépressions abritées du vent et enrichies en éléments détritiques.

Nous donnerons (tableau 4) la composition moyenne d'un profil du groupe I, les sols analysés ont été choisis dans tous les points de l'Ile ; les analyses des roches ont été choisies parmi celles données par A. LACROIX dans les régions prospectées et la moyenne établie à partir de 20 analyses.

b) Groupe des Trachytes et cendres volcaniques riches en Quartz (55 à 70 %) moyennement pourvus en hydroxydes (20 à 30 %) et pauvres en bases (< 20 %). Proportionnellement très riches en K_2O (30 à 50 % des bases totales) et parfois en Phosphates (Apatite) ; la teneur en Chaux et Magnésie est extrêmement variable. Ces roches poreuses ne donnent que des sols squelettiques, car leur décomposition en fines poussières incohérentes permet une érosion éolienne intense.

Sur Trachyte, le sol proprement dit est en général peu épais ; brun clair à brun rougeâtre, grumeleux et perméable, il surmonte une zone d'altération qui peut atteindre 1 à 2 m. d'épaisseur. Cette zone polyédrique ou compacte, d'un rouge assez clair, comporte des masses plus claires, en voie de décomposition.

c) Groupe des Rhyolites, Rhyolitoïdes, Pechsteins, etc... très riches en Quartz (65 à 80 %), pauvres en hydroxydes (10 à 15 %) et pauvres en bases (< 20 %), surtout en CaO et MgO (< 30 % des bases totales), mais relativement assez pourvus en potasse (> 40 %). Composées pour la plus grande part de Quartz vitrifié, ces roches sont très peu décomposables, aussi ne donnent-elles que des sols très maigres, riches en éléments grossiers (tableau 5).

La plupart de ces sols présentent un profil typique A/C sans horizons illuviaux ni éluviaux. Leur composition chimique très dissemblable du fait de la variété des matériaux volcaniques et des recouvrements multiples qu'ils ont occasionnés, ne nous permet pas de donner, comme pour la série granito-gneissique, des profils typiques avec leur composition, mais nous donnerons néanmoins une description sommaire des profils les plus communs.

Dans les zones où le sol demeure suffisamment chaud et humide ces sols peuvent évoluer vers la formation de gravillons ou de cuirasses, surtout riches en alumine avec de notables quantités de titane et de manganèse. Le plus souvent, une intense circulation d'eau souterraine et la fréquente hétérogénéité du sol amènent une érosion intense des zones surélevées et la création de sols colluviaux riches et profonds mais peu homogènes.

4°) SOLS SUR ROCHES SÉDIMENTAIRES.

Ces sols ont des origines très diverses et leur évolution est propre à la nature des matériaux originels au moins autant qu'aux conditions topographiques et climatiques.

Nous distinguerons trois groupes principaux qui occupent de très grandes surfaces et dont l'importance est primordiale dans la mise en valeur de Madagascar.

a) *Sols humifères tourbeux.*

La majorité de ces sols occupent les innombrables vallées des Hauts-Plateaux et sont alors pratiquement formés de colluvions et d'alluvions à court transport issus des sols ferallitiques environnants.

Couverts d'eau la plus grande partie de l'année, ils supportent une dense végétation de *Cyperus* dont la décomposition entraîne la formation d'un horizon tourbeux assez épais et très acide (pH 3,5 à 4,5). Le sous-sol est infiniment varié mais pratiquement toujours recouvert d'une couche épaisse d'argile sédimentée avec des intercalations de sables.

Le reclassement des éléments alluvionnés durant les périodes de submersion et leur évolution anaérobie confère à ces sols lors de leur exondation les caractéristiques des sols à gley, avec souvent un horizon tourbeux enterré. Quand le drainage est possible, ces sols font d'excellentes rizières.

b) *Sols alluviaux à court transport.*

Le ruissellement des eaux chargées de particules solides recouvre des couches très diverses, sans analogie entre elles. Les sols qui se formeront sur ces dépôts seront donc voisins des sols colluviaux et se présenteront sur les Hauts-Plateaux comme des sols ferallitiques remaniés.

Les alluvions de ce type, émergées depuis longtemps, présentent une nette tendance au lessivage, parfois même à la podzolisation, avec apparition d'un horizon concrétionné et un appauvrissement excessif des horizons supérieurs en éléments solubles, surtout si ces alluvions sont très sableuses. Ce type d'alluvions anciennes très évoluées est représenté par les alluvions

jaunes formant de larges plages aux abords des anciens lacs, et sur les contreforts de la chaîne centrale, le long de la côte Est.

c) *Sols alluviaux à long transport.*

Les plaines et les vallées de la côte Ouest sont formées d'alluvions issues le plus souvent des zones sédimentaires calcaires ; les fleuves issus des zones cristallines charrient par contre des alluvions issues des sols ferallitiques des plateaux (baiboas). Ceux que nous avons étudiés sont, le plus souvent, enrichis en chaux par contact avec des formations calcaires ou par recouvrement d'eau ou de limons récents calcaires ; aussi les étudierons-nous dans le même groupe que les alluvions calcaires.

Nous rattacherons donc pour Madagascar ce groupe des sols alluviaux à long transport au sous-ordre des sols calcaires.

II. — SOLS CALCAIRES.

Les sédiments fournis par accumulation de débris coquilliers ou par précipitation du Carbonate de calcium des eaux, renferment le plus souvent des éléments détritiques. Selon la proportion de ces éléments, on distingue couramment trois séries :

Calcaires dépourvus de minéraux détritiques ou pauvres en ces minéraux (boues, calcaires colorés ou blancs, agglomérats d'organismes marins).

Calcaires riches en débris clastiques (sables calcaires et calcaires récifaux, calcaires oolithiques, calcaires quartzeux, conglomérats calcaires).

Calcaires marneux et marnes (argiles de transport enrobant le calcaire, marnes à sulfures, marnolites).

Les assises calcaires, pratiquement toutes situées en climat subdésertique, sont peu propices au développement de la riche série des sols calcaires des pays tempérés. Trois formes génétiques principales se partagent le Nord-Ouest, l'Ouest et le Sud-Ouest de Madagascar (tableau 6).

a) *Sols grumeleux noirs sur marnes et calcaires tendres.*

Dans les marnes, les sulfures, oxydés, se sont transformés en Limonite et ont donné naissance à de véritables lits de Gypse. Ces formations donnent des sols en général très compacts et imperméables, de teinte généralement noire à grisâtre. Plastiques en saison des pluies, ils se fissurent en saison sèche en masses polygones avec de petits effondrements locaux dans les marnes gypseuses par suite de la dissolution partielle des masses gypseuses.

D'épaisseur variable, ces sols sont très riches en argile et pauvres en matières organiques malgré leur couleur foncée ; l'humus saturé par Ca et Mg est très stable ; de pH supérieur à 7, ils contiennent souvent une quantité appréciable de Chlorures et Sulfates solubles. La couche de sol, sans horizons différenciés et d'épaisseur variable, est souvent séparée de son sous-sol par un banc de concrétions carbonatées, un agglomérat de

Cristaux de Gypse, ou une zone argileuse compacte. Géologiquement, ces formations présentent le plus souvent d'anciennes terrasses où se sont déposées des couches épaisses d'argile sur une roche-mère en général calcaire (craie, chaux, marne)...

Nous pensons que ces sols doivent être classés auprès du groupe des Rendzines (10), des sols du Cycle calcaire de DEL VILLAR (67), et de quelques types d'argiles noires tropicales, telles les terres noires du Congo étudiées par LOZET (144).

b) *Sols brun clair plus ou moins décalcarifiés sur calcaire et grès calcaire.*

Intermédiaires entre les Rendzines et les sols bruns, ils ont une tendance marquée à la structure grenue et présentent un horizon B intermédiaire ; le profil typique se présente ainsi :

— Zone humifère, limono-sableuse décalcarifiée, aux limites diffuses et à vie biologique active ;

— Zone limoneuse de structure en blocs, assez riche en calcium ;

— Zone jaune-brun, riche en colloïdes minéraux, reposant sur une roche-mère calcaire. Le pH de l'horizon A peut atteindre une acidité faible et le taux de matière organique reste assez bas mais ne varie que très progressivement dans l'ensemble du profil ; le complexe absorbant reste aussi très riche en calcium.

Ces sols nous semblent pouvoir être rapprochés des Sols Bruns Steppiques de DE SIGMOND (59), des Sols Bruns Subarides d'AUBERT (9-10) et des Sierozems des U.S.A. (119-148-221).

c) *Sols squelettiques calcaires et sols à croûte.*

Ce type de sol est de loin le plus fréquent dans l'Ouest et le Sud-Ouest ; il remonte en bandes étroites jusqu'au Nord. Ces sols sont de simples arènes rocailleuses souvent recouvertes dans les dépressions par une épaisse couche de sable éolien.

Dans le Sud, nous trouvons souvent de vieux conglomérats calcaires et ferrugineux, principalement dans les berges alluviales actuelles, formés par évaporation des eaux saturées en calcaire dans les lits d'alluvions grossières, ou par remontée des solutions calcaires s'évaporant en surface.

Cette formation par évaporation est particulièrement intense dans la région méridionale où les pluies rares et la forte réverbération amènent la remontée par capillarité des eaux profondes qui laissent déposer à la surface leurs éléments solubles. La croûte formée atteint parfois plus d'un mètre d'épaisseur. Ce travertin se présente en pays Maïafaly sous forme d'une carapace brunâtre en dalles compactes ou en morceaux concrétionnés, tandis que sur l'Imatanaïka et au Sud de Betioky, c'est un tuf caverneux blanc englobant des rognons de calcaires cristallins. Cette croûte se rencontre sur les formations les plus diverses, des alluvions aux sables dunaires, mais toujours sur des sols sableux où la circulation capillaire peut atteindre une grande hauteur.

III. — SOLS SABLEUX.

Sous cette dénomination nous grouperons des sols d'origines très diverses : sols alluviaux maritimes de zone humide évoluant vers le type podzolique, sols alluviaux maritimes de zone aride évoluant progressivement vers le type des sols décalcifiés, sols alluviaux à long transport et sols alluviaux éoliens issus des zones gréseuses à ciment calcaire ou à ciment ferrugineux.

Sables dunaires.

La mer et le vent qui sont à l'origine de leur accumulation leur ont donné une composition granulométrique assez constante, mais leur diversité d'origine leur confère un aspect et des propriétés différentes. Les dunes côtières du Sud sont formées de sables blancs souvent calcaires, tandis que sur la côte Est, elles contiennent de nombreux éléments ferrifères qui ont coloré le Quartz en jaune. On y trouve souvent de véritables alios en bancs horizontaux ou en lentilles, constitués par du quartz roulé, cimenté par l'oxyde de fer. Cette formation ne s'observe qu'au voisinage des zones marécageuses ou lagunaires.

On trouve fréquemment une surface humifère développée sous une végétation arbustive, mais cette couche est peu épaisse et passe directement au sable. Sur la côte Sud et Sud-Ouest, les sols formés sur vieilles dunes fixées sont décalcariés et présentent souvent un horizon intermédiaire gris-brun assez humifère. Ces sables, ne forment en fait que rarement de véritables sols mais viennent souvent recouvrir des formations antérieures, en particulier les alluvions et les sables roux.

Sables blancs podzolisés.

Ils proviennent soit d'une accumulation d'éléments sableux dans un bas fond sous l'action du vent ou de l'eau, soit de la désagrégation des filons de quartzites. L'évolution de ces sols dépend essentiellement de la végétation. En zones marécageuses ou forestées, ils aboutissent à une podzolisation totale avec parfois formation de véritables podzols humiques ; en zones sèches sous l'influence de l'érosion les sables n'ont jamais une grande épaisseur et ne supportent en général pas de végétation.

Les sols de ce type sont de trois sortes :

— Sables blancs humifères que l'on observe fréquemment au milieu des sables roux. Ils occupent de petites dépressions de faible dénivellation où ils se sont déposés, une couche argileuse, ou un niveau de conglomérat gréseux qui retient une nappe semi-permanente. Le sable qui emplit ces cuvettes humides supporte souvent une végétation assez dense et l'accumulation d'humus en surface amène le lessivage des éléments minéraux solubles créant ainsi un pseudo-podzol. Mais s'ils sont légèrement acides en surface, ces sables restent alcalins en profondeur et, ne présentant aucun horizon d'accumulation, ils restent apparentés aux sables roux ;

— Les cordons de dunes littorales de la côte Est fixés par la forêt présentent souvent dans la zone de la lagune de véritables podzols très profonds. La présence d'humus forestier abondant, la perméabilité de ces sables et la hauteur pluviométrique, provoquent un lessivage de faibles quantités d'argile ainsi que des bases et des hydroxydes qui s'accumulent à la hauteur de la nappe phréatique. Il semble que cette évolution podzolique soit également l'acheminement des dunes plus récentes, en voie de fixation ;

— Dans les zones forestées des Hauts-Plateaux et de la côte Est, on observe souvent des surfaces tabulaires plus ou moins développées, résultant de la désagrégation des quartzites (Analamazotra) ou du lessivage des dépôts sableux d'anciens lacs (faille du Mangoro et région de Manjakandriana). Ces sables blancs sont souvent profonds et présentent de véritables horizons humiques en profondeur. On y trouve au milieu du sable quartzueux, de véritables bancs horizontaux ou des lentilles d'un alios d'oxyde de fer brun et d'un humus noirâtre. Ces formations sont en relation étroite avec la présence ancienne ou actuelle de marécages.

Au contraire de ce qui semble se passer pour les zones tempérées, la présence d'un podzol n'est nullement liée à l'écologie d'une région et les formations végétales qu'on y trouve sont en tout point comparables à celles développées sur les sols environnants, qu'il s'agisse de zones marécageuses, de prairies établies sur marais asséché ou de forêt.

Ces formations ne semblent pas s'apparenter aux « ground water podzol » mais bien aux podzols vrais, car nous ne les voyons jamais dans les zones dépressionnaires à nappe affleurante, mais dans des zones anciennes de cuvettes surélevées.

Pour préciser ces données, nous décrirons un podzol de ce type que nous avons observé en pleine forêt humide, à 1.000 mètres d'altitude, en légère surélévation par rapport aux terrains environnants.

Sur 10 cm le sol est noir, composé essentiellement de sable grossier et de matière humique, puis il passe progressivement à un sable gris cendré qui occupe au moins 60 cm de hauteur. Vers 80 cm, nous avons trouvé une sorte de tourbe noirâtre enrobant de très grosses concrétions (plus de 50 cm de diamètre) composées d'une forte pellicule d'oxydes de fer et de titane enrobant un limon ocreux (tableau 7 ; fig. 7).

Nous pensons que le mouvement du fer s'est effectué dans ce sol selon les trois phases décrites par BÉTRÉMIEUX (23).

Sables roux.

Très répandus dans le Sud et l'Ouest de l'Ile, ces sables ont des origines très diverses. La masse principale provient de la désagrégation du socle cristallin et a été transportée durant le quaternaire par les fleuves descendant des Hauts-Plateaux.

Le long des zones gréseuses la désagrégation des grès ferrugineux sous l'influence du climat a produit de grandes masses de sables roux transportés

par l'eau et le vent. Enfin, le long des chaînes calcaires et du littoral, jusqu'à très avant dans l'intérieur des terres, le vent a transporté du sable dunaire ou du sable grésocalcaire. Malgré la diversité de leurs origines, ces sables, tous plus ou moins contemporains, ont été abondamment brassés et, ont

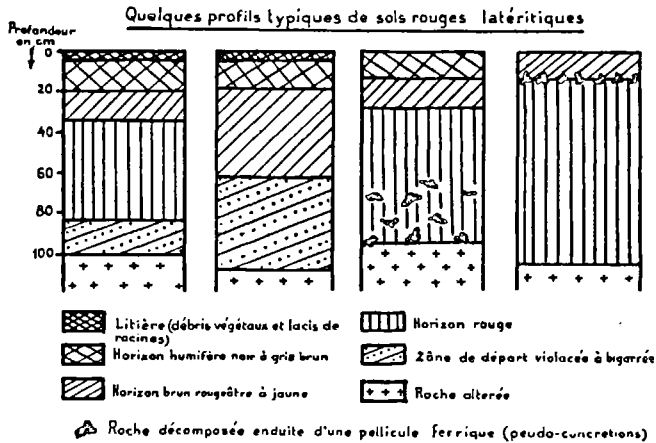


FIG. 6. — Quelques profils typiques de sols rouges latéritiques.

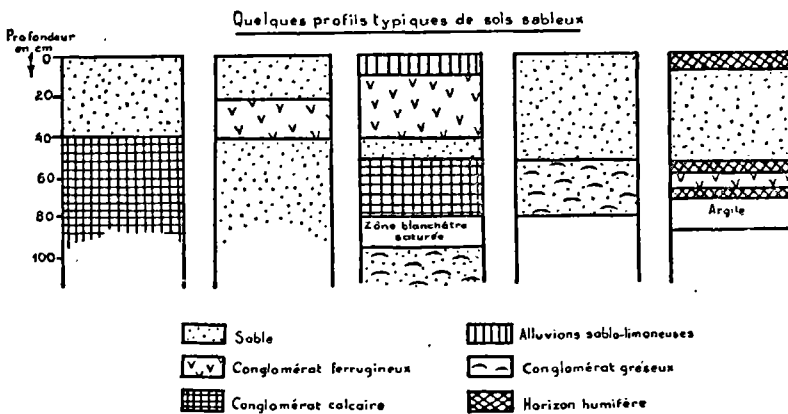


FIG. 7. — Quelques profils typiques de sols sableux.

fini par former une épaisse couverture répandue sur toutes les zones basses. Leur épaisseur est en rapport direct avec leur évolution antérieure. Ils sont devenus blancs, jaunes ou rouges suivant le degré de déshydratation des oxydes de fer, l'intensité du lessivage et du drainage.

Dans les zones de dépression ou les berges fluviales, nous trouvons fré-

quement des conglomérats ferrugineux avec ou sans calcaire. Il paraît vraisemblable que ces conglomérats, riches en fer et en quartz, se soient formés au niveau d'une nappe phréatique, fluctuante sous des sols enrichis en éléments fins arrachés par le vent et les eaux aux sols environnants (calcaires, marnes, basalte, gneiss).

Le lessivage et le ruissellement des éléments durant la saison des pluies entraînent la dissociation des alumino-silicates au niveau de la nappe. Le retour de la saison sèche entraîne la pectisation et la cimentation de la silice, de l'alumine et du fer dissocié. Ces conglomérats se forment le plus souvent à un niveau d'hétérogénéité, tel le contact avec une couche calcaire ou une couche marneuse imperméable.

Dans les dépressions closes on trouve fréquemment une mince couverture de sable ruisselé ou éolien que les frottements du transport ont débarrassé de sa pellicule ferrugineuse.

Fréquemment, le long des berges fluviales, ces formations s'observent au niveau de dépressions recoupées par une divagation du lit du cours d'eau. Dans le cas du Mandrare, il est possible que des alluvions calcaires soient venues recouvrir ces dépressions et aient évolué sur place. Nous donnons la représentation schématique et l'analyse d'un profil caractéristique relevé près d'Ifotaka (tableau 8 ; fig. 7, profil 3). De toute façon, si le régime de la nappe est primordial dans la formation de ces divers conglomérats, l'influence de l'humus est importante. Ici, comme sur les Hauts-Plateaux, malgré un climat beaucoup plus aride, on observe aussi un concrétionnement du fer.

Dans les zones surélevées, on trouve certains agglomérats sableux enrobant des blocs erratiques, rhyolitiques, basaltiques ou calcaires, mais il s'agit d'une formation néogène du type gréseux et qui finit par se résoudre en sables roux, libérant les blocs étrangers.

Les sables roux semblent occuper une place intermédiaire entre les sols ferallitiques et les sols subdésertiques, avec une évolution podzolique en zone plus humide. Ils appartiendraient donc au secteur Sialferrique de DEL VILLAR (67) qui contient des sols sans calcaire ou légèrement calcifères des littoraux atlantiques et méditerranéens et s'apparenteraient aux Kaizo Beds du Congo Belge (144), et peut-être aux sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés sur sables, décrits, pour l'A.O.F., par AUBERT et MAIGNIEN (12).



A

Savane à *Tamarindus* sur
marnes gypseuses dans la
vallée de la Tsilakana.

(Cliché Pernet).

B

« Lavaka » d'érosion en bordure de route ;
prairie à *Aristida* sur sol gneissique ; région
de Tananarive.

(Cliché Pernet).



C

Prairie à *Aristida* en touffes ;
sols gneissiques des environs
de Tananarive.

(Cliché Aubert).



CHAPITRE II

Etude des principales variables influençant la genèse des sols.

Pour une même roche-mère, des conditions diverses de climat, de topographie et de niveau hydrostatique amèneront des variations sensibles dans la genèse des sols, aussi rappellerons-nous rapidement les principales incidences de ces facteurs entraînant des modifications dans l'évolution des sols.

Nous passerons ensuite en revue les principaux aspects de la végétation dans la grande Ile afin de situer géographiquement les types ou les associations végétales dont nous nous proposons d'étudier l'influence sur le sol.

Une carte schématique (fig. 8) nous aidera à situer la répartition des types de sols et de végétation étudiés. La répartition des types de végétation s'inspire des cartes de PERRIER DE LA BATHIE (196) et MOURANCHIE (166), celle des types de sols est reprise d'une précédente étude bibliographique des sols de Madagascar (186) et complétée par les diverses études des pédologues de l'Institut de Recherche scientifique de Madagascar et nos propres observations (217-220-236-237-238).

**A. — ROLE ET IMPORTANCE DU CLIMAT,
DE LA TOPOGRAPHIE ET DU NIVEAU HYDROSTATIQUE**

La hauteur et la fréquence des pluies, la température, l'humidité de l'air, conditionnent l'humidité du sol et partant le type et la richesse de la végétation. Ces divers facteurs régissent la richesse et l'activité de la microflore du sol.

La nature des constituants du sol et la topographie modifient les effets des incidences climatiques et végétales.

Le régime des eaux du sol conditionne certains de ces facteurs et est lui-même sous la dépendance de l'ensemble de ceux-ci. Aussi l'économie de l'eau dans le sol est-elle d'une importance fondamentale dans les processus que nous étudions.

Pour reprendre une phrase d'A. LACROIX, nous dirons que « c'est moins l'alternance des pluies et de la sécheresse que l'intensité des variations du niveau hydrostatique, qui cause le phénomène de latéritisation ».

Un article de J. RIQUIER (216) met en valeur le facteur topographique dans l'évolution des sols latéritiques de Madagascar. L'auteur fait remarquer à juste titre que cette notion est trop souvent négligée au profit de données morphologiques et chimiques peu précises. La topographie détermine en

effet l'épaisseur du sol, la présence et le régime de la nappe phréatique, le lessivage latéral et l'érosion.

La nappe phréatique est essentiellement une zone gorgée d'eau, souvent au contact de la roche et la zone qu'elle occupe constitue alors, en elle-même, la zone de départ. Le départ des éléments en suspension dans cette zone dépend de l'écoulement de cette nappe, elle-même fonction de l'altération plus ou moins rapide de la roche (nature de la roche), de l'épaisseur et de la nature de la zone altérée la surmontant (porosité et capillarité du sol).

Dans les sols granito-gneissiques, très profonds en général, une partie de la zone de départ très imperméable constitue un milieu réducteur (zone profonde blanchâtre ou bigarrée apparaissant par assèchement dans les coupes de routes encaissées) favorable à la solubilisation du fer. Dans d'autres parties, à la base de cette zone, l'apparition d'éléments friables est plus favorable à la solubilisation des bases et à la formation de silice libre. Cette solubilisation est d'autant plus active qu'au delà de 1 mètre de profondeur, les variations dues au climat étant insignifiantes le sol reste chaud (26 à 30°) et l'humidité permanente même aux périodes les plus sèches. Des observations analogues ont déjà été faites par CASTAGNOL (37), MISSION (159), GURR, MARSHALL et HUTTON (98).

Dans les sols basaltiques de l'Ankaratra, nous avons fréquemment observé des zones bigarrées, compactes et gorgées d'eau où alternaient les taches foncées sans structure apparente et les taches plus claires d'apparence structurée mais très appauvries en bases et se résolvant sous les doigts en une poudre collante.

L'importance de ces zones d'altération est en rapport direct avec la topographie. Sur les lignes de crête, l'influence réduite de la nappe phréatique facilite la dessiccation du profil, ce qui permet un entraînement plus intense de celui-ci par les eaux de ruissellement. Dans les zones de dépressions, la nappe affleure et son battement saisonnier favorise l'apparition d'une zone d'accumulation ou de concrétionnement. En zones de faibles ondulations, la circulation des eaux dépendra de la pente du niveau imperméable. Le colluvionnement entraîne un aplanissement du relief et la circulation très faible des eaux du sol facilitera la formation de cuirasses.

Sous l'influence des solutions acides formées par la sursaturation de certaines couvertures organiques, les hydroxydes sont transformés en hydrates colloïdaux mobiles. En période sèche, l'horizon éluvial se dessèche et les hydrates s'y pectisent en petites concrétions. Ce phénomène résulte pour WAEGEMANS (265-266-267), dont les arguments nous paraissent probants, de la libération exclusive des hydroxydes à partir des minéraux primaires décomposés (silicates d'alumine et de fer).

Ces éléments peuvent s'accumuler en quantité importante, en particulier sous l'influence de la nappe dont les variations amènent leur déshydratation et leur oxydation avec formation de concrétions et même de cuirasses riches en fer, titane, voire même en manganèse. Ce phénomène sera d'autant plus

marqué que les variations du niveau hydrostatique seront plus amples (saison pluvieuse forte), que son écoulement sera faible (surface topographique faiblement inclinée), que la proportion d'hydroxydes fournie par la roche sera forte et que l'humidité de la zone superficielle sera grande. Cette dernière condition assure une vie microbienne intense.

Le cuirassement est une conséquence secondaire de l'alternance des saisons jouant essentiellement au sommet de la zone profonde saturée. La végétation n'exercera donc un rôle que dans l'intensité du phénomène dont le déroulement reste d'un type général uniforme, donnant trois types de concrétionnement :

- Cuirasse ferrugineuse, généralement pauvre en alumine, formée par battement de nappe en zone saturée ;
- Concrétions et pseudo-concrétions se formant dans la frange capillaire ;
- Cuirasses et gravillons de surface résultant de l'érosion du sol, corrélatrice en général à un surcreusement du profil ayant modifié le régime hydrique.

Enfin, un dernier facteur très important est l'érosion ; les effets du ruissellement se révèlent particulièrement désastreux à Madagascar (226-231). De très nombreuses études, en particulier celles de NEAL (173), POPE et ARCHER (204), DULEY et KELLY (66), SREENIVAS, JOHNSTON et HILL (248), SETZER (239), HENIN (101), FOURNIER (80), ont révélé que les principaux facteurs de dégradation des sols entraînant l'érosion en nappe, étaient l'intensité horaire des pluies, la déclivité du terrain, la perméabilité et la profondeur de la couche superficielle. Tous ces auteurs s'accordent à reconnaître que l'importance de ces facteurs est en relation directe avec la nature et la densité de la couverture végétale, réduisant l'arrachement et augmentant l'infiltration.

Nous-même avons tenté de montrer que le degré d'érosion était fonction directe de la quantité de matières organiques du sol. Nous avons proposé (188) une équation simple donnant le pourcentage d'érosion atteint en un point donné, à l'aide des valeurs de la fraction organo-minérale et de la matière humifiée. L'application de cette équation aux sols latéritiques de Madagascar nous a permis de montrer l'importance du type de couvert sur la valeur d'érosion. Une pente de 10 % couverte d'*Aristida* s'érode 2 fois plus que la même pente couverte depuis 20 ans par des *Pinus Khasya*.

B. — ROLE ET IMPORTANCE DE LA VÉGÉTATION

Le nombre des facteurs qui ont part dans la formation du sol est très grand et les possibilités de variations infinies. Si des groupes et des familles de sols peuvent être différenciés selon les conditions climatiques et leur origine géologique, l'érosion et la végétation créent au sein de ces groupes et de ces familles une infinité de genres présentant entre eux des différences souvent plus marquées que celles entraînées par leur origine génétique.

Le passage de la roche au sol se fera exclusivement sous l'influence du climat et revêtira une forme particulière propre au type minéralogique en cause. Cependant, dès son installation, l'influence de la végétation deviendra dominante sur l'évolution du sol en formation. La succession des associations végétales en ce point influencera le type pédologique du sol et la quantité comme la qualité de sa matière organique. Celle-ci détermine en effet, par sa décomposition sous l'influence de la température et de l'humidité, des phénomènes d'oxydo-réduction permettant la solubilisation des éléments minéraux et, sous l'effet des substances humiques, leur passage à l'état de complexe ou leur entraînement en profondeur.

Les végétaux, en dehors de l'action mécanique de désagrégation des roches par leurs racines, et de leur action chimique par production de CO_2 , interviennent dans cette destruction par une constante production de produits minéraux et d'acides organiques libérés et synthétisés par les micro-organismes qui vivent de la matière organique.

L'action de la végétation sur le sol sera de deux ordres.

La couverture végétale morte amortit l'amplitude des variations thermiques et empêche l'insolation directe de la couche superficielle du sol (évaporation), ainsi que son entraînement par les pluies battantes. La végétation favorise la pénétration de l'eau dans le sol (litière) et sa circulation (aggrégats, racines). MEGINNIS (154) ayant appliqué des litières forestières sur divers sols, constate que cette couverture permet une grande accumulation d'eau, même si le sol est au début compact et peu absorbant.

Les substances facilement décomposables de la matière végétale sont en partie dégradées en CO_2 , H_2 , NH_4 , en partie utilisées pour la synthèse des substances microbiennes.

L'humus est en fait un corps complexe résultant de la synthèse des produits de dégradation microbienne et des substances organiques, solubles, présentes dans le sol. On constate que le niveau supérieur de la litière végétale soumise à l'insolation directe, ne se décompose que lentement. Par contre, si cette litière est assez épaisse pour maintenir un haut niveau d'humidité dans sa partie inférieure, les produits solubles se sépareront facilement et imprégneront les premiers centimètres du sol qui seront le siège d'une intense activité microbienne.

En région humide, les lipides, protides, glucides et résines libérés se transformeront progressivement en amino-acides, amides, protéines et bases qui, solubilisés, seront entraînés par l'eau et fixés dans le sol en un complexe organo-minéral.

Ce complexe composera l'horizon organique du sol qui sera d'autant plus riche que ses sources seront plus abondantes. La profondeur de cet horizon dépendra de l'importance de la vie microbienne, de l'abondance des pluies, de la perméabilité du sol et de la densité des racines.

Selon DUCHAUFOR (63), l'état d'équilibre final du sol varie suivant trois facteurs essentiels : la quantité d'humus produit, l'intensité de la

migration en profondeur, et enfin la vitesse de minéralisation par les bactéries.

Si les deux premiers facteurs l'emportent, les colloïdes humiques peuvent atteindre les horizons inférieurs (illuviation de l'humus) ; si au contraire, c'est le troisième facteur qui est le plus actif, aucune migration profonde de l'humus ne peut avoir lieu.

Dans le cas des sols dénudés, l'horizon supérieur se dessèche, les mouvements latéraux de la nappe deviennent prépondérants.

Dans les sols argileux, l'argile peptisée colmate le sol qui durcit et devient rapidement imperméable, accélérant l'érosion par ruissellement. Dans les sols sableux, les éléments pseudo-solubles disparaissent ou pectisent en un ciment, soudant les grains de quartz en conglomérat gréseux plus ou moins friable.

Au contraire, la présence d'une végétation assez dense assure une succession de mouvements ascendants et descendants des solutions du sol. Les racines amènent aux plantes les éléments solubilisés par la nappe dans la zone saturée, tandis que les végétaux morts assurent, avec l'aide de la pluie et des micro-organismes, le retour au sol des éléments minéraux dont une partie sera captée par les racines et l'autre entraînée par les eaux. En même temps, l'humus formé lors de la décomposition des débris végétaux, influera sur les conditions physico-chimiques d'attaque de la roche.

En définitive, la quantité comme la qualité de l'humus produit seront directement fonction du type de végétation qui en fournira la source, ce qui revient à dire que l'évolution du sol dépendra de la végétation qu'il supporte.

Selon les types de végétation, l'humidité du sol variera en importance et en durée. Parmi les facteurs principaux de ces variations, citons : la densité du couvert, l'épaisseur de la couverture morte, la quantité et la composition de l'humus formé.

Pour préciser cette notion, nous dirons qu'un sol de même type et de même profondeur présentera sous Manguier une zone humifère où la densité des racines et de la litière assure la permanence de l'humidité ; tandis que sous *Aristida* le sol, mal couvert, soumis au ruissellement, ne conserve un horizon humifère que dans la zone des racines.

Dans le dernier cas, la dessication sera plus profonde et des morceaux de roche ayant résisté à l'altération discontinue, s'enduiront lors de la période humide de solutions humo-ferriques (pectisations des solutions acides en des microzones basiques) qui, à la période de dessication se durciront en pseudo-concrétions enrobant la roche structurée.

Comme nous l'avons vu plus haut, ces concrétions d'hydroxydes se forment le plus souvent sous l'influence des solutions humiques, dans les zones de variations d'humidité. Si cette zone présente une rupture avec la zone sous-jacente (colluvions sur zone argileuse par exemple), le mauvais écoulement des solutions accroîtra la formation de gravillons et tendra à la

formation de plaques plus ou moins étendues. Si ces plaques prennent une certaine importance, l'eau de saturation tendra à s'écouler à leur niveau, et, nous avons même observé dans certains cas un entraînement d'une masse fluide de sol, entre l'horizon supérieur maintenu par les racines et l'horizon inférieur protégé par cette carapace.

La disparition de la forêt activera l'érosion du sol, amenant l'apparition de la carapace qui, au contact de l'air, s'oxydera irréversiblement en une véritable cuirasse.

Sur la côte Est et sur les Hauts-Plateaux, ce phénomène se déroule actuellement dans toutes les zones d'écoulement lent et discontinu, où la source d'humus est continue (zones dépressionnaires surélevées).

Il convient pourtant de ne pas perdre de vue que si la végétation est l'un des facteurs essentiels de l'évolution du sol, le type de sol peut lui-même de par sa composition, être un facteur écologique au même titre que le climat. Comme exemple, nous rappellerons les études de KILLIAN (123), SHANTZ et PIEMEISEL (240), GRILLET (97) et de nombreux autres.

A Madagascar, des associations végétales nettes n'apparaissent qu'exceptionnellement, mais néanmoins l'altitude, le type de sol et le climat déterminent des complexes édaphiques de prairie ou de forêt qui sont très caractéristiques.

L'étude de ces associations est, comme l'ont montré PORTÈRES (203), DUTHIE et DOUGHTY (68) de la plus haute importance dans l'étude de la vocation culturale des sols d'une région.

Afin de situer le cadre de notre étude, nous esquisserons rapidement les principaux complexes édaphiques des paysages malgaches.

1° *La forêt.*

Avec PERRIER DE LA BATHIE (196) et HUMBERT (108), nous distinguerons deux régions forestières distinctes à Madagascar. La première est caractérisée par une végétation autochtone à feuilles persistantes, et constitue tout au long de la côte Est de l'Ile une bande plus ou moins large. C'est une futaie dense et humide, à strates frutescentes et herbacées.

Les espèces en sont extrêmement variées et ne constituent jamais de peuplement homogène, ni de groupes compacts. HUMBERT donne comme ordre approximatif de richesse en genres et en espèces : les Rubiacées, Sterculiacées, Tiliacées, Mélastomacées, Loganiacées, Apocynacées, Myrtacées, Guttifères, Myrsinacées, Saxifragées, Euphorbiacées, Urticacées, Anacardiées, Lauracées, etc...

Le Massif d'Ambre et de petites enclaves forestières des Hauts-Plateaux (Ankaizinana, Andramasina...) appartiennent à cette région botanique.

La seconde région est caractérisée par une végétation autochtone à feuilles caduques et correspond aux domaines des plaines et plateaux de l'Ouest et du Nord-Ouest. Beaucoup de ces forêts sont parsemées d'ailleurs d'espèces à feuilles persistantes.

La forêt ombrophile de l'Est et du Centre, malgré ses espèces variées répond à un type uniforme quant à son influence sur le sol. Nous verrons plus loin que les profils des sols granito-gneissiques prélevés en des points les plus divers de la forêt de l'Est présentent un mode d'évolution aussi homogène, sinon plus, que ceux prélevés sous des peuplements purs. Il est assez facile de comprendre d'ailleurs que cette forêt, installée depuis des millénaires, a créé un microclimat propre où tous les facteurs tendent vers une moyenne, tandis que les peuplements purs installés depuis 50 années au plus, ne peuvent avoir eu une telle action.

La forêt héliophile de l'Ouest au contraire ne constitue pas un tout mais présente de multiples aspects qu'il convient de distinguer. En zone humide, nous aurons une haute futaie, sans sous-bois mais à lianes abondantes, et comportant de nombreuses essences à feuilles persistantes (*Cephalanthus*, *Protorhus*, *Eugenia*, *Ravensara*) ; les essences à feuilles caduques seront surtout : *Canarium*, *Khaya*, *Acacia*, *Grewia*, *Terminalia*, *Ficus* et *Tamarindus*.

En zone sèche, sur sables roux ou calcaires, la futaie est irrégulière et comporte quelques grands arbres à feuilles caduques (Légumineuses, Térébinthacées, Méliacées, Sapindacées), au milieu d'une strate frutescente à Euphorbiacées, Légumineuses, Acanthacées, Rubiacées, Passifloracées... On note souvent un tapis herbacé à Acanthacées, Orchidacées, Liliacées et surtout Muscinées.

Enfin, dans les dépressions, selon l'alternance ou la permanence de leur submersion, on observe de véritables forêts-galeries à essences peu nombreuses et très différenciées : marais à *Raphia* et Fougères, marais à *Pandanus* et *Typhonodorum*, alluvions à « Adabo » (*Ficus sakalavarum*), lits de torrents à *Dracaena*, *Ficus*, *Coffea* et Fougères.

La forêt tropicale n'apporte au sol qu'une quantité minime d'humus par rapport à la matière verte fournie. Comme l'observe MOHR (162) lorsque la température du sol se maintient vers 25°, il s'établit dans ces régions un équilibre entre la production de matière verte et sa minéralisation. En dessous de cette température il se crée une accumulation d'humus.

Contrairement à l'opinion courante, il semble bien que la forêt n'exerce aucune action sur la quantité de pluie tombée. L'évaporation totale du sol est même plus élevée d'un tiers en terrain foresté qu'en terrain nu (rapport de l'I.N.E.A.C., 113). Mais la présence d'une forte couverture morte préserve le sol du battage de la pluie, diminue l'évaporation directe du sol en maintenant une zone d'humidité constante, augmente l'humidité atmosphérique et retient l'eau tombée qui ne s'infiltre que lentement, atténuant ainsi le lessivage du sol.

Nous avons choisi la forêt comme base de référence pour notre étude, car elle présente, malgré sa diversité, une grande homogénéité d'influence et, est représentée sur les types de sols les plus divers. De plus, dans la zone organique humide, la vie biologique est intense, assurant une source continue d'éléments nécessaires au développement de la végétation.

2° *La savane.*

L'on commet souvent une confusion regrettable en appliquant le terme de savane à des formations les plus diverses allant de la prairie rase à la broussaille secondaire postignée du type « savoka ».

Nous appliquerons ce nom à une formation secondaire comportant une prairie haute à bouquets d'arbres isolés à dominances nettes. Ces savanes occupent dans l'Ouest de l'île d'immenses espaces et ne comportent qu'un nombre d'espèces très limitées : Satrana (*Medenia nobilis*), Satra (*Hyphaene Schatan*) qui sont deux palmiers, *Acridocarpus excelsus* (Malpighiacées), Sakoa (*Poupartia caffra*, Anacardiacees) et Kily (*Tamarindus indica*).

Ces étages différents ne se pénètrent que peu. On observe rarement le mélange du Satrana avec le Satra, mais pratiquement jamais ceux-ci en compagnie du Sakoa ou du Kily. Ces formations diffèrent en fonction de la nature du sol, de sa richesse et de son régime hydrique.

Les méfaits des feux répétés sont loin d'être exagérés, car les espèces arborées qui constituent cette savane ne sont nullement inflammables, tout au plus possèdent-elles une certaine résistance, due à leur écorce ou à leur puissance de rejet. Que de Sakoa, Satra et Satrana nous avons vu se consumer comme de l'amadou et s'écrouler dans une gerbe de cendres et d'étincelles.

La savane est lentement remplacée par une prairie (*Heteropogon*, *Hyparrhenia*, *Aristida*, *Cenchrus* et *Trichopteryx*) dont les touffes s'espacent de plus en plus pour ne laisser que des sables ou des rocaillies stériles.

3° *Le scrub ou bush xérophytique.*

Formation buissonnante toujours verte et le plus souvent épineuse qui de Morondava à Antanimora occupe tout le Sud malgache. Cette région subdésertique est couverte d'une strate arborescente et frutescente généralement dense.

Parmi les principaux végétaux qui la composent, on compte de nombreuses Euphorbiacées et deux Didiereacées arborescentes à tissu aquifère, hérissées de fortes épines, le Fantsilotsy (*Alluaudia procera*) et le Sony (*Didierea madagascariensis*) que l'on rattache souvent aux Sapindacées.

On trouve dans cette formation quelques arbres et arbustes moins caractéristiques : *Thylachium* (Capparidacées), *Megistostegium* (Malvacées), *Salvadora* (Salvadoracées) et Baobab (*Adansonia*).

Le Fantsilotsy se présente souvent à l'état à peu près pur sous forme d'une futaie de 8 à 10 m, mais est le plus souvent mélangé aux Euphorbes.

Le Baobab se rencontre à peu près dans toutes les formations de l'Ouest et du Sud.

Des Acacias, des Albizzias et des Tamarindus, constituent le long des cours d'eau du Sud de véritables forêts-galeries du type tropophile de l'Ouest.

4° *La Savoka.*

Formation arborée secondaire progressive, la Savoka est de composition

fort hétérogène. *Solanum auriculatum* (Sevabe) et *Haronga madagascariensis* (Harongana), *Ravenala madagascariensis*, Bambous, *Trema orientalis* (Andra-rezina), constituent les essences principales de ces formations secondaires.

Ces Savokas constituent des séries progressives qui mènent normalement à la réinstallation de la forêt. Mais la fréquence des feux épuisant les réserves végétales et éloignant la lisière forestière, entraînent une série régressive avec une succession — Savoka — Brousse éricoïde de la région centrale (*Helichrysum*, *Philippia*, *Pteridium*, *Agauria*) — Prairie à *Imperata* de la côte Est — Prairie intermédiaire à *Hyparrhenia* et *Cymbopogon* — Prairie à *Aristida* ou *Heteropogon*.

La brousse éricoïde peut elle-même dans certains cas (sols squelettiques) appartenir à une série progressive, mais le plus souvent elle marque le dernier stade de végétation d'un sol dont l'horizon supérieur rapidement érodé ne laissera plus végéter que quelques rares touffes disséminées d'une Graminée aussi résistante aux feux qu'à l'appétit des bœufs : *Aristida*, *Trichopteryx* ou *Heteropogon* selon les climats et les sols.

5° La prairie.

La prairie, aux espèces multiples, ne peut que difficilement se classer dans une catégorie, les types en sont variés autant que la valeur ; quelquefois climacique elle est le plus souvent secondaire, postignée. Les incendies répétés amènent des herbes de moins en moins exigeantes, mais de moins en moins nourissantes et de moins en moins protectrices du sol.

Les espèces graminéennes se répartissent grossièrement selon la richesse du sol et son économie hydrique. Protégées des feux, de nombreuses espèces peuvent encore enrichir suffisamment le sol en matières organiques et en bases minérales pour permettre l'installation d'une végétation plus riche, génératrice d'une lente évolution progressive.

Les espèces et les associations prairiales les plus importantes sont pour les Hauts-Plateaux : *Aristida similis* et *multicaulis*, *Hyparrhenia rufa*, *Imperata Commersoni*, *Rhynchosyris roseum* et *Sporobolus indicus*.

Pour l'Ankaizina et le Nord-Ouest : *Aristida multicaulis*, *Hyparrhenia rufa*, *Imperata cylindrica*, *Sporobolus indicus*, *Cymbopogon cymbarius*.

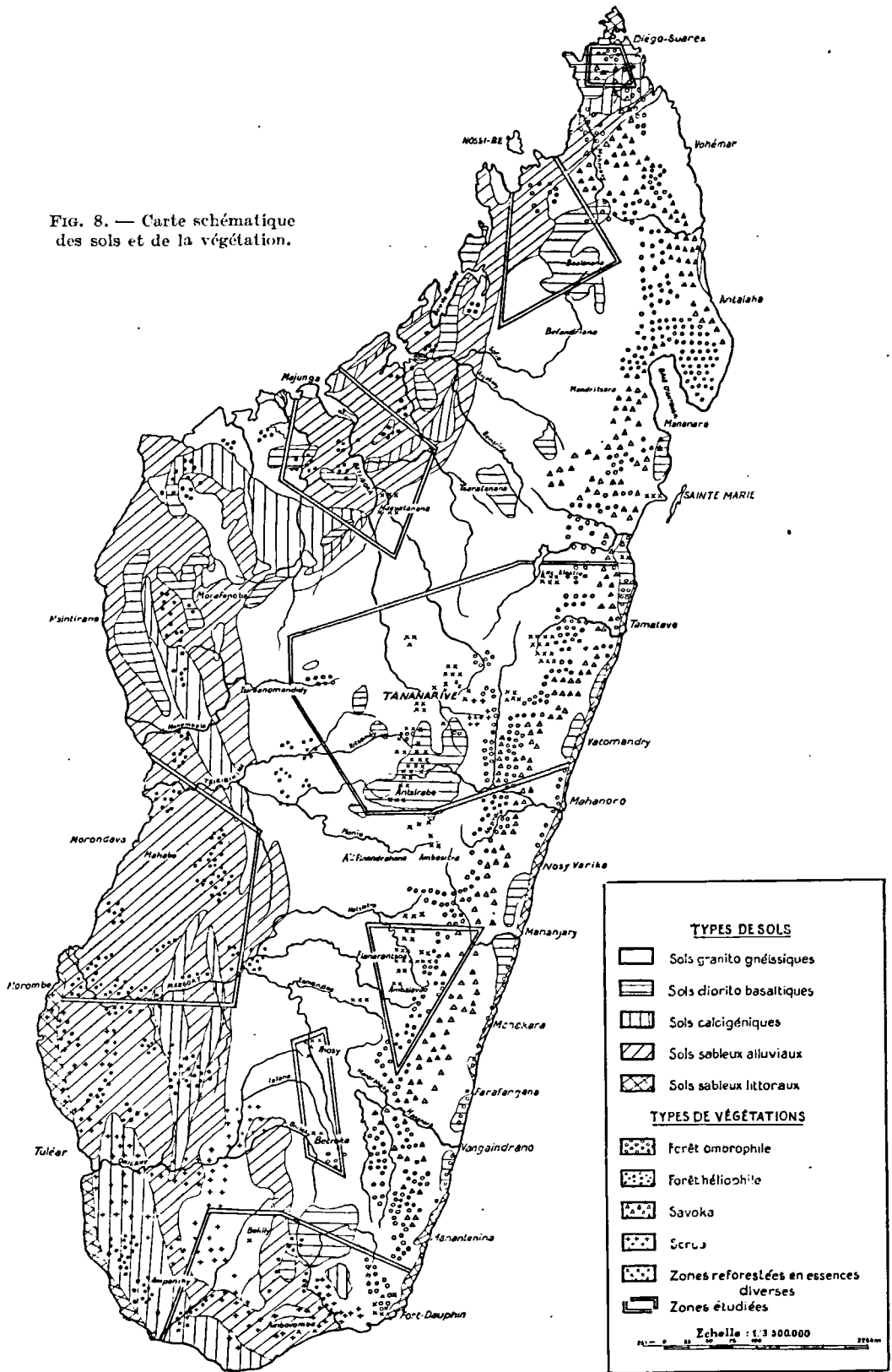
Pour l'Ouest et le Sud-Ouest : *Heteropogon contortus*, *Trichopteryx stipoides*, *Cenchrus ciliaris*, *Heteropogon contortus*, *Aristida rufescens* et *Hyparrhenia rufa*.

6° Les reboisements.

Les Eucalyptus, Acacias et *Pinus* divers couvrent de vastes étendues reboisées depuis la création du Service des Eaux et Forêts. De nombreuses autres essences : *Grevillea*, *Cedrella*, Cyprès sont en voie d'extension. Quelques arbres fruitiers enfin, tels les Manguiers, se sont répandus dans toute l'île et constituent parfois de véritables bois.

Dans les régions soumises depuis longtemps aux incendies, la reconstitution de la forêt apparaît comme une échéance lointaine. Cependant, la recons-

FIG. 8. — Carte schématique
des sols et de la végétation.



titution d'une végétation arborée stabilise la phase de dégradation des sols par l'érosion et permet l'uniformisation évolutive des surfaces couvertes. Ces reboisements permettent l'évolution lentement progressive vers des équilibres anciens ou nouveaux. A proximité de la lisière forestière, de tels boisements favoriseront l'apparition rapide d'un sous-bois et la réinstallation progressive de la forêt.

Trop éloignés de zones forestières, ces peuplements entraîneront l'apparition de nouveaux équilibres et l'installation de véritables forêts d'un type nouveau. Cependant, la reconstitution de l'ambiance forestière doit faire grand état des exigences des espèces introduites mais aussi des perturbations qu'elles risquent d'entraîner.

Nous verrons plus loin que l'évolution du sol est très différente selon les essences, aussi nous semble-t-il que la meilleure solution réside dans le mélange de certaines espèces créant une moyenne de conditions d'évolution, voisine de celles des sols forestiers. D'autre part, les peuplements mélangés assurent une défense collective beaucoup plus efficace aux attaques parasitaires et permettent, par la compensation de leurs exigences nutritives, leur installation sur des sols peu aptes à supporter en peuplement pur l'un ou l'autre des composants.

CHAPITRE III

Les solutions du sol et le complexe absorbant dans les sols malgaches.

Après avoir étudié rapidement les principaux facteurs déterminant la formation et l'évolution des sols, nous nous arrêterons un peu sur certaines conditions physiques et chimiques, variant avec les conditions minéralogiques, climatologiques, topographiques et écologiques du sol, mais dont la dynamique contribue directement à caractériser l'influence des divers types de végétation sur l'évolution générale des profils.

A. — CIRCULATION ET RÉTENTION DES SOLUTIONS DU SOL

L'économie en eau du sol est la base même de la dynamique du sol ; cette eau revêt des formes variées dont l'importance est très diverse.

L'eau hygroscopique est irréversiblement fixée à la surface des particules solides, surtout des colloïdes. Elle représente une humidité inférieure au point de flétrissement de la plante, point au-dessous duquel celle-ci ne peut plus utiliser les solutions du sol. La nature du sol fait varier considérablement cette limite, alors que l'espèce végétale n'a qu'assez peu d'influence (32, 82).

Dans les déterminations effectuées sur les sols malgaches d'après la méthode de BRIGGS et SHANTZ (32), nous n'avons trouvé que de minimes différences entre les sols volcaniques et les sols granito-gneissiques (fig. 9). Par contre, les sols dits « sables roux » malgré la présence fréquente d'une notable quantité d'argile, possèdent une humidité très faible. Il est probable que ce fait s'explique par la présence en forte quantité dans la fraction argile d'oxydes et d'hydrates de fer dont l'affinité pour l'eau est extrêmement faible.

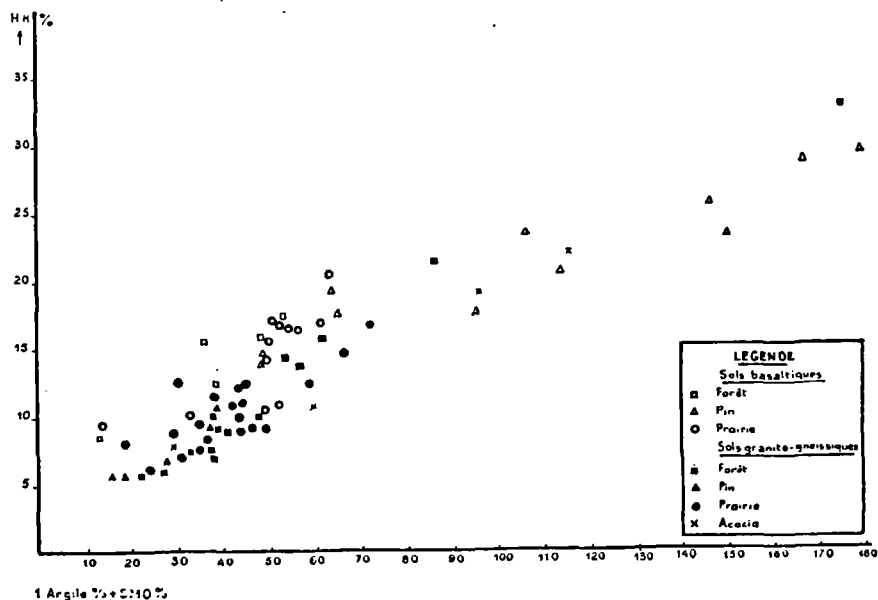


FIG. 9. — L'eau hygroscopique est fonction du complexe argilo-organique.

L'humidité équivalente ou capacité de rétention d'un sol est le maximum d'eau qui puisse être retenu par un poids de terre. Cette capacité peut être déterminée par des moyens physiques tels que la centrifugation d'un poids déterminé de sol gorgé d'eau (264).

Cette humidité varie avec la compacité du sol, l'état de saturation de l'argile et l'état d'humification de la matière organique. La capacité de rétention dépendra donc essentiellement de la teneur du sol en Argile et en Humus (100-11-13). Ce dernier état sera d'autant plus important à connaître que de nombreux auteurs estiment que la matière organique peu décomposée accroîtra l'humidité hygroscopique plus rapidement que l'humidité équivalente, tandis qu'au contraire la matière bien humifiée augmentera surtout la capacité de rétention (26-42-72-99-119). La connaissance de cette valeur,

compte tenu de l'hygroscopicité, permettra de déterminer le bilan d'eau des sols (243-277).

Dans les sols malgaches, tant dioritiques et basaltiques que granitiques et gneissiques, l'augmentation de l'hygroscopicité en fonction de la teneur en argile est plus de deux fois moins rapide que celle de l'humidité équivalente pour une même quantité de matière organique dans le sol.

Une série d'expériences réalisées au laboratoire sur deux types de sols sont venues confirmer ces indications :

Nous avons employé 50 gr de sol lavé et débarrassé de toute matière organique non décomposée. Les deux séries d'expériences concernaient une zone de départ d'un sol granito-gneissique très argileux (30 %) et un sol sablo-limoneux du type sable roux débarrassé de sa fraction argile.

Pour chaque série, nous avons saturé le sol avec un jus sodique d'humus contenant 1,5 % d'humus, soit pour les 50 gr de sol un apport d'1 gr d'humus contenant environ 150 mgr de Na. La pâte saturée a été mise à sécher à l'air sur plaque poreuse absorbant l'excès d'eau. Au bout de 15 jours, nous avons mesuré les humidités hygroscopiques et équivalentes sur les lots ainsi traités. Nous voyons par le tableau 9 (Annexe) que l'apport d'humus a nettement accru la capacité de ces sols pour l'eau. Dans les sols sableux l'augmentation plus rapide de l'humidité équivalente est particulièrement nette et montre que l'humus, n'ayant pu se combiner à l'argile, possède à lui seul une capacité de rétention à peu près égale à celle de l'humus combiné.

B. — SOLUTIONS OU SUSPENSIONS D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX OU ORGANIQUES

Lors de la transformation de la roche en sol, il se produit un double phénomène d'élimination (bases alcalines et alcalino-terreuses et petite quantité de silice) et d'enrichissement (sesquioxydes), entraînant l'apparition de colloïdes minéraux aluminosilicatés qui constituent la fraction argileuse du sol. Ce processus est accompagné de phénomènes d'oxydation et d'hydratation faisant passer du fer libéré à l'état ferreux en fer ferrique.

La température intervient en intensifiant la dissociation de l'eau en ions H_+ et OH_- , ce qui accentue l'action hydrolytique et peut même amener la dissociation des aluminosilicates en sesquioxydes et silice.

Parmi les composants des solutions du sol, nous trouvons des suspensions colloïdales (silice colloïdale, hydroxydes de fer et d'alumine, substances organiques) et des solutions vraies (acides, sels, bases et éléments organiques solubles).

Le processus chimique de décomposition des roches conduit finalement à la formation de solutions salines contenant des carbonates, des bicarbonates, des nitrates et une petite quantité de silicates solubles. Une grande partie des bases telles que la chaux, la magnésie, la potasse et la soude ainsi qu'un peu de silice se trouvent entraînées de cette façon.

Par contre, la majeure partie de la silice libérée ainsi que les aluminosilicates et les hydroxydes paraissent se trouver à l'état colloïdal. Ils peuvent également former des complexes aluminosilicatés ou ferrisilicatés restant à l'état colloïdal et jouent alors un rôle important dans les sols.

Dans les cas de déshydratation des sols, les hydroxydes des métaux lourds peuvent passer à l'état solide et la silice colloïdale flocculer et passer à l'état amorphe (opale) ou cristallin (grains de quartz secondaire).

1^o SOLUTIONS OU SUSPENSIONS MINÉRALES.

La fraction « Argile » des sols ou « Complexe colloïdal minéral » est constituée par un mélange de produits d'hydrolyse : argile (groupes kaolinique, montmorillonitique, illitique...), silice, hydroxydes libres, susceptibles d'être mis partiellement en suspension.

Des réactions d'absorption et d'échange peuvent s'effectuer entre les colloïdes argileux et humiques et les ions minéraux (152). De plus, il semble nécessaire d'admettre une certaine capacité d'échange propre aux hydroxydes colloïdaux amorphes (76). L'ensemble des corps susceptible de telles réactions constitue le complexe absorbant de GEDROIZ (88). La méthode de détermination du pouvoir d'absorption d'un sol (SCHOLLENBERGER et DREIBELBIS (232)) est basée sur ces réactions.

Le degré de saturation du complexe absorbant (V) peut être évalué en comparant la totalité des cations fixés (S) et la capacité d'échange (T) ainsi déterminée :
$$V = \frac{S \times 100}{T}.$$

Les bases minérales une fois solubilisées peuvent être retenues, si bien qu'un même élément peut se trouver sous trois formes : l'une en solution dans les solutions du sol, une autre accessible aux échanges, une dernière incluse dans le réseau cristallin. Mais ces formes ne représentent en réalité qu'un état d'équilibre temporaire (40). Pour chaque base du sol, le total de ces trois formes n'est, en général, qu'assez faible par rapport à son pourcentage dans la roche originelle, mais dans chaque cas les proportions relatives de ces diverses formes obéissent à certaines relations.

Dans notre étude comparée des sols malgaches, nous avons recherché les valeurs de l'équilibre des principales bases conditionnant la valeur de ces sols. Les rapports de CaO, K₂O, MgO présentent en général un équilibre propre au type de végétation et au type de sol.

D'autre part, la capacité d'échange et l'humidité équivalente varient avec le type d'argile (227), mais pour un même type se révèlent proportionnelles à un rapport déterminé d'argile et de matières humiques.

2^o SOLUTIONS OU SUSPENSIONS ORGANIQUES.

L'humus comprend l'ensemble des produits de décomposition organique et comme tel résulte d'une vie microbienne active (269-225-268-272). Cette décomposition s'effectue en fonction des conditions de compacité, de richesse,

de température et d'humidité du sol. Les processus de dégradation et de synthèse aboutissent à la libération de substances organiques et minérales dont quelques-unes seront douées d'une grande activité ; alimentation des plantes (87-142-257), transformation des propriétés physiques et chimiques du sol (23-135-136-139-145-163).

Chaque espèce végétale fournira donc un matériel différent et l'évolution des divers éléments se poursuivra alors selon une vitesse propre et fournira des produits de néoformation assez différents (261).

Les substances minérales individualisées à partir de la litière seront en partie lessivées par l'eau de ruissellement et d'infiltration et retenues par les substances humiques. Les substances organiques libérées lors de la décomposition de cette même litière joueront un rôle extrêmement important dans la vie microbienne.

Cette activité incessante des organismes du sol produira un matériel entièrement nouveau composé pour une part de produits de synthèse et pour l'autre de déchets plus ou moins transformés. Ce complexe qui se présente comme une matière colloïdale riche en carbone et de coloration foncée sera l'humus proprement dit.

Cet humus possède des propriétés physiques et chimiques propres. Examiné au microscope électronique par FLAIG (77), il s'est révélé composé de particules colloïdales de 60 à 100 Å. Enfin cet humus possède la capacité de s'unir et de former des corps complexes stables avec certains éléments minéraux. Il se dissout partiellement dans les alcalis, les oxalates, les fluorures et les acétates alcalins. Il est nécessaire de noter à ce propos que ce phénomène provoque une erreur relative assez forte dans la détermination des éléments échangeables. Cette dernière propriété est d'autant plus importante que les méthodes de détermination des éléments échangeables utilisent l'acétate d'ammonium. Il s'ensuit ainsi qu'une partie de ces éléments considérés comme échangeables ne sont que des éléments minéraux de l'humus solubilisés avec lui. Pour donner une idée de l'importance de cette solubilisation d'humus, nous avons réuni dans le tableau 10 quelques déterminations effectuées sur les sols étudiés en extrayant l'humus sur des échantillons de sols non traités et sur d'autres lessivés à l'acétate d'ammonium.

Dans les sols riches en calcium le lessivage de l'acétate d'ammonium entraînera au contraire une importante libération d'humus. Il ne s'agit pas ici de l'action des carbonates, un traitement préalable à l'acide chlorhydrique ayant assuré leur destruction, mais de l'inversion du phénomène précédent. Le calcium saturant l'humus semble participer à l'échange et permettre ainsi la solubilisation d'une plus forte quantité d'humus (tableau 10 bis).

La formation de tels complexes avec les hydroxydes ferriques peut entraîner le déplacement de celui-ci, alors même que les conditions physico-chimiques du sol sont défavorables à sa solubilisation. La silice paraît jouer un rôle semblable vis-à-vis du fer (119-212bis), mais la quantité d'humus

nécessaire étant relativement très faible (48), son rôle dans la migration et l'accumulation du fer dans le sol sera très important.

La nature des substances humiques interviendra également dans les phénomènes de solubilisation et d'échange des éléments minéraux. Il convient donc de distinguer au moins trois fractions que leur rôle et leur composition différencient nettement entre elles ; bien qu'elles appartiennent autant aux solutions et pseudo-solutions qu'au complexe organo-minéral.

a) *L'acide humique*, défini comme la fraction soluble aux alcalis à froid et précipitable aux acides, correspond à la fraction humique fixée énergiquement à l'argile et, douée du plus haut pouvoir d'association et d'échange avec les bases minérales.

Sa composition varie avec son origine, mais, malgré les écarts observés entre les acides humiques d'origine diverse, nous pouvons constater une nette parenté de ces acides (tableau 11).

b) *L'acide fulvique*, soluble dans les alcalins et dans les acides, l'est aussi en grande partie dans l'eau. Il possède un haut pouvoir d'absorption et forme des sels eux aussi solubles dans l'eau. Cet acide semble avoir une grande importance dans le processus de podzolisation (276) en agissant sur les composés du fer et du manganèse, avec lesquels il forme des sels d'oxydes facilement solubles et susceptibles de se peptiser et de prendre en masse, formant des alios en zone humide réductrice et des carapaces en zone oxydante.

L'acide fulvique, s'il est en quantité suffisante pour imprégner longuement le sol, paraît capable de dissocier certains alumino-silicates et de former alors des suspensions salines avec l'alumine qui devient à son tour très mobile et peut donner lieu à un concrétionnement particulier ou en association avec les autres hydroxydes (tableau 12).

c) *L'humine*, obtenue par chauffage à ébullition dans une solution de soude diluée est la première phase de transformation de la matière organique en acide humique et correspond à la fraction du sol de densité inférieure à 2. Sa proportion dépend à la fois de la nature, de la végétation et des conditions d'humification présentes dans le sol.

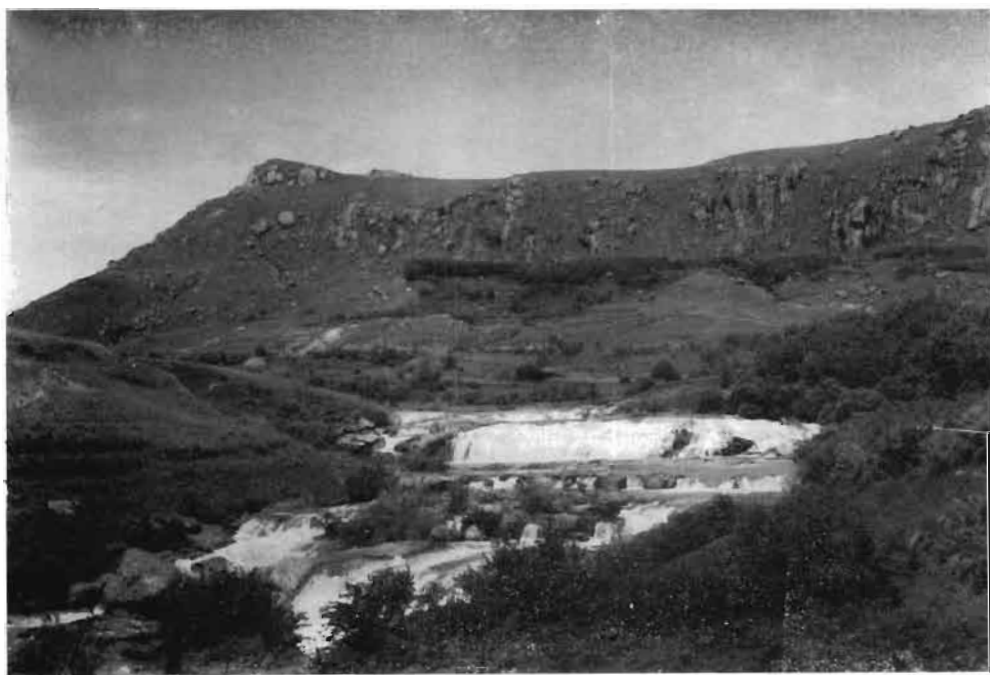
Cette fraction humique n'est en fait qu'un stade intermédiaire artificiel qui se résout en acides humiques et fulviques. La composition d'une telle fraction marquera des variations assez fortes, selon que la proportion des deux acides qu'elle fournira, différera (tableau 13).

Nous avons étudié les différentes méthodes d'extraction de ces fractions (187) et nous avons adopté la méthode préconisée par PURI et SARUPA (210) comme fournissant la plus forte solubilisation des matières humiques.

Cependant, malgré son grand intérêt théorique la différenciation de ces fractions conserve un certain arbitraire dû à l'imperfection de leur mode de séparation et de préparation. Ainsi ces chiffres de cendres que nous indiquons sont très supérieurs aux quelques chiffres cités par WAKSMAN (269), malgré cependant les précautions prises (lessivage préalable de la litière



A. Forêt ombrophile, bordure Est des Hauts-Plateaux. (*Cliché Service de l'Information, Madagascar.*)



B. Prairie à *Aristida* sur sol granito-gneissique des Hauts-Plateaux. (*Cliché Service Information, Madagascar.*)

à HCl). N'ayant pas étudié spécialement cette question, nous ne fournissons donc ces chiffres que sous toutes réserves, leur intérêt résidant surtout dans la composition des matières minérales.

Dans la suite de notre étude, nous conserverons cette division des matières humiques en trois groupes, car malgré ses imperfections cette distinction permet une étude plus approfondie de certains phénomènes particuliers.

C. — COMPLEXE ORGANO-MINÉRAL

Les travaux de nombreux auteurs (230-182-107-276-88 à 92-38-157-169-59-37-78-56-14-31-119-85-137) ont mis en évidence une interaction des colloïdes organiques et minéraux conduisant à la formation d'un complexe argilo-humique.

Ce complexe est constitué, non par la juxtaposition des colloïdes argileux et humiques, mais par leur union en un corps stable doué de propriétés d'absorption et d'échanges remarquables dont la valeur est en fonction de sa constitution physique et chimique (136). Dans de tels complexes, le composant humique semble acquérir une structure (233).

Des expériences tentées à partir de complexes artificiels semblent indiquer que les cations fixés par ce complexe sont plus facilement absorbables, mais plus facilement utilisés par les plantes que lorsqu'ils sont en solution (6-156).

Si nous calculons la capacité théorique de rétention et d'échange de chacun des composants minéraux et organiques de ces complexes, nous obtiendrons des chiffres bien différents des valeurs trouvées expérimentalement. Aussi est-il nécessaire d'admettre avec Mc GEORGE (90-92) que ces valeurs sont proportionnelles au degré de décomposition de la matière humique et, si l'on pose la relation de WILLIAMS (276) $T = x \text{ argile} + y \text{ carbone}$, il faudra tenir compte de la forme sous laquelle se trouve l'élément organique et, de plus, pour l'argile, de la présence d'hydroxydes amorphes. Ces derniers possèdent en effet un certain pouvoir d'absorption, mais différent de celui de l'argile; de plus, l'alumine paraît capable de diminuer, par fixation, la capacité d'échange de l'humus (91).

L'une des meilleures méthodes d'étude du complexe et de sa composition semble être son fractionnement en éléments de densité différente. En effet, la matière organique et la matière minérale possèdent des densités spécifiques connues, il est donc possible de considérer la partie du sol ayant une densité intermédiaire comme étant une fraction mixte organo-minérale.

LEIN (139), puis HENIN et TURC (103-104), se basant sur les densités très différentes des composants minéraux du sol et des débris végétaux, ont cherché à séparer dans un milieu liquide, inerte, la fraction complexée qui, normalement, devait avoir une densité intermédiaire.

On détruit les agrégats par malaxage dans l'eau additionnée de chlorure de calcium pour éviter la dispersion des colloïdes. Pour éviter la cohésion

au séchage on termine la dessiccation avec de l'alcool, puis l'on agite l'échantillon ainsi traité dans des mélanges bromoforme-benzène de densité connue. La coupure entre les diverses fractions est plus ou moins marquée, selon le type de sol, mais la méthode permet de préciser en quoi diffèrent d'un sol à l'autre, les conditions d'évolution de la matière organique.

Nous avons analysé la plupart des fractions que nous avons obtenues dans les divers groupes de sol pour différentes espèces ou groupements végétaux.

Pour LEIN (139), la fraction de densité inférieure à 2 contient la matière organique peu décomposée ainsi qu'une partie libre de l'humus ; la fraction comprise entre 2 et 2,7, contient des composés organiques plus ou moins combinés.

D'après nos précédentes études sur les sols malgaches (187-189), nous avons choisi 4 fractions marquant des paliers très nets dans le fractionnement densimétrique des sols, tant par leur quantité que par leur composition :

a) La fraction de densité inférieure à 2, représentée presque exclusivement dans les litières et, comprenant essentiellement des matières végétales plus ou moins décomposées.

b) La fraction de densité comprise entre 2 et 2,4, comportant une très forte proportion d'argile, mais un pourcentage constant de composés organiques (l'argile pure est comprise théoriquement entre les densités 1,7 à 2, mais sa constante richesse en hydroxydes augmente sensiblement sa densité).

c) La fraction de densité comprise entre 2,4 et 2,6 comportant la majorité de l'argile du sol et une quantité minime de matières humiques et de bases (TAMM (250) avait déjà noté pour les sols suédois la pauvreté relative de cette fraction en bases échangeables et en matières humiques).

d) La fraction de densité supérieure à 2,6 comprend la quasi-totalité des éléments grossiers, quartzeux et micacés, ces derniers fournissant une assez forte quantité de bases par leur décomposition.

De plus, nous avons cherché à déterminer la valeur de rétention de ces complexes pour les bases. Dans une première expérience, nous avons fait percoler diverses solutions sur 100 gr. de sol argilo-limoneux homogénéisé.

Solution A : contenant par litre : 16,1 meq de Mg (SO_4Mg) ; 16,2 meq de NH_4 ($\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$) ; 78 meq de K (ClK) ; 40 meq de Ca (Cl_2Ca).

Solution B : contenant par litre : 185 meq de Fe (FeCl_3) ; 200 meq de Ca (CaCl_2).

Cinquante cm^3 de solution sont versés sur le sol et, après l'absorption de ces solutions, on fait percoler des quantités connues de solutions humiques fractionnées constituées comme suit :

Acide humique : (61,2 % C, 6,4 % N) solution à 3 gr 100 par litre.

Acide fulvique : (38,5 % C, 4,3 % N) solution à 2 gr 850 par litre.

Humine : (43 % C, 5,5 % N) solution à 2 gr 900 par litre.

Le sol est rincé à l'eau jusqu'à ce que le filtrat soit parfaitement clair, et après séchage, on dose les 10 premiers cm du sol traité (tableau 14). Nous voyons que l'humidité équivalente n'est nullement affectée, la quantité d'argile étant importante et celle de matière organique variant peu.

Par contre, la capacité d'échange dépendant surtout de la matière humifiée, accuse quelques variations et l'acide humique et l'humine augmentent la capacité malgré leur faible quantité.

L'apport des diverses fractions humiques, principalement acide humique et humine, diminue notablement le lessivage des solutions A apportées. L'augmentation de rétention des solutions B très riches en Ca est moins nette et, il est possible d'attribuer à Ca une partie de cette action.

Le fractionnement densimétrique du sol nous montre que l'augmentation des bases échangeables entraîne un accroissement de la fraction de densité moyenne; celui-ci est d'autant plus fort qu'il y a eu absorption d'acide humique et d'humine. Au contraire, la solution B fixant une forte quantité de fer sur l'argile, entraîne l'augmentation de la fraction lourde. Cette action semble contrariée par la présence d'acide fulvique, tandis que la présence d'acide humique ou d'humine entraîne une sensible augmentation de la fraction plus légère.

La fixation des fractions acides humiques et humine apparaît dans l'augmentation du taux de Carbone, tandis que l'acide fulvique ne paraît pas s'être fixé. Indépendamment de la fixation d'ailleurs assez faible des fractions humiques, l'azote ammoniacal apporté par la solution A, paraît s'être fixé en assez forte proportion.

L'action des solutions humiques sur la rétention des bases dans le sol, nous apparaît incontestable malgré les très faibles quantités retenues. Le rôle de l'acide fulvique est assez particulier, car nous voyons ici se confirmer sa grande mobilité dans le sol. De même, le caractère mixte de l'humine semble être mis en évidence du fait de l'invariabilité des taux d'humine retrouvés, et de l'augmentation des taux d'acides humiques et fulviques dans les expériences tentées avec addition d'humine. Pour vérifier ces premières données, nous avons entrepris une seconde série d'expériences en inversant les facteurs.

Nous avons choisi une zone de départ gneissique et un sable de rivière (calibrés entre 0,5 et 2 mm, lavés à l'acide chlorhydrique et à l'eau distillée); nous avons réalisé une pâte homogène avec les solutions humiques mentionnées plus haut, et avons laissé le tout sécher à l'air. Nous avons ensuite mis ces échantillons en tubes de percolation (750 gr de pâte pour chaque essai) et avons fait percoler des solutions A et B (énumérées plus haut) et des solutions C et D.

Solution C : contenant par litre : 150 meq de P sous forme de PO_4H_2 , NH_4 ; 135 meq de Al sous forme de $(\text{NO}_3)_3\text{Al}_2$, 15 H_2O .

Solution D : contenant par litre : 170 meq de Al sous forme de $(\text{NO}_3)_3\text{Al}_2$, 15 H_2O .

Les solutions furent repassées 3 fois sur le sol, puis rincées abondamment avec 3 litres d'eau distillée et les 10 premiers centimètres de sol, séchés et homogénéisés, ont alors été analysés (tableau 14 *bis*).

Nous voyons que la plus grande partie des fractions humiques retenues se retrouve dans la partie supérieure du sol et qu'elles ont permis la fixation d'une quantité notable de bases. Cette fixation paraît plus forte en présence de l'acide humique, le mélange des trois fractions augmentant la totalité de l'humus retenu, sans augmenter sensiblement la quantité de bases fixées. Dans ce mélange nous constatons la diminution très forte de l'acide fulvique retenu ; ce dernier entraînant sans doute le départ d'une forte quantité de bases.

D'autre part, le sable et l'argile se comportent différemment. Le premier ne retient que très peu d'humine mais presque autant d'acide fulvique et d'acide humique que l'argile, il s'ensuit donc une plus forte rétention des bases par le sable en présence d'acide humique que d'humine.

La capacité d'échange est augmentée par l'apport d'acide humique ou d'humine tandis que la présence d'acide fulvique paraît avoir un effet contraire dû, sans doute, à la présence de fer en solution qui, se fixant sur l'argile, diminue son pouvoir d'absorption. Ce phénomène paraît agir également sur le pouvoir de rétention en eau (tableau 14).

CHAPITRE IV

L'évolution des quatre principaux types génétiques des sols malgaches sous l'influence de divers types végétaux.

Nous avons effectué mille cinq cents analyses complètes sur les sols de Madagascar, en tenant compte de la roche mère, de la végétation et du degré d'évolution (1).

Nous aborderons maintenant l'étude de l'évolution des divers facteurs passés en revue dans les chapitres précédents. Afin de ne pas encombrer notre étude d'un nombre trop impressionnant d'analyses, nous adopterons pour chaque classe de sol l'ordre suivant :

(1) Les analyses ont été effectuées sous notre direction avec la collaboration des préparateurs : Ranaivo Georges, Raharison Fulgence, Rabe Simon, Randrianarison Jean-Marie et Rahamefy Hughes.

Par ailleurs, pour la détermination des espèces végétales, nous avons été aidés par J. Bosser, agrostologue de l'I.R.S.M. Nous tenons aussi à indiquer ici les facilités qui nous ont été accordées par le Service forestier et en particulier par notre collègue Y. Dommergues pour les prélèvements effectués dans les forêts domaniales.

1° Composition moyenne des sols selon leur degré d'évolution, du matériau originel au sol érodé.

2° Composition moyenne d'un sol évolué sous divers types végétaux, en tenant compte, quand nous possédons un nombre d'analyses suffisant, de la position topographique.

Nous choisirons pour indiquer les profondeurs les limites les plus fréquentes entre les horizons, de même pour la définition de la couleur des horizons. Ces couleurs seront indiquées en se référant au « Munsell soil color charts » (168), avec dans la mesure du possible la dénomination française de la couleur.

3° Étude des corrélations entre les principaux éléments définis, au chapitre précédent, comme variables essentielles de l'évolution du sol.

Discussion de la valeur et de la signification de ces corrélations pour chaque type végétal. Calcul statistique de la probabilité de corrélation et représentation graphique de cette corrélation selon la totalité des analyses effectuées.

Méthodes analytiques. Le pH est déterminé au pH mètre à l'électrode de verre. Les analyses mécaniques ont été effectuées en partie par la méthode internationale et en partie par la méthode densimétrique BOUYOUOS (26-27). L'azote total est déterminé par la méthode KJELDAHL (56) et le carbone par colorimétrie après oxydation sulfochromique (3-35). Les bases échangeables sont extraites par l'acétate d'ammonium N neutralisé (56). La capacité d'échange est estimée suivant la méthode de PEECH (185), l'acide phosphorique assimilable est déterminé par la méthode de TRUOG (33) et les analyses totales effectuées après attaque du sol par le mélange triacide préconisé par BAYENS (15).

Nous avons calculé la valeur de nos corrélations selon les méthodes statistiques données par MASSIBOT (151).

Le coefficient de corrélation sera déterminé par la formule suivante :

$$r = \frac{\Sigma (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (x - \bar{x})^2 \Sigma (y - \bar{y})^2}} \cdot \frac{\text{covariance de } x \text{ } y}{\sqrt{\text{variance } x, \text{ variance } y}}$$

L'équation de régression linéaire s'établira comme suit :

$$y = \bar{y} + b_y (x - \bar{x})$$

Le coefficient b_{yx} est donné par la formule :

$$b_{yx} = \frac{\Sigma (y - \bar{y}) (x - \bar{x})}{\Sigma (x - \bar{x})^2}$$

La progression d'y en x sera donc l'augmentation moyenne de y pour chaque accroissement d'une unité de x. L'équation de régression linéaire permet pour chaque valeur de x, la détermination de la valeur théorique correspondante de y, et de tracer ainsi la courbe théorique de régression.

A. — SOLS GRANITO-GNEISSIQUES

I. — COMPOSITION MOYENNE DES SOLS SELON LEUR DEGRÉ D'ÉVOLUTION

La plupart des sols étudiés sont en général des sols très évolués du type ferallitique. Il est cependant possible d'observer différents degrés d'évolution et nous avons tenté de regrouper ces différents stades d'après des études faites dans la région de Tananarive (tableaux 15 et 16).

Ces sols ont été prélevés dans une zone accidentée d'assez faible étendue isolée par un ancien bras de l'Ikopa recoupant le méandre actuel. Cet isolement a, sans aucun doute, préservé le périmètre des feux annuels, permettant ainsi la conservation des stades progressifs étudiés.

Lorsque l'on peut observer le premier stade de formation d'un sol directement sur la roche désagrégée par les effets physiques du climat, on trouve une végétation de Lichens groupés en colonies grisâtres ou verdâtres.

Une première poussière sableuse enrichie en carbone, azote et humus permet le développement de Lycopodes et de Cypéracées (*Kylingia*) (1^{er} stade).

Entre les blocs de granit et de gneiss, les pentes abritent un embryon de sol poudreux où se développent des Fougères (*Pteris aquilina*) et de nombreuses Graminées : *Aristida similis* et *Helichrysum roseum* en particulier (2^e stade). Un sol véritable comble peu à peu tous les creux et les dalles rocheuses abritées par des blocs inaltérés.

Nous voyons se développer à côté de l'*Helichrysum*, *Pteris aquilina*, *Tephrosia* sp., *Psorospermum cerasifolium* (Hypéricacées), *Vernonia glutinosa* (Composées) qui forment une véritable « Savoka », si l'on admet pour cette formation un stade d'évolution progressif (3^e stade).

Selon les conditions topographiques et hydriques, le stade progressif succédant à cette savoka sera, après embuissonnement de plus en plus riche, l'installation lente d'une forêt ombrophile humide (zones rocailleuses à sols secs et peu profonds) ou au contraire, l'établissement d'une prairie à espèces mélangées et riches (zones basses, humides, à sols colluvionnaires profonds) (4^e stade).

L'intervention de l'homme et de son auxiliaire le feu, soit contre la forêt, soit contre la savoka, entraînera l'apparition d'une succession régressive.

La savoka à « Andrazina » (*Trema orientalis*), « Hatra » (*Dombeya* sp.), « Harongana » (*Gidiea* sp.) et « Sevabe » (*Solanum auriculatum*) sera encore susceptible de permettre la réinstallation de la forêt, mais la prolongation des feux ou des cultures amènera, après une « Savoka » intermédiaire à Ravenala, l'installation d'une « Savoka », que nous appellerons plutôt lande, à *Pteris*, *Helichrysum* et *Philippia*, avec strate graminéenne à *Imperata* et *Sporobolus* (sols humides), *Hyparrhenia*, *Aristida*, *Ctenium* et *Eulalia* (sols secs) (5^e stade).

Ces espèces seront associées ou isolées selon l'état de dégradation du sol,

les faisant souvent succéder les unes aux autres dans l'ordre de leurs exigences décroissantes, pour finir par un sol dénudé à rares touffes d'*Aristida* (6^e stade).

Nous avons tenté de schématiser dans le temps l'évolution générale des sols granito-gneissiques (fig. 10) en considérant les deux modes d'évolution à partir du sol en formation. La direction évolutive vers la forêt ou la prairie

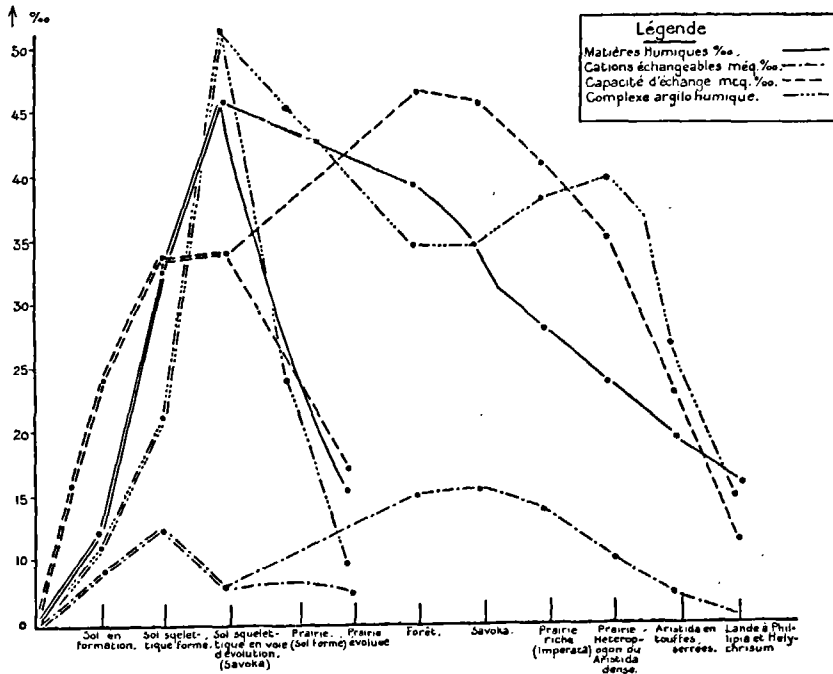


FIG. 10. — Évolution schématisée dans le temps de sols gneissiques en fonction de la végétation.

dépend essentiellement du régime hydrique du sol et de l'environnement botanique. La matière humique s'accumulant sur la roche peu décomposée croît sans cesse, si elle est à l'abri de l'érosion, aussi n'est-il pas étonnant de trouver le maximum de matière humique et le maximum de formation de complexe avec l'argile sur un sol encore squelettique.

Cette matière humique verra son taux décroître dans une proportion très forte, dès que la formation d'un sol permettra sa décomposition par une faune microbienne très active et peut-être aussi son entraînement par ruissellement. Cette chute sera d'autant plus forte que le sol sera plus découvert.

Le complexe argilo-humique, défini comme nous l'avons vu précédemment par la fraction de densité entre 2 et 2,6, reste très développé sous prairie

succédant à la forêt incendiée, dans les échantillons étudiés il serait même plus fort que sous forêt. Une telle teneur permet l'existence prolongée d'une prairie assez dense qui le protégera dans une large mesure. Par ailleurs, la prairie installée dans une phase primitive, n'entraîne nullement la formation d'un complexe aussi élevé, le stock humifère étant lui-même beaucoup plus faible malgré une densité de couvert comparable.

Sous un peuplement forestier, la capacité d'échange atteint son maximum, La somme des cations échangeables présente deux maxima : le premier lors de la décomposition de la roche, alors que ni l'érosion, ni la végétation n'ont pu agir ; et le second, sous végétation forestière, la litière végétale abondante enrichissant constamment l'horizon supérieur en bases, tandis qu'elle ralentit fortement leur entraînement par l'eau de ruissellement et de percolation.

La raréfaction du couvert organique sous Savoka et sous prairie dense entraîne une moindre stabilité de ces sols, ce qui se traduit par une chute rapide, dans les formations suivant ce stade, du taux de bases échangeables, ces dernières étant, d'une part, moins abondamment apportées au sol et, d'autre part, plus rapidement entraînées.

II. — ÉTUDE DES SOLS ÉVOLUÉS

Comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent non seulement les sols jeunes en voie de formation mais aussi les sols évolués présentent de fortes variations en fonction du type de végétation, tant dans leur composition organique que dans leur répartition granulométrique.

1° SOLS SOUS FORÊTS OMBROPHILES.

La topographie entraîne de très fortes différences dans la composition des profils. L'élément responsable de cette différence est essentiellement le régime hydrique.

Nous voyons en effet par les tableaux 17 et 18 où nous avons réuni les sols de la ligne de crête et du tiers supérieur des pentes que ceux-ci ont des caractères très semblables ; la réserve carbonée et azotée est forte ; l'humidité équivalente forte en surface, en corrélation avec le taux élevé de matières organiques, diminue très vite puis s'élève à nouveau en profondeur en relation avec l'élévation du taux d'argile.

L'entraînement sur la pente provoque un certain dépôt d'argile au sein des horizons supérieurs des sols de la partie inférieure de la pente, tandis que le ruissellement à la surface même de la pente entraîne le sable fin en bas de pente. En règle générale, nous constatons une progression nette du taux d'argile avec la profondeur (tableau 17), mais ces phénomènes d'entraînement amènent souvent quelques irrégularités dans la succession des horizons du profil.

Le bas de pente, riche en minéraux peu altérés, entraînés par le ruissellement, possède une structure beaucoup moins fine. D'autre part, la

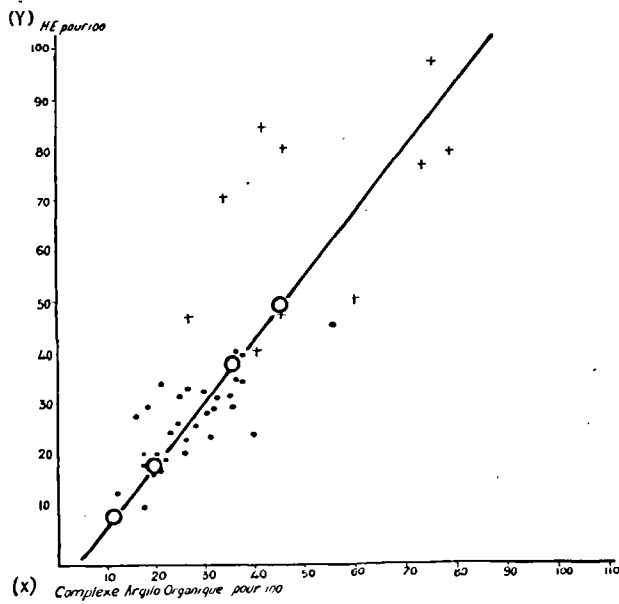


FIG. 11. — Forêt. L'humidité équivalente est fonction du complexe argilo-organique.

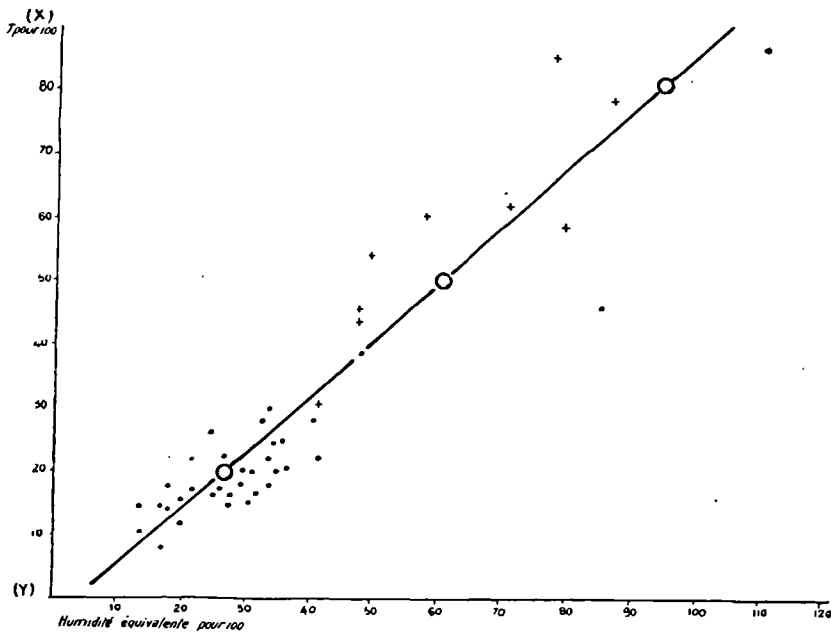


FIG. 12. — Forêt. La capacité d'échange et l'humidité équivalente ont une progression corrélative.

proximité de la nappe et sa stagnation relative, créent des conditions de conservation et de transformation particulières.

Le lessivage prend le pas sur l'entraînement latéral et se trouve marqué du fait de l'excellente perméabilité du sol et de son humidité constante, qui créent un courant descendant, continu, tendant à compenser l'importante remontée de bases dans les racines et leur restitution par la litière, cette dernière se décomposant plus vite. Le colluvionnement est assez minime sous forêt et appartient sur la pente aux glissements latéraux, plutôt qu'à l'érosion en nappe.

En résumé, les sols sous forêt que nous avons étudiés présentent une grande homogénéité de couleur, de type pédologique, de structure et de profondeur. Comme nous l'avons rappelé au chapitre précédent, l'humidité équivalente dépend essentiellement du taux de matière organique et de colloïdes argileux. Leur corrélation est très nette, les mesures faites jusqu'à présent montrent que la matière organique retient 3 à 5 fois plus d'eau, suivant les cas, que l'argile et que le limon ne retient que des quantités assez faibles.

D'après les résultats de nos déterminations, nous sommes amenés à proposer dans le cas des sols que nous étudions les coefficients suivants : 0,65 pour l'argile et 3,5 pour le carbone, ce qui correspond à peu près à 2,2 fois le taux des matières organiques totales.

Dans le cas des forêts sur sols gneissiques la corrélation est hautement significative et la régression calculée nous fournit une droite suffisamment voisine du zéro à son origine, pour que les coefficients proposés se trouvent justifiés : $r = 0,80$, $b_{xy} = 0,86$ (fig. 11).

Les litières (marquées + sur les figures) composées en partie d'éléments organiques en voie d'humification, donnent des valeurs de carbone assez peu précises, par suite de la trop faible quantité mise en jeu pour l'analyse, entraînant une certaine dispersion de la corrélation.

La capacité d'échange étant elle aussi en corrélation étroite avec la teneur en argile et en matières humiques, nous retrouvons évidemment une excellente corrélation avec l'humidité équivalente : $r = 0,92$, $b_{xy} = 1,09$ (fig. 12).

Dans le tiers supérieur de pente, le sol est riche en matières humiques et en calcium avec cependant une diminution rapide avec la profondeur ; il en est de même pour MgO , ce qui nous permet d'admettre un lessivage assez faible des éléments échangeables, corrélatif à la formation d'un complexe absorbant important. Par contre, K_2O augmente relativement avec la profondeur par rapport aux autres éléments. Quant à P_2O_5 sous sa forme assimilable sa teneur reste très faible, la capacité d'échange est élevée dans l'horizon de surface autant que la litière, et la saturation reste faible dans tout le profil.

En général, dans les sols du tiers inférieur de pente, la proportion relative de CaO dans le complexe est plus importante en profondeur, mais sur les pentes fortes K_2O devient prépondérant et CaO diminue relativement.

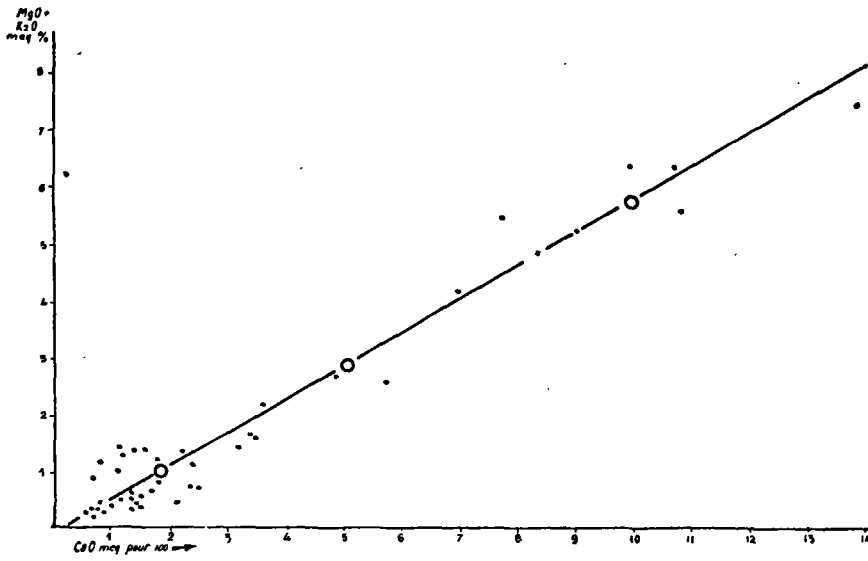


FIG. 13. — Forêt. Équilibre des bases.

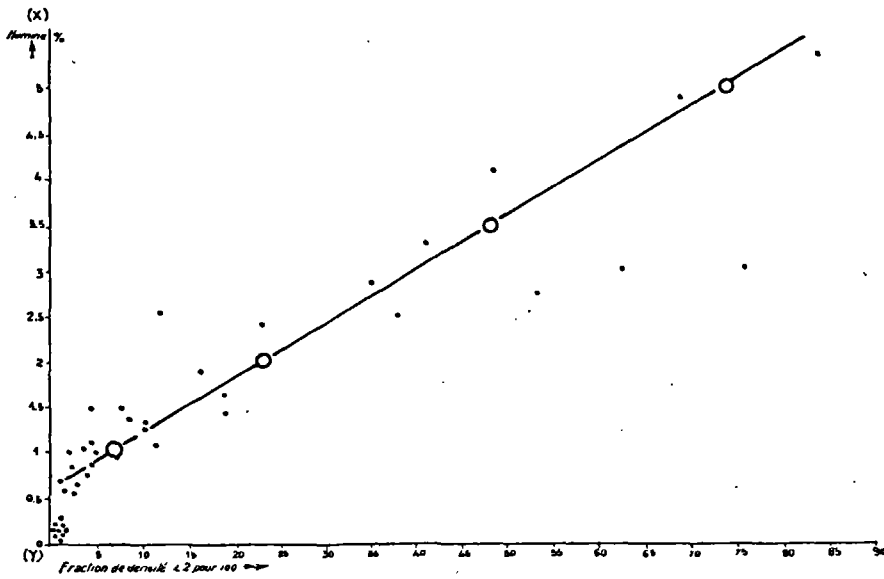


FIG. 14. — Forêt. La fraction de densité inférieure à 2, est la source principale de l'humine.

Dans les sols du tiers inférieur de pente, le lessivage latéral est pratiquement nul et le taux des bases échangeables est beaucoup plus faible que sur la pente. Le lessivage vertical étant beaucoup plus important, les bases sont lessivées en profondeur bien que la capacité d'échange reste la même.

L'équilibre des bases échangeables dans tout le profil obéit à une loi très nette. Le calcium présente une relation constante avec la somme des autres bases. La corrélation de MgO et K_2O n'est que rarement réalisée, mais il semble qu'elles tendent à présenter un état d'équilibre avec CaO : $r = 0,96$, $b_{xy} = 0,50$ (fig. 13).

Cet équilibre ne dépendra qu'en partie de la nature de la roche car, il est aussi fonction des affinités sélectives du complexe pour les différentes bases, il sera enfin susceptible de certaines variations en fonction des équilibres de l'alimentation minérale, différente pour chaque groupe végétal. D'autre part, la nature de l'humus et de l'argile, ainsi que l'intensité du lessivage conditionnent le degré de rétention des bases dans le complexe.

L'humification malgré le rapport C/N élevé en surface (valeur due à la présence de matière organique peu décomposée) est excellente, le taux d'acide humique étant très élevé tant par rapport au stock organique que par rapport à la réserve d'humine et à l'acide fulvique. La pente, même pour une inclinaison inférieure à 10 %, recueille une grosse partie des matières organiques peu décomposées entraînées du sommet ; ce qui explique que la valeur de C/N reste élevée jusqu'à 15 cm de profondeur.

Dès le tiers inférieur de la pente on trouve un taux d'humus plus faible mais réparti dans tout le profil, soit par entraînement en profondeur, soit par formation d'un sol aux dépens des éléments minéraux et organiques entraînés depuis la partie supérieure de la pente.

En terrain plat, la proximité de la nappe et sa stagnation relative créent des conditions de conservation et de transformation particulières. Sous forêt, les variations thermiques et hydriques, dues aux saisons, sont beaucoup moins sensibles, aussi la litière est-elle plus rapidement transformée et les taux d'acide humique et fulvique sont très élevés par rapport aux taux de matière organique, alors que la réserve d'humine est assez faible. Ces valeurs seront d'ailleurs d'autant plus fortes que le lessivage latéral de la pente sera plus marqué.

L'humine, fraction organique en voie d'humification, est riche en éléments minéraux qu'elle libère sous forme d'éléments assimilables et qui seront fixés sur le complexe argile-acide humique ou, pour la plus grosse part, lessivés avec l'acide fulvique. La fraction organique de densité inférieure à 2 se compose pour la plus grande part d'humine, ou tout au moins de matière organique très évoluée, soluble à chaud dans les alcalis (fig. 14) (dans nos expériences, la matière végétale a été éliminée à peu près complètement du fait du tamisage des sols analysés, au tamis de 2 mm). Par contre, l'acide humique et l'acide fulvique se répartissant dans toutes les fractions

densimétriques, ne présenteront aucune corrélation avec la fraction inférieure à 2.

Ce qui distingue peut-être le plus les sols colluviaux des sols de pente et de sommet, est la relative fixité du taux d'azote, tout au long du profil, soit que l'activité nitrificatrice présente une intensité plus grande, soit qu'un taux élevé des sels nitriques ou ammoniacaux formés en surface, se trouvent entraînés en profondeur. Les corrélations de l'azote du sol avec l'acide humique ou avec l'acide fulvique sont assez peu serrées et laissent donc supposer de fortes variations de la teneur en azote de ces acides. Par contre, si nous considérons l'humus total du sol et l'azote total, nous consi-

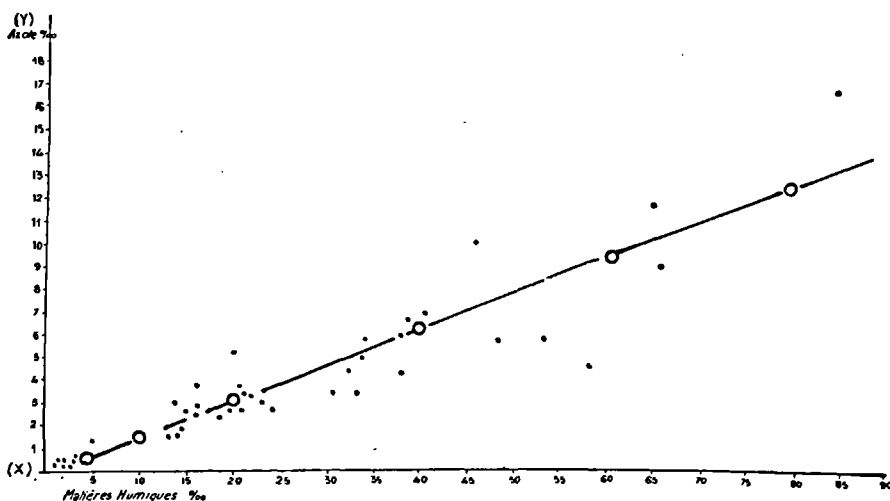


FIG. 15. — Forêt. La quantité d'azote est fonction de la quantité de matières humiques.

tatons qu'une nette corrélation apparaît : $r = 0,91$, $b_{xy} = 0,16$. Il est donc certain que l'azote n'est conservé au sol, quelle que soit sa forme organique ou minérale, que dans la mesure où il entre dans la constitution des matières humiques ou, dans une certaine mesure, est susceptible d'être fixé par le complexe (fig. 15).

Nous avons figuré le type moyen d'évolution du sol forestier avec la profondeur et la topographie pour les matières organiques (fig. 16), les bases échangeables (fig. 17) et les principales constantes physiques (fig. 18).

D'après nos analyses, la composition des fractions densimétriques demeure assez constante. La saturation du complexe en calcium, magnésium et potassium est assez faible et diminue régulièrement avec la profondeur. La fraction liée (densité 2 à 2,6) est assez forte mais diminue rapidement. Le taux des bases échangeables suit à peu près celui des matières humiques totales, celles-ci étant un des éléments essentiels de leur fixation.

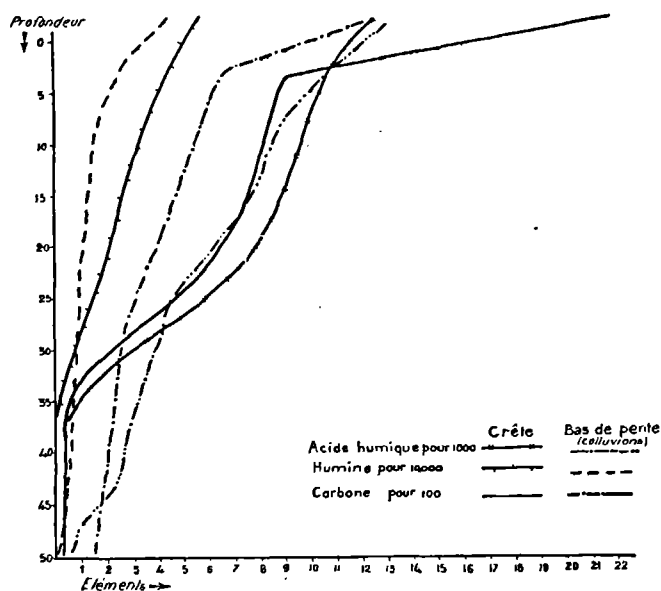


FIG. 16. — Forêt. Type moyen de l'évolution des matières organiques avec la profondeur et la topographie.

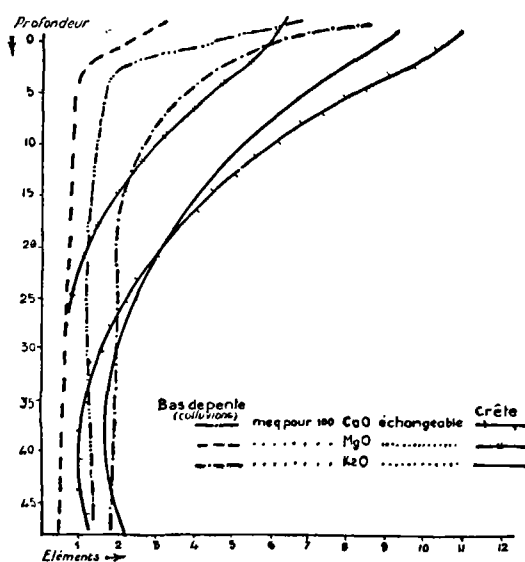


FIG. 17. — Forêt. Type moyen de l'évolution des bases échangeables avec la profondeur et la topographie.

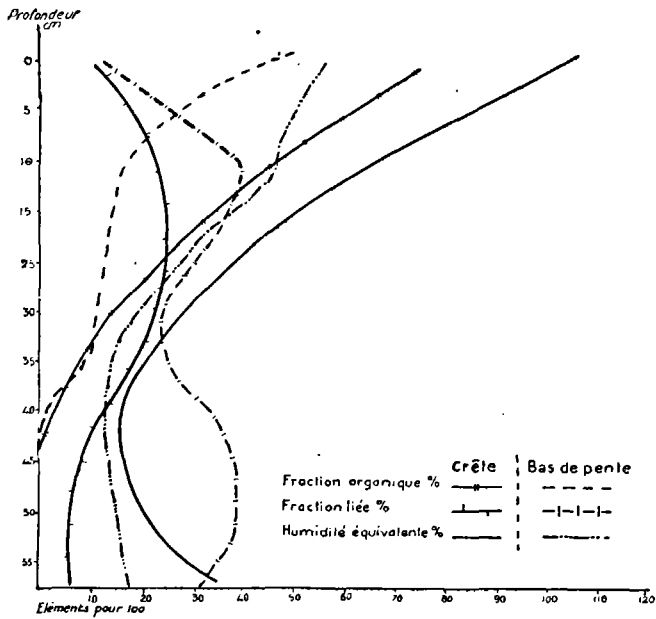


FIG. 18. — Forêt. Type moyen de l'évolution des conditions physiques avec la profondeur et la topographie.

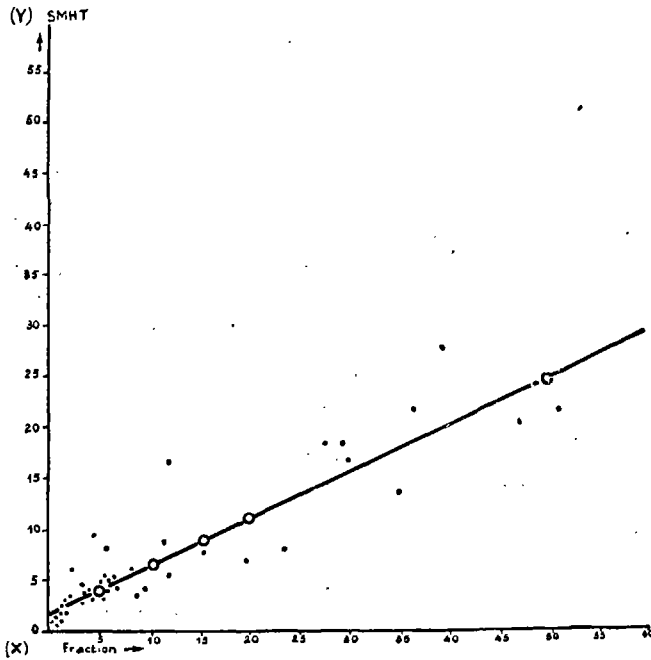


FIG. 19. — Forêt. La fraction physique de densité inférieure à 2,4 contient la majeure partie des matières humiques et des bases échangeables.

En moyenne, la fraction de densité inférieure à 2 contient environ 50 % des bases échangeables et 65 % des matières humiques du sol pour une composition de 50 % d'argile et 50 % de matières organiques.

La fraction de densité 2 à 2,4 pour une composition moyenne de 70 % d'argile et 25 % de matières organiques, contient environ 40 % des bases échangeables et 30 % des matières humiques du sol. L'argile comprend 30 à 40 % d'hydroxydes dont une partie appartient à son réseau : 4 % de CaO, 0,1 % de MgO, 0,6 à 0,7 % de K₂O et 0,1 à 0,2 % de P₂O₅.

Les fractions de densité supérieure à 2,4 ne contiennent plus que 10 % des bases échangeables et 5 % des matières humiques du sol.

L'origine de la partie minérale des diverses fractions est sans doute elle-même différente. La partie minérale des fractions de densité inférieure à 2,4 est principalement composée d'argile pauvre en hydroxydes colloïdaux, susceptible dans sa quasi-totalité de participer à la formation du complexe argilo-humique. La partie minérale des fractions de densité supérieure à 2,4 est au contraire surtout constituée de limon et de sable, ou d'argile et d'hydroxydes pectisés se comportant comme un pseudo-sable.

La considération de ces divers rapports fait apparaître que, dans les cas étudiés, la somme des bases échangeables et des matières humiques du sol correspond approximativement à un certain pourcentage des fractions de densité inférieure à 2,4 (60 % pour la fraction inférieure à 2 et 10 % pour la fraction 2 à 2,4) et inversement (fig. 19). Nous pouvons admettre ce fait comme base de travail et nous chercherons au cours de notre étude à en vérifier l'exactitude et à en montrer ainsi l'intérêt.

2° SOLS SOUS PRAIRIES.

La prairie ne présente pas une assez grande homogénéité pour que nous puissions la considérer comme un type uniforme de végétation.

Dans le cas de la forêt, l'hétérogénéité écologique était compensée par la densité de peuplement qui entraînait la formation d'une litière dont la composition moyenne ne présentait que des écarts assez minimes.

Dans le cas de la prairie le mélange des espèces n'est pas tel qu'il puisse se produire une telle litière moyenne. Nous considérerons donc les peuplements présentant une dominance nette pour caractériser les principaux types de sols sous prairie.

Nous commencerons par étudier l'aspect particulier des quatre principaux types de prairies à couvert dense rencontrées sur les sols granitogneissiques.

a) Prairie à *Aristida* (tableau 19).

Ce type de prairie correspond à des peuplements de 40 à 70 % d'*Aristida similis* ou d'*Aristida multicaulis*. Un peuplement accessoire de 10 à 40 % comporte une association à *Andropogon eucomus* et *Eulalia villosa*, l'im-



A. Région des Hauts-Plateaux. Reboisement en *Acacia* sur terrasse alluviale ancienne.
(Cliché Service de l'Information, Madagascar).



B. Région des Hauts-Plateaux. Reboisement en *Eucalyptus* sur lande à *Philippia*.
(Cliché Service de l'Information, Madagascar).

portance de l'association et de chacun de ses composants est conditionnée par le stade d'évolution du terrain.

On observe fréquemment dans ce type de prairie de nombreuses autres espèces d'autant plus abondantes que la densité du couvert des espèces précédentes est plus lâche : *Helichrysum* sp., *Zornia diphylla*, *Eriosema procumbens*, *Pteridium aquilinum*, *Cassia mimosoides*, *Trichopteryx dregeana*, *Sporobolus* sp., *Cyperus compactus*, *Hydrocotyle* sp., *Desmodium hirtum*.

Ce sont des sols assez pauvres en surface par rapport aux sols sous forêts. L'horizon organique est très peu épais. Un appauvrissement en argile de l'horizon superficiel, en général assez compact, semble dû au lessivage oblique et à la pectisation de l'argile qui, dans un sol mal protégé de l'échauffement, passe en partie à l'état de pseudo-sable. L'horizon de 15 à 30 cm, comportant le maximum du système radicellaire, montre par contre une légère remontée du taux des matières humiques et des bases.

b) Prairie à *Imperata* (tableau 20).

Imperata cylindrica et *Imperata arundinacea* s'observent principalement sur sols de granite et de migmatite en peuplements denses atteignant presque toujours une dominance de 80 %. Les autres espèces trouvées le plus fréquemment sont *Eriosema procumbens*, *Aechynomene*, *Heteropogon contortus*, diverses Composées et Légumineuses.

Ce type de prairie se remarque surtout en sols mal drainés, humides et le plus souvent encore riches de la présence récente d'une forêt. Il peut également se trouver sur des sols érodés jusqu'à la zone de départ ou la zone d'accumulation, mais où les conditions topographiques ont empêché l'assèchement de la nappe phréatique.

Sous ce type de prairie, pour un taux de matières organiques comparable à celui des autres prairies, le rapport C/N reste en général très élevé, indiquant des conditions d'humification particulières. La richesse en éléments échangeables est élevée et la fixation des bases sur le complexe argilo-organique paraît forte.

c) Prairie à *Heteropogon* (tableau 21).

Heteropogon contortus se trouve en couvert assez lâche, souvent associé avec 10 à 25 % d'*Imperata*, *Hyparrhenia*, *Aristida* et accessoirement *Sporobolus indicus*, *Crotalaria* sp., *Kyllingia cylindrica*, *Vigna angivensis*, *Cassia mimosoides*, *Eriosema procumbens*.

Ce type de prairie est en général très pauvre en matières organiques et son influence sur le sol l'apparente à la prairie à *Aristida*.

Nous signalerons ici une association d'*Heteropogon* avec *Trichopteryx dregeana*, elle se rencontre à peu près exclusivement en station sèche, en particulier dans le Sud des Hauts-Plateaux ; parfois, en particulier sur le plateau de l'Horombe, *Trichopteryx* domine et parvient à supplanter *Heteropogon*. Cette succession nous semble devoir être principalement attribuée à une surrection de la nappe phréatique. N'ayant pas eu la possibilité maté-

rielle d'étudier cette formation d'une manière poussée, nous ne disposons que d'un petit nombre d'analyses, lesquelles nous font croire que l'influence de *Trichopteryx* sur le sol est très comparable à celle de *Heteropogon*.

d) *Prairie à Hyparrhenia*. (tableau 22).

Hyparrhenia rufa s'observe lui aussi en peuplement assez lâche et sa dominance est rarement supérieure à 60 %.

Heteropogon lui est souvent associé jusqu'à 20 % ; on trouve dans cette formation : *Eriosema procumbens*, *Elephantopus scaber*, *Zornia diphylla*, *Imperata* et *Aristida*. *Hyparrhenia* existe aussi bien en station sèche qu'en station humide, mais dans le premier cas sa fréquence est plus grande en sol mal drainé.

Les prairies à *Hyparrhenia* sont relativement peu exigeantes, aussi trouverons-nous un taux d'éléments échangeables aussi faible que dans les sols sous *Heteropogon* et *Aristida*. Les matières humiques ne sont guère plus abondantes que sous *Aristida* et ne paraissent retenues, comme pour les autres types prairiaux, que liées à l'argile dans le complexe organo-minéral.

e) *Comparaison des différents types prairiaux*.

Dans leurs caractéristiques, les sols de prairie peuvent facilement se comparer. Leur granulométrie est assez homogène et présente deux différences avec les sols sous forêt : un taux d'argile et de limon en général plus élevé dans le profil avec cependant un appauvrissement fréquent du taux d'argile dans l'horizon supérieur, dû sans doute comme nous l'avons vu à la formation de pseudo-sables.

L'humidité équivalente présente une corrélation très significative avec les taux d'argile et de matière organique affectés des coefficients proposés, et la droite calculée est comparable pour les divers types de prairie : $r = 0,71$ à $0,86$ et bxy $1,25$ à $1,38$.

La capacité d'échange est relativement plus élevée, pour un taux déterminé de matières organiques, que sous forêt. Aussi la corrélation de la capacité d'échange et de l'humidité équivalente, bien que très significative, sera différente de celle de la forêt : $r = 0,85$ à $0,98$, bxy $0,98$ à $1,12$.

Nous voyons par les tableaux 19 à 22 que, malgré certaines différences de détail, les types de prairie ont une physionomie commune mais, l'évolution des bases échangeables à travers le profil est très particulière et la chaux échangeable diminue beaucoup plus vite en profondeur que sous forêt ; l'apport de bases par la litière est faible, mais, leur fixation par le complexe argilo-humique reste très élevée. La corrélation entre CaO et $MgO + K_2O$ varie quelque peu avec les espèces $r = 0,95$ pour *Aristida*, $0,67$ pour *Hyparrhenia*, $0,92$ pour *Heteropogon* ; $bxy = 0,44$ pour les trois espèces.

L'épaisseur des sols sous prairie est très variable, cette formation s'installant indifféremment à tous les stades d'évolution, mais pour un profil comparable, le sol sous *Aristida* verra diminuer beaucoup plus rapidement sa teneur en bases, que les sols sous *Hyparrhenia*, *Imperata* ou *Heteropogon*.

La proportion relative des fractions humiques est pratiquement la même sous prairie que sous forêt avec cependant, sous forêt, une plus forte quantité d'humus en surface et une prépondérance de l'acide fulvique en profondeur, impliquant un lessivage plus marqué de celui-ci. Les sols de prairie sous *Imperata* dans ce cas, comme en différents autres, se rapprochent beaucoup des sols sous forêt.

Quel que soit le type de prairie, exception faite toutefois de la prairie à *Imperata*, nous retrouvons des proportions assez comparables d'azote et d'humus. La corrélation trouvée entre ces deux valeurs est du même ordre que celle trouvée sous forêt; toutefois, les écarts sont assez marqués entre les divers échantillons par suite du grand nombre de valeurs très faibles, entraînant une certaine imprécision des résultats analytiques. En moyenne $r = 0,83$ à $0,98$ selon les espèces et $b_{xy} = 0,10$ à $0,11$.

La plupart de ces sols de prairie sont pauvres en humus et en bases, mais possèdent un complexe organo-minéral relativement élevé dans les horizons supérieurs; ce phénomène est d'autant plus marqué que la densité du couvert herbeux et de l'entrelac radicellaire sont forts. La matière organique participera à mesure de sa décomposition à la formation du complexe et celui-ci retiendra la plus grande partie des bases solubilisées à partir de la litière.

La somme des éléments échangeables et des matières humiques présente une relation évidente avec la valeur de la fraction organo-minérale. Si nous recherchons la valeur de cette relation, en appliquant les coefficients 0,6 à la fraction de densité inférieure à 2 et 0,1 à la fraction de densité 2 à 2,1, coefficients déterminés comme nous l'avons vu (Cf : p. 256) après les analyses de ces fractions, nous constatons que la somme humus + base s'élève plus rapidement que la valeur des fractions dans les sols sous *Hyparrhenia* et *Heteropogon*. Cette constatation semble indiquer que pour ces types de prairie, les proportions d'humus participant à la formation du complexe et des bases échangeables retenues par lui sont différentes des autres types de prairie. (*Aristida* $r = 0,77$, $b_{xy} = 0,73$; *Hyparrhenia* $r = 0,65$, $b_{xy} = 0,85$; *Heteropogon* $r = 0,89$, $b_{xy} = 1,37$.)

Il ne faut surtout pas perdre de vue que succédant à la forêt, la prairie conservera pendant très longtemps un sol riche. Soumise à des feux répétés, elle se réduira peu à peu en touffes espacées et un ruissellement sableux recouvrira fréquemment sa surface. De plus, les incendies annuels apportent au sol une quantité appréciable de cendres très riches en potasse et ce fait est probablement l'explication partielle de la richesse des sols de prairie en cet élément.

3° SOLS SOUS EUCALYPTUS (tableau 23).

Les sols observés sous Eucalyptus proviennent le plus souvent des transformations subies par un profil forestier typique, dégradé par l'érosion

après la destruction de la forêt et les incendies annuels de la prairie qui lui a succédé.

Les plantations d'Eucalyptus ayant succédé à la prairie depuis un temps relativement court, leur granulométrie ne présente que peu de variations par rapport à la prairie. Ces sols soumis à une érosion assez marquée, ne présentent pas l'accumulation superficielle des sols sous forêt mais, par contre, le taux de limon y est assez élevé. L'humidité équivalente répond aux coefficients précédemment déterminés pour l'argile et les matières organiques : $r = 0,79$, $b_{xy} = 1,26$.

La comparaison des bases échangeables nous montre que le taux de calcium reste relativement constant par rapport à MgO et K_2O , tout au long du profil : $r = 0,81$, $b_{xy} = 0,28$. La capacité d'échange est assez faible dans tout le profil aussi bien que la richesse totale en bases échangeables, mais l'humidité équivalente comme la capacité d'échange conservent un étroit rapport avec la valeur du complexe argilo-organique ($r = 0,79$, $b_{xy} = 0,93$).

En bas de pente sur sol colluvial, nous constatons un enrichissement assez marqué par rapport aux autres espèces végétales, et en même temps le lessivage des bases semble moins rapide que dans les sols sur pente.

L'Eucalyptus fournit une quantité de matière organique et d'humus plus forte que sous prairie et plus faible que sous la plupart des types de végétation arborée. Les horizons supérieurs sont particulièrement riches en acide fulvique, ce qui laisse supposer que cet élément a pu être entraîné par les eaux à partir de la litière en décomposition et a imprégné les 15 premiers centimètres du sol.

Dès 10 cm de profondeur la présence de nombreuses racines et une activité microbienne plus faible entraînent une diminution brutale de l'humification (fig. 24). Le complexe argilo-humique de densité 2 à 2,4 est de faible valeur et ne dépasse qu'exceptionnellement 30 %, tandis que la fraction minérale est toujours supérieure à 25 %. Ainsi malgré la richesse minérale de la litière d'Eucalyptus et la libération importante de produits organiques solubles, la profondeur du sol organique ne dépasse que rarement 30 à 40 cm.

La somme des éléments échangeables et des matières humiques est en relation avec la valeur de la fraction organo-minérale : $r = 0,64$, $b_{xy} = 0,09$.

L'azote conserve une corrélation normale avec les matières humiques, selon une proportion identique à celle déterminée par les sols sous forêt : $r = 0,83$, $b_{xy} = 0,17$. La quantité d'azote retenue dans l'humus semble augmenter dans les sols colluvionnés.

4° SOLS SOUS ACACIAS (tableau 24).

L'humidité équivalente correspond fort bien aux taux d'argile et de matière organique, mais semble cependant être sensiblement plus faible pour une même quantité de matière organique que dans les autres types végétaux. La capacité d'échange varie relativement peu dans le profil

par suite de la présence d'un complexe organo-minéral élevé et assez riche en bases. La corrélation avec l'humidité équivalente reste cependant très bonne malgré une augmentation proportionnellement plus rapide de celle-ci ($r = 0,90$, $b_{xy} = 0,98$).

La formation du complexe argilo-humique est importante mais l'épaisseur de litère est toujours très faible. La décomposition est assez lente, mais la production d'acide humique reste proportionnellement du même ordre de grandeur que sous forêt, avec une quantité d'acide fulvique plus élevée dans les 5 premiers cm.

La capacité d'échange est du même ordre de grandeur que pour les deux autres peuplements artificiels : Pin et Eucalyptus. En profondeur, les matières humiques atteignent une forte quantité entre 10 et 25 cm, peut-être par suite d'une importante humification d'un réseau radicellaire assez dense. Le taux d'azote retenu dans la matière humique est du même ordre que pour les autres types végétaux : $r = 0,57$, $b_{xy} = 0,13$. La richesse en bases est très bonne en surface et décroît lentement. L'équilibre CaO , MgO et K_2O correspond assez bien à l'équilibre réalisé sous prairie et la corrélation est hautement significative : $r = 0,90$, $b_{xy} = 0,30$.

La somme des éléments échangeables et des matières humiques est en relation avec la valeur de la fraction organo-minérale (densité 2 à 2,4) : $r = 0,76$, $b_{xy} = 1,09$.

5° SOLS sous PINS (tableaux 25 et 26).

La granulométrie des sols sous Pins les apparente aux sols sous forêt et comme eux, on retrouve, à la base de la litière, une légère concentration de sable fin, due à un ruissellement léger qui provoque l'entraînement, dans les mailles assez larges du tapis d'aiguilles mortes, d'éléments argileux.

La rétention d'eau par le sol répond aux valeurs que nous avons déterminées précédemment. La corrélation du complexe humique avec l'humidité équivalente est bonne : $r = 0,93$, $b_{xy} = 1,44$.

L'humidité équivalente présente une relation normale avec la capacité d'échange qui, elle-même, suit relativement bien les fluctuations du taux de matières humiques : $r = 0,97$, $b_{xy} = 1,55$.

La somme des bases et des matières humiques est en étroite relation avec la valeur des fractions organo-minérales : $r = 0,70$, $b_{xy} = 0,95$.

L'humification de la litière est en général excellente ; en surface du sol minéral elle s'intensifie ; la fraction organo-minérale de densité 2 à 2,4 est très importante, elle atteint son maximum vers 15 cm grâce à une très forte activité bactérienne.

La quantité d'azote retenue dans les matières humiques est très faible, mais la corrélation entre ces deux éléments reste bonne dans les différents horizons : $r = 0,68$, $b_{xy} = 0,08$. La richesse en éléments échangeables dépendant en premier lieu de la litière, il semble que le sol sous Pin qui, pour une même quantité de matière organique de celle-ci, est remarqua-

blement moins riche en bases que la plupart des essences arborées, soit soumis à un lessivage très accentué. De même, la quantité d'humus très forte en surface, relativement à la quantité de matière organique totale, tombe très vite à un taux comparable à celui relevé dans les profils sous forêt ombrophile.

La composition des fractions densimétriques montre que l'humification assure la libération des bases échangeables et la formation d'une fraction liée qui assure leur maintien. Cette fraction est plus importante ici que sous Eucalyptus, sans doute par suite d'une beaucoup plus grande abondance de la litière.

Si l'on considère les profils d'une pente moyenne, les 30 premiers cm présentent une augmentation régulière des bases échangeables du haut vers le bas de la pente, pour une quantité pratiquement égale de matière organique et d'humus (2). Ce fait met en évidence de nets phénomènes de lessivage oblique au moins pour les bases. Le rapport des bases libérées sous un peuplement de Pins diffère sensiblement de celui trouvé pour la plupart des autres espèces végétales ; aussi la corrélation $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{K}_2\text{O})$, ne paraît pas exister dans ces sols. Mais un équilibre différent apparaît au contraire des sols examinés jusqu'ici et $\text{MgO}/\text{K}_2\text{O}$ nous donnent une corrélation moyenne : $r = 0,65$, $b_{xy} = 0,30$.

6°. SOLS SOUS PEUPELEMENTS DIVERS.

Nous avons étudié quelques peuplements particuliers dont nous donnerons ici les analyses afin qu'il soit possible d'établir des comparaisons profitables avec ceux précédemment étudiés. Le *Grevillea*, qu'un peu plus loin nous étudierons sur roche basaltique ne se trouve guère, sur roche gneissique, qu'à l'état isolé, à proximité des villes. Nous n'avons trouvé qu'un seul petit peuplement, à la fois dense et assez écarté des lieux habités pour pouvoir être retenu, encore est-il situé sur une pente assez forte et en sol peu profond.

Nous ne possédons que trop peu d'échantillons sous Manguier et *Cinchona* pour les étudier d'une manière comparable aux autres peuplements (tableaux 27 et 28).

Les sols cultivés en arachides ayant reçu divers apports organiques et minéraux, nous ne donnerons leur analyse que pour situer les sols cultivés par rapport aux sols étudiés (tableau 29).

Un petit bois de *Laurus* et un autre de Cyprès, tous deux situés à Tsimbazaza, nous ont paru intéressants à étudier, bien que se trouvant sur un sol fortement colluvionné. Nous donnerons ici leur analyse (tableau 30), mais leur intérêt réside surtout dans le fait qu'ils permettent d'élargir deux comparaisons que nous avons tentées entre divers types végétaux en situation voisine (fig. 20). Les sols étudiés sont situés en bas de pentes fortes avec sols squelettiques et sont des limons sableux colluvionnés. Ils forment des replats

(2) Nous avons utilisé les chiffres dans les tableaux généraux 23 et 24.

surélevés peu sujets à l'érosion et, ont évolué conjointement depuis une vingtaine d'années sous des populations différentes, « Manguier », *Eucalyptus teretecornis*, *Sporobolus indicus*, *Cupressus lusitanica*, *Heteropogon contortus* et *Laurus camphora*.

L'*Eucalyptus* ne donne qu'une litière réduite, le sol reste assez sec et perméable avec des agrégats résistants et une fraction liée assez importante. Une capacité d'échange assez élevée et une bonne humification permettent une assez forte réserve de CaO et MgO.

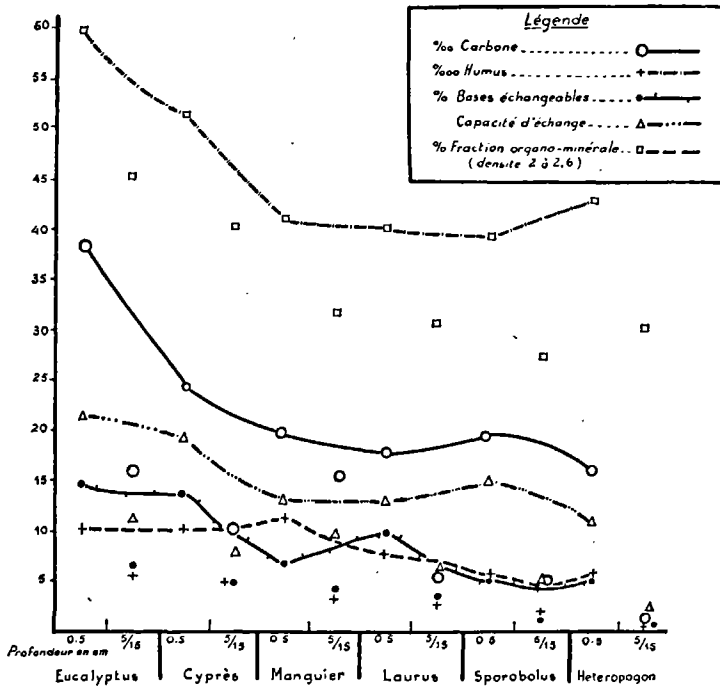


FIG. 20. — Évolution d'un sol colluvionné sous divers types de végétaux.

Sous Cyprès, le sol est aussi très sec, mais les agrégats sont beaucoup moins résistants à l'eau. L'humification est bonne et la réserve de bases échangeables comme la capacité d'échange sont élevées. Pour un taux de matières organiques plus faible, le sol sous Cyprès présente une évolution quantitative et qualitative comparable à celle du sol sous Eucalyptus.

Sous Manguier, malgré une litière peu abondante, le sol reste assez humide et les agrégats se diluent assez facilement dans l'eau. La quantité d'azote est très forte et les bases échangeables moins lessivées par suite de la formation d'un complexe organo-minéral encore important et d'une certaine richesse organique jusqu'à 15 cm.

Sous *Laurus*, la litière formée est importante et l'humidité du sol reste constante même en saison sèche ; par contre, l'argile est très dispersable. L'évolution est assez semblable à celle du sol sous Manguiers ; la couleur sombre du sol humide est due sans doute à la présence d'essences qui disparaissent après séchage et révèlent un horizon organique resté très superficiel.

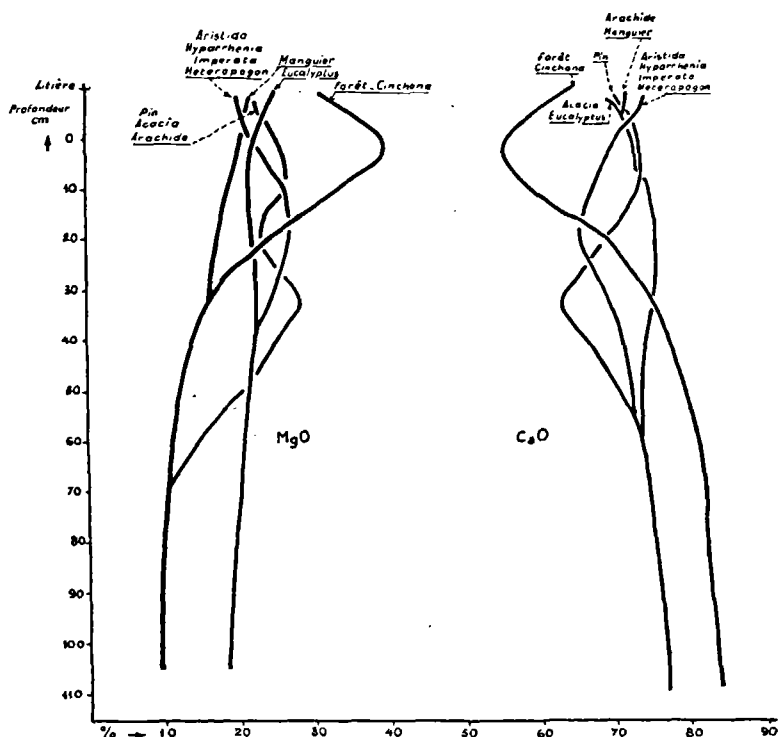


FIG. 21. — Variations avec la profondeur et la végétation de l'équilibre calcium-magnésium.

Sous *Sporobolus* et *Heteropogon*, l'humification est importante, entraînant la formation d'un assez fort complexe lié ; par contre, les quantités d'humus et de bases sont très faibles.

Pour terminer cette étude des sols granito-gneissiques, nous résumerons toutes les données obtenues en quelques graphiques.

Tout d'abord, nous avons vu que la *granulométrie des sols étudiés* ne paraît pas dépendre du type végétal. Le taux d'argile augmente en général avec la pente et la profondeur. Les sols sous Eucalyptus sont les plus argileux du fait de l'intensité du ruissellement sur un sol dont la surface, en général

pauvre en litière, est très érodée dès avant la plantation des arbres ; ce ruissellement provoque souvent un placage d'argile sur les sols situés en bas de pente.

L'argile et la matière organique possèdent une capacité bien définie pour l'eau et nous avons vu que l'humidité équivalente présentait une corrélation remarquable avec ces deux valeurs, si nous employons comme nous l'avons proposé les coefficients 0,65 pour l'argile et 3,5 pour le carbone.

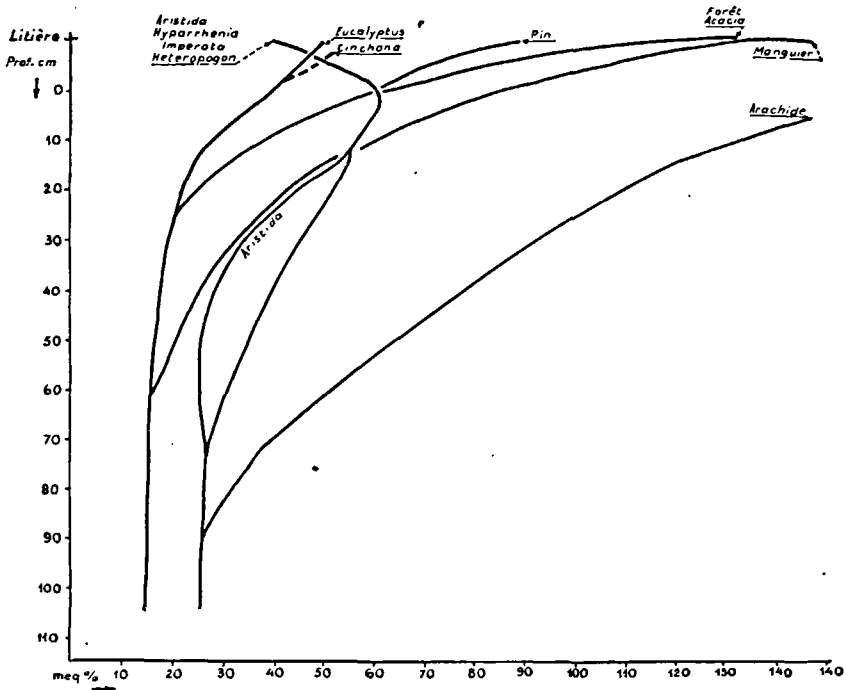


FIG. 22. — Évolution quantitative des bases échangeables avec la profondeur et selon le type végétal.

Nos résultats confirment que la capacité d'échange et l'humidité équivalente dépendent de facteurs identiques et demeurent en corrélation assez étroite. Cette capacité est soumise dans une très large mesure au degré d'humification de la matière organique et, est d'autant plus importante que le taux d'humification est plus élevé.

La proportion des bases dans le complexe échangeable conserve des relations parfaitement comparables et varie avec la profondeur et la pente. L'importance du calcium semble croître avec la profondeur, mais cet accroissement très important pour la forêt n'est qu'à peine sensible pour les prairies,

l'Eucalyptus et l'Acacia. Dans le sol sous Pin, le calcium échangeable s'accroît dans une mesure comparable à celle des sols sous forêt, mais marquée cependant d'une diminution très nette au profit du magnésium à une profondeur variable entre 30 et 50 cm sur la pente et entre 5 et 20 cm pour les sols colluviaux.

Si le calcium occupe une place prépondérante dans le complexe échangeable (+ 50 %), le potassium et le magnésium sont aussi très importants et semblent répondre à un très net équilibre tant entre eux qu'avec le calcium (fig. 21 et 22). Le magnésium diminue relativement d'importance avec la profondeur, tandis qu'au contraire le potassium tend à s'accroître, compensant en partie cette diminution et rétablissant une relation assez constante avec le taux de calcium.

La topographie intervient assez peu dans cette saturation du complexe. La potasse tend à s'accroître sensiblement du haut en bas d'une pente. Sous Eucalyptus, la magnésie tend, elle aussi, à acquérir plus d'importance. Les différences quantitatives des bases échangeables apportées au sol, sont par contre fort importantes (fig. 22) et l'origine comme l'abondance de la litière seront déterminantes dans ce domaine.

En effet, les éléments minéraux solubilisés lors de la décomposition des matières végétales possèdent des possibilités de fixation différentes : CaO se trouve entraîné plus rapidement en profondeur, mais sera partiellement ramené en surface par les racines ; MgO paraît être fixé préférentiellement et sera donc plus abondant en surface, tandis qu'en profondeur K₂O verra son importance relative augmenter.

La forêt et les peuplements d'Acacia apportent au sol une quantité importante de bases solubles qui seront retenues par le complexe échangeable surtout en surface. Pour un apport comparable, les sols sous Manguier se révèlent riches sur une plus grande profondeur.

Les forêts de Pins libèrent une quantité très faible de bases et leur profil est proportionnellement plus lessivé que sous forêt autochtone, si l'on tient compte de l'énorme différence quantitative des litières.

Les peuplements d'Eucalyptus et de *Cinchona*, créés le plus souvent, les premiers sur des sols érodés, les seconds sur des sols forestiers assez riches, subissent un lessivage très intense et les horizons superficiels de leurs profils sont parmi les plus pauvres en bases échangeables.

Les sols de prairie possèdent une micro-population, peut-être moins abondante, mais différente en sa composition de celle des sols forestés. La prépondérance des bactéries sur les mycorrhizes crée des conditions d'humification très différentes et, si l'approvisionnement du sol en bases solubles est très faible, elles sont toutes retenues dans l'horizon de surface par le complexe organo-minéral très développé. La teneur en bases de ces sols, quelle que soit l'espèce graminéenne dominante, restera importante et ne diminuera que lentement avec la profondeur, devenant même dès 20 cm nettement plus forte que celle des profils forestiers de même profondeur.

Seules les diverses espèces d'*Aristida* semblent favoriser un lessivage assez marqué.

Les sols cultivés sont très riches sur une grande profondeur, mais nous ne les figurons ici qu'à titre de comparaison, car il est difficile de faire le départ entre les bases solubles fournies par la végétation et celles apportées par l'homme sous forme d'engrais.

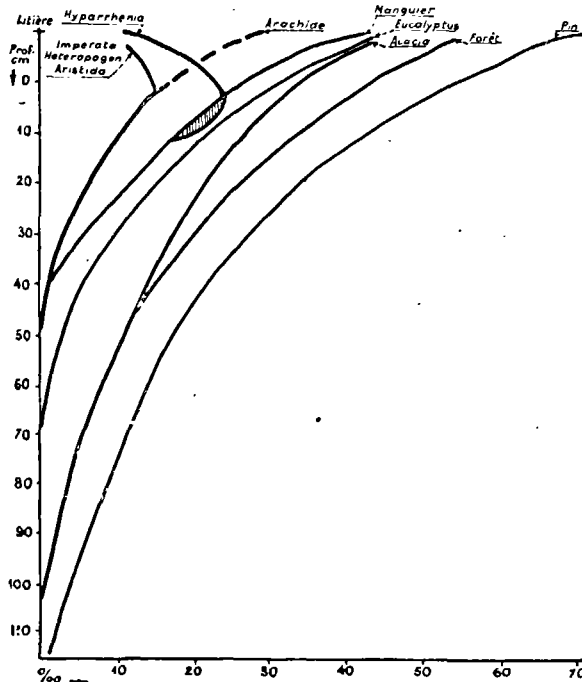


FIG. 23. — Évolution quantitative des matières humiques avec la profondeur et selon le type végétal.

La profondeur des horizons organiques varie en fonction de la quantité d'humus produite par la litière et, ne l'oublions pas, par la décomposition des racines. Elle suivra donc en moyenne un ordre décroissant allant des Pins et de la forêt aux prairies ; cependant pour celles-ci, les horizons supérieurs sont relativement très riches par rapport à l'humus fourni par la litière. Les sols sous *Imperata* ne seront pas plus riches que ceux sous *Aristida* quand ils ne posséderont pas un stock humifère antérieur à l'installation de la prairie (fig. 23).

Le pourcentage d'humification de la matière organique dépend lui aussi de la nature de la végétation, mais pour des conditions de chaleur et d'humidité comparables, il fournit d'intéressantes indications sur l'épaisseur du

sol vivant. Cette épaisseur dépendra de la profondeur atteinte par la zone dense des racines, mais surtout de celle jusqu'à laquelle se manifeste la vie microbienne. Ainsi, pour les sols sous forêt dont l'activité microbienne ne diminue qu'en dessous de 15 cm (60 bis), le degré d'humification augmente jusqu'à près de 60 cm. Par contre les sols sous Eucalyptus qui ne possèdent qu'une activité micro-organique superficielle, présentent leur maximum d'humification dès 10 cm (fig. 21).

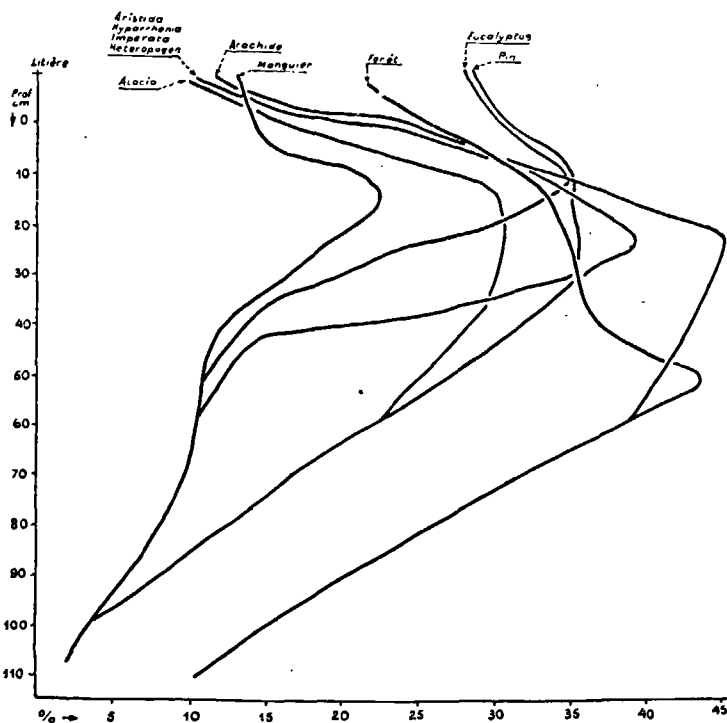


FIG. 24. — Variations du pourcentage d'humification de la matière organique avec la profondeur et selon le type végétal.

Les conditions d'humification provoquent d'importantes variations du taux d'humine. En présence d'une litière abondante, entretenant la chaleur et l'humidité du sol, la fraction de densité inférieure à 2 sera abondante en surface et présentera une nette relation avec le taux d'humine (forêt, Pin et dans certaines conditions Eucalyptus). Il est probable que l'humine dans ce cas correspond à une réserve humique réelle constituant une étape intermédiaire d'humification. Cette réserve sera d'autant plus abondante que la litière sera forte. Dans le cas de litières peu abondantes, la formation de ce stade intermédiaire sera minime et la matière organique se décomposera en

acide humique ou en CO_2 et substances diverses, sans former de réserve organique du type des fractions de densité inférieure à 2.

Les matières humiques formées contiennent une quantité d'azote variant du simple au double selon l'intensité et la diversité de la vie microbienne et surtout en fonction du type de végétation.

L'analyse des diverses fractions physiques des sols vient enfin confirmer plusieurs des hypothèses avancées précédemment. Nous voyons que les proportions de la valeur du carbone dans les diverses fractions restent toujours dans le même ordre de grandeur, quel que soit le type végétal (tableau 31) ; de même le pourcentage moyen d'argile et de limon trouvé dans chaque fraction s'établit autour de 35 % pour la fraction de densité inférieure à 2, autour de 70 pour la fraction de densité 2 à 2,4, autour de 60 pour la fraction de densité 2,4 à 2,6 (35 % de sable en moyenne) et autour de 30 pour la fraction de densité supérieure à 2,6 avec 50 à 60 % de sable.

Les matières organiques présentent un pourcentage relativement constant d'humification (environ 25 d'humus total pour 100 de matière organique pour toutes les fractions) sauf pour la fraction inférieure à 2 de l'Eucalyptus (ce fait est peut-être dû à la présence dans cette fraction des essences antibiotiques entravant l'humification).

L'humidité équivalente des diverses fractions reflète fidèlement les valeurs déterminées précédemment et s'établit en moyenne autour des valeurs suivantes : 130 % pour la fraction de densité inférieure à 2 ; 45 % pour la fraction de densité 2 à 2,4 ; 35 % pour la fraction de densité 2,4 à 2,6 ; 5 % pour la fraction de densité supérieure à 2,6.

La capacité d'échange présente les mêmes corrélations avec l'humidité équivalente que dans le sol global, avec cependant de légères variations selon la fraction densimétrique considérée. Ces valeurs confirment en les accusant les déviations constatées avec la profondeur dans les corrélations sur le sol global.

Cependant, les éléments minéraux sont libérés par l'acétate en quantité beaucoup plus importante sur un sol fractionné que sur un sol global, ce qui est dû sans doute au traitement préalable à ce fractionnement, traitement susceptible d'avoir rendu échangeable après broyage une partie des cations ainsi libérés du complexe organo-minéral. La proportion de ces éléments ainsi libérés est assez variable avec le type de végétation, mais s'établit grossièrement autour des moyennes suivantes :

% de sol		CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
fraction de densité <	2	2,30	0,70	1,30	0,40
"	" 2 à 2,4	1,20	0,40	0,70	0,20
"	" 2,4 à 2,6	0,60	0,15	0,40	0,10
"	" > 2,6	0,50	0,10	0,50	0,04

Ces chiffres sont en eux-mêmes très intéressants, car ils nous permettent

de mieux comprendre les variations d'équilibre des bases que nous avons constaté dans nos études de corrélations. En effet, selon que l'une ou l'autre des fractions sera dominante, l'équilibre $\text{CaO/MgO} + \text{K}_2\text{O}$ où l'équilibre $\text{MgO/K}_2\text{O}$ sera notablement différent. Nous pensons toucher ici l'une des raisons principales des constatations que nous avons faites dans ce chapitre : augmentation relative de CaO en profondeur pour les sols de forêt riches en fractions de densité inférieure à 2,6, diminution rapide de MgO avec la profondeur, augmentation du potassium dans les sols de prairie riches surtout de fractions sableuses ou argilo-sableuses.

SOLS DE MARAIS (tableau 32).

Les sols de tourbières présentent des aspects très particuliers, mais nous avons pensé qu'il serait utile de les étudier à Madagascar où ils sont très fréquents sur les Hauts-Plateaux. Formés d'alluvions et de matières organiques, ils peuvent après exondation donner d'excellents sols cultivables.

La Station agricole du Lac Alaotra s'est attachée à étudier l'évolution progressive de ces sols après leur assèchement. Nous ne possédons pas de données suffisantes pour diriger notre étude dans ce sens, aussi nous contenterons-nous d'étudier les relations existant entre les divers éléments des sols tourbeux formés dans les vallées mal drainées du Plateau central. La végétation est essentiellement composée de *Cyperus imerinensis* (zozoro) et *Cyperus latifolius* (herana).

Ces sols restent constamment gorgés d'eau et les conditions anaérobies ainsi créées entraînent une évolution pédologique très particulière de tous les sédiments accumulés. Un sol aux éléments organiques de plus en plus décomposés avec la profondeur repose sur une zone argileuse blanchie, véritable horizon de gley tacheté souvent en gris, en bleu ou en verdâtre par les sels ferreux et donnant lors de leur exposition à l'air un sol beige à taches rouille, voire même un sol rouge comme celui des collines environnantes sur lesquelles il repose. On observe très fréquemment l'intercalation d'un lit sableux issu de la sédimentation plus rapide des éléments lourds dans la suspension liquide.

La granulométrie de ces sols ne saurait être caractéristique, car elle est conditionnée par celle des colluvions et des alluvions qui se sédimentent dans les cuvettes marécageuses.

En règle générale, le lacs de végétaux et de racines superficielles retient une certaine quantité de ces sédiments, principalement limon et sable fin, moins lourds ou moins dispersables. La granulométrie à travers les horizons de tourbes est variable, mais l'argile mise en suspension s'est en général accumulée au contact du sol en place et présente un horizon compact, semblable à l'horizon d'argile blanche des rizières.

L'humidité retenue dans une tourbière asséchée répond aux mêmes

corrélations que dans les divers autres sols humifères, mais la capacité d'échange en est, en général, plus faible : $r = 0,88$, $b_{xy} = 1,89$.

Assez pauvres en basés, les tourbes présentent un équilibre de ces bases comparable à celui des sols gneissiques environnants : $r = 0,93$, $b_{xy} = 0,32$. La quantité de matière humique est extrêmement élevée sans que relativement l'humification soit très accentuée et le pourcentage d'azote retenu est parmi les plus faibles : $r = 0,86$, $b_{xy} = 0,15$.

L'assèchement des tourbières entraîne une rapide augmentation de l'humification et la formation corrélatrice d'un important complexe organominéral (augmentation relative de la fraction liée de densité 2 à 2,4).

Nous donnerons (tableau 33) à titre d'exemple les variations de quelques éléments sur 50 cm de sols situés le long d'une digue ayant provoqué leur assèchement progressif.

TERRASSES ALLUVIALES ANCIENNES (tableau 34).

De couleur et de profondeur variées ces alluvions anciennes dites alluvions jaunes présentent souvent des couches alternées sableuses et argileuses.

Selon l'ancienneté de leur assèchement et l'approfondissement corrélatif des cours d'eau, elles présentent des phénomènes plus ou moins intenses de migration de l'argile et des éléments solubles.

Les terrasses anciennes s'apparentent aux sols podzolisés avec un appauvrissement excessif des horizons supérieurs et souvent apparition, à la base de dépôts alluviaux, d'un horizon argileux plus ou moins concrétionné (ancien horizon de gley).

Nous avons étudié quelques-unes de ces terrasses alluviales dans la région de Tananarive et dans la région d'Ambila. Ces sols très perméables en surface et compacts en profondeur subissent une érosion en nappe et en rigoles très intense et ne supportent plus guère qu'une maigre végétation de Graminées et de Cypéracées en touffes isolées (*Aristida*, *Bulbostylis*, etc...).

Nous donnons l'analyse moyenne de ces sols (tableau 32) qui ont atteint un tel degré de dégradation que leur utilisation agricole est devenue à peu près impossible sans de grands frais d'irrigation et d'enrichissement.

B. — SOLS VOLCANIQUES

Les sols formés sur roches volcaniques présentent, comme nous l'avons vu au premier chapitre, une grande variété d'aspect selon leur nature et leur situation. Nous nous sommes spécialement attachés à étudier les sols formés sur roches basaltiques, ceux-ci étant les plus fréquents et les plus importants.

En zone de faibles ondulations, les sols jeunes formés sur ces roches seront peu profonds, un horizon brun grumeleux, plus ou moins riche et plus ou moins profond, reposera sur une mince zone d'altération bigarrée et compacte.

Par une succession de teintes, passant du brun rouge foncé au chocolat, nous arrivons aux sols noirs. Ces sols sont en général très profonds, un horizon noir grumeleux passe, à une profondeur supérieure à 1 m, à un horizon bigarré de brun et de violet, riche en minéraux peu altérés, horizon compact et gorgé d'eau. Cet horizon est très profond et la roche intacte n'est que difficilement atteinte.

Les sols bruns, ou brun rouge atteignent fréquemment le stade ultime de dégradation, et l'on trouve dans l'Ankaizina comme dans l'Ankaratra de vastes plateaux cuirassés. Ces sols sont assez peu profonds et semblent particulièrement fréquents dans les régions les plus sèches et les plus basses (219 bis). La fraction argile comprend beaucoup d'oxydes de fer donnant une structure en petits agrégats susceptibles de se transformer en pisolithes par suite de la dessiccation du profil.

Les sols noirs ne peuvent certainement pas être assimilés aux Tirs, Regurs ou Chernozems comme ils l'ont parfois été (75), ils présentent une parenté évidente avec les autres sols formés sur roches volcaniques, mais certains facteurs particuliers d'évolution sont cause de leur différenciation : microclimat lié à l'altitude et à la topographie. Les sols sont profonds et plus proches de la neutralité, surtout dans la zone d'altération et l'horizon argileux qui la surmonte. L'agrégation très marquée des horizons supérieurs semble due surtout à leur richesse en matières humiques et, serait peut-être influencée aussi par la présence de fortes quantités de titane et de manganèse, ce dernier pouvant en outre participer aux côtés des matières organiques à la coloration du profil.

Pour illustrer les principales différences entre ces deux types de sols, nous avons résumé en un tableau comparatif (tableau 35) les valeurs moyennes de quelques-uns de ces sols étudiés dans le Massif de l'Ankaratra, dans des conditions semblables d'altitude, de végétation et de roche mère.

Le premier type de sol étudié correspond au type brun à drainage rapide avec formation de pisolithes à la limite de la zone d'altération. Le second type de sol correspond au type noir avec forte humidité en zone profonde. Tous deux se trouvent dans le Massif de l'Ankaratra entre 1.500 et 2.000 m, dans des positions topographiques assez voisines.

Les analyses données dans le tableau 35 ont été effectuées dans les zones faiblement ondulées, sous broussaille éricoïde à *Helichrysum*, *Philippia*, *Pteris aquilina* et *Clenium concinnum*. Il est bien entendu qu'entre ces types extrêmes, il est fréquent de trouver toute une gamme de sols répondant à des couleurs et à des aspects variés par suite des régimes hydriques intermédiaires.

Sans vouloir tirer de conclusions de cette comparaison, étant donné le trop petit nombre d'échantillons, nous pouvons cependant remarquer de grandes différences dans les quantités d'humus et les valeurs de l'humidité équivalente. Malgré un rapport d'humification pratiquement semblable, les valeurs du rapport C/N sont plus fortes dans les sols noirs.



A. Sables alluviaux gréseux de l'Ouest. Savane post-ignée à *Heteropogon* et *Hyphaene*.
(Cliché Service de l'Information, Madagascar).



B. Sables rouges du Sud. Prairie post-ignée à *Heteropogon* et *Cenchrus* (région d'Ambovombe).
(Cliché Service de l'Information, Madagascar).

Les sols bruns sont plus latéritisés mais leur taux d'alumine reste constant dans l'ensemble du sol, tandis que pour les sols noirs, il semble y avoir migration dans l'horizon de surface dont le pH est nettement plus acide que celui des horizons profonds. Par contre, le phénomène paraît tout différent pour le fer et le titane qui restent à un taux assez constant dans les sols noirs, alors qu'ils diminuent rapidement dans les sols bruns. De même l'analyse granulométrique nous montre pour les sols noirs une augmentation proportionnellement plus rapide de l'argile avec la profondeur.

Ces faits peuvent être rapprochés de ceux observés par RQUIER sur les sols volcaniques des Comores (229 bis) et SÉGALEN sur les sols volcaniques de l'Ankaizina (238). Ces auteurs admettent qu'une très forte proportion de l'argile réellement présente, ne peut être mise en suspension par les méthodes d'analyse employées, et se comporte comme du sable fin. Pour les sols brun-noir des Comores, RQUIER observe qu'étant donné les fortes valeurs trouvées pour l'humidité équivalente et la capacité d'échange, les proportions d'argile des horizons supérieurs devraient être plus fortes que celles trouvées. Par contre, en profondeur l'argile est plus dispersée et forme des sols compacts, presque asphyxiants.

Cependant dans les sols noirs, la forte quantité de matières humiques permet la formation d'un complexe argilo-humique à haut pouvoir de rétention et, l'importance des fractions densimétriques 2 à 2,6 explique en grande partie les fortes valeurs trouvées pour l'humidité équivalente et la capacité d'échange.

Comme nous l'avons fait pour les sols granito-gneissiques, nous étudierons les variations des sols de ce groupe et plus spécialement ceux apparentés au type des sols noirs, de loin les plus fréquents, en fonction du type de végétation.

1^o SOLS SOUS FORÊTS OMBROPHILES.

La forêt qui couvre encore quelques-uns des massifs volcaniques de l'Ankaratra, de l'Ankaizina, du Sambirano et de la Montagne d'Ambre, appartient au domaine central. On y trouve une futaie serrée à épiphytes abondants. Parmi les principales espèces arborées on observe surtout des *Weinmania*, *Dombeya*, *Tambourissa*, *Vernonia*, *Halleria*, *Carphalea*.

Les lambeaux forestiers que nous avons pu étudier se trouvent tous installés sur des sols basaltiques de type humide et de coloration noire à brun très foncé.

Dans ce type de forêt d'altitude, nous trouvons encore une très nette parenté des sols, justifiant leur assimilation à un type d'évolution particulier (tableau 36). Ces sols forestiers comportent tous un maximum très net du taux d'argile à la limite de la zone de départ.

La quantité d'eau retenue par l'argile et les matières organiques paraît être approximativement de même valeur que pour les sols granito-gneissiques. La corrélation de l'humidité équivalente avec le complexe organo-minéral est

relativement médiocre, mais il convient cependant de noter que la forte agrégation des horizons supérieurs peut provoquer des erreurs d'analyse très importantes, une partie de ces agrégats se dispersant mal et se comportant comme la fraction sableuse (219 bis).

La capacité d'échange présente une forte relation avec l'humidité équivalente : $r = 0,92$, $b_{xy} = 1,17$ confirmant ainsi, sous la réserve précédemment définie, sa corrélation avec les teneurs en argile et en humus. L'équilibre des bases échangeables est comparable à celui noté dans les sols granitogneissiques, le calcium et le potassium diminuent d'importance dans les horizons profonds au profit du magnésium. La corrélation de CaO avec le total $K_2O + MgO$ reste parfaitement significative : $r = 0,94$, $b_{xy} = 0,36$.

L'humification est excellente, mais la mauvaise aération des horizons profonds très argileux et humides apparaît dans le taux élevé d'acide fulvique et le rapport C/N aussi élevé qu'en surface. La quantité d'azote retenue avec l'humus est du même ordre que pour les divers types végétaux étudiés sur granito-gneiss : $r = 0,80$, $b_{xy} = 0,10$.

Les fractions densimétriques du sol demeurent de composition assez constante et, comme pour les sols gneissiques, nous pouvons admettre comme hypothèse de travail que la somme des bases échangeables et des matières humiques du sol correspondra approximativement à un certain pourcentage des fractions de densité inférieure à 2,4 (10 % de la fraction 2 à 2,4 et 60 % de la fraction inférieure à 2) : $r = 0,65$, $b_{xy} = 0,26$.

2° SOLS SOUS PRAIRIES.

Sur sols volcaniques nous distinguerons également quatre types de végétation qui, sans correspondre à des associations proprement dites, ne se rencontrent cependant qu'en des situations sinon sur des sols assez différents.

a) Prairie à *Aristida*.

Nous grouperons sous cette dénomination des espèces assez différentes mais que l'on ne trouve à peu près exclusivement que sur des sols basaltiques bruns à rouges, assez secs, de structure polyédrique ou grumeleuse.

Nous trouverons dans l'Ankaratra et l'Ankaizina, *Aristida similis*, souvent associé à *Hyparrhenia* et comprenant fréquemment mélangé à plus de 30 % du couvert : *Kyllingia cylindrica*, *Eulalia vilosa*, *Cyperus compactus*, *Digilaria atrofusca*, *Emilia graminea*, *Cassia mimosoïdes* et *Heli-chrysum* divers.

Sur les plateaux basaltiques du Nord-Ouest et de l'Ouest, nous trouverons plus fréquemment *Heteropogon contortus* associé à *Cymbopogon* et à quelques Légumineuses. Selon le climat et le degré d'érosion, les valeurs analytiques des divers éléments du sol seront plus ou moins élevées, mais répondront en moyenne aux valeurs données dans le tableau 37.

L'humidité retenue par le complexe argilo-organique varie quelque peu

avec la profondeur. L'argile plastique des horizons profonds retient beaucoup moins d'humidité qu'une même quantité d'argile complexée par l'humus des horizons supérieurs ; mais, les variations de la capacité d'échange répondent assez bien aux variations de l'humidité équivalente : $r = 0,90$, $b_{xy} = 1,17$. L'équilibre du calcium avec le magnésium et le potassium semble en général assez bon : $r = 0,87$, $b_{xy} = 0,48$.

La proportion d'azote retenue dans les matières humiques varie assez peu dans ses grandes lignes : $r = 0,89$, $b_{xy} = 0,14$ et, comme pour les prairies sur sols granito-gneissiques, la quantité d'humine solubilisée à chaud par la soude est en rapport net avec l'importance de la fraction du sol de densité inférieure à 2.

b) Prairie à *Hyparrhenia*.

Les prairies à *Hyparrhenia* souvent mêlées de *Panicum sp.* et de Légumineuses diverses appartiennent au même type de sol que la prairie à *Aristida*, mais s'observent surtout dans l'Ankaizina (tableau 38). Situé sur des sols en général plutôt sableux, ce type de prairie présente de très fortes variations dans le taux d'humidité retenue et nous n'avons que trop peu d'échantillons pour établir la corrélation de celle-ci avec le taux d'argile et de matière organique. Cependant, la bonne corrélation de l'humidité équivalente et de la capacité d'échange paraît nous permettre de ne pas insister sur ce point : $r = 0,83$, $b_{xy} = 0,81$. L'humus contient une proportion d'azote comparable à celle relevée dans les autres types de prairies ($r = 0,92$, $b_{xy} = 0,13$) et l'équilibre des bases conserve les mêmes proportions ($r = 0,61$, $b_{xy} = 0,28$).

c) Prairie à *Imperata*.

Nous avons trouvé ce type de prairie sur des sols d'un type intermédiaire, brun foncé à noir de structure grumeleuse, en général peu profond et reposant sur la roche originelle par l'intermédiaire d'une zone plus compacte, plus claire et plus humide.

Leur composition botanique est en réalité assez variable et, à côté de l'*Imperata* ou en association avec lui, on trouve fréquemment *Sporobolus indicus* et souvent *Aristida similis*, *Panicum sp.*, *Heteropogon contortus*. Tous ces types de sols sont en général assez riches en éléments échangeables (tableau 39).

L'humidité retenue par le sol est relativement plus forte en profondeur par suite des variations assez marquées dans la proportion d'argile ($r = 0,57$, $b_{xy} = 0,33$). L'équilibre des bases est en général comparable aux autres types prairiaux ($r = 0,70$, $b_{xy} = 0,33$), de même que l'importance de l'azote par rapport à la matière humique ($r = 0,70$, $b_{xy} = 0,13$) ; cependant, dans certains cas, nous retrouverons une valeur plus forte des taux de potasse et d'azote dans l'ensemble du sol. Cette différence est sans doute due à la présence récente de la forêt, ou plus exactement de ses cendres (187).

d) *Prairie à Panicum.*

Peu caractéristique d'une station définie, ce type de prairie se trouve aussi bien sur les sols noirs que sur les sols bruns, à des altitudes supérieures à 2.000 m, comme sur les plateaux basaltiques plus secs.

Nous avons groupé dans ce type de prairie plusieurs espèces souvent associées : *Panicum cinctum*, *Trachypogon polymorphus* et *Clenium concinnum*, fréquemment mêlées de *Cyperus compactus*.

L'humidité équivalente retenue par le complexe argilo-humique augmente moins rapidement que la capacité d'échange pour une même augmentation de la quantité d'humus (tableau 40), mais la corrélation de ces trois valeurs est bonne : $r = 0,86$, $b_{xy} = 0,12$.

L'équilibre des bases échangeables entre elles est le même que sous *Aristida* ($r = 0,93$, $b_{xy} = 0,38$), bien que le taux soit en général plus faible ; la proportion d'azote retenue dans l'humus est la même que pour les autres types de prairie ($r = 0,96$, $b_{xy} = 0,11$).

3° SOLS SOUS PINS.

Nous avons prélevé 39 échantillons de sols sous *Pinus khasya* et *Pinus pinaster* dans les stations forestières de Manjakatempo, Antsirabe et Antsampandrana. Ces peuplements, âgés d'une quinzaine d'années au minimum, présentent une parenté exceptionnelle de leurs divers composants, étant établis sur des sols eux-mêmes comparables à l'origine, tous situés dans la chaîne de l'Ankaratra (tableau 41).

L'humidité retenue par le sol comme la capacité d'échange du complexe sont en corrélation directe avec les taux d'argile et de matière organique : $r = 0,86$, $b_{xy} = 0,85$.

L'équilibre entre les bases reste pratiquement comparable à celui déterminé sous les autres espèces ($r = 0,95$, $b_{xy} = 0,51$), et leur quantité, bien qu'assez forte en surface, est voisine de celle relevée sous forêt ; de même le taux d'azote est parmi les plus élevés, mais sa proportion avec les matières humiques est de même ordre que sous les autres types végétaux : $r = 0,92$, $b_{xy} = 0,15$.

La teneur du sol en éléments minéraux et organiques ne présente pas de variations significatives dues à l'espèce ; cependant, en règle générale, la litière sous *Pinus pinaster* est considérablement plus faible que sous *Pinus khasya* et l'humification en est moins rapide.

4° SOLS SOUS ACACIA.

Les peuplements denses d'*Acacia dealbata* sur sols basaltiques en place sont assez peu fréquents, aussi n'avons-nous pu prélever que peu d'échantillons sous des peuplements de quelque étendue aux environs de Manjakatempo et d'Antsampandrana (tableau 42).

Les relations entre les divers éléments présentent des corrélations très

significatives et, suivent pour les sols sous *Acacia* des normes comparables à celles établies pour les autres peuplements, mais les litières sont exceptionnellement riches en azote. (Corrélation entre l'humidité retenue, la capacité d'échange, et le complexe argilo-organique : $r = 0,83$, $b_{xy} = 0,78$; équilibre entre les bases : $r = 0,89$, $b_{xy} = 0,32$; corrélation entre les taux d'azote et de matière humique : $r = 0,80$, $b_{xy} = 0,28$.)

5° SOLS SOUS CYPRÈS.

Nous avons trouvé à la station forestière de Manjakatempo et aux environs d'Antsirabe quelques petits peuplements de Cyprès assez denses, qui nous ont paru intéressants à étudier. La litière est en général assez maigre et permet le développement de quelques fougères, mousses et carex (tableau 43).

Ces sols présentent les mêmes relations entre éléments que les sols de pinèrres et sont en général très riches. Cependant, leur aspect morphologique est très différent et semble plus voisin du sol sous *Acacia* que du sol sous Pin. De structure plus compacte, ils sont aussi de couleur moins foncée et la profondeur de l'horizon organique reste assez faible. (Corrélation entre l'humidité équivalente, la capacité d'échange et la valeur du complexe argilo-organique : $r = 0,80$, $b_{xy} = 0,40$; équilibre des bases échangeables : $r = 0,76$, $b_{xy} = 0,05$).

La proportion d'azote retenue dans le complexe humique est comparable lui aussi ($r = 0,76$, $b_{xy} = 0,06$), mais les litières sont exceptionnellement riches en matières humiques et retiennent proportionnellement moins d'humidité que la litière de Pin.

6° PEUPELEMENTS DIVERS (tableaux 44, 45 et 46).

Nous avons enfin étudié quelques petits peuplements divers des stations forestières de Manjakatempo, Antsirabe et Montagne d'Ambre ; haute futaie dense à épaisse litière de *Grevillea robusta*, futaie chétive de Chêne avec quelques Fougères, *Drimaria* et *Poecilostachys* ; belles plantations de *Cinchona ledgeriana* d'une dizaine d'années sur sol récemment déforesté.

Le peu d'étendue de ces peuplements ne nous permet pas de les étudier d'une manière aussi serrée que les précédents. Le *Grevillea* et le *Cinchona* nous seront utiles pour une comparaison générale des espèces étudiées. Le Chêne par contre, situé sur une même pente entre des peuplements de Pins et de Cyprès, nous permet de donner ici un aperçu de l'influence de la topographie sur des sols différemment couverts (fig. 25).

La petite plantation de Chêne située à mi-pente nous montre que l'humification de la litière est excellente et que la pénétration dans le sol de l'humus produit est beaucoup plus forte que sous les Pins et les Cyprès, situés sur une configuration topographique comparable. Par contre, la somme des bases échangeables étant voisine de celle du Pin et du Cyprès, la fraction

de densité inférieure à 2,4 est très élevée, ce qui explique la faible saturation du complexe.

Le Pin fournit au sol une litière considérablement plus épaisse que celle du Cyprès. Cependant, nous voyons que les sols du tiers supérieur de pente contiennent des quantités comparables de matières humiques. La fraction de densité inférieure à 2,4 n'augmentera que très légèrement le long de la pente, mais se formera de moins en moins profondément dans le profil, en rapport avec les variations quantitatives des matières humiques. Cette fraction constituant la partie essentielle du complexe organo-minéral, la différence essentielle entre les deux espèces végétales résidera essentiellement dans les différences de saturation du complexe d'échange.

Du haut en bas de la pente, cette saturation diminuera rapidement pour le Pin et augmentera pour le Cyprès. Cette variation ne semble pas correspondre à une diminution des éléments échangeables ni à une augmentation des matières humiques. L'explication nous semble devoir être cherchée dans la composition de la matière organique fournie par la litière. Déjà la litière du Pin, pour une somme de bases échangeables voisine de celle de la litière de Cyprès, montre une très faible saturation du complexe; celle du Pin est sensiblement plus épaisse en bas de pente, tandis que le taux des matières humiques est plus faible. L'eau ruisselée à travers la litière très épaisse entraîne vraisemblablement l'accumulation relative en bas de pente, de corps organiques solubles susceptibles de retenir par eux-mêmes les bases, sans participer à la formation du complexe échangeable. Sous Cyprès, au contraire, le ruissellement sur un sol peu protégé entraîne vers le bas une partie des éléments organiques et minéraux de la pente, permettant ainsi une fixation accrue des bases, sur un complexe organo-minéral plus abondant.

Comme nous l'avons fait pour les sols granito-gneissiques, nous tenterons de résumer cette étude des sols volcaniques à l'aide de quelques graphiques.

Il est impossible d'assigner une *composition granulométrique* définie à ces sols qui sont plus ou moins argileux et dont la fraction définie comme sable fin comporte le plus souvent une grande proportion d'argile complexée par les hydroxydes en agrégats difficilement dispersables. En règle générale cependant, le taux d'argile augmente considérablement avec la profondeur pour former une zone de départ argileuse, réductrice et plastique. L'humidité retenue par le complexe argilo-organique varie quelque peu d'importance selon l'espèce végétale mais correspond aux coefficients précédemment définis pour l'argile et la matière organique. La réalité de ce phénomène est confirmée par la variation corrélative de la capacité d'échange et de l'humidité équivalente (fig. 26).

La proportion des bases dans le *complexe échangeable* conserve des relations parfaitement comparables, bien que la proportion de calcium semble prendre plus d'importance avec la profondeur et décroître avec les espèces végétales, selon la succession suivante: Cyprès, *Hyparrhenia* — Forêt,

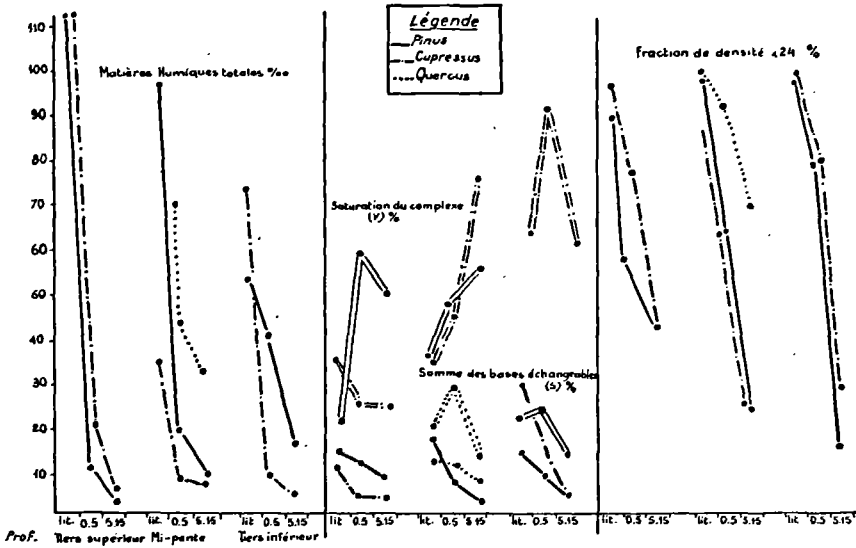


FIG. 25. — Évolution d'un sol basaltique le long d'une pente de 20 % sous divers types végétaux.

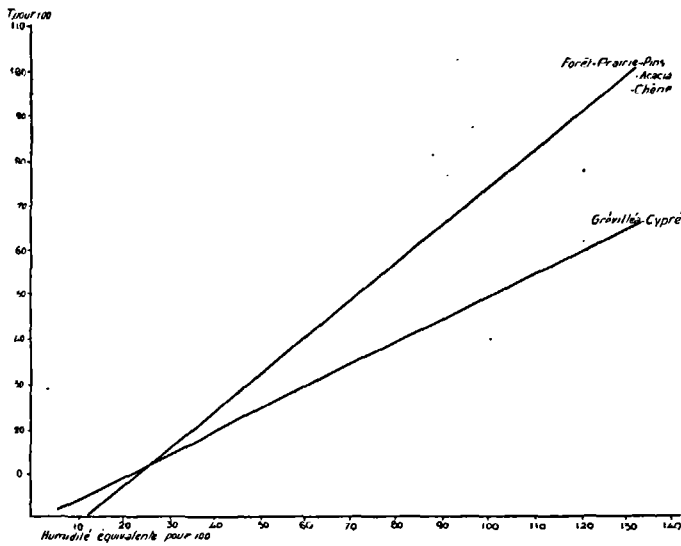


FIG. 26. — La capacité d'échange et l'humidité équivalente présentent une corrélation variable avec les types végétaux.

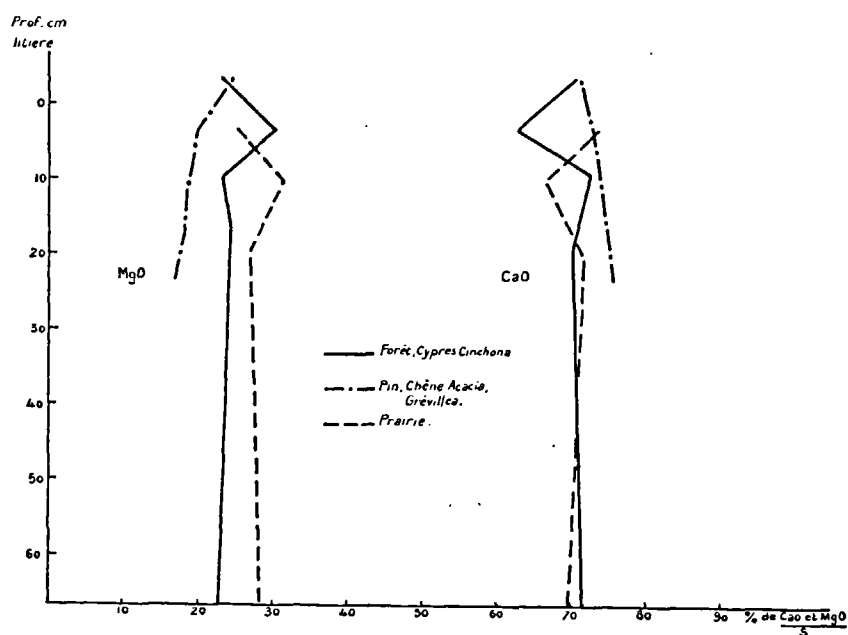


FIG. 27. — Variations avec la profondeur et la végétation de l'équilibre calcium-magnésium.

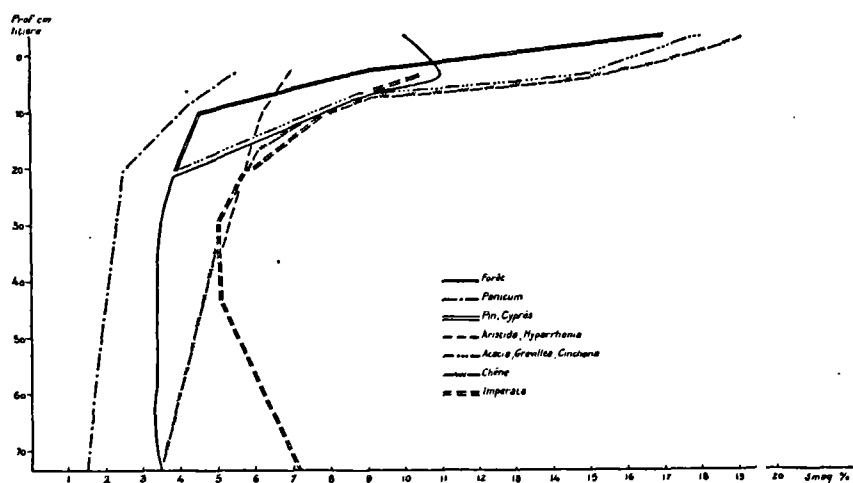


FIG. 28. — Évolution quantitative des bases échangeables avec la profondeur et selon le type végétal.

Imperata, Panicum — *Cinchona*, Chêne — *Aristida* — Pin, *Grevillea* (fig. 27). L'importance des bases échangeables apportées au sol par la décomposition de la litière varie considérablement avec les espèces. Le Chêne, le Cyprès, l'Acacia et le *Cinchona* malgré une litière très faible fournissent un apport aussi important que le *Grevillea* et le Pin dont les litières sont beaucoup plus

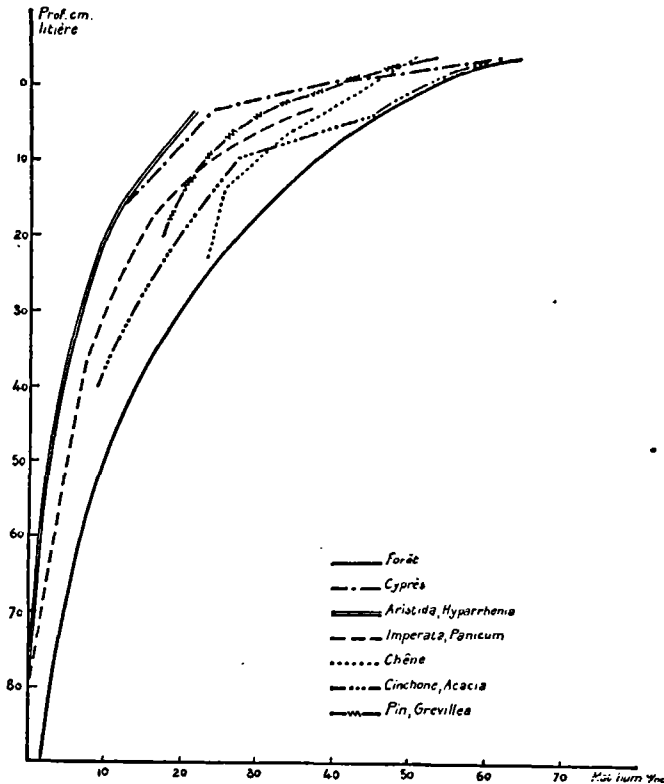


FIG. 29. — Évolution quantitative des matières humiques avec la profondeur et selon le type végétal.

épaisses (fig. 28). L'*Imperata* s'établissant en général sur un sol forestier conserve un taux élevé d'éléments échangeables, mais semble favoriser leur lessivage, entraînant une certaine accumulation en profondeur. La prairie à *Panicum* paraît par contre exceptionnellement pauvre en bases.

Le taux des matières humiques tend vers une même valeur dès 25/30 cm pour la plupart des espèces végétales à l'exception du Chêne et de la forêt, dont la teneur reste élevée jusqu'à une assez forte profondeur (fig. 29). Le degré d'humification de la matière organique reste élevé en profondeur principalement sous *Cinchona*, *Panicum* et *Hyparrhenia* (fig. 30). Ce phé-

nomène paraît pouvoir être attribué aux conditions spéciales de ces populations, celles-ci succédant le plus souvent à la forêt brûlée, l'insolation directe et l'apport de cendres étant alors susceptibles de modifier les conditions biologiques du sol.

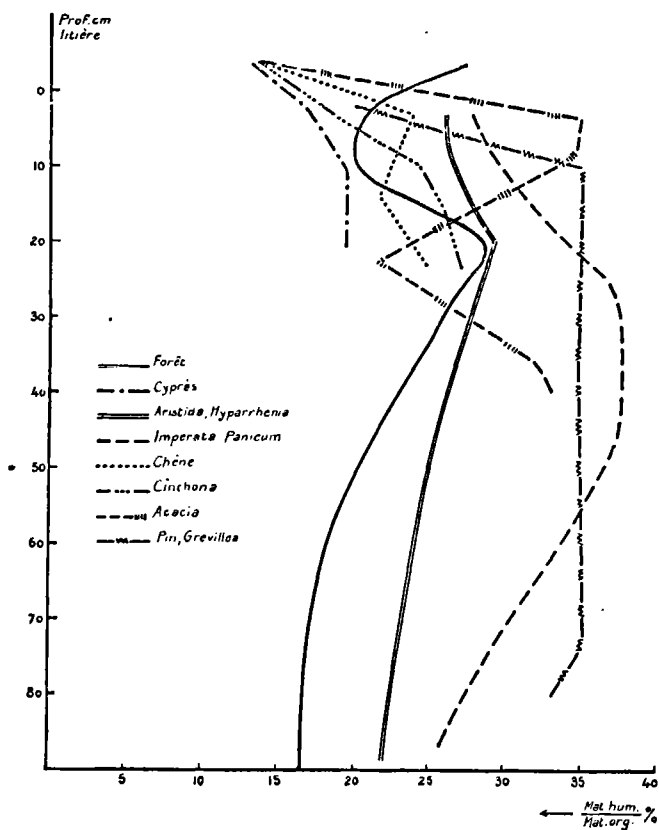


FIG. 30. — Variations schématiques du pourcentage d'humification de la matière organique.

La quantité d'azote retenue dans les matières humiques varie avec le type de végétation ; elle décroît dans l'ordre suivant : Chêne, Acacia, Prairie, *Grevillea*, Pin, Cyprès, Forêt.

Si nous étudions les diverses *fractions densimétriques* séparées à partir de ces sols (tableau 47), nous trouverons comme pourcentage moyen d'argile et de limon pour chaque fraction densimétrique : 40 % pour la fraction inférieure à 2 ; 65 % pour les fractions 2 à 2,4 et 2,4 à 2,6 ; 40 % pour la fraction supérieure à 2,6 (50 à 60 % de sable). Les matières humiques de ces fractions reflètent ces différences de composition, mais présentent un pour-

centage assez constant d'humification de la matière organique contenue (25 % environ). L'humidité équivalente des diverses fractions s'établit autour des valeurs suivantes : 160 meq % pour la fraction de densité inférieure à 2 ; 70 % pour la fraction de densité 2 à 2,4 ; 50 % pour la fraction de densité 2,4 à 2,6 ; 20 % pour la fraction de densité supérieure à 2,6.

La capacité d'échange offre des valeurs très différentes selon les types végétaux mais, comme pour le sol global, reste en corrélation avec l'humidité équivalente. La richesse des fractions en éléments échangeables est toujours plus grande que sur le sol global par suite de la destruction préalable d'une partie des agrégats. La proportion de ces éléments minéraux est assez variable avec le type de végétation, mais s'établit approximativement autour des moyennes suivantes :

% de sol	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
fraction de densité < 2	4,00	1,60	1,80	0,18
» » 2 à 2,4	2,44	1,30	0,90	0,15
» » 2,4 à 2,6	1,35	0,70	0,30	0,30
» » > 2,6	0,30	0,15	0,25	0,05

Nous voyons donc que l'équilibre des bases, ici comme dans les sols gneissiques varie sensiblement avec les fractions et que, selon la prédominance de l'une ou de l'autre d'entre elles, due aux variations du taux de matières organiques, la richesse et l'équilibre des bases variera. Cependant, la somme des bases considérées comme échangeables sera fortement influencée par le taux d'humus libéré lors de l'extraction à l'acétate d'ammonium, tant dans le sol global, que dans chacune des fractions (Chapitre III, B, 2°).

C. — SOLS CALCAIRES

L'évolution des sols issus de roche calcaire est étroitement liée à leur situation topographique. Comme nous l'avons vu précédemment (Cf. chap. I) la série des sols calcaires représentés à Madagascar se réduit aux sols brun clair presque tous alluviaux et aux sols grumeleux noirs sur marnes.

I. — SOLS BRUN CLAIR. — ALLUVIONS DÉCALCARIFIÉES

Dans l'Ouest et le Sud-Ouest de l'Ile, les alluvions plus ou moins décalcarifiées forment de vastes terrasses entre les anciens méandres des fleuves. Ces sols sont fort hétérogènes comportant des lits successifs de sables, de calcaire, de limon ou d'argile, sans parler d'inclusions locales de galets basaltiques ou de recouvrements de sables roux. Nous avons même souvent observé des termes de passage vers les sables roux par ruissellement des éléments fins et oxydation des hydroxydes. Ces formations peuvent reposer

sur les roches les plus diverses et leur évolution sera d'autant plus accentuée qu'elles seront moins épaisses et plus anciennes.

Ces diverses alluvions présentent donc de fortes différences dès leur départ mais cependant les conditions d'évolution restent assez voisines, pour que nous puissions trouver dans l'ensemble de ces sols de suffisantes analogies justifiant leur regroupement. Ce sont en général des sols meubles et profonds, assez humifères quand ils sont sous forêt, sinon ils deviennent vite compacts même quand ils sont très sableux.

Les terrasses alluviales les plus anciennes évoluent d'autant plus vite après leur déforestation que le niveau de la nappe phréatique s'est modifié au fur et à mesure de l'éloignement et de l'approfondissement du cours d'eau, et dans le Sud, ces formations même en dehors de l'intervention humaine ne supportent plus guère que la forêt à Fantsiloty et le Scrub à Euphorbes. S'ils tiennent encore des alluvions par leur nature, ils se rapprochent des sables roux par leur aspect, leur richesse en sable et leur pauvreté en humus. Cette ressemblance est d'autant plus vive qu'il se produit progressivement une compénétration des deux formations, rendue possible par l'intense érosion tant éolienne que pluviale de ces régions.

Les forêts-galeries qui s'établissent sur les berges fluviales sont de type varié. Dans les bandes limoneuses elles sont surtout composées de Kily (*Tamarindus indica*) avec quelques lianes : Euphorbiacées, Papilionacées, Combretacées et, de-ci, de-là, des bouquets d'Euphorbes ou d'Acacias.

Dans les bandes sableuses on trouve encore *Tamarindus indica* mais dominé par *Poupartia caffra* (ex *Sclerocarya*), *Hyphaene shatan*, *Salvadora angustifolia*, *Albizzia boinensis*, *Adansonia Grandidieri*, *Grewia* sp. et des Euphorbiacées.

Dans l'Ouest on trouve fréquemment, surtout le long des berges fluviales, les forêts d'Adabo (*Ficus sakalavarum*) à sous-bois peu fourni de lianes et de broussailles basses.

Tous ces sols sont en général riches en limon et sable fin ; ils présentent une réaction acide en surface, neutre ou alcaline en profondeur.

Nous croyons pouvoir assimiler, dans une certaine mesure, à ces sols alluviaux sous forêts, les alluvions micacées de certaines berges fluviales de l'Ouest malgache. Une certaine parenté physique et morphologique de ces alluvions avec certaines alluvions et colluvions du plateau central a provoqué leur groupement sous le nom de « Baiboas ».

Couverts de forêts-galeries à *Ficus*, quand ils ne sont pas cultivés (tabac) ces « Baiboas » de la côte Ouest ne comportent pratiquement jamais d'éléments calcaires mais, dominés par des terrains calcaires, ils se sont considérablement enrichis en calcium et ne présentent plus guère de parenté avec les argiles latéritiques originelles. Selon l'ancienneté de leur dépôt leur profil présentera une tendance à la neutralité en surface ou en profondeur ; ce dernier cas pro-

voqué par le lessivage les apparente encore davantage aux alluvions décalcarifiées.

Nous avons étudié les corrélations coutumières pour les sols alluvionnaires forestés où un drainage suffisant a permis le lessivage du calcaire dans les horizons supérieurs. Nous scinderons ces forêts-galeries en deux types très différents ; les sols sous *Ficus*, *Salvadora*, *Grewia* et Euphorbiacées, et les sols sous *Tamarindus*, *Albizzia* et *Acacia*.

1° SOLS SOUS FICUS, SALVADORA, GREWIA ET EUPHORBIAcÉES.

Nous donnerons ici à titre d'exemple, à côté de la composition moyenne d'un profil d'alluvions décalcarifiées, l'analyse moyenne des horizons supérieurs de Baiboas de la côte Ouest (tableau 48).

Malgré les différences certaines entre les deux types, ces dernières alluvions sont beaucoup plus proches des alluvions décalcarifiées que des autres types de sol observés par nous à Madagascar.

L'humidité équivalente trouvée pour ces sols reste assez proche de celle calculée à partir des taux d'argile et de matière organique calculés au moyen des coefficients définis précédemment (Cf : chapitre IV, A, II), tout en restant très élevée même en présence d'un faible taux de matière organique : $r = 0,94$, $b_{xy} = 1,56$. La capacité d'échange varie en fonction de ces valeurs : $r = 0,87$, $b_{xy} = 1,11$.

L'équilibre des bases diffère sensiblement des autres sols, car si ceux-ci sont décalcarifiés, ils restent très riches en calcium et le rapport $\text{CaO/MgO} + \text{K}_2\text{O}$ reste constant mais différent : $r = 0,81$, $b_{xy} = 0,11$.

La quantité d'azote trouvée reste également en étroit rapport avec le taux de matières humiques : $r = 0,82$, $b_{xy} = 0,09$.

2° SOLS SOUS TAMARINDUS, ACACIA ET ALBIZZIA.

La valeur d'humidité équivalente par rapport aux teneurs en argile et en matière organique est semblable à celle des sols sous *Ficus*, *Sclerocarya*, etc... Il est difficile d'établir une règle générale pour ce type de sol car, si pour tous les sols décalcarifiés la corrélation entre la capacité d'échange et l'humidité équivalente est significative ($r = 0,92$, $b_{xy} = 1,60$) ; les relations établies cessent d'être valables dès que le taux du carbonate de calcium dans le sol dépasse 2 à 3 %.

Malgré le petit nombre d'échantillons où la faible teneur en calcaire permet le dosage du calcium échangeable, nous avons remarqué que le taux des bases échangeables paraît répondre à un équilibre déterminé : $r = 0,65$, $b_{xy} = 0,09$.

La teneur en matières humiques est très élevée ainsi que la teneur relative en azote ; la relation entre ces teneurs est sensiblement comparable à celle trouvée pour les sols sous forêt-galerie à *Ficus* et Euphorbes : $r = 0,97$, $b_{xy} = 0,17$.

3° SOLS SOUS ALLUAUDIA.

Dans le Sud-Ouest et le Sud nous trouvons fréquemment des forêts d'*Alluaudia* et d'Euphorbes s'étendant sur les alluvions.

Le Fantsilotsy (*Alluaudia procera*) se présente souvent à l'état à peu près pur sous la forme d'une futaie de 6 à 10 m dont de nombreux fûts sont exploités comme bois de construction (diamètre 20 à 50 cm). Mais le plus souvent ces futaies sont mêlées d'Euphorbiacées et de Didiereacées.

Ces forêts s'établissent principalement en bordure des terrasses élevées et sèches et parfois s'étendent jusqu'aux berges des fleuves quand les alluvions sont très sableuses.

Nous ne saurions définir de relations précises des éléments physiques et chimiques dans ces types alluviaux souvent très évolués et formant un terme de passage vers les sables roux. Nous donnerons cependant l'analyse moyenne d'un sol sous forêt d'*Alluaudia* et d'Euphorbes, ces sols se révèlent assez riches en général pour être utilisés à des cultures temporaires (saison des pluies) (tableau 50).

4° SOLS SOUS PRAIRIES (tableau 51).

Dans le Sud sur les terrasses alluviales anciennes, très évoluées, la forêt détruite pour la mise en place des cultures de villages mobiles ne reprend que difficilement sa place et, se trouve remplacée par une prairie très rase où émergent quelques pieds isolés d'*Acacia*, de *Salvadora angustifolia* ou d'*Adansonia* (Baobab), de *Terminalia* sp. et des bouquets d'*Albizzia polyphylla*, d'Euphorbiacées, de Malvacées. La Graminée dominante dans ce type de prairie paraît être *Cenchrus ciliaris*.

Dans l'Ouest, sur les terrasses alluviales ou au contact de grès calcaires, la prairie présente un aspect plus varié et, en l'absence des feux annuels, une assez belle densité. Elle est surtout composée d'*Heteropogon contortus* et *Hyparrhenia rufa* avec de loin en loin quelques bouquets de *Tamarindus indicus* et d'*Hyphaene shatan*; dans les bas-fonds plus humides apparaissent *Sporobolus pyramidalis* et *Cynodon dactylon*.

La relation entre l'humidité équivalente et le complexe argilo-organique est, pour les sols décalcarifiés sous prairie, semblable à celle trouvée pour ces sols sous forêt-galerie ($r = 0,90$, $b_{xy} = 0,95$). Dès que le sol devient calcaire, le calcium retenu par le complexe absorbant en proportion importante semble modifier ses propriétés physiques, en particulier son pouvoir de rétention pour l'eau.

Cette humidité équivalente est, pour les sols décalcarifiés ou contenant moins de 3 % de CO_3Ca , en étroite corrélation avec la capacité d'échange (fig. 31). Les sols sous prairie étant assez souvent plus ou moins calcaires, il est difficile de calculer avec précision un équilibre entre les bases échangeables, le calcium étant toujours très élevé. La quantité d'azote retenue dans les matières humiques conserve une assez bonne corrélation : $r = 0,84$, $b_{xy} = 0,10$.

Pour terminer cette étude des sols calcaires, nous étudierons l'évolution d'un grès coralligène de Fort-Dauphin. Nous avons fait quelques analyses sous une population de Filao (*Casuarina* sp.) accrochée à divers étages de la falaise (tableau 52).

Nous avons effectué les moyennes pour trois étages : arbres rabougris accrochés, au sommet d'une petite presqu'île, dans des trous de roches riches de quelques millimètres de sol en formation (moyenne n° 1), beaux arbres accrochés sur une anfractuosité de la falaise à 10 m au-dessus des premiers dans un sol épais de 20 à 30 cm (moyenne n° 2), et enfin, peuplement de belle venue sur un sol bien formé au sommet de la falaise (moyenne n° 3). Une partie des éléments de ces sols peut avoir été apportée par le vent, mais étant donné la position de la falaise, la proportion en est vraisemblablement très faible. Nous avons donc là un exemple très particulier, par suite de sa position, mais intéressant néanmoins, de formation et d'évolution d'un sol calcaire.

Riche surtout de sable grossier, le premier stade nous montre qu'ici comme sur les sols gneissiques, la végétation s'installe sur quelques millimètres de sol très humifère.

Notre deuxième stade évolue vers une granulométrie plus fine et le lessivage du sol formé est très sensible, révélant déjà une très forte décalcarification.

Au sommet de la falaise enfin, apparaît une légère quantité d'argile provenant sans doute d'une décalcarification marquée de l'horizon supérieur ; l'humus total augmente par rapport à la matière organique et la teneur en acide humique est beaucoup plus élevée qu'au stade intermédiaire.

II. — SOLS SUR MARNE

Dans la région Ouest on trouve fréquemment de vastes zones marneuses situées entre les sables roux ou le grès et les alluvions des fleuves. Ces marnes s'étendent en terrasses d'étendue variable recouvrant en général des assises gréseuses ou calcaires.

Ces sols probablement alluvionnaires sont très argileux, ils supportent en saison des pluies dans les zones les moins imperméables un tapis ras, surtout composé de Légumineuses du genre *Stylosanthes*, de *Tephrosia purpurea*, *Atylosia scarabeoides*, *Pavonia hirsuta*, *Chloris barbata*, *Setaria pallidifusca*, *Cassia lora*, *Hyptis* sp., etc., et sont utilisés comme prairies temporaires.

En saison sèche, ces sols se dessèchent très profondément et présentent un enchevêtrement de fortes fentes et de petites ravines d'effondrement provoquées par la dissolution en saison des pluies de poches de gypse. Il ne subsiste plus que quelques touffes d'herbe et quelques arbres et buissons clairsemés (*Tamarindus indica*, *Albizzia lebbek*, *Poupartia caffra*).

Ce type de sol n'occupant que des zones réduites, nous ne nous sommes

pas attachés à leur étude, néanmoins nous avons effectué quelques analyses dont les moyennes nous procureront une base de comparaison (tableau 53):

Nous résumerons l'étude des sols calcaires en quelques graphiques et figures donnant l'évolution moyenne des principaux éléments sous les divers types végétaux étudiés. L'étude granulométrique de ces sols nous montre qu'en général la quantité d'argile est différente selon les profils mais ne varie pas beaucoup avec la profondeur, tandis qu'au contraire, la quantité de limon varie beaucoup à travers les horizons.

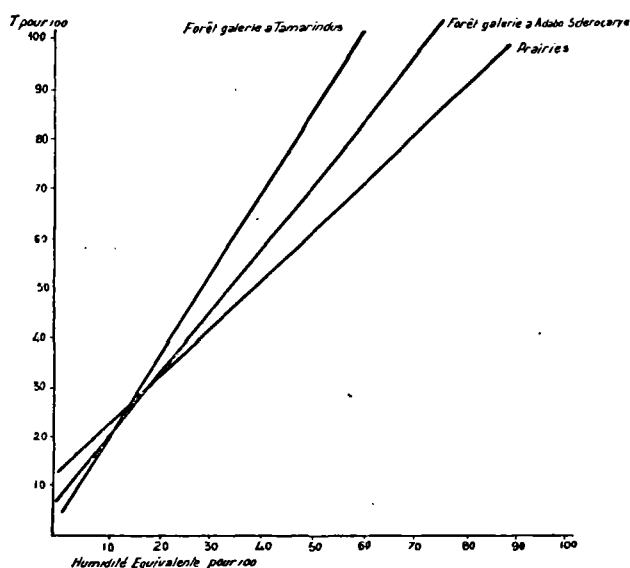


FIG. 31. — La capacité d'échange et l'humidité équivalente présentent une corrélation variable avec les types végétaux.

Pour une même importance d'argile et de matière organique et une même humidité retenue, l'importance de la capacité d'échange croît de la Prairie au *Tamarindus* (fig. 31). Même dans ces sols riches en calcium échangeable, il existe un rapport assez constant pour les différentes végétations et les différentes profondeurs entre CaO et la somme de $K_2O + MgO$ échangeables. Ce rapport est naturellement différent de celui que nous avons observé dans d'autres types de sols (fig. 32).

L'importance de CaO dans la saturation du complexe d'échange augmente avec la profondeur sous la majorité des couvertures végétales. Sous *Tamarindus* cependant, cette importance tend au contraire à diminuer malgré un apport très élevé de calcium par la décomposition de la litière,

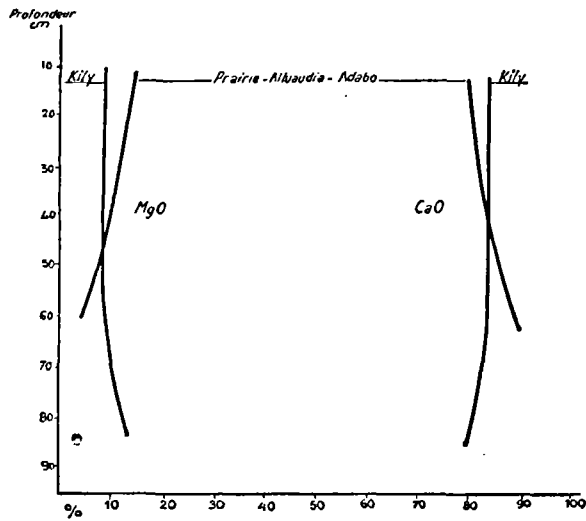


FIG. 32. — Variations avec la profondeur et la végétation de l'équilibre calcium-magnésium.

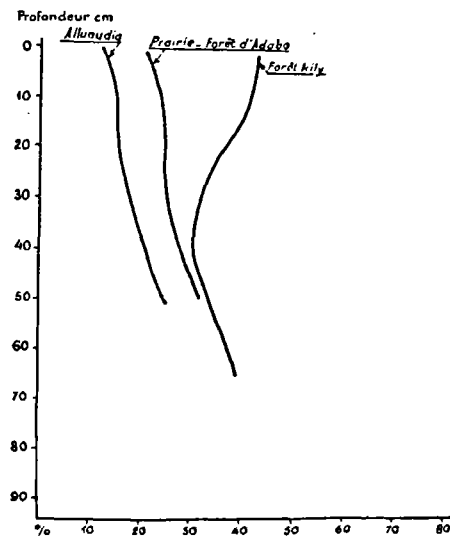


FIG. 33. — Évolution quantitative des bases échangeables avec la profondeur et selon le type végétal.

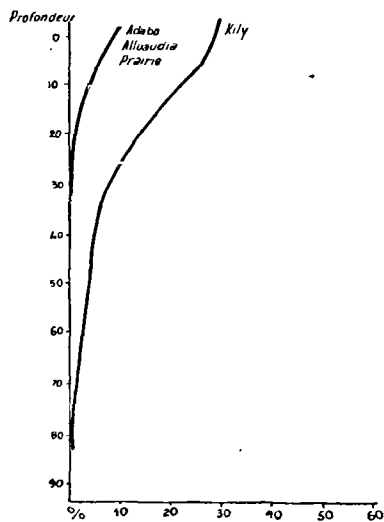


FIG. 34. — Évolution quantitative des matières humiques avec la profondeur et selon le type végétal.

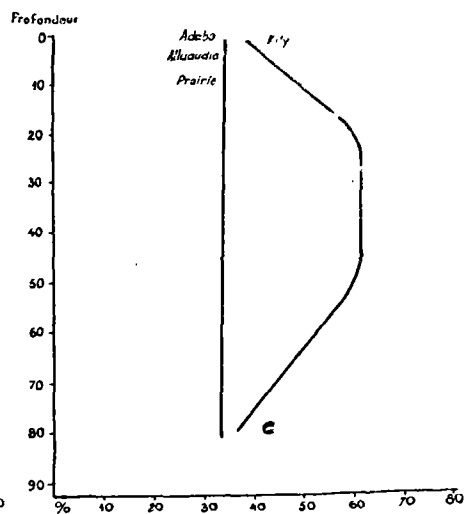


FIG. 35. — Variations du pourcentage d'humification de la matière organique.

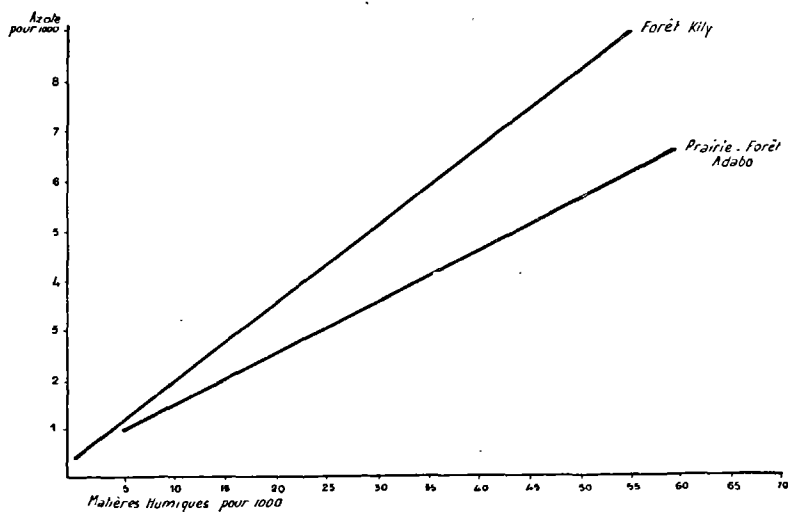


FIG. 36. — La quantité d'azote de la matière humique varie avec le type de végétation.

et montre un lessivage assez important sur 50 cm au moins, par suite de la forte quantité d'humus produit à partir de l'amas de feuilles recouvrant le sol. Le calcium est en quantité importante, mais diminue sensiblement avec la profondeur en même temps que K_2O , MgO et P_2O_5 (fig. 33). La quantité de matières humiques est en général très faible (fig. 34) sauf pour les sols sous forêt-galerie à *Tamarindus* dont l'abondante litière permet un certain approfondissement de l'horizon humifère (fig. 35). La quantité d'azote conservée dans l'humus est nettement plus élevée sous *Tamarindus* que sous *Ficus* ou Prairie (fig. 36). Sous Euphorbes et *Alluaudia*, malgré les très faibles valeurs trouvées, il semble que la corrélation avec la matière humique soit voisine de celle observée sous *Tamarindus*.

Dans les fractions densimétriques du sol nous observons que la quantité de matières humiques solubilisées par l'acétate d'ammonium est moins importante que celle trouvée pour les autres types de sol et, par contre, nous observons une libération d'humus après le traitement du sol (tableau 54). Ce phénomène rappelle l'interférence du calcium sur la solubilisation de l'humus (147 bis), mais cependant ici, il s'agit d'une liaison très étroite du type complexé humo-calci que le traitement préalable à HCl dilué ne parvient pas à détruire.

D. — SOLS SABLEUX

1° SOLS LESSIVÉS SABLEUX LITTORAUX ET QUARTZITIQUES DE L'INTÉRIEUR (tableaux 55 et 56).

Les sols sableux que nous étudierons ici peuvent avoir des origines différentes : désagrégation de quartzites, dunes de la côte et apports éoliens dans des bas-fonds. Tous ces sols présentent une composition granulométrique assez homogène caractérisée par l'absence à peu près totale d'argile et de limon.

Selon leur origine et leur emplacement, l'évolution de ces sols a pu différer, certains sont de véritables podzols à horizon de concrétionnement, d'autres ne sont que des sables lessivés ou des dépôts sableux plus ou moins profonds recouvrant des sols argileux. Ce dernier cas est fréquent dans les sols de formation éolienne ou dans la formation de sols sableux par désagrégation de poches quartzitiques. Nous rencontrons à une profondeur variable un véritable horizon d'alias surmontant une zone fortement argileuse sans que pour cela nous ayons à faire à un podzol véritable.

Une telle formation sableuse ne comporte que peu d'argile, bien qu'elle se soit formée au sein d'argiles gneissiques. Le lessivage du sable a entraîné l'humus et les hydroxydes solubilisés jusqu'au niveau argileux où ils se sont pectisés en concrétions véritables ou en pseudo-concrétions, enrobant les masses d'argile hétérogènes apportées par le ruissellement le long des bords de la cuvette sableuse.

Ces sols supportent encore assez souvent une belle forêt, mais sa disparition entraîne à très bref délai une stérilisation totale. Nous avons spécialement étudié une progression de cet ordre à Ambila-Lemaitso en étudiant l'évolution d'une dune : plage basse mais hors d'atteinte de la marée, comportant déjà quelques Graminées (*Sporobolus virginicus*, *Zoisia tenuifolia*) et Composées stolonifères (*Launaea* sp.); plage haute à *Pandanus*; dune récente mais où s'est déjà installée une assez dense végétation forestière; dune ancienne supportant une belle forêt littorale dense et humide; dune ancienne où la forêt a cédé la place à une maigre « savoka » à *Philippia*.

Nous avons résumé cette évolution au tableau 55 et nous voyons très clairement l'enrichissement progressif dû à la végétation, en même temps que l'acidification croissante du sol.

Le sable jaune des dunes récentes contient quelques petits agrégats organiques enrobant les grains de quartz et très résistants à l'eau, sur plus de 50 cm. Sur les dunes anciennes la végétation beaucoup plus dense se décompose cependant plus lentement et le sable blanchi par disparition de son enduit ferrugineux ne contient plus que des petits agrégats organiques et des petits grains d'humus, bien séparés de la matière minérale.

Enfin, après la disparition de la forêt, le lessivage devient beaucoup plus fort et seuls quelques petits agrégats organiques retiennent encore une faible quantité d'éléments minéraux utilisables par les plantes.

Nous avons eu l'occasion d'étudier les dunes côtières de la région de Fort-Dauphin (189 bis) et malgré un aspect quelque peu différent, nous y avons relevé des valeurs analytiques parfaitement comparables et observé la même évolution, sous l'influence de la végétation, que pour les sables dunaires d'Ambila.

Nous n'avons pas voulu nous étendre trop sur ce type de sol et, comme la seule végétation intéressante y est la forêt, nous étudierons rapidement l'évolution de ces sols sous forêt (tableau 56). Le complexe argilo-humique est très faible, mais l'humidité équivalente présente cependant une bonne relation avec les quantités d'argile et de matière organique ($r = 0,92$, $b_{xy} = 1,00$); la capacité d'échange est elle aussi en corrélation avec les diverses valeurs, mais ne conserve quelque importance que dans les premiers centimètres du sol : $r = 0,97$, $b_{xy} = 1,40$.

La quantité de potassium échangeable est très faible, les taux de magnésium et de potassium retenus par le complexe échangeable, sont en corrélation avec ceux de calcium ($r = 0,85$, $b_{xy} = 0,43$), ce dernier, comparé à celui trouvé pour les forêts établies sur d'autres types de sol, est très élevé.

La teneur en azote par rapport à la matière humique est comparable à celle relevée dans les autres types de sols : $r = 0,82$, $b_{xy} = 0,14$.

2° CARAPACE SABLEUSE.

Ce type de sols sableux, contrairement au précédent, se développe sous climat sec, aussi ne possède-t-il aucun caractère podzolique. Appelé

sable roux ou sable fauve, son origine est le plus souvent alluvionnaire et les surfaces qu'il couvre dans l'Ouest et le Sud-Ouest en font un type de sol très important. Son caractère essentiel paraît être sa richesse en fer.

D'eux-mêmes, ces sables sont acides, mais au contact des grès ou des alluvions calcaires qu'ils recouvrent parfois d'une couche peu profonde, ou avec lesquels ils sont en contact, ils prennent une réaction neutre ou basique. Selon leur position climatique et leur régime hydrique, ils peuvent supporter les couvertures végétales les plus variées. Nous passerons en revue leurs principaux aspects avant d'étudier leur évolution sous les principaux types végétaux.

Dans le Sud le sable roux repose sur un conglomérat ferrugineux formé au niveau de la nappe phréatique et daté par les géologues du « Néogène ». Ce conglomérat ancien, de type gréseux, se désagrège en sable roux et comporte de nombreuses roches d'origines diverses, charriées par les rivières et déposées par elles avec les sables. Cette formation se poursuit dans le temps actuel le long des berges à chaque surcreusement du lit et peut être comparable à celle que nous avons vue dans les alluvions fines, et la seule différence réside dans la granulométrie différente des alluvions, entraînant la formation de concrétions véritables dans les alluvions fines, et celle de conglomérats gréseux dans les alluvions sableuses.

Les terrasses anciennes ont vu de tels conglomérats se résoudre en sables ferrugineux et en blocs détritiques hétérogènes dans les dépressions propices à l'écoulement. Ce sable est plus ou moins lessivé et tend à devenir blanc ; quand l'écoulement de la cuvette est faible, on rencontre même de vastes zones d'accumulation d'éléments fins du type sablo-limoneux formant un sol gris assez humifère. Ce type de sol se forme souvent aux zones de contact des dépôts grossiers avec les alluvions limono-argileuses. Ces dépressions retenant beaucoup mieux l'humidité et les sels minéraux solubles, voient souvent s'établir une végétation plus riche et, au scrub à *Alluaudia* et Euphorbes, se mêle ou succède une végétation arborée à base d'*Acacia* ou de *Tamarindus*.

Tous ces types de sols s'étendent sur de vastes plateaux faiblement inclinés où l'érosion sévit intensément, recouvrant les zones de plus fort écoulement de plusieurs centimètres de quartz blanc roulé. A l'approche des berges fluviales, le ruissellement s'accroît et la zone supérieure du sol est entraînée tout entière découvrant progressivement l'horizon concrétionné et laissant quelques buttes-témoins, protégées par un arbre encore vivant et s'exhaussant souvent à plus de 1 m. 50 au-dessus des ravines.

Le feu mis aux souches des arbres abattus lors des défrichements est une des causes dominantes de ces fosses géantes. En effet, nous avons vu maint de ces trous où la cendre remplaçait la souche et ses racines lentement consumées ; en passant à proximité le sol s'effondre sous les pas à l'emplacement des racines. Ce sont là des poches d'affouillement toutes trouvées

pour les eaux de ruissellement qui n'existent que peu de jours par an mais sont toujours torrentielles.

Sous les forêts-galeries à *Tamarindus* subsistantes, les pentes des anciennes terrasses sont douces et les ravines d'écoulement peu marquées. D'Antanimora à Beraketa, la vaste pénéplaine pierreuse et désertique est recouverte de sable éolien du même type mais superficiel. L'érosion éolienne intense recouvre les zones dénudées d'une couche plus épaisse de sable grossier, où les touffes rares de Graminées subsistent sur un relief de buttes.

Tout au long de la côte Ouest, la désagrégation des chaînes gréseuses est venue combler les reliefs et, de vastes plaines de sable ferrugineux, dominées de loin en loin par quelques tables gréseuses non encore démantelées, s'étendent entre les plateaux et la mer, coupées transversalement par les chaînes calcaires ou basaltiques qui s'étendent parallèlement à la Côte.

Ces sols ferrugineux recouvrent ici aussi les formations les plus variées et, quand ils surmontent une zone argileuse imperméable, ils donnent lieu dans la zone de circulation des eaux, à la néoformation d'un conglomérat gréseux, souvent constellé de véritables gravillons ferrugineux. La végétation le plus souvent très clairsemée ne saurait opposer une bien grande résistance à l'érosion sous toutes ses formes, aussi les dépressions présentent-elles des aspects très divers, dus aux remaniements et aux apports incessants.

Les principaux aspects de ces sols seront donc essentiellement fonction de la végétation, celle-ci créant des microclimats pédologiques très différents. Nous étudierons donc cinq des principaux types végétaux les plus classiques :

a) *Sols sous forêt* (tableau 57).

Établie le long des berges fluviales et dans les coins les plus inaccessibles des massifs calcaires et gréseux, la forêt de l'Ouest présente une haute futaie à maigre sous-bois, mais riche en lianes et présentant un mélange d'essences à feuilles persistantes (*Cephalanthus*, *Protorhus*, *Eugenia*, *Raven-sara*) et d'essences à feuilles caduques (*Khaya*, *Acacia*, *Grewia*, *Terminalia*).

Les relations de l'humidité équivalente et du complexe argilo-humique sont assez comparables aux rapports habituellement trouvés, cependant la corrélation calculée donne une faible valeur due à l'hétérogénéité des matériaux constituant la roche-mère des sols étudiés. Les quelques échantillons prélevés dans les massifs gréseux se comportent d'une manière un peu aberrante par rapport aux autres échantillons prélevés en zones évoluées en situation différente. La capacité d'échange reste en étroite corrélation avec l'humidité équivalente : $r = 0,71$, $b_{xy} = 0,60$.

L'équilibre des bases échangeables montre un taux de calcium très élevé, cependant la corrélation est faible par suite de l'aberrance de trois des échantillons dont le taux de potassium échangeable est anormalement élevé.

Le taux d'azote retenu dans les matières humiques est faible mais leurs proportions restent comparables : $r = 0,95$, $b_{xy} = 0,08$.

b) *Sols sous Tamarindus* (tableau 58).

Les *Tamarindus indica* occupent dans tout l'Ouest et le Sud-Ouest de Madagascar une place très particulière. On les trouve disséminés de-ci, de-là dans les lieux un peu plus humides, ou à proximité des villages, mais le plus souvent ils participent à l'écologie forestière ou même forment de véritables forêts à espèce unique. Considéré dans l'un ou l'autre cas, le sol sous *Tamarindus* subit une évolution très particulière au moins dans sa partie supérieure, aussi, nous sommes-nous autorisé à dégager cette essence pour l'étudier comme formation particulière.

La relation entre l'humidité équivalente et les éléments du complexe argilo-humique, de même que celle entre l'humidité équivalente et la capacité d'échange, restent comparables à ce qu'elles sont dans les autres types de sols : $r = 0,92$, $b_{xy} = 1,53$.

L'équilibre des bases est hautement significatif ($r = 0,97$, $b_{xy} = 0,20$) et la quantité d'azote retenue dans l'humus reste assez faible ($r = 0,94$, $b_{xy} = 0,10$).

c) *Sols sous prairie* (tableau 59).

Installées sur les sols soumis aux feux annuels, les prairies du Sud et de l'Ouest sont assez dégradées et, si elles possèdent une grande variété d'espèces, celles-ci sont rarement mélangées et occupent des plages distinctes. *Heteropogon contortus*, quelquefois mêlé de pieds d'*Imperata cylindrica* et de *Pennisetum polystachyum*, se rencontre sur les sables gréseux en compagnie des Satra. Sur les sols sableux alluviaux de l'Ouest, en compagnie des Satra et des Kily, on trouve *Hyparrhenia rufa*, quelquefois accompagnée de *Cymbopogon rufus*. Dans l'Ouest et dans le Sud, en compagnie des Kily et des Euphorbiacées, on trouve *Cenchrus ciliaris* mêlé d'*Heteropogon contortus*, tandis qu'enfin, *Hyparrhenia rufa* et *Cynodon dactylon* tapissent les sables roux plus humides des dépressions.

Assez lessivés, ces sols ne retiennent que fort peu d'humidité et de même leur capacité d'échange est faible ($r = 0,76$, $b_{xy} = 0,91$). L'équilibre des bases marque une part assez forte de magnésium ($r = 0,90$, $b_{xy} = 0,42$) et la proportion d'azote retenue dans l'humus est faible ($r = 0,96$, $b_{xy} = 0,17$).

d) *Sols sous Hyphaene shatan et Medemia nobilis* (tableau 60).

Abondants dans les prairies dégradées de l'Ouest, les *Hyphaene* (Satra) et les *Medemia* (Satrana) ne provoquent qu'une très légère variation des sols sous prairie qui les environnent, mais la pauvreté de ces sols est essentiellement due au renouvellement annuel des feux qui anéantissent la litière. Les quelques rares exemples que nous avons relevés de Satra isolés des feux, nous ont montré que ces palmiers étaient capables de provoquer un enrichissement du sol en développant un horizon organique important.

L'humidité retenue par le complexe argilo-humique est assez élevée et la relation avec la capacité d'échange est bonne : $r = 0,95$, $b_{xy} = 0,92$.

Le pourcentage de calcium par rapport au magnésium et au potassium du complexe d'échange est bon également : $r = 0,94$, $b_{xy} = 0,31$. De même, la proportion de l'azote retenue dans la matière humique : $r = 0,93$, $b_{xy} = 0,14$.

e) *Sols sous Scrub épineux* (tableau 61).

Les forêts buissonnantes de Fantsilotsy (*Alluaudia procera*), *Didierea madagascariensis*, etc... possèdent un sous-bois peu fourni d'Euphorbiacées

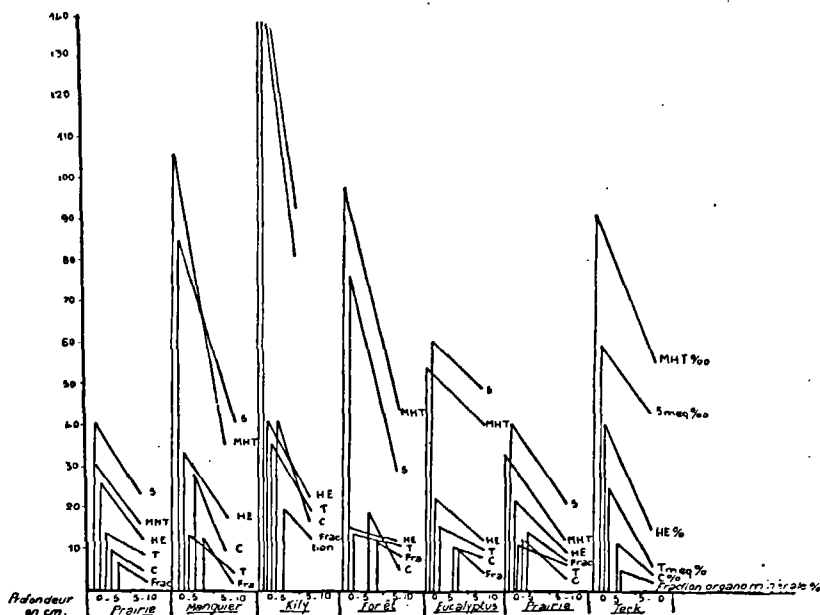


FIG. 37. — Influence de la végétation sur l'évolution d'une carapace sableuse.

diverses et souvent un important feutrage de Sélaginelles. Les terrasses plus sèches ne supportent qu'un scrub épineux à dominance d'Euphorbiacées. Ces formations souvent entremêlées ne paraissent pas marquer la moindre différence dans leur influence sur l'évolution du sol, aussi avons-nous regroupé les divers échantillons analysés en un type unique.

L'humidité équivalente et la capacité d'échange du complexe organo-minéral ($r = 0,95$, $b_{xy} = 0,60$), et l'équilibre des bases ($r = 0,94$, $b_{xy} = 0,30$) présentent des valeurs comparables à celles relevées sous *Tamarindus* et sous *Hyphaene*.

Par contre la quantité d'azote retenue est relativement élevée bien qu'en rapport avec la quantité de matières humiques : $r = 0,98$, $b_{xy} = 0,24$.

Pour terminer l'étude des carapaces sableuses, nous étudierons deux

plateaux de sable roux supportant plusieurs types végétaux. Ces exemples nous semblent assez bien résumer la nette influence des divers types de végétation sur les sols qui les supportent.

Notre premier exemple a été pris dans la région de Sangavato, où un

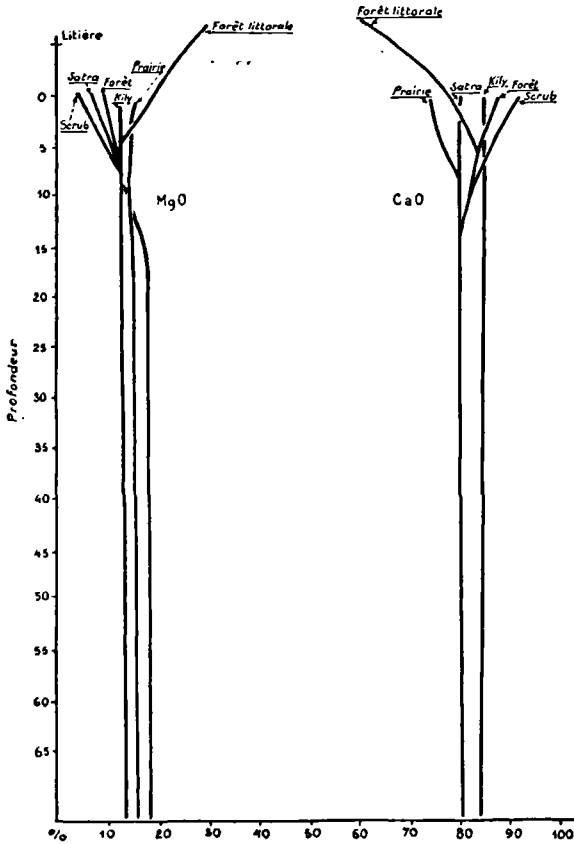


FIG. 38. — Variations avec la profondeur et la végétation de l'équilibre calcium-magnésium.

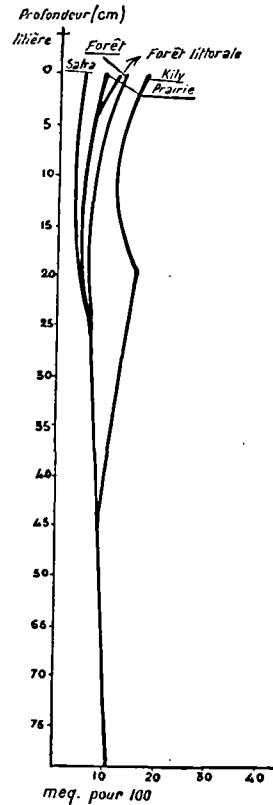


FIG. 39. — Évolution quantitative des bases échangeables avec la profondeur et selon le type végétal.

plateau de sable roux formant une carapace épaisse d'une cinquantaine de mètres sur les marnes, supporte un enchevêtrement de Kily, Manguier et Prairie à *Perotis latifolia* avec quelques pieds d'*Hyparrhenia rufa* et *Helopogon contortus* (fig. 37).

Notre second exemple a été pris dans la région de l'Ankarafantsika où un plateau de sable roux faiblement incliné présente un bel enchainement

des divers stades de dégradation : forêt tropophile à lianes abondantes reconstituée depuis une vingtaine d'années ; plantation d'*Eucalyptus citriodora* vieille de 17 ans sans tapis herbacé et à faible litière ; prairie très dégradée à *Perotis latifolia* et quelques touffes d'*Eragrostis tenella* et *Pennisetum*

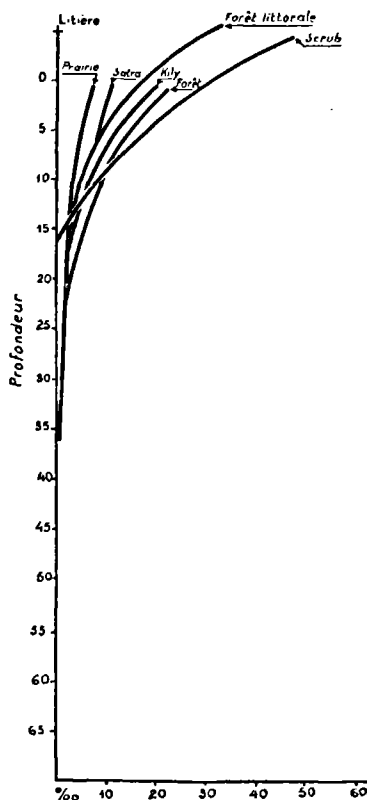


FIG. 40. — Évolution quantitative des matières humiques avec la profondeur et selon le type végétal.

polystachyum ; plantation de *Tectona grandis* âgée de 12 ans sans tapis herbacé mais à épaisse litière (fig. 37).

Nous voyons que les teneurs en matières humiques et en bases échangeables dans le profil sont corrélatives et ne dépendent qu'assez peu de la quantité de matière organique, mais de son humification. Celle-ci paraît sous l'influence directe de l'espèce végétale entretenant une vie bactérienne et une humidité plus ou moins favorable à la décomposition.

L'importance des bases minérales libérées par la décomposition des matières organiques, de même que l'importance de l'humus formé, varient

avec l'espèce végétale. Les plus fortes valeurs seront trouvées sous *Tamarindus*, Forêt, Manguier et Teck. La quantité de fraction organo-minérale trouvée dans ces sols sera forte pour le *Tamarindus*, moins forte pour la forêt et assez faible sous les autres types végétaux. Par suite, la somme des bases

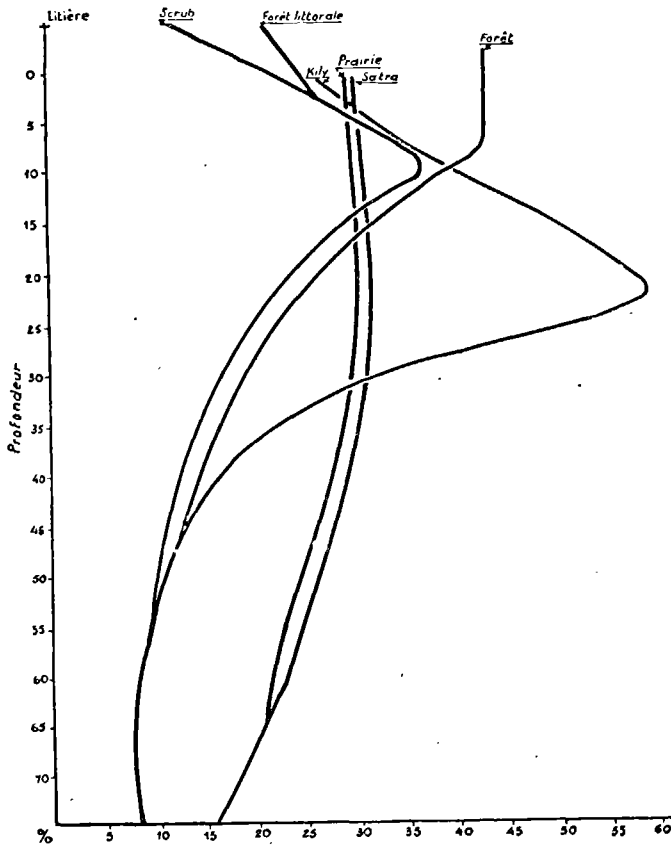


FIG. 41. — Variations du pourcentage d'humification de la matière organique avec la profondeur et selon le type végétal.

retenues dans le complexe échangeable sera très forte sous *Tamarindus*, mais comparée au taux des matières humiques, sera élevée sous prairie et Eucalyptus, intermédiaire sous Manguier et faible sous forêt et Teck. La capacité d'échange et l'humidité équivalente possèdent des valeurs dont l'équilibre obéira lui aussi à des variations comparables : faibles pour la forêt et le *Tamarindus* ; plus fortes pour le Manguier, la prairie, l'Eucalyptus et le Teck.

Pour résumer cette étude nous dirons donc que pour tous les types végé-

taux sur sables littoraux, la formation du complexe organo-minéral et, par suite, l'humidité retenue seront faibles. La valeur de la capacité d'échange suit assez bien les variations du taux de ce complexe. L'équilibre des bases varie légèrement en surface selon l'espèce végétale mais reste très comparable dans le profil pour les diverses espèces étudiées, à l'exception du *Tamarindus* où la proportion du calcium reste plus importante dans tout le profil (fig. 38), la somme des bases échangeables restant assez importante avec d'ailleurs un lessivage assez marqué (fig. 39) sous le *Tamarindus* et l'*Hyphaene*. La proportion d'azote retenue est variable ; mais ce type de sol reste constamment très pauvre en bases même en présence d'apports relativement importants, dus à la présence d'une forte zone radiculaire ou d'une épaisse litière.

La quantité d'humus formé à partir de ces divers types végétaux ne sera pas tellement différente, étant principalement en rapport avec la densité du couvert ; les sols sous *Hyphaene* et sous prairie resteront les plus pauvres (fig. 40). L'humification reste très superficielle et l'horizon organique pratiquement inexistant sous tous les types végétaux étudiés, sauf sous *Tamarindus* où l'épaisseur de la litière permet une meilleure décomposition et l'apparition d'un véritable horizon organique (fig. 41).

En comparant les résultats obtenus dans les autres types de sols et les valeurs obtenues par analyse des sols sableux et de leurs fractions densimétriques, nous observons que la solubilisation de l'humus par l'acétate d'ammonium est sous l'influence du climat et du taux de calcium. Les sables hydromorphes présenteront une libération d'éléments minéraux comparable à celle observée dans les sols gneissiques et volcaniques, tandis que les sables roux pour un taux de calcium échangeable plus élevé, présenteront une solubilisation de l'humus moins forte que pour les sols précédents et se rapprocheront du phénomène décrit pour les alluvions décalcariées (fig. 57 et 58).

CHAPITRE V

Analogies et dissemblances des types végétaux étudiés. Comparaison de leur influence sur l'évolution des sols.

Dans ce chapitre nous nous efforcerons d'envisager systématiquement l'influence de l'humus dans la conservation des sols en étudiant tout d'abord un certain nombre de types végétaux depuis la composition des matières premières employées jusqu'à l'évolution du sol couvert de ce matériel.

Nous comparerons ensuite les résultats ainsi obtenus et les caractères principaux des types de végétation étudiés au chapitre précédent.

A. — ÉTUDE DE LA DÉCOMPOSITION DE QUELQUES VÉGÉTAUX

La composition des végétaux variant avec l'âge et la saison, nous n'aurons pas la prétention de donner des analyses typiques de végétaux mais seulement d'établir la composition moyenne des échantillons botaniques ayant servi à nos expériences et la proportion d'éléments libérés au cours de cette décomposition.

Nous avons réalisé pour 19 végétaux caractéristiques, deux séries d'expériences portant sur leur décomposition et la répercussion de cette décomposition sur le sol.

Dans une première série nous avons utilisé 100 gr de végétaux séchés à 105°; ces matières végétales composées de feuilles et de leurs pétioles sont déposées dans des bacs en porcelaine où l'on ajoute de l'eau jusqu'à saturation de la matière végétale. Pour se rapprocher le plus possible des conditions d'une litière en place durant la saison des pluies, on maintient une température moyenne de 28° et l'on ajoute tous les deux jours la quantité d'eau nécessaire pour rétablir la saturation de la litière, qui passe ainsi par un incessant mouvement de saturation et de dessiccation sans atteindre cependant la dessiccation complète. Au bout de 10, 30, 60, 80 et 110 jours nous avons récupéré, par lavage de la matière végétale au-dessus d'un tamis fin, les matières solubilisées et nous avons analysé ses constituants sur des quantités aliquotes de liquide.

Les moyens matériels dont nous disposons ne nous ont pas permis de nous rapprocher davantage des conditions d'une litière comme nous aurions voulu le faire, en multipliant les échantillons traités en faisant à chaque fois l'analyse complète de l'un des échantillons. Nous pensons néanmoins que la solubilisation progressive de notre matériel permet de tirer quelques enseignements sur la décomposition des constituants de litières en place.

Dans une seconde série d'expériences, nous avons utilisé de la terre provenant d'un sol latéritique. Cette terre prélevée dans un horizon profond a été homogénéisée et tamisée de façon à constituer un échantillon moyen disposé dans des pots en terre cuite de même taille, sur 15 cm au-dessus d'un fond de sable grossier (supérieur à 2 mm) préalablement lavé et débarrassé de tout élément solubilisable. Nous avons disposé à la surface de ces pots 30 gr de matière végétale de même provenance que dans l'expérience précédente. Cette litière préalablement saturée d'eau et maintenue en cet état par un apport trihebdomadaire de 15 cl d'eau. Les pots placés dans une chambre humide et chaude (28° C) subissent chaque semaine une période de demi-dessiccation de 2 jours pour se rapprocher des conditions naturelles réalisées durant la saison des pluies sous litière en place, et pour éviter les moisissures des végétaux. Au bout de 3 mois nous avons prélevé un échantillon moyen des 5 premiers cm de chaque pot et déterminé les éléments échangeables au spectrophotomètre de flamme Beckman et dosé les matières humiques solubles à la soude.

Nous donnons dans le tableau 63 l'analyse des 5 premiers cm du témoin au début et à la fin de l'expérience.

Dans une troisième série d'expériences, nous avons mis en place sur un sol limono-argileux une série de carrés de 2 mètres couverts de paillis divers avec 4 répétitions. Ces litières ont été renouvelées à deux reprises, à la fin de la première saison des pluies et au début de la seconde. Ces carrés ont été analysés au bout de 2 ans dans les mêmes conditions que les sols de l'expérience précédente. Cette expérience n'a pu malheureusement, faute de place et de moyen, grouper tous les types végétaux des deux expériences précédentes, mais concerne néanmoins les types les plus caractéristiques. Nous donnons dans le tableau 64 l'analyse moyenne des 10 premiers cm des carrés témoins au début et à la fin de l'expérience.

La séparation et le dosage des composants des matières organiques ont été réalisés selon les méthodes préconisées par G. PICHARD (206) (3) et NORMAN, BARTHOLOMEW (178).

Nous examinerons successivement les diverses espèces végétales étudiées et nous tenterons ensuite de dégager les enseignements pratiques qui peuvent être tirés de cette étude. Pour respecter l'ordre adopté dans le chapitre précédent, nous étudierons d'abord la forêt, ensuite les diverses espèces prairiales et enfin, les essences pouvant intéresser le reboisement. Du point de vue forestier, nous avons préféré préciser davantage les matériaux de l'expérience et avons choisi pour définir l'évolution de ce terme trois essences courantes dans les forêts secondaires de l'Ile : le Rotra (*Eugenia sp.*), le Sevabe (*Solanum auriculatum*) et le Hafatra (*Dombeya sp.*).

Pour étudier la prairie, nous avons choisi, soit pour leur grande fréquence à Madagascar, soit pour l'intérêt qu'ils présentent comme pâturages : *Aristida similis*, *Imperata cylindrica*, *Hyparrhenia rufa*, *Rhynchelytrum roseum*, *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, *Pennisetum clandestinum*.

N'ayant pu nous procurer de feuillage de *Tamarindus indica*, nous avons pensé lui substituer dans cette étude un *Cassia sp.* fréquent sur la côte Ouest, assez voisin du *Tamarindus* tant dans sa composition végétale que dans sa situation climatique et géographique habituelles.

Parmi les essences de reboisement acclimatées à Madagascar et déjà utilisées largement ou susceptibles de l'être, nous avons choisi : *Eucalyptus tereticornis*, *Pinus khasya*, *Cupressus lusitanica*, *Grevillea robusta*, *Acacia dealbata*, *Melia azedarach*, *Casuarina sp.* Et enfin comme essence très largement répandue et intéressante à titres divers, le Manguier.

La valeur de solubilisation des différents éléments de la matière végétale ne marque que les phénomènes préalables se passant dans les litières durant la saison des pluies. Pour estimer cette solubilisation, nous avons établi deux rapports : le premier tient compte des matières progressivement

(3) Ces séparations ont été réalisées avec la collaboration de Mme Boisdard, que nous remercions ici de son efficace collaboration.

solubilisées à l'eau dans notre première série d'expériences et compare leur pourcentage au taux des matières solubles à l'eau, extraites lors de l'analyse totale de la matière végétale (fig. 42). Le second utilise de même les valeurs

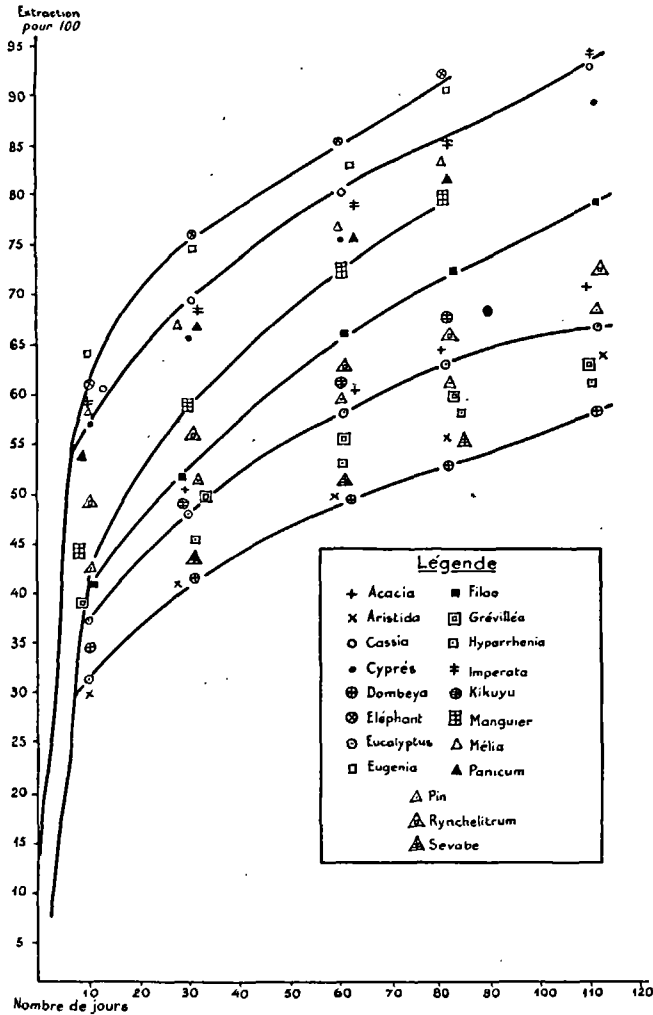


FIG. 12. — Libération progressive des produits solubles à l'eau.

des matières minérales solubilisées progressivement dans la première expérience et les compare au taux des matières minérales solubles, extraites lors de l'analyse totale (fig. 43).

Comme nous l'avons dit, il eut été préférable de multiplier le nombre

d'échantillons pour obtenir chaque valeur des différences trouvées dans l'analyse totale, malheureusement les moyens matériels nous manquaient, mais si les comparaisons faites ici sont moins rigoureuses, nous pensons cependant qu'elles permettent encore nombre de constatations intéressantes.

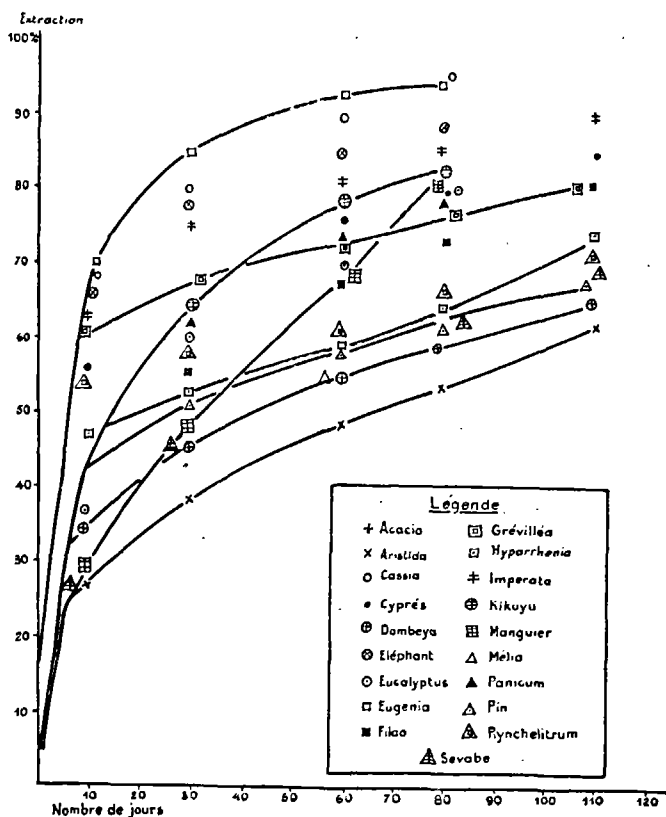


FIG. 13. — Libération progressive des matières minérales solubles à l'eau.

1^o ESSENCES FORESTIÈRES (tableaux 65 à 67).

La décomposition du *Dombeya* et du *Solanum* est lente, par contre celle de l'*Eugenia* est très rapide (fig. 42 et 43). La proportion de matières extractibles à l'eau est comparable pour les trois espèces ainsi que leur composition moyenne, mais le *Solanum* est beaucoup plus riche en éléments minéraux, en lignine et en humine. La solubilisation progressive par l'eau entraîne la plus forte partie des matières uroniques du *Dombeya* et de l'*Eugenia* tandis que le *Solanum* n'en cède qu'une faible part.

La détermination par le permanganate de la matière organique solu-

bilisée correspond, pour ces espèces, à la valeur de 1 mgr. 8 de matière organique par 1 cm de MnO_4K n/10, et d'autre part, les produits solubilisés possèdent tous une fraction précipitable à l'acide sulfurique n/20. Ces caractères se rapprochent beaucoup des déterminations courantes effectuées pour déterminer les matières humiques.

L'influence de la décomposition de ces litières sur un sol gneissique est fonction des quantités de matières minérales et de matières organiques libérées. Au bout de trois mois de lessivage intensif sous une chaleur constante, le témoin se montre très appauvri (tableau 67) en éléments échangeables et en humus.

Sous litières d'*Eugenia* (2^e série d'expériences), au bout de 2 mois la chaux et les matières organiques ont diminué, par rapport au témoin, une partie de la chaux est probablement entraînée car le taux de potasse reste inchangé et celui de magnésie augmente, probablement à la suite d'une libération à partir de la litière et peut-être aussi à partir de la magnésie totale du sol. Il en est de même pour le *Dombeya* avec un équilibre différent entre les bases échangeables.

La solubilisation beaucoup plus lente de la litière de *Solanum* entraîne un enrichissement beaucoup plus marqué du sol, la chaux elle-même, bien que moins abondante que dans les deux litières précédentes, étant libérée plus lentement se trouve beaucoup moins lessivée.

Au bout de 2 ans de décomposition continue comprenant des périodes de lessivage alternant avec des périodes de concentration des solutions, les sols sous *Eugenia* et *Solanum* sont parmi les plus riches en bases échangeables ainsi qu'en acides humiques. Par contre, le stock humique est moins riche sous *Eugenia* que sous *Solanum* par suite d'une humification plus rapide, marquée par une activité cellulolytique deux fois plus intense (4).

2^o ESSENCES PRAIRIALES (tableaux 68 à 74).

La solubilisation de la matière végétale de ces essences, dans les conditions de notre première expérience, est relativement lente sauf pour l'*Imperata* et l'*Elephant grass* (*Pennisetum purpureum*). Le pourcentage de matières solubles à l'eau est très variable : assez fort pour le Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), le *Panicum maximum*, le *Rhynchelytrum roseum*, l'*Hyparrhenia rufa* ; moyen pour le *Pennisetum purpureum* et l'*Imperata cylindrica*, il est très faible pour l'*Aristida similis*. A l'exception du *Pennisetum clandestinum* toutes les Graminées étudiées sont pauvres en corps gras, résines et gommes et riches surtout en cellulose. La détermination de la matière organique solubilisée par le permanganate correspond en moyenne à 1 mgr. 8 pour 1 cm³ de MnO_4K n/10.

La quantité de matières minérales est variable et ne possède pas une

(4) Les déterminations microbiologiques sont dues à l'obligeance de M. Moureaux, microbiologiste de l'I.R.S.M.

grande signification en elle-même étant soumise à de fortes variations avec l'âge et la saison, mais leur composition reste assez comparable pour toutes les espèces, révélant une grande pauvreté en CaO , MgO et P_2O_5 à l'exception pourtant du *Pennisetum purpureum* assez bien pourvu en ces éléments (fig. 44). Les matières uroniques peu abondantes sont assez rapidement solubilisées.

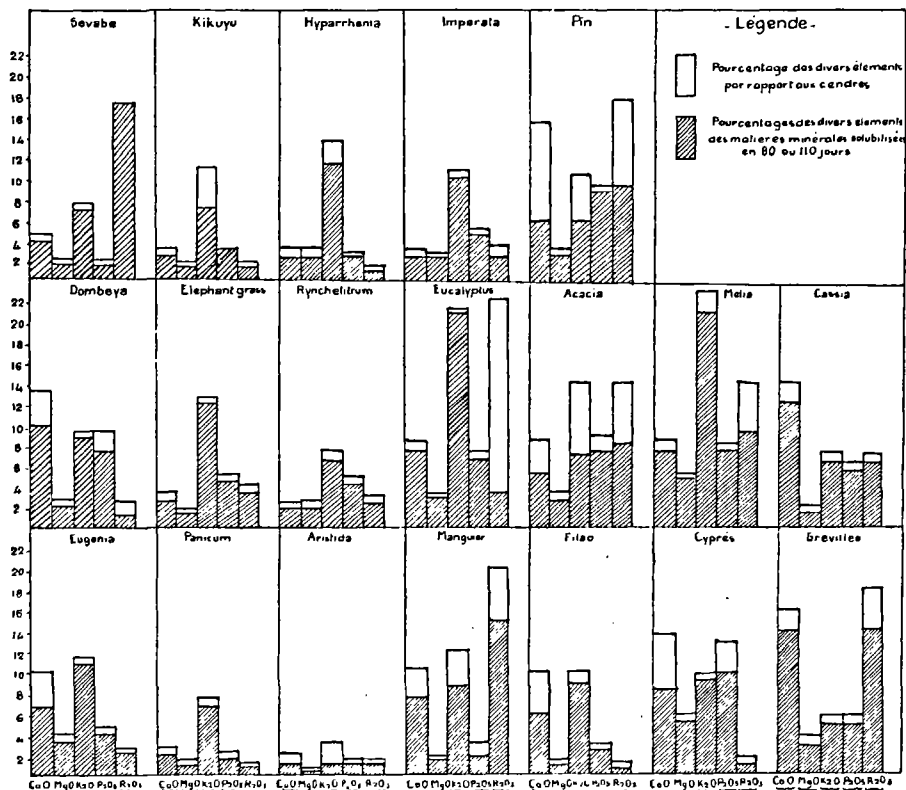


FIG. 44. — Composition minérale des végétaux étudiés.

L'influence de la décomposition de ces litières sur un sol gneissique est fonction des quantités de matières minérales et de matières organiques libérées. Au bout de 3 mois d'un lessivage intensif, nous constatons que ces sols se sont appauvris en chaux dans la même mesure que le témoin, alors qu'ils se sont un peu enrichis en magnésie et beaucoup en potasse.

La troisième série d'expériences ne porte malheureusement, faute de terrains d'essais, que sur 2 espèces graminéennes. Si, cependant nous faisons une comparaison avec les diverses couvertures végétales utilisées, nous

constatons qu'au bout de 2 ans de décomposition continue, les carrés sous *Aristida* sont parmi les plus pauvres en humus, en chaux et potasse échangeables, tandis que les sols sous *Pennisetum purpureum* marquent un enrichissement général très sensible.

La vie microbienne reflète fidèlement ces différences ; tandis que sous *Aristida*, le pouvoir cellulolytique s'est accru de 60 % en surface et 25 % à 15 cm (par rapport au témoin), il a plus que quadruplé sous *Elephant grass*.

3° ESSENCES DE PEUPELEMENT ET ESSENCES DIVERSES (tableaux 75 à 83).

Les quantités de matières minérales apportées par la litière sont assez variables (fig. 44) : faibles pour l'*Eucalyptus*, le Pin, le Cyprès et l'*Acacia* ; moyens pour le *Cassia*, le *Grevillea* et le Filao ; elles sont fortes pour le *Melia* et le Manguier. Mais ces valeurs peuvent varier énormément selon l'âge et la saison, aussi les étudierons-nous, non pour leur valeur totale, mais pour l'équilibre de leurs composants.

La composition organique de ces essences est très variable entraînant des différences très marquées dans la valeur des principes solubles. Le *Grevillea* et le Filao sont très riches en cellulose et se solubilisent lentement. Le Cyprès, l'*Acacia* et le Manguier sont assez riches eux aussi en cellulose et s'ils se solubilisent plus vite, ils ne libèrent à l'eau qu'une quantité assez faible d'éléments. La valeur des matières organiques solubles oxydables se situe entre 1,25 mgr et 2 mgr pour 1 cm³ de MnO₄K n/10.

L'apport de principes minéraux et organiques par ces essences est extrêmement variable en quantité et en qualité, aussi n'étudierons-nous que l'influence de leur décomposition sur les caractères du sol.

Le *Melia* apporte au sol une quantité de matières végétales très riches en humus, parmi toutes les essences étudiées elle est susceptible d'apporter au sol la plus forte quantité de chaux, de magnésie, de potasse et de phosphore. Le *Cassia* plus pauvre en magnésie et en potasse, reste très riche en humus, en chaux et en phosphore. Ces deux essences étudiées en tant que couverture du sol laissent après 3 mois de décomposition et de lessivage, un sol fortement enrichi en chaux échangeable et en matières humiques. Après deux saisons de pluies, les sols sous couverture de *Melia* et de *Cassia* voient leur capacité d'échange sensiblement augmenter par rapport au témoin, et leur richesse en humus et en éléments échangeables reste comparable à ce qu'elle était au départ de l'expérience, tandis que les carrés témoins marquent une très forte diminution.

Les matières végétales d'*Eucalyptus*, riches surtout en potasse, de Manguier, riches en magnésie et potasse, de *Grevillea*, riches en chaux et celles de Filao riches en chaux et potasse, ne fournissent qu'une quantité relativement faible de matières humiques, mais n'entraînent pas moins après 3 mois de décomposition sur le sol, une augmentation notable de la capacité d'échange de celui-ci, bien que sa richesse en éléments échangeables et

en humus ne soit guère plus élevée que dans le sol témoin. Les litières d'*Eucalyptus* et de Manguier semblent même favoriser une certaine acidification du sol au début de leur décomposition, mais permettent après une période de 2 ans un enrichissement assez marqué, surtout en chaux échangeable. Cet enrichissement semble du même ordre que celui constaté pour un sol couvert de 5 cm de tourbe. Sol couvert de tourbe après 2 ans : CaO ‰ : 0,71 — MgO : 0,11 — K₂O : 0,12 — Capacité d'échange % : 11,4 — Matières humiques ‰ : 4,2. Le pouvoir cellulolytique doublé sous couverture de tourbe est quadruplé sous *Eucalyptus*. Le taux des Azotobacters et des Clostridium reste inchangé, mais le pouvoir ammonifiant est augmenté de 50 % dans les deux cas.

Les litières de Cyprès riches en humus, magnésie et phosphore, comme celles d'*Acacia* beaucoup plus pauvres ne procurent guère après trois mois qu'un très léger enrichissement du sol en potasse.

Le Pin proportionnellement riche en matières humiques et pauvre en matières minérales semble provoquer après une décomposition de 3 mois une acidification du sol en même temps que son appauvrissement en chaux. Cette acidification reste encore sensible après deux ans et, si les matières humiques trouvées dans le sol sont assez élevées, la capacité d'échange du sol et le taux des éléments échangeables sont très bas et voisins de ceux du sol témoin, resté sans protection depuis le même laps de temps. Le pouvoir cellulolytique et le pouvoir ammonifiant sont aussi forts que dans les sols forestiers, mais le taux d'*Azotobacters* est diminué de 50 % en surface par rapport au témoin et le taux de *Clostridium* reste inchangé.

Nous voyons que l'intérêt des diverses espèces étudiées est très différent et que si l'on envisage leur utilisation pour la reforestation, il faudra tenir compte non seulement de leurs exigences propres, mais aussi et surtout des répercussions qu'elles entraîneront dans l'évolution du sol.

Ainsi, si le *Melia* et le *Cassia* paraissent intéressants pour tous les types de sol, le Pin et, à degré moindre le Cyprès, risquent d'entraîner pour des sols granito-gneissiques déjà pauvres, une évolution marquée vers l'acidification et le lessivage. Le reboisement effectué avec ces espèces ne paraît donc acceptable que pour des sols riches et peu profonds ou à nappe phréatique assez haute comme dans le cas des sols noirs basaltiques.

B. — RÉPERCUSSIONS DU TYPE DE VÉGÉTATION SUR L'ÉVOLUTION DU SOL

Nous venons de voir que la vitesse de décomposition des diverses matières végétales et la valeur des éléments libérés par celle-ci variaient énormément avec le type considéré. Nous avons vu également, au moyen des trois séries d'expériences décrites, que pour les conditions climatiques dans lesquelles nous opérons, le sol conservait une quantité plus ou moins importante des éléments organiques et minéraux apportés par la végétation.

Nous essayerons maintenant d'appliquer ces quelques données à l'examen critique de l'évolution des types végétaux pour les principaux types de sols malgaches.

Nous avons constaté que le terme de matières humiques englobait en réalité une grande variété de composés organiques. Nous n'avons pu aborder ici l'étude de leur composition, étude sur laquelle de très nombreux auteurs

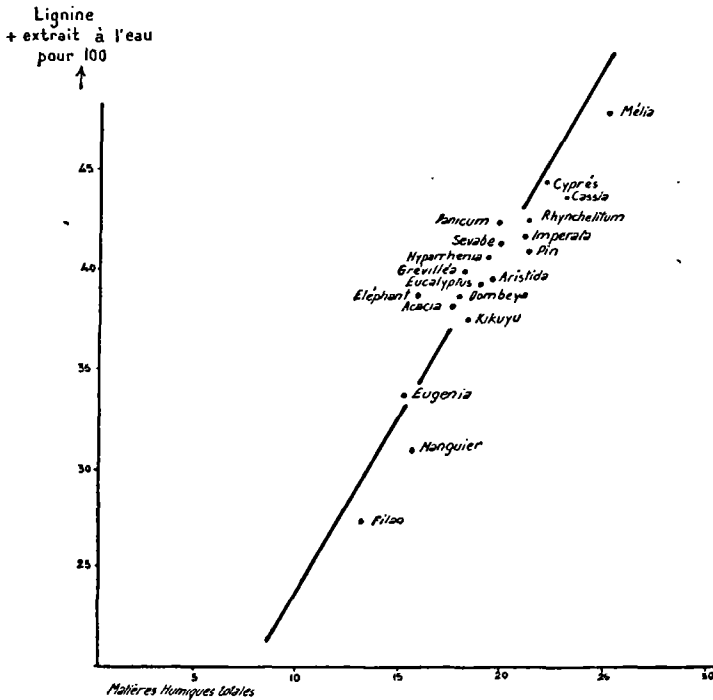


FIG. 45. — Accroissement corrélatif du taux de matières humiques et du taux de matières solubles à l'eau et au phénol chlorhydrique.

se sont penchés sans parvenir à une communauté de vue. Dans un précédent travail (187-189), nous avons tenté de résumer l'opinion des auteurs les plus connus et nous nous contenterons de signaler ici deux constatations intéressantes qui se dégagent de notre première série d'expériences :

1° Pour les 19 types de matières végétales étudiés, la quantité d'extrait à l'eau (matières azotées, matières osidiques, matières minérales) et la quantité d'extrait au formol chlorhydrique (lignine) représentent une fraction assez constante des matières solubles à la soude (matières humiques totales) (fig. 45).

2° La quantité de matières humiques obtenue à partir des différentes matières végétales ne présente aucun rapport avec les quantités de polyholsides, polyuronides, protéides et tanins fournies par ces mêmes matières. Par contre, il semble que la partie de ces composés solubilisés dans l'eau,

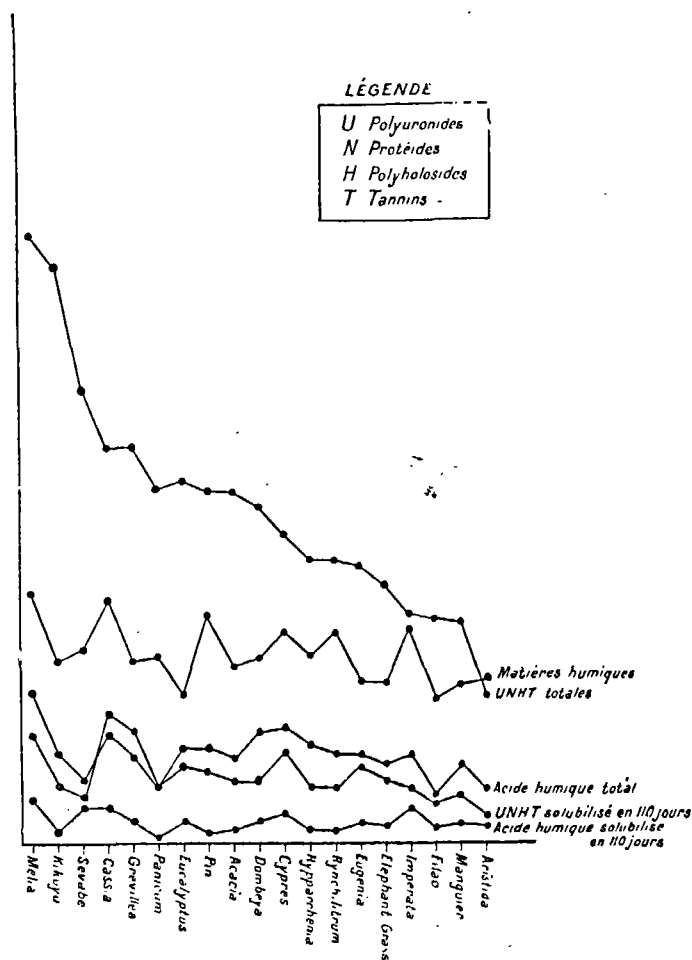


FIG. 46.— Solubilisation des matières organiques des litières végétales au bout de 110 jours.

au bout de 80 à 110 jours présente pour chaque espèce végétale une nette analogie avec la quantité des matières humiques obtenues. Il existe de même une apparente relation entre la quantité de ces matières humiques précipitables à l'acide sulfurique $n/20$ et la quantité de matières précipitables

par ce même acide, dans la somme des matières solubilisées à l'eau durant le temps de l'expérience de décomposition (fig. 46).

Il est admis en général, que quelle que soit l'origine des matières humiques, leur parenté est évidente. Elles possèdent toutes des groupes aromatiques. Les quantités d'humus retirées du sol varient avec la méthode d'extraction

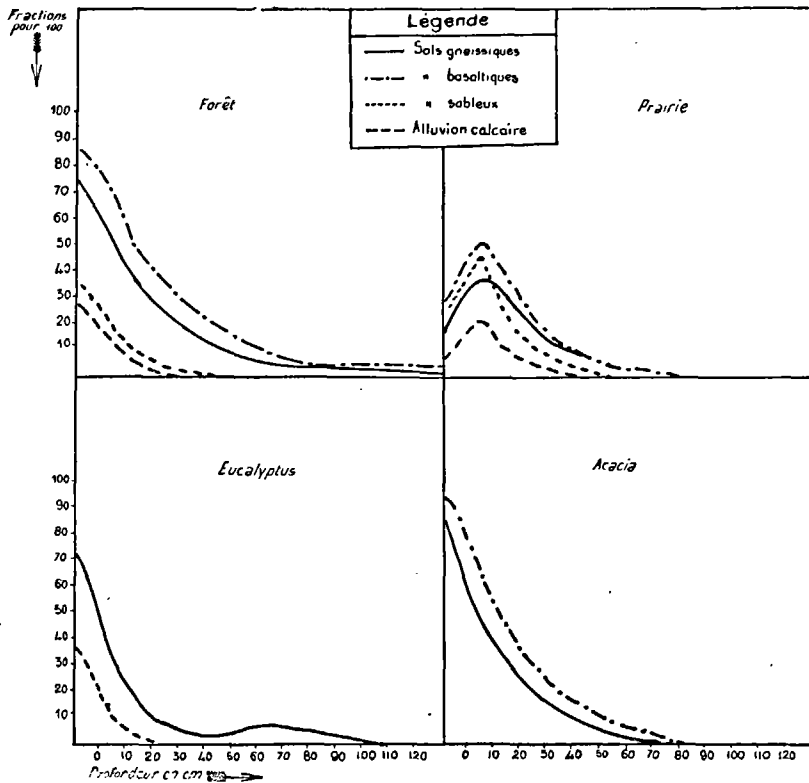


FIG. 47. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (Fractions de densité inférieure à 2,4).

mais pour une méthode déterminée, la quantité, la composition et les propriétés générales de l'humus présentent une nette relation avec le type de sol (61-62).

L'importance de ces variations et de cette relation semble être essentiellement fonction du régime climatique sous lequel le sol s'est formé (112-134). Ce régime agira sur l'importance et l'activité de la microflore du sol (145), déterminant d'importantes variations du taux des matières humifiées et de l'azote (81). Pour une même température la quantité d'eau tombée

influera, moins sur la quantité d'humus formé, que sur sa répartition dans le profil (242-273) et sur sa teneur en azote (115).

Pour notre part nous pensons que les conséquences entraînées par la variation de tous ces facteurs sont subordonnées dans une large mesure au type de végétation. Nous avons vu précédemment que quatre valeurs

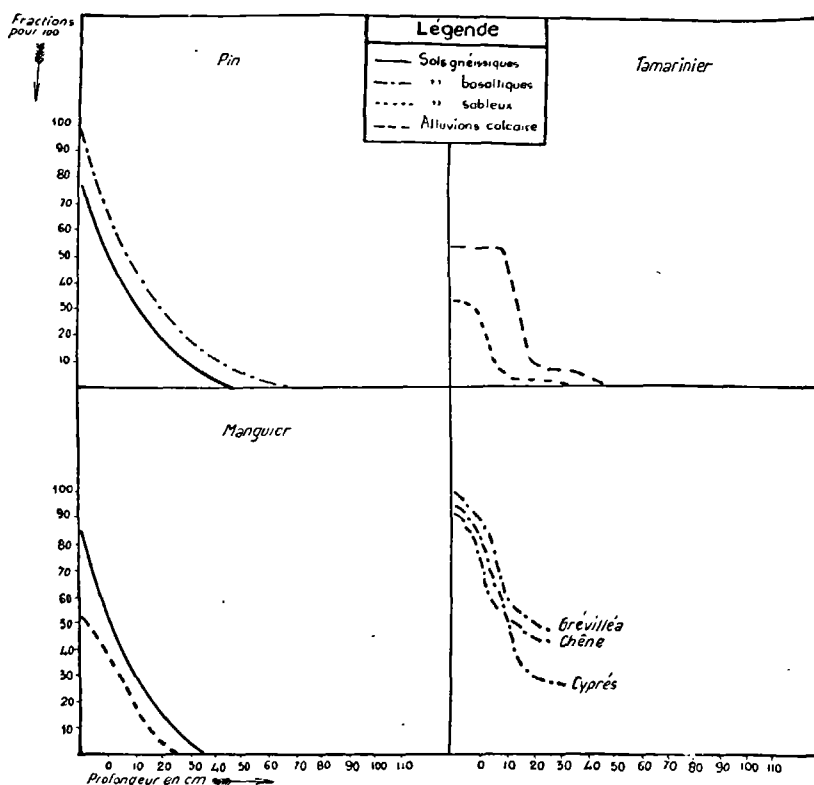


FIG. 48. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (Fractions de densité inférieure à 2,4).

essentielles : l'humidité équivalente, la capacité d'échange, la somme des bases échangeables et le taux d'azote, étaient sous la dépendance directe du complexe organo-minéral du sol.

Quelques graphiques résumant les études du chapitre précédent nous montrent clairement les relations existant entre ces valeurs, telles que nous avons tenté de les définir (fig. 47 à 60).

Sous la forêt se constitue une litière et un lacs de racines très importants. Cette matière végétale se décompose et libère une grande quantité de bases

solubles. L'épaisse litière empêche dans une large mesure l'action du ruissellement mais retient une forte quantité d'eau qui, s'infiltrant dans le sol plus lentement mais sur une durée beaucoup plus longue, entraîne un lessivage intense des bases libérées et dans une certaine mesure des matières humiques en particulier de l'acide fulvique.

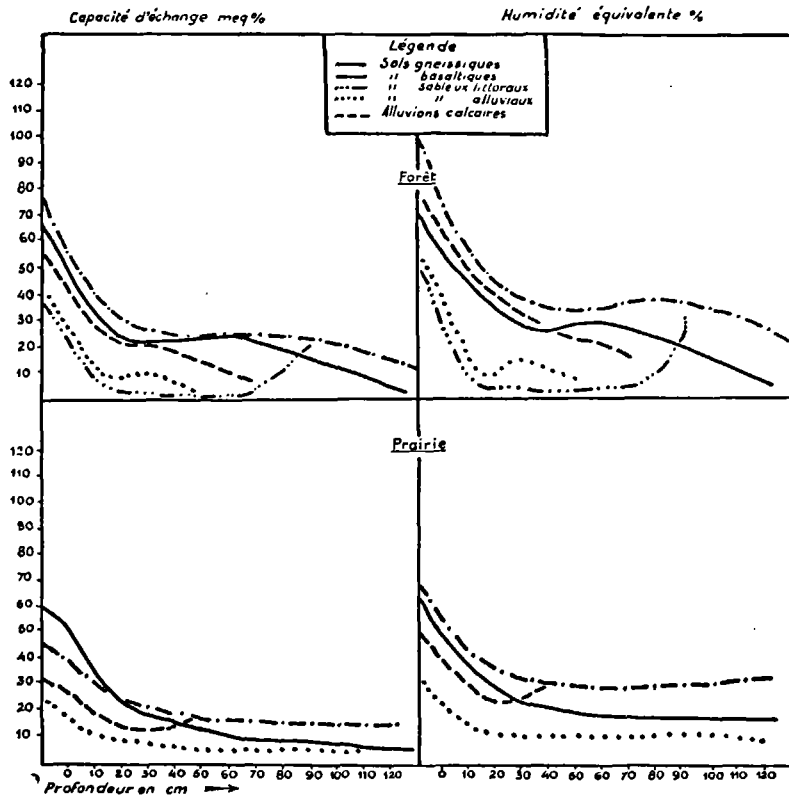


FIG. 49. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (constantes physiques).

La diminution de ces éléments à partir de la surface sera extrêmement rapide mais cependant, pour les forêts établies sur sols gneissiques et sur sols basaltiques, la présence d'un complexe organo-minéral important assure une rétention marquée et, si nous ne trouvons que rarement un horizon d'accumulation de ces éléments en profondeur, cependant l'horizon humifère est beaucoup plus épais et le profil reste riche en matières humiques et en bases échangeables jusqu'à une forte profondeur.

Les sols sous forêt établie sur sables subissent un lessivage beaucoup plus accentué et présentent un horizon d'accumulation très caractérisé.

Dans les zones de forêt sur sables roux les chutes de pluies sont beaucoup plus faibles, cependant sur de tels sols la perméabilité est grande, aussi le lessivage des horizons superficiels est fort et s'accompagne d'une accumulation à faible profondeur, tant des éléments argileux que des bases échangeables.

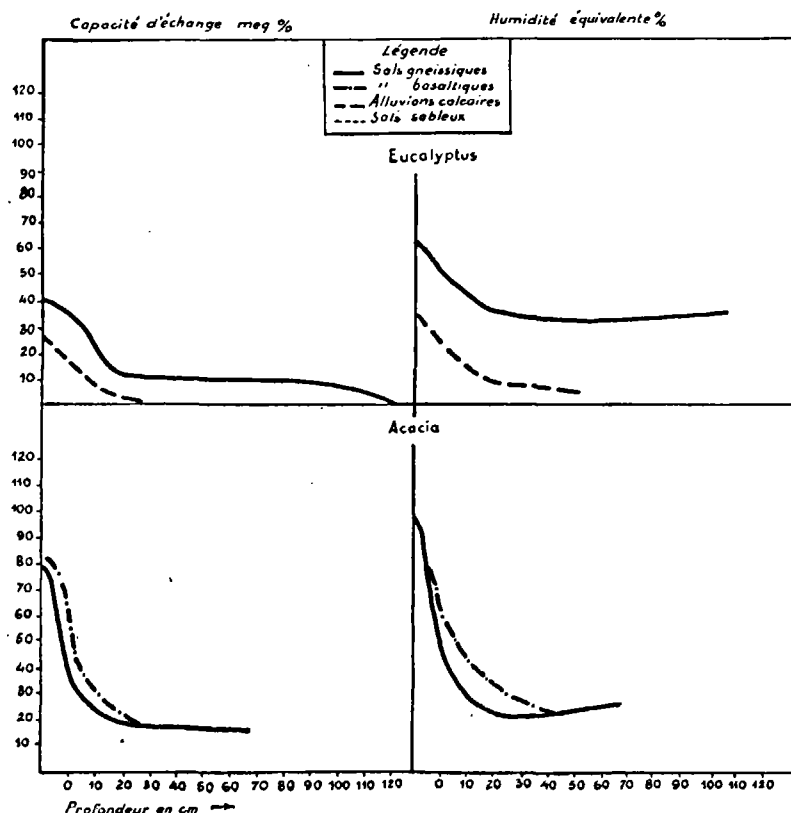


FIG. 50. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (constantes physiques).

Sur alluvions décalcarifiées, l'influence de la végétation paraît beaucoup moins nette dans les forêts-galeries que nous avons étudiées. Ces sols de terrasse restent très secs, aussi la décomposition du peu de matériel organique non entraîné par le ruissellement ne permet la production que d'une très faible quantité d'humus. Cependant, l'influence de la forêt se manifeste dans la formation d'un complexe argilo-humique et une décalcarification sensible des horizons superficiels.

— Les plantations de *Cinchona* utilisant des sols récemment déforestés

présentent les mêmes caractères que ceux-ci, avec des valeurs d'autant plus faibles que celles-ci étaient faibles au départ, que le défrichement est plus ancien et le couvert des nouvelles plantations moins dense (cas des plantations sur sol gneissique de la Mandraka).

— Les *Eucalyptus* ne présentent qu'une litière assez peu abondante

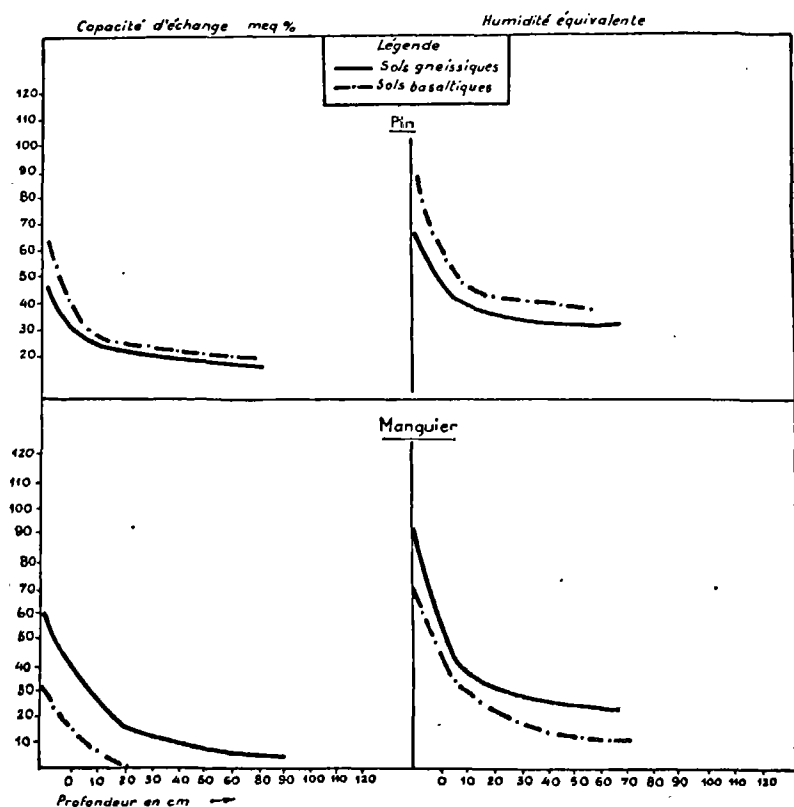


FIG. 51. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (constantes physiques).

mais se décomposant bien. Le complexe argilo-humique est assez faible et les bases libérées par la litière sont facilement entraînées, amenant un léger enrichissement en profondeur.

L'humidité équivalente est assez élevée mais par contre, malgré la quantité d'humus formé, la capacité d'échange est faible comme le laissait supposer le faible taux de bases retenues. Il est possible que la transformation des essences libérées par la décomposition de la litière soit cause de ce phénomène.

— Les Pins possèdent en général une épaisse litière dont la décomposition très lente ne fournit qu'une très faible quantité de matières humiques. Le complexe formé, assez important, est surtout riche en fraction inférieure à 2, aussi sa capacité d'échange est-elle faible et le lessivage des profils est très net. Il sera intéressant dans des travaux ultérieurs de vérifier si ce processus ne peut même entraîner un début de podzolisation du sol.

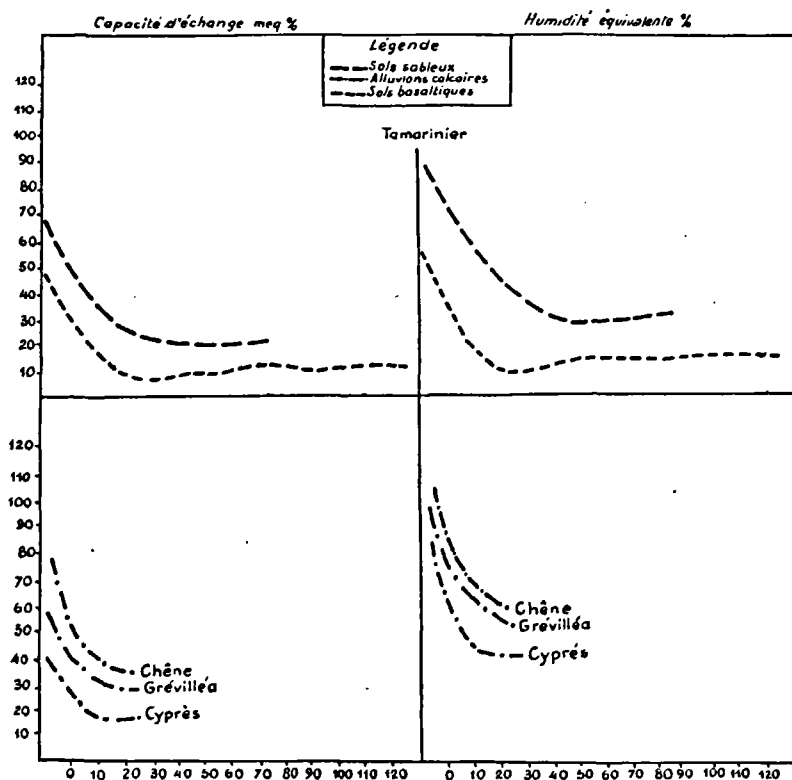


FIG. 52. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (constantes physiques).

— Les Cyprés semblent apparentés aux Pins tandis que le *Grevillea* et le Chêne tout en présentant des équilibres comparables possèdent des taux plus élevés en bases et en matières humiques. Pour ces trois types de végétation, le complexe argilo-humique formé est exceptionnellement élevé, entraînant une forte humidité équivalente. Pour le Cyprés la capacité d'échange est relativement plus faible que pour les deux autres peuplements et se rapproche des chiffres trouvés sous Pins. Ces peuplements étant assez peu nombreux, nous ne nous risquons pas à des conclusions d'ordre général.

Cependant, nous avons constaté que malgré la faible valeur de la litière, ces sols présentaient une excellente structure et paraissaient peu marqués par l'érosion, due au ruissellement.

— Les sols sous Tamariniers que nous avons pu étudier peuvent difficile-

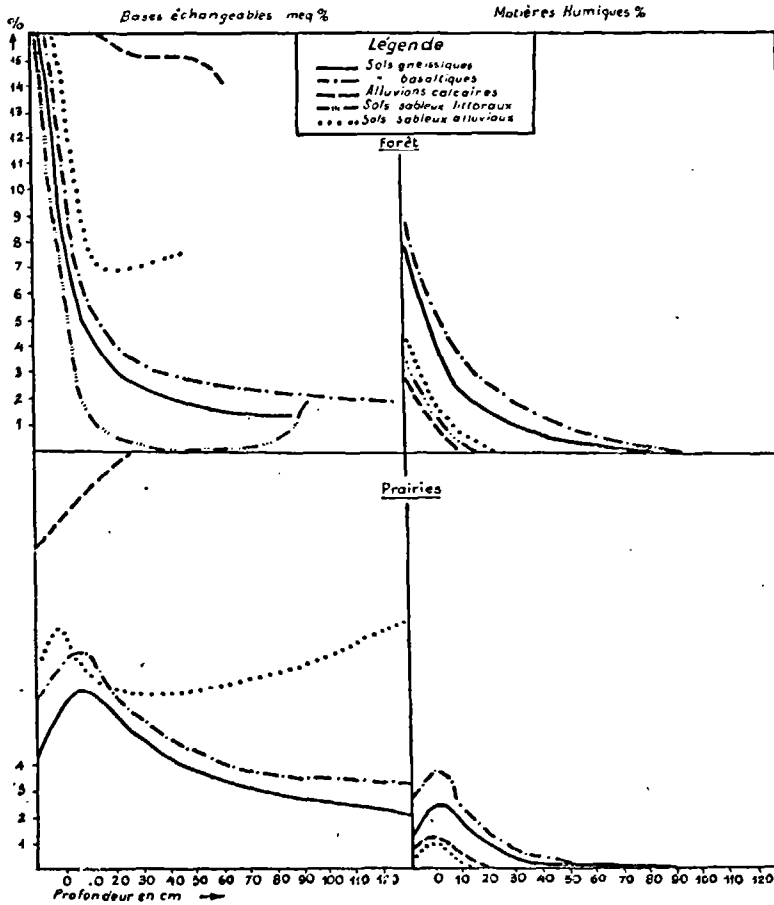


FIG. 53. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (Bases échangeables et Matières humiques).

ment être comparés aux autres types végétaux, ne se rencontrant que sur deux types de sols et sous des climats très particuliers ; cependant, nos expériences de décomposition sur des Cassias qui se rapprochent des Tamariniers par bien des caractères, nous incitent à esquisser quelques comparaisons générales avec ce type de végétation.

Très riches en bases, les matières végétales fournissent aussi un humus

abondant et de tous les types végétaux établis sur les sables roux ou les sols calcaires, le Tamarinier est le seul à développer un horizon organique important et, l'humidité équivalente et la capacité d'échange présentent une évolution dans le profil comparable à celle des Manguiers.

— Plus riches que les sols sous prairies, les sols sous *Alluaudia* et Euphorbes présentent cependant des relations très comparables avec cette même augmentation caractéristique des diverses valeurs dans l'horizon superficiel, sans qu'il puisse s'agir ici de l'action indirecte du feu qui n'attaque pratiquement pas ces formations.

— Le Manguiet et l'*Acacia*, riches en bases solubles, le sont aussi en matières humiques. Ils provoquent la formation d'un complexe argilo-humique important susceptible de retenir une forte quantité de bases.

— Les sols sous *Hyphaene*, fréquemment enrichis de cendres par les feux annuels et, d'autre part, très perméables, présentent un lessivage très marqué de leurs éléments avec un enrichissement des horizons profonds.

— Les prairies présentent une évolution générale très particulière. Il convient de distinguer les divers types de prairie qui apporteront au sol des doses variables d'éléments organiques et minéraux. Nous nous permettrons cependant de les identifier toutes à un type unique présentant des relations bien particulières.

La prairie possède une litière très réduite, aussi les éléments organiques et minéraux libérés resteront, dans la majorité des cas, très faibles. Mais si le couvert végétal est assez serré, rendant le ruissellement de saison de pluies assez peu dévastateur, nous constaterons que l'horizon supérieur riche en racines et très perméable, reste aussi riche en matières humiques et retient une quantité de bases échangeables au moins égale à celui des sols forestiers. Ces teneurs diminuent très rapidement dans les horizons moyens et la somme totale des bases et des matières humiques ne présente qu'un taux assez faible. Les variations de l'humidité retenue par le complexe et de la capacité d'échange obéissent au même phénomène.

La prairie à *Imperata* présente souvent, comme nous l'avons vu, des relations particulières en désaccord avec celles définies pour la prairie. Il est en fait impossible de définir des relations plus claires pour ce type de prairie qui s'installe très souvent sur des sols riches, récemment déforestés ; d'autre fois semble constituer un stade de régénération de types de prairies en voie d'enrichissement ou enfin s'installe sur des sols mal drainés. De plus, pour certains sols sous prairie, il est probable qu'une partie de la richesse des horizons superficiels est due, pour les zones où le ruissellement est faible, à l'apport de cendres provoqué par les fréquents feux de brousse.

Comme pour les sols forestiers, les sols de prairie formée sur sables roux et alluvions calcaires marquent en profondeur un accroissement net du taux des bases échangeables. Cependant dans le cas des alluvions calcaires,

ce phénomène peut être dû en partie à la méthode d'extraction qui ne s'applique qu'imparfaitement dès que le sol contient plus de 3 % de CO_3Ca .

En résumé, la richesse globale du sol pour un climat déterminé dépend directement du type végétal, mais si l'équilibre des divers éléments entre eux

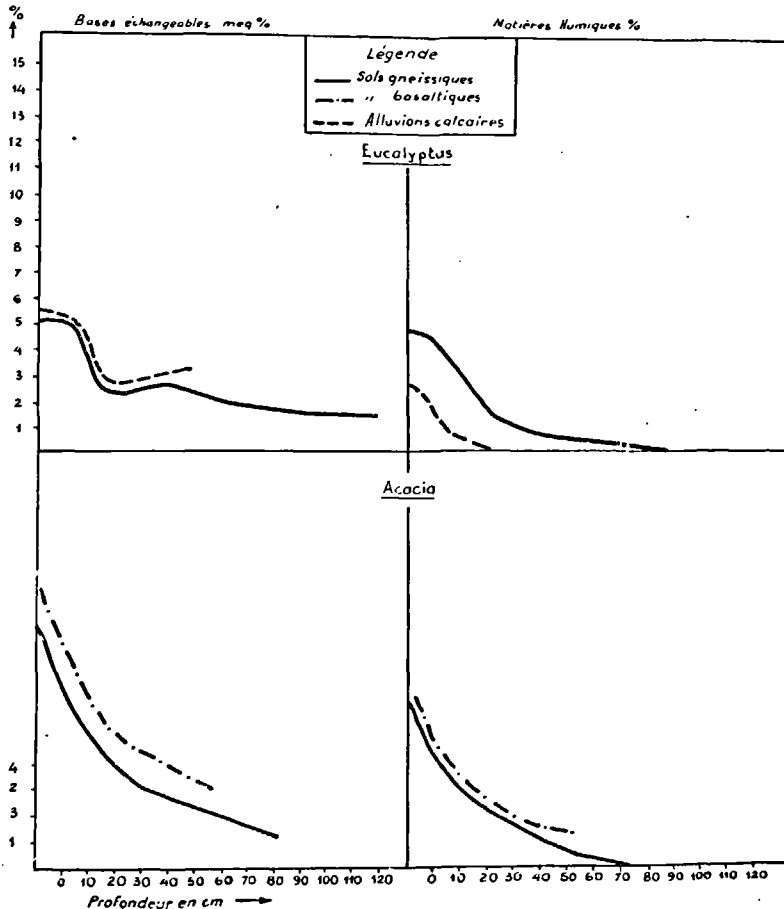


FIG. 54. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (Bases échangeables et Matières humiques).

dépend en partie de l'origine géologique du sol, il est très profondément influencé par le type de végétation.

Si nous considérons les principales constantes physiques, nous voyons que pour une même valeur du complexe argilo-organique, l'humidité équivalente sera faible pour le Scrub xérophytique, très forte pour les Tamariniers

et les *Ficus*, forte pour les Pins et intermédiaire pour les autres types examinés (fig. 53). Par contre, la capacité d'échange de ce même complexe sera, quel que soit le type de sol, très forte pour la forêt ombrophile et la forêt-galerie, plus faible pour Tamarinier et *Hyphaene*, moyenne sous Pin

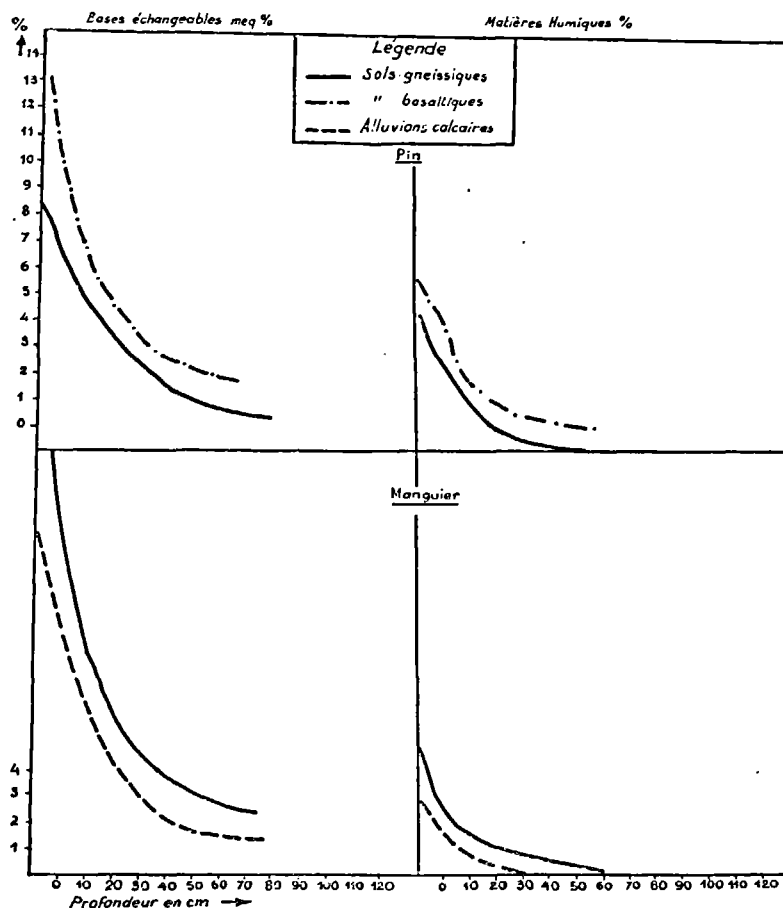


FIG. 55. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (Bases échangeables et Matières humiques).

et *Acacia* et faible sous *Eucalyptus* et Scrub. La figure 52 met en valeur d'une façon schématique ces différences particulièrement importantes.

Sous prairie, la valeur du complexe argilo-organique comme celle de la capacité d'échange sera très différente selon le type prairial et surtout l'ancienneté de son établissement, la prairie à *Imperata* se rapprochera de la forêt alors que la prairie à *Aristida* sera voisine des corrélations trouvées sous *Eucalyptus*.

L'équilibre des bases subit plus directement l'influence du type de sol, mais cependant les bases libérées par la couverture végétale jouent un rôle extrêmement important dans cet équilibre, dans la mesure où elles sont entraînées dans le profil (fig. 54). Ainsi pour la forêt, l'importance du magné-

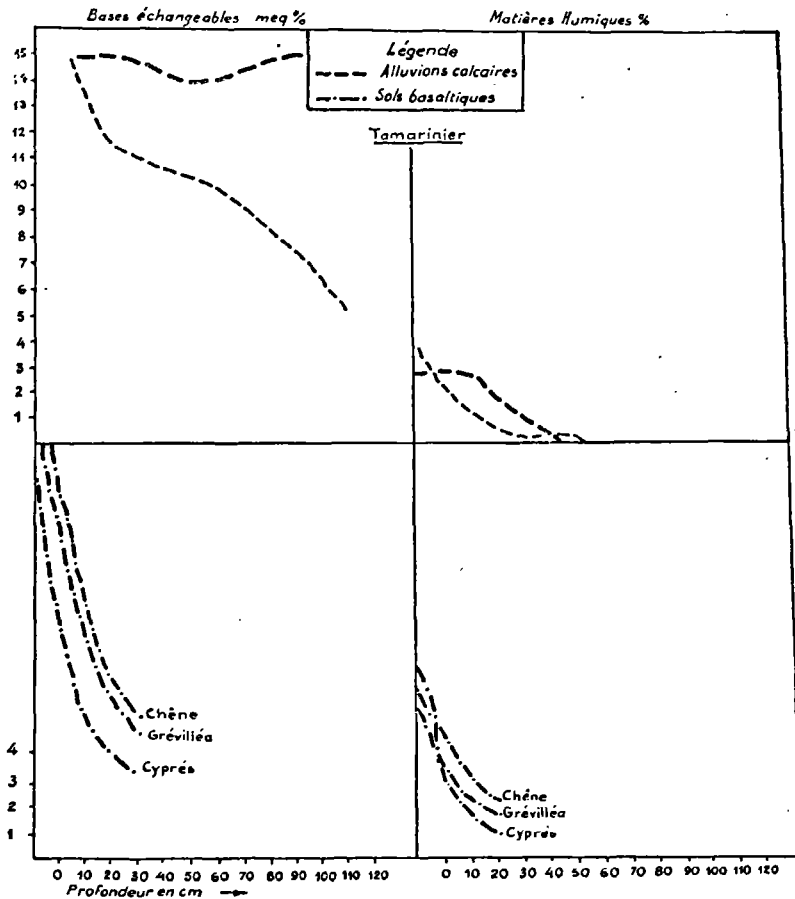


FIG. 56. — Évolution du complexe organo-minéral dans les sols et les végétaux étudiés (Bases échangeables et Matières humiques).

sium croît dans les horizons superficiels, tandis que le calcium devient prépondérant en profondeur quel que soit le type de sol. Pour le Tamarinier, par contre la quantité de CaO apportée par la litière assure sa prépondérance en surface dans des sols soumis à un lessivage assez faible.

La quantité d'azote retenue dans le complexe humique varie elle aussi avec le type de végétation mais reste sensible également à l'équilibre exis-

tant entre les divers éléments du sol (fig. 55). Ainsi, si la quantité d'azote retenue avec l'humus des Tamariniers est faible, dans les sables roux, elle égale dans les alluvions calcaires les quantités retenues sous *Hyphaene*. De même, si cette rétention reste comparablement faible sous la plupart des sols, sous Pins et Prairies, les Prairies sur sols volcaniques en retiennent un taux très élevé.

La valeur d'humification de la matière organique varie énormément avec son origine. Le climat et l'importance de la litière renforcent encore ces différences. La valeur de cette humification entraîne directement l'importance de l'horizon organique des profils et partant la richesse moyenne du sol.

La profondeur atteinte par la zone d'humification maximum reflète fidèlement la structure du sol, son activité biologique et son degré de lessivage. Ainsi nous avons pu voir sur les figures donnant le pourcentage d'humification de la matière organique que le maximum d'humification était atteint par la forêt, mais que la prairie montrait une humification souvent plus profonde et qui correspond assez bien à ce que nous avons étudié dans ce chapitre. De même, si le Cyprès et le *Grevillea* n'atteignent qu'un taux d'humification assez médiocre, celui-ci reste constant sur une très grande profondeur.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Nous avons tenté, au cours de cette étude, de montrer l'importance de la matière organique dans la détermination des caractères physiques et chimiques d'un sol, dans son évolution et dans sa conservation. Nous résumerons ici, en forme de conclusions, les principales questions soulevées au cours des précédents chapitres et les quelques données acquises.

Nous examinerons, d'abord, l'importance des conditions climatiques et topographiques dans les phénomènes d'érosion et le mode d'action de la matière organique dans la dynamique des sols; ensuite, les conditions chimiques de la matière organique et enfin, l'influence du type végétal sur les divers phénomènes d'évolution du sol.

1^o IMPORTANCE DES CONDITIONS CLIMATIQUES ET TOPOGRAPHIQUES DANS LES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION. RÔLE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE VIS-A-VIS DE CES PHÉNOMÈNES.

Par suite de la très grande influence de l'érosion dans la grande Ile, peu de sols ont conservé l'aspect caractéristique que leur confère normalement leur origine. L'érosion par l'eau et par le vent enlève chaque année plusieurs millimètres de la surface des sols de plateaux et de collines. Cette terre arrachée vient recouvrir d'une couche non négligeable les sols de bas de pentes, s'accumule dans les dépressions, ou, emportée par les eaux courantes, va s'alluvionner sur les zones basses ou se perdre dans la mer.

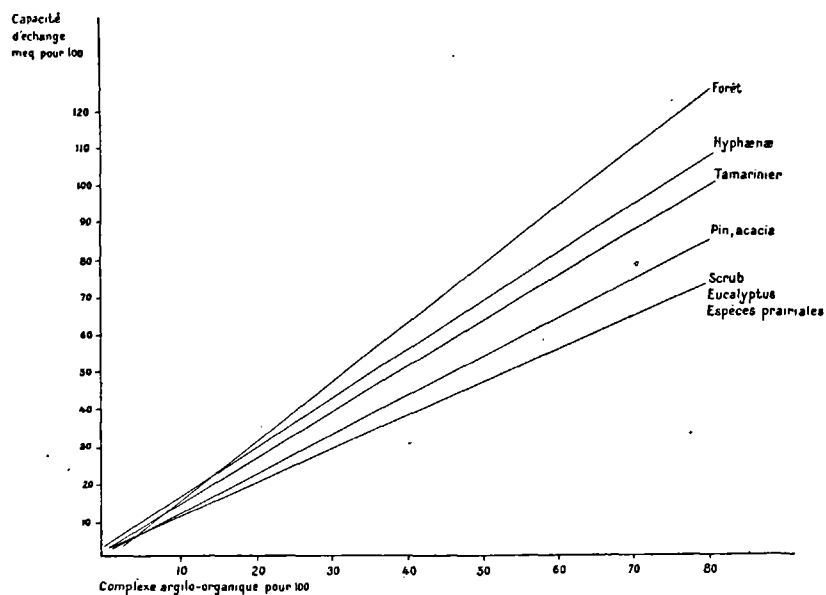


FIG. 57. — Variations schématiques de la capacité d'échange en fonction du complexe argilo-organique.

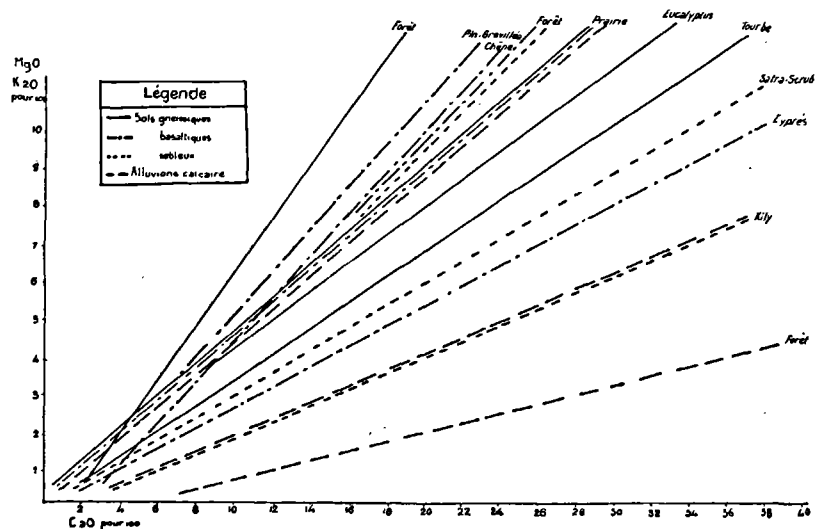


FIG. 58. — Variations de l'équilibre des bases.

Cette érosion est fonction de l'intensité des pluies et du vent beaucoup plus que de leurs valeurs totales ; de sorte que l'érosion des sols de la côte Est, recevant 2 à 3 m de pluies ne sera pratiquement pas plus importante que celle des sols du Sud recevant des pluies rares, mais torrentielles auxquelles vient s'ajouter un vent violent qui balaie d'immenses étendues peu accidentées.

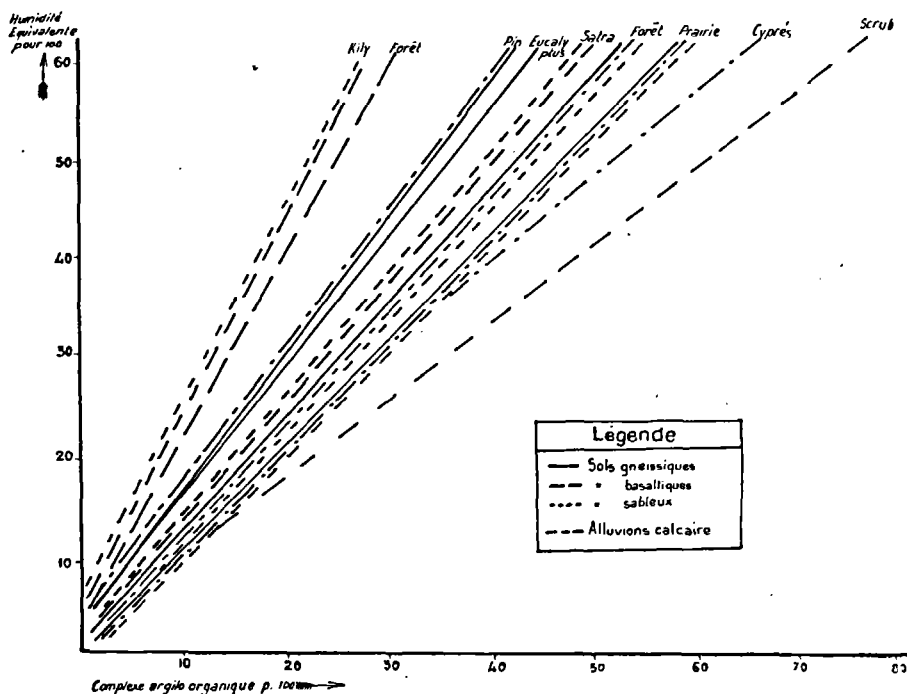


FIG. 59. — Variations de l'humidité équivalente en fonction du complexe argilo-organique.

Nous ne possédons que peu de valeurs sur les intensités des pluies, mais néanmoins, si nous calculons la hauteur moyenne d'un jour de pluie, nous constaterons que l'intensité moyenne est comparable partout avec des maxima très variables selon les années.

Nous donnons ci-après quelques valeurs à titre d'exemple.

Si le climat et la roche restent les facteurs essentiels de la pédogénèse, l'intensité de la pluie et du vent entraînant une érosion intense, est aussi déterminante dans l'évolution de ces sols.

La topographie déterminera l'accentuation ou l'atténuation de cette évolution. L'arrachement, le ruissellement et le lessivage latéral entraîneront l'accroissement du taux d'argile vers le tiers inférieur des pentes, mais

la densité du système racinaire et l'épaisseur de la litière influenceront considérablement sur l'intensité de ces phénomènes.

Stations	Hauteur moyenne en 24 heures	Maximum en 24 heures	Hauteur moyenne annuelle
Tsihombe	9 mm	166 mm	531 mm
Fort-Dauphin.....	15	214	1.720
Betroka	15	123	876
Fianarantsoa	10	166	1.263
Tananarive	10	132	1.350
Antsirabé	12	111	1.494
Ampany Est.....	14	230	2.523
Ambovombe	10	160	596
Tuléar	15	105	382
Tamatave	17	376	3.232
Majunga	18	320	1.658

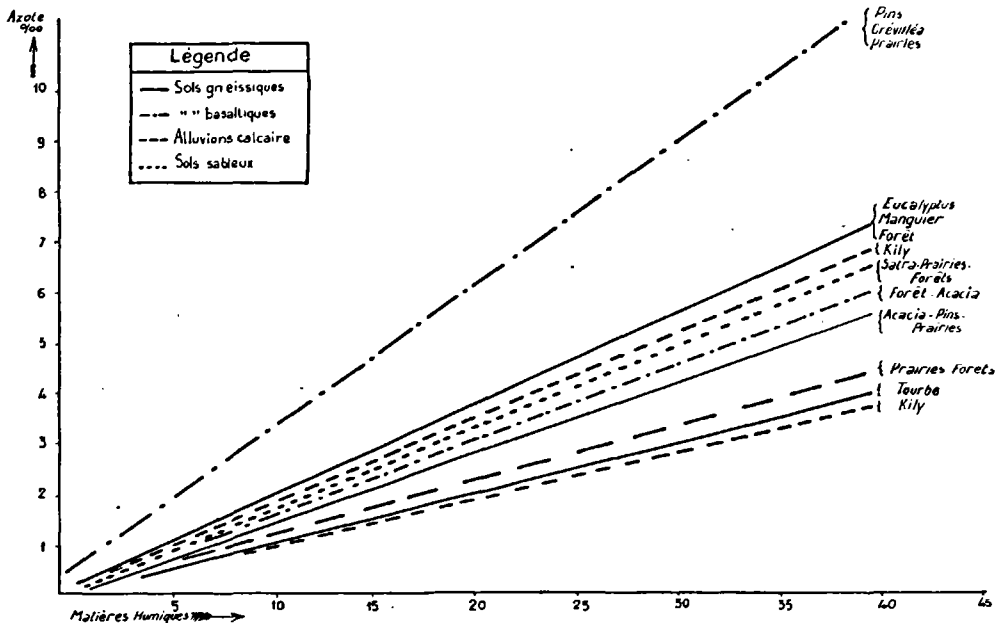


FIG. 60. — Variations du taux d'azote en fonction du taux des Matières humiques.

L'action de l'érosion se manifeste surtout sur l'horizon superficiel humifère et aura ainsi une action très importante sur la teneur et les caractères de la matière organique. Les conditions climatiques et topographiques auront ainsi par l'intermédiaire de la matière organique un rôle fondamental dans la dynamique générale du sol. Cette matière organique aura en effet à ce point de vue un double rôle :

a) *Rôle de la matière organique dans la dynamique de certains éléments du sol.*

Le rôle le plus important des matières humiques en fonction du climat sera sans doute l'action de ces acides sur les hydroxydes du sol, dont ils facilitent la migration sous forme de solutions complexes. Dans les zones d'hétérogénéité du sol, on assiste à la concentration ou à la dessiccation de ces solutions. Dans les sols sableux, les solutions humo-ferriques lessivées du haut en bas du profil constitueront de véritables alios ou des bancs de gravillons ferrugineux, sinon même un véritable conglomérat de type gréseux. Dans les sols argileux, la concentration des solutions humo-ferriques entraîne la formation de gravillons et même, dans les zones d'écoulement des eaux de la nappe phréatique, des carapaces cavernueuses qui, lors de leur mise à nu par l'érosion, se déshydratent et forment des cuirasses.

Ces cuirasses se présentent habituellement sous trois formes :

— Cuirasses ferrugineuses provenant de la pectisation localisée des solutions ferriques, pauvres en Alumine et Silice.

— Cuirasses hydromorphes riches en hydroxydes, englobant de l'Alumine, du Manganèse, du Titane et des bases en proportions comparables à celles des sols sous-jacents, tandis que la proportion de fer est sensiblement plus élevée. Ces cuirasses comportent une forte quantité d'argile dans les cavités formées par la trame d'hydroxydes durcis et sont formées par dépôt de saturation des solutions humiques dans les zones d'écoulement.

— Cuirasses aluminiques formées sous des conditions locales particulières ne se présentant qu'en masses localisées.

b) *Rôle de la matière organique dans la formation et l'évolution du complexe d'échange.*

L'argile et la matière organique sont capables de retenir une certaine quantité d'eau et de fixer une certaine quantité d'éléments minéraux.

La capacité d'échange et l'humidité équivalente dépendent de la quantité d'argile et de matière organique, cette dernière possédant une capacité de rétention plus de trois ou quatre fois supérieure à celle de l'argile. Ces deux éléments sont capables de former un complexe organo-minéral aux qualités nouvelles et irréductibles à une opération numérique quelconque.

Il sera donc nécessaire d'étudier ce complexe comme un élément nouveau ayant ses lois propres. Le fractionnement densimétrique du sol permet d'étudier la formation du complexe et ses variations dans les différents groupes de sols étudiés, en fonction de l'évolution du sol et du type de végétation qu'ils supportent. Les fractions densimétriques ont des compositions différentes, et pour chacune des fractions étudiées les proportions des divers éléments restent très comparables. Selon la proportion des diverses fractions dans le sol, la richesse en bases et l'équilibre de celles-ci varieront.

A partir d'un sol en formation, le développement de la végétation entraînera l'augmentation d'un complexe argilo-organique, apte à retenir une grande quantité de bases échangeables. La raréfaction du couvert organique entraînera, au contraire, la chute rapide du taux de ces bases, la diminution de l'apport de matières humiques capables de maintenir ou d'accroître le taux du complexe. Quel que soit le type de sol, la dégradation du couvert végétal sera suivie de l'appauvrissement du complexe argilo-organique et permettra l'intensification de l'érosion. Le degré de saturation du complexe et par là même l'intensité et la rapidité de sa dégradation ou de son enrichissement seront sous l'influence directe de la topographie, mais le degré de saturation, comme l'influence de la topographie, seront très différents selon le type de végétation.

2° CONDITIONS CHIMIQUES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.

Les matières organiques en se décomposant libèrent des éléments minéraux qui se retrouvent dans les solutions humiques. Ces solutions humiques se complexant avec l'argile ou filtrant à travers le sol, contribuent pour une très large part à l'enrichissement ou à l'appauvrissement du sol en éléments minéraux nécessaires aux plantes.

a) *Constitution de la matière humique.*

L'humus comporte essentiellement trois fractions différentes, chacune d'elles possède une constitution assez stable quelle que soit l'origine de la matière organique dont elle est issue. Ces fractions contiennent un taux très important de matières minérales : l'Acide humique est beaucoup plus riche en bases (27 %) que l'Acide fulvique (8 %) surtout riche en fer (55 %) ; l'humine, fraction temporaire, possède une composition intermédiaire, variable selon qu'elle formera plus d'acide humique ou plus d'acide fulvique.

La composition de l'humus aura donc d'importantes répercussions sur la capacité d'échange et sur la constitution du complexe argilo-organique. L'Acide humique augmentera la fraction de densité 2 à 2,4 et la somme des bases fixées. L'Acide fulvique au contraire ne participera que très faiblement à la formation du complexe et il semble que la diminution de la capacité d'échange qu'il entraîne puisse être attribuée à sa grande richesse en fer, celui-ci étant capable de se fixer sur l'argile.

b) *Rôle de la matière humique dans la fixation et l'équilibre des bases.*

Le degré de saturation du complexe en bases ne dépend pas de la seule capacité d'échange de ce complexe. La capacité d'échange varie surtout avec la proportion d'argile et de matière organique dans le complexe, tandis que, la somme des bases fixées pouvant varier, la proportion des fractions humiques entrant dans la constitution de ce complexe dépend davantage des conditions de climat et de végétation.

Les différentes bases fixées sur le complexe obéissent à un équilibre entre elles, mais leur taux varie avec la profondeur et la pente, et aussi avec la végétation.

Le lessivage des bases à l'acétate d'ammonium entraîne une importante libération d'humus et la somme des bases échangeables ainsi déterminée sera entachée d'erreur, cet humus fournissant de par sa constitution une certaine quantité de bases.

Dans les sols riches en calcium, ces phénomènes de solubilisation prennent une forme différente. Sur un sol pauvre en calcium (moins de 6 meq %), le lessivage à l'acétate d'ammonium entraîne la solubilisation d'une certaine quantité d'humus et la libération proportionnelle d'éléments minéraux. Sur un sol riche en calcium (plus de 6 meq %), ce lessivage n'entraîne qu'une faible solubilisation d'humus, tandis que la solution d'acétate se sature en éléments minéraux et que le sol lessivé se trouve enrichi en humus soluble à la soude dans des valeurs proportionnelles aux quantités de calcium entraînées par la solution.

Le fractionnement densimétrique des sols met en évidence un phénomène analogue. En effet, la libération des bases et du phosphore par l'acétate d'ammonium est beaucoup plus importante à partir des diverses fractions que sur l'ensemble du sol par suite du traitement préalable qui détruit partiellement le complexe argilo-humique. Nous retrouvons donc ici la confirmation de ce fait que le complexe argilo-humique retient beaucoup plus énergiquement les éléments minéraux que chacun de ses constituants (fig. 63). Dans ce complexe, le phénomène d'échange des bases sera donc doublé d'un phénomène de libération à partir de l'humus solubilisé.

Nous voyons donc que le rôle d'un tel complexe est d'une importance capitale dans le sol. Un sol évolué ne possède plus dans ses horizons supérieurs d'éléments basiques provenant de la décomposition des éléments de la roche. Les matières organiques en se décomposant libèrent des éléments minéraux qui se trouvent en solution dans l'humus produit. Cette solution humique, riche en calcium, magnésium, potassium, phosphore et azote, se fixe sur l'argile en proportions très variables et d'autant mieux que la quantité d'éléments minéraux solubilisés est forte par rapport à la quantité de solution humique.

c) *Types de matières humiques et types de sols.*

La quantité d'eau tombée et la chaleur agiront sur la décomposition de la litière et la pénétration des solutions humiques dans le sol.

La profondeur des horizons organiques varie avec l'épaisseur de la litière, celle-ci modifiant les conditions d'humidité, de vie microbienne et de quantité d'humus formé.

Avec une litière abondante, la quantité d'humine sera forte et correspondra à une forte fraction de sol, de densité inférieure à 2. La quantité de cette fraction et le taux d'humine paraissent en corrélation et ne sont donc qu'indi-

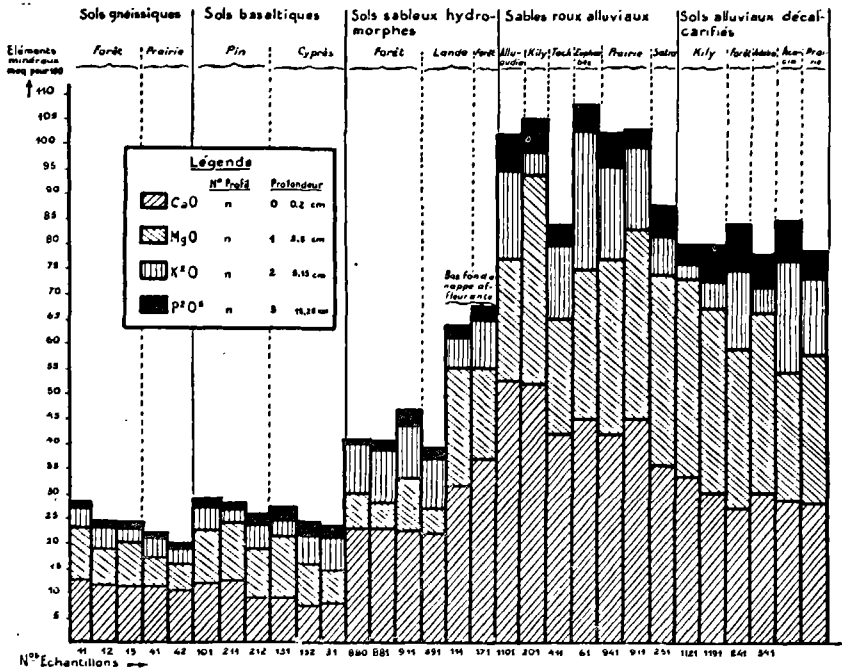


FIG. 61. — Éléments minéraux retenus par la matière humique solubilisée.

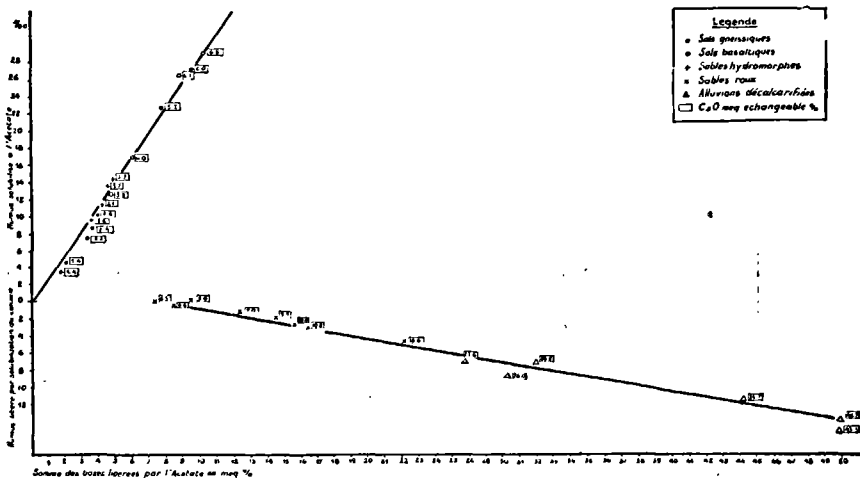


FIG. 62. — Corrélation des Matières humiques et des Matières minérales entraînées par le lessivage des sols à l'acétate d'ammonium.

rectement sous la dépendance du type végétal, la quantité de la litière étant seule en cause.

Dans les sols gneissiques et les sols volcaniques, les bases retenues par le complexe obéiront à un équilibre comparable, mais leur taux sera en rapport avec le type végétal. La composition des fractions densimétriques sera légère-

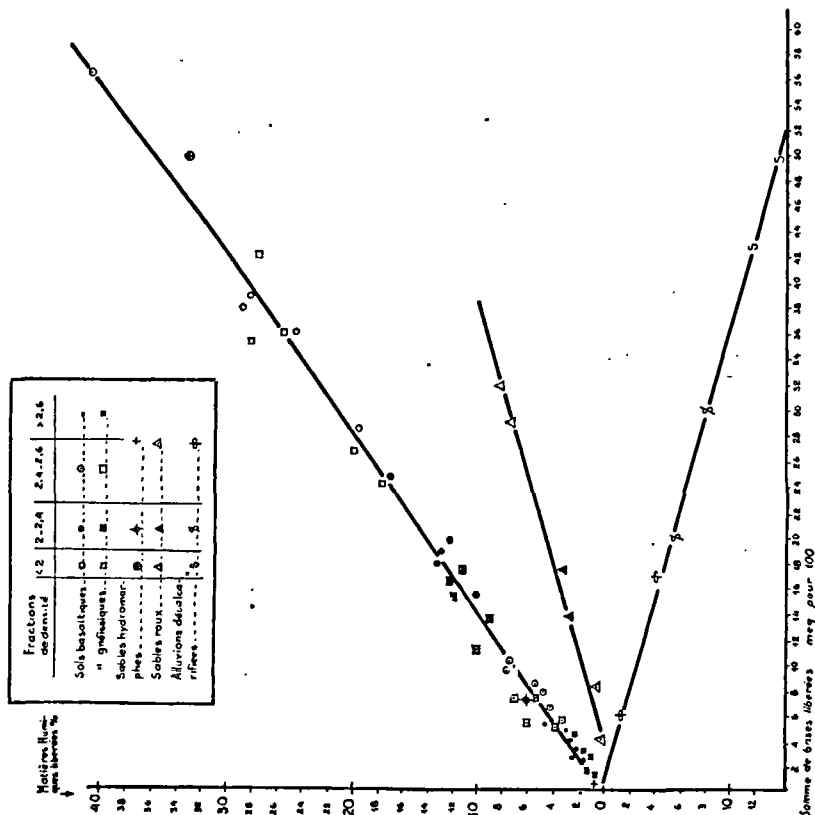


FIG. 63. — Corrélation des Matières minérales et des Matières humiques entraînées par lessivage des fractions densimétriques à l'acétate d'ammonium.

ment différente mais reste comparable et montre un taux d'humification semblable de la matière organique contenue dans chacune d'elles.

Les différents types de sols étudiés nous ont montré que la quantité de bases échangeables fixées sur le complexe ne dépendait pas seulement de la quantité de matière organique du sol mais de son humification. Les bases retenues le sont selon un certain équilibre propre autant au type de sol qu'au type de végétation. La composition des fractions densimétriques diffèrera légèrement avec les types de sol, tout en restant cependant comparable et l'humification de leur matière organique est semblable.

3^o INFLUENCE DU TYPE VÉGÉTAL SUR LES DIVERS PHÉNOMÈNES
CONTRIBUANT A L'ÉVOLUTION DU SOL.

La quantité et la composition de l'humus et des éléments minéraux apportés au sol varient essentiellement selon le type de couvert végétal. La formation du complexe argilo-organique dépendra en partie de la quantité et de la composition de l'humus. Finalement l'évolution, la conservation et la richesse du sol seront donc sous la dépendance directe du type de couverture végétale.

a) *Produits de décomposition des différents types végétaux.*

L'hydrolyse des matières végétales par le phénol solubilise des hémicelluloses, des proto et hemilignines et la plus grande partie de la lignine. Si nous additionnons le produit de cette solubilisation à la partie des composés organiques facilement solubles à l'eau (tanins, matières colorantes, composés uroniques, composés osidiques et protéidiques), nous remarquons une nette corrélation avec le taux des matières humiques, obtenues pour ces mêmes matières végétales (fig. 45). Nous pensons donc que les composés solubles et la lignine constituent une partie importante de la matière première de l'humus.

Cette manière de voir semble être confirmée par le fait que beaucoup de ces corps : résines, gommes, tanins, diverses protéines et polysaccharides, sont capables de provoquer, tout comme les matières humiques, la formation d'un complexe organo-minéral.

La transformation dans le sol des matières organiques se fera en plusieurs étapes selon la quantité de matières solubles à l'eau et la résistance des matières ligniniques et celluloses à l'attaque microbienne. Directement solubilisée ou transformée par les micro-organismes, la quasi-totalité des matières végétales sera susceptible de se transformer en matières humiques.

L'enrichissement du sol en matières organiques, dites humifiées contenant une forte proportion de sels minéraux, se fera donc directement à partir des éléments morts du système racinaire et de la litière végétale sous diverses influences (eaux de percolation, animaux fouisseurs). L'humification des matières celluloses et ligniniques se continuera sous l'action des micro-organismes spécifiques, développés dans la zone humide et riches en solutions organo-minérales.

b) *Influence du type végétal sur la formation et la conservation du complexe organo-minéral.*

La somme et l'équilibre des bases dépendent, comme nous l'avons vu, de la quantité et de la composition de l'humus. La quantité et la proportion des bases fixées par le complexe seront ainsi davantage sous la dépendance de la végétation que du type de sol, dans la mesure où le climat aura provoqué pour ceux-ci l'élimination dans les horizons supérieurs des bases libérées de la roche-mère. Ainsi pour les sols calcaires subarides, cet équilibre sera

différent, car le lessivage des bases originelles ne sera pas total et la richesse des horizons supérieurs en bases échangeables ne sera pas due uniquement à l'apport par l'intermédiaire de la végétation.

Sur sol gneissique, la formation du complexe et la fixation des bases seront fortes sous forêt et se produiront sur une assez grande profondeur. Sous *Eucalyptus*, *Acacia*, *Cinchona* et Pin, les quantités de matières humiques et de bases fournies au sol seront très différentes, mais le complexe argilo-organique ne présentera qu'un taux assez faible ou sera très peu saturé. Sous prairie, la formation du complexe dépendra à la fois de la richesse de la litière et de la composition du sol au moment de l'établissement de la prairie.

Dans les sols tourbeux de bas fonds, très riches en matière organique peu évoluée, un complexe important se formera dès que l'exondation permettra une humification normale de la matière organique.

Sur sols volcaniques, la forêt, le *Grevillea* et le Pin apporteront une forte litière, mais la formation du complexe argilo-organique sera beaucoup plus importante sous Chêne et Forêt que sous Cyprés, *Acacia*, Pin et *Grevillea*. La prairie présentera ici aussi des valeurs particulières sur sols calcaires et sur sables roux, la forêt et le *Tamarindus* fourniront un apport d'humus et de bases permettant la formation d'un complexe important. Sur dunes évoluées, le sable blanchi ne contient plus que de petits aggrégats organiques indépendants, peu aptes à fixer une quantité importante de bases. La quantité d'azote retenue dans la matière humique présente pour chaque type végétal une relation avec le taux d'humus, cette relation dépendra du climat et de l'activité microbienne.

c) *Evolution et conservation du sol sous les différents types végétaux.*

Forêt. — La vitesse de décomposition des matières végétales, la quantité et la composition des éléments minéraux et organiques libérés varient avec les espèces. La densité de peuplement fournit une litière de composition moyenne dont la décomposition progressive assure la formation continue d'un complexe organo-minéral élevé fixant la plus grande quantité des bases libérées.

Prairie. — La quantité de bases échangeables fixées par le complexe varie selon le type de prairie, mais les taux de CaO, MgO et P_2O_5 sont en général assez faibles. La formation du complexe, comme la richesse en humus et en bases, paraît être le plus faible sous prairie à *Aristida* et le plus fort sous *Pennisetum purpureum*.

Grevillea-Chêne. — La litière assez riche en éléments minéraux se décompose lentement et apporte au sol une forte quantité d'humus : le complexe argilo-organique s'étend sur une assez grande profondeur.

Cyprés-Acacia. — La litière se décompose bien, mais la quantité de matières organiques solubles à l'eau est faible. L'apport d'humus, de phos-

phore et de magnésie est relativement élevé mais le complexe formé reste assez faible.

Cassia-Mélia-Tamarindus. — Très bonne décomposition de la litière et apport très élevé de matières humiques et de bases. Le complexe organo-minéral formé est important et provoque une forte augmentation de la capacité d'échange et de la somme des bases fixées.

Eucalyptus. — Surtout riche en potasse, la litière provoquera au début de sa décomposition une légère modification du sol, mais si le complexe formé reste moyen, l'horizon de surface sera enrichi d'une façon marquée en chaux échangeable dans la même proportion qu'un sol recouvert de tourbe.

Manguier. — La litière de Manguier riche surtout en potasse et magnésie fournit relativement peu de matières humiques et le complexe formé, bien qu'assez faible, fixera surtout CaO.

Pin. — La litière très épaisse fournit une grande quantité d'humus mais très pauvre en base, sa décomposition entraînera une acidification continuelle du sol. La capacité d'échange et la somme des bases échangeables fixées par le complexe seront très faibles. La nitrification restera mauvaise en surface et la percolation constante de solutions riches en acide fulvique et pauvres en minéraux entraînera l'appauvrissement progressif et continu du sol.

Alluaudia-Euphorbes. — La litière extrêmement réduite ne permet pas la formation d'un complexe organo-minéral de quelque importance ; néanmoins, les sols développés sous ces formations seront comparables aux sols sous prairie des mêmes familles génétiques.

Le type végétal déterminera donc l'évolution du sol et la conservation d'un horizon organique important et riche en éléments nutritifs.

Si certains types végétaux, comme les formations forestières naturelles et les plantations de *Grevillea*, *Tamarindus*, *Cassia*, *Melia* et Chêne révèlent un lessivage assez prononcé du profil, il convient de ne pas perdre de vue que ces formations apportent au sol une très grosse quantité de matières organiques et minérales, et qu'en définitive l'ensemble du sol sera beaucoup plus riche que sous prairies, formations où le lessivage du profil est beaucoup moins accentué, mais la quantité de matières organiques apportées beaucoup plus faible.

Les sols supportant ces essences subiront un lessivage marqué mais offriront une résistance beaucoup plus forte à l'érosion par suite de la formation d'un complexe organo-minéral bien développé, et seront susceptibles d'utilisations diverses sans être rapidement dégradés.

Pour la plupart des autres peuplements en essences uniques, la richesse des horizons profonds n'excède généralement pas celle des sols sous prairie mais, du moins, les horizons supérieurs conservent une teneur importante en éléments organiques et minéraux.

Ainsi l'*Eucalyptus*, comme d'ailleurs le Cyprès et l'*Hyphaene*, s'ils ne provoquent pas la formation d'un sol riche, permettent de limiter dans une certaine mesure la dégradation du sol par l'érosion et présentent le type des essences d'utilisation industrielle susceptible, sous réserve d'une exploitation rationnelle, de conserver un sol de moyenne valeur.

Le Pin, par contre, s'il produit rapidement un horizon organique important, n'entraîne qu'une formation très faible d'un complexe très désaturé.

Les expériences de litières que nous avons effectuées viennent confirmer ces constatations. Il apparaît donc nécessaire, avant de décider de l'essence choisie pour un sol donné, de connaître tant la composition du sol que la composition des solutions organo-minérales apportées à ce sol lors de la décomposition des débris végétaux de chaque espèce utilisée.

Il est bien entendu que nous ne tenons pas compte ici du complexe biologique du sol, faute de pouvoir étudier la totalité des facteurs intervenant dans l'évolution du sol. Néanmoins, nous avons vu que les différentes espèces botaniques possédaient des propriétés particulières, lesquelles peuvent être atténuées ou renforcées par l'action des facteurs climatiques et biologiques particuliers. Ces différences d'action sont particulièrement sensibles lors du remplacement d'une formation végétale par une autre. Aussi, pour terminer cette étude, attirons-nous particulièrement l'attention sur l'importance du choix des essences que l'on se propose de multiplier.

Le choix de ces essences devra tenir compte de l'état actuel du sol et des répercussions qu'elles détermineront dans l'évolution de ce sol. Une essence libérant une forte quantité de matières organiques précipitables et de matières minérales solubles, sera susceptible d'entraîner la régénération d'un sol dégradé, provoquant la formation d'un complexe argilo-humique riche ; quelques auteurs ont précisé les phénomènes de cette régénération ; le changement de végétation modifierait les conditions physico-chimiques et biologiques du sol par suite de l'humification de leurs matières organiques (60).

Une essence libérant une faible quantité de matières minérales solubles mais une forte quantité de matières organiques non précipitables, entraînera l'appauvrissement rapide du sol, qui, après la disparition ou le remplacement de cette essence, se dégradera d'une manière extrêmement rapide.

ANNEXES

TABLEAU 1

COMPOSITION MOYENNE DU PROFIL SUR GRANITE
(zone des Hauts-Plateaux)

<i>Éléments %</i>	<i>Roche</i>	<i>Zone d'altération</i>	<i>Horizon rouge (illuvial)</i>	<i>Horizon jaune à brun (éluvial)</i>
Quartz	—	—	—	—
Silice combinée	62,60	41,00	45,40	32,75
Al ₂ O ₃	14,40	11,55	10,76	14,94
Fe ₂ O ₃ + FeO	7,00	28,23	17,46	21,99
CaO	4,30	5,21	12,44	11,35
MgO	1,90	1,16	0,80	0,72
Na ₂ O	3,40	0,39	0,38	0,40
K ₂ O	1,00	0,12	0,02	—
TiO ₂	1,30	0,06	0,02	0,05
P ₂ O ₅	0,40	0,95	1,38	1,30
H ₂ O	0,70	0,09	0,09	0,06
		11,20	11,34	16,44

TABLEAU 2

COMPOSITION MOYENNE DU PROFIL SUR GNEISS
(zone des Hauts-Plateaux)

<i>Éléments %</i>	<i>Roche</i>	<i>Zone d'altération</i>	<i>Horizon rouge (illuvial)</i>	<i>Horizon jaune à brun (éluvial)</i>
Quartz	—	—	—	—
Silice combinée	60,72	35,24	37,80	41,70
Al ₂ O ₃	13,60	15,70	12,17	10,83
Fe ₂ O ₃ + FeO	7,93	24,60	22,48	19,08
CaO	6,08	9,27	9,47	10,33
MgO	3,43	1,00	0,41	0,12
Na ₂ O	3,19	0,25	0,22	0,08
K ₂ O	2,84	—	—	—
TiO ₂	1,31	0,05	0,05	0,04
P ₂ O ₅	0,38	0,95	1,59	1,36
H ₂ O	0,50	0,14	0,16	0,13
		12,80	15,55	16,33

TABLEAU 3

Éléments %	Diorite	Gabbros	Zone de départ sur Gabbros
—	—	—	—
Silice totale	53,51	49,22	30,43
Al ₂ O ₃	15,10	14,00	26,40
Fe ₂ O ₃ + FeO	10,58	12,27	24,23
CaO	7,35	10,83	1,17
MgO	3,70	6,61	0,53
Na ₂ O	3,54	2,05	—
K ₂ O	2,57	0,90	0,12
TiO ₂	2,46	2,34	1,68
P ₂ O ₅	0,52	0,34	0,07
H ₂ O	0,67	1,28	15,37

TABLEAU 4

Éléments %	Basalte et Basanitoidé	Labradorites et Sakalavites	Ankaratrites	Zone d'altération	Horizon profond
—	—	—	—	—	—
Silice totale	47,81	50,40	39,30	32,90	26,50
Al ₂ O ₃	13,21	13,34	9,70	20,60	19,20
Fe ₂ O ₃ + FeO	12,61	13,32	12,73	24,90	24,30
CaO	10,97	8,67	13,89	0,30	0,20
MgO	6,72	4,21	14,10	0,30	0,20
Na ₂ O	2,52	2,72	2,19	—	—
K ₂ O	0,90	1,23	1,40	0,30	0,20
TiO ₂	2,65	3,05	3,30	3,80	3,70
P ₂ O ₅	0,36	0,33	0,87	0,70	0,40
H ₂ O	2,25	2,73	2,52	15,90	24,80

TABLEAU 5

Éléments %	Trachytes	Rhyolites Rhyolitoïdes	Sol sur Trachyte
—	—	—	—
Quartz	62,50	72,00	14,65
Silice combinée			22,80
Al ₂ O ₃	17,05	12,87	34,57
Fe ₂ O ₃ + FeO	5,35	3,21	7,50
CaO	2,25	1,18	2,27
MgO	0,64	0,39	—
Na ₂ O	5,32	2,81	—
K ₂ O	4,28	4,60	0,36
TiO ₂	0,86	0,51	1,55
P ₂ O ₅	0,30	0,13	0,18
H ₂ O	1,45	2,30	20,59

TABLEAU 6

Éléments %	Arkose schisteuse	Marnes gypseuses	Grès argileux
Silice totale	64,08	9,28	62,02
Al ₂ O ₃	10,58	2,57	12,55
Fe ₂ O ₃ + FeO	7,69	6,71	13,00
CaO	2,86	8,12	1,95
MgO	2,31	2,22	—
Na ₂ O	3,91	—	—
K ₂ O	2,78	1,14	—
TiO ₂	1,05	—	—
P ₂ O ₅	0,21	0,43	—
H ₂ O	—	—	8,30

TABLEAU 7

Éléments %	Podzol littoral (Côte Est) (Profil 5)						Sables dunaïres calcaires
	Horizon A1	Horizon A2	Horizon A3	Horizon B1	Horizon B2	Horizon C	
Quartz	96,12	99,00	97,49	89,47	91,36	94,28	71,00
Silice combinée .	0,75	0,88	1,25	1,38	1,88	2,13	2,32
Al ₂ O ₃	0,70	0,70	1,53	2,30	1,45	2,43	2,25
Fe ₂ O ₃	0,62	0,65	0,93	2,75	2,58	1,25	4,35
CaO	0,09	0,20	0,10	0,09	0,26	0,20	13,20
MgO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,60
K ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
TiO ₂	traces	0,00	0,00	0,00	traces	traces	0,00
P ₂ O ₅	0,05	0,08	0,19	0,20	0,14	0,22	0,02
H ₂ O	1,70	0,21	0,28	5,72	5,71	2,31	8,00

TABLEAU 8

Éléments %	Sables blancs de mare	Sables roux, profil 2	Sables gréseux, profil 4	Berge alluviale du Mandrare, profil 3			
				Alluvions ferrugin.	Conglomérat calcaire	Zone blanchâtre	
Quartz	96,22	71,10	56,00	73,66	41,21	39,18	48,73
Silice combinée .	1,48	8,40	30,20	10,18	24,12	21,62	11,70
Al ₂ O ₃	1,13	10,35	4,80	5,05	6,85	7,50	5,05
Fe ₂ O ₃	1,25	5,00	2,50	5,50	15,00	7,25	6,00
CaO	1,58	0,24	0,30	0,58	0,48	6,47	11,82
MgO	—	0,50	—	—	—	—	—
K ₂ O	—	0,10	0,04	0,17	0,15	0,23	0,14
TiO ₂	—	0,80	0,00	1,00	2,50	1,80	1,00
P ₂ O ₅	—	0,06	0,00	0,23	0,13	0,25	0,45
H ₂ O	2,81	3,21	5,30	4,40	10,00	14,80	15,13

TABLEAU 9

%	<i>Argile</i> Témoin		<i>Argile</i> + Humus		<i>Sables</i> Témoin		<i>Sables</i> + Humus	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Humidité hygroscopique.	7	6,9	10	10,1	1	0,9	2,5	2,4
Humidité équivalente ...	22	22	40	40	1,7	1,9	17,4	16,6

TABLEAU 10

<i>Échantillons</i>	<i>Type de sol</i>	<i>Type de végétation</i>	<i>Matières humiques totales</i>	
			% du sol	% solubilisées par l'acétate
11	granito-	forêt	47,0	22,9
12	gneissique	"	25,1	8,3
13	"	"	11,5	4,3
41	"	prairie	40,0	10,0
42	"	"	29,1	7,6
101	basaltique	pin	43,0	29,0
211	"	"	47,5	27,0
212	"	"	23,0	10,5
131	"	cypres	37,0	26,5
132	"	"	25,0	17,0
31	"	"	30,0	13,0
391	sableux-	lande	26,8	13,8
1111	hydromorphe	"	7,0	3,5
880	"	forêt	38,0	11,0
881	"	"	31,0	9,0
171	"	"	20,0	2,0
911	"	"	41,5	14,0

TABLEAU 10 bis

<i>Échantillons</i>	<i>Type de sol</i>	<i>Type de végétation</i>	<i>Matières humiques totales</i>	
			% du sol brut	% du sol traité à l'acétate
111	alluviaux	prairie	6,2	12,8
421	décalcariés	kily	38,5	52,5
1191	"	"	23,0	30,0
91	"	acacia	27,3	39,0
241	"	forêt	22,0	36,5
341	"	adabo	22,5	31,5
941	sables roux	prairie	6,5	7,5
911	"	"	19,0	21,5
61	"	euphorbes	7,2	7,6
1101	"	alluandia	8,3	10,3
411	"	teck	6,0	6,0
251	"	satra	11,5	14,5
201	"	kily	24,9	30,0

TABLEAU 11

COMPOSITION D'ACIDES HUMIQUES

<i>Litière</i>	<i>Cendres % du poids de l'acide humique</i>	<i>Composition % des cendres</i>							TiO ₂ MnO S Na ₂ O
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Imperata	28,8	20,5	25,6	0,5	—	—	—	—	—
Pin	31,2	28,3	33,7	0,3	13,2	11,6	3,9	0,2	8,8
Forêt	30,6	35,5	26,5	0,4	14,1	12,5	4,8	0,3	5,9
Eucalyptus	36,0	—	—	0,5	12,0	—	—	0,3	—
Philippia	24,0	35,0	33,0	0,8	14,4	7,0	2,7	traces	7,1

TABLEAU 12

COMPOSITION D'ACIDES FULVIQUES

<i>Litière</i>	<i>Cendres % du poids de l'acide fulvique</i>	<i>Composition % des cendres</i>							TiO ₂ MnO S Na ₂ O
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Imperata	35,0	59,2	27,1	—	—	—	—	—	—
Pin	37,1	51,9	28,3	0,7	2,9	2,9	1,4	0,1	11,9
Forêt	35,0	59,1	31,5	0,3	3,7	2,2	1,5	0,4	1,3
Eucalyptus	40,2	—	—	0,5	3,0	—	—	0,3	—
Philippia	43,4	58,6	26,8	0,5	6,3	1,9	1,3	traces	4,6

TABLEAU 13

COMPOSITION D'HUMINES

<i>Litière</i>	<i>Cendres % du poids de l'humine</i>	<i>Composition % des cendres</i>							TiO ₂ Mn S Na ₂ O
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Imperata	37,2	16,0	28,8	—	—	—	—	—	—
Pin	43,2	23,7	35,2	2,4	11,4	10,1	5,0	0,2	12,0
Forêt	42,0	—	—	1,9	13,7	11,0	4,2	0,5	—
Eucalyptus	37,8	25,3	30,1	2,0	17,9	—	—	0,6	—
Philippia	38,8	25,4	35,5	1,7	17,9	0,8	2,2	traces	10,5

TABLEAU 14

 RÉTENTION DES BASES PAR L'HUMUS
 (1^{re} expérience)

Solutions ajoutées à 100 g. de sol	N ^{os}	Capac.	Humi-	Bases	Fractions		Car- bone	Azote	Acide	Acide	Hu- mine
		échange	dité	échan-	densimé-				humique	fulvi- que	
		még	équiva- lente	geables	triques %				%	%	
		%	%	%	<2,6	>2,6	‰	‰	‰	‰	‰
50 cc sol A	1	10,3	32,0	5,5	40	60	3,8	1,10	0,40	0,00	0,70
	2	10,8	32,0	5,7	40	60	3,6	1,05	0,40	0,00	0,75
50 cc sol A + 50 cc acide humique	3	13,0	31,5	6,8	45	55	4,3	1,45	0,60	0,00	0,80
	4	12,9	32,5	6,8	45	55	4,3	1,32	0,60	0,00	0,80
50 cc sol A + 50 cc acide fulvique	5	10,4	31,5	6,0	40	60	3,8	1,51	0,40	0,05	0,75
	6	10,0	32,5	6,2	40	60	3,6	1,65	0,40	0,05	0,80
50 cc sol A + 50 cc hum.	11	14,6	32,0	6,8	45	55	4,3	1,44	0,50	0,10	0,55
	12	13,4	32,0	6,8	45	55	4,4	1,52	0,50	0,15	0,50
50 cc sol B + 50 cc acide humique	7	13,0	31,5	6,6	35	65	4,6	0,60	0,60	0,00	0,80
	8	13,6	32,2	6,8	35	65	4,7	0,56	0,65	0,00	0,80
50 cc sol B + 50 cc acide fulvique	9	10,6	31,0	6,3	30	70	4,1	0,65	0,40	0,05	0,65
	10	11,0	32,2	6,0	30	70	4,0	0,61	0,45	0,00	0,70
50 cc sol B + 50 cc hum.	13	14,0	31,5	6,8	35	65	4,4	0,61	0,60	0,10	0,55
	14	13,0	32,0	6,6	35	65	4,6	0,63	0,65	0,10	0,55
50 cc sol B	15	10,4	33,2	6,4	25	75	3,6	0,61	0,35	0,00	0,75
	16	10,0	32,2	6,4	25	75	3,8	0,50	0,40	0,00	0,70
Témoin	0	10,6	32,5	4,4	30	70	3,8	0,59	0,45	0,05	0,70
	00	10,4	31,6	4,7	30	70	3,6	0,64	0,40	0,10	0,80

TABLEAU 14 bis

RÉTENTION DES BASES PAR L'HUMUS
(2^e expérience)

Solutions humectantes	Solutions de lavage		Acide	Acide	Hu-	Éléments			Capac.	Humidité
			humi- que ‰	ful- vique ‰	mine ‰	échangeables			échange	équiva- lente
						CaO ‰	MgO ‰	K ₂ O ‰	%	%
200 mg d'humine	+ 200 cc sol B	Argile	—	—	1,6	0,45	0,08	0,03	5,10	25,1
		Sable	—	—	0,4	0,26	0,05	0,02	2,70	2,1
500 mg d'humine	+ 40 cc sol A	Argile	—	—	2,0	0,49	0,11	0,06	5,40	22,5
		Sable	—	—	0,3	0,21	0,07	0,06	2,71	2,3
150 mg acide humique	+ 200 cc sol B	Argile	1,4	—	—	0,45	0,08	0,03	5,60	24,4
		Sable	1,2	—	—	0,29	0,05	0,03	3,37	3,0
400 mg acide humique	+ 40 cc sol A	Argile	2,0	—	—	0,56	0,11	0,08	6,10	28,4
		Sable	1,6	—	—	0,32	0,08	0,08	3,40	4,2
50 mg acide fulvique	+ 200 cc sol B	Argile	—	0,8	—	0,39	0,08	0,04	3,80	19,9
		Sable	—	1,0	—	0,28	0,05	0,03	0,99	2,1
200 mg acide fulvique	+ 40 cc sol A	Argile	—	1,3	—	0,31	0,08	0,05	3,50	21,8
		Sable	—	1,0	—	0,26	0,05	0,04	1,24	2,1
200 mg d'humine + 150 mg acide humique + 50 mg acide fulvique	+ 200 cc sol B	Argile	1,6	0,4	1,0	0,44	0,08	0,04	6,3	21,8
		Sable	1,4	0,4	0,2	0,38	0,05	0,03	2,85	23,8
290 mg d'humine + 350 mg acide humique + 85 mg acide fulvique	+ 80 cc sol A	Argile	1,4	0,5	1,4	0,42	0,12	0,11	7,0	24,2
		Sable	1,6	0,4	0,2	0,37	0,07	0,09	2,90	2,5
Témoin	+ 200 cc sol B	Argile	—	—	—	0,25	0,08	0,03	3,30	25,6
		Sable	—	—	—	0,18	0,04	0,02	1,00	2,5
Témoin	+ 40 cc sol A	Argile	—	—	—	0,27	0,07	0,04	3,60	22,8

TABLEAU 15

ÉVOLUTION PROGRESSIVE D'UN SOL SUR GRANITO-GNEISS

	1 ^{er} stade <i>Sol en formation qq mm. de sol</i>	2 ^e stade <i>Sol sque- lettique de 5 à 10 cm. d'épaisseur</i>	3 ^e stade <i>Savoka s/15 à 30 cm. de sol</i>	4 ^e stade <i>Prairie</i>	
				0 à 5 cm.	10 à 15 cm.
pH	6,5	5,9	5,1	5,7	6,3
Humidité équival. %	49,8	127,0	125,6	32,8	10,8
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	4,5	20,2	28,1	12,5	4,0
Acides humiques ...	1,6	4,6	10,0	3,4	2,0
" fulviques	0,9	3,2	3,4	1,0	0,8
Carbone	33,6	106,0	179,0	32,0	9,4
Azote total	3,25	6,82	12,82	2,77	1,17
C/N	10,3	15,5	14,0	11,6	8,0
CaO échangeable ...	1,03	1,62	0,72	1,22	0,6
MgO	0,10	0,36	0,20	0,13	0,07
K ₂ O	0,12	0,15	0,20	0,16	0,07
P ₂ O ₅ assimilable.....	0,05	0,08	0,09	0,04	0,02
T méq %	20,0	28,0	28,0	22,0	5,5
FRACTIONNEMENT % :					
Densité < à 2	10,0	47,0	20,0	15,0	1,5
2 à 2,1	6,0	17,0	45,0	12,0	19,0
2,4 à 2,6 ...	16,0	17,0	13,0	16,0	20,5
> 2,6	68,0	19,0	13,0	57,0	59,0

TABLEAU 16

ÉVOLUTION PROGRESSIVE D'UN SOL SUR GRANITO-GNEISS (suite)

	5 ^e stade <i>Prairie évoluée (Aristida)</i>		6 ^e stade <i>Prairie érodée (Aristida en touffes)</i>		
	0 à 2 cm.	2 à 10 cm.	0 à 2 cm.	2 à 10 cm.	40 à 50 cm.
pH	5,6	5,5	5,4	5,4	5,2
Humidité équival. %	74,3	51,3	34,6	23,4	21,8
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	7,0	5,2	9,3	6,6	1,0
Acides humiques ...	3,8	1,8	5,2	4,2	0,5
" fulviques	1,6	0,8	2,0	2,2	0,5
Carbone	68,0	21,2	50,3	23,2	3,7
Azote total	3,24	2,52	3,93	2,67	0,37
C/N	21,0	8,4	12,8	8,7	10,0
CaO échangeable ...	0,78	0,49	0,58	0,26	0,25
MgO	0,17	0,08	0,013	0,03	0,12
K ₂ O	0,10	0,12	0,03	0,06	0,03
P ₂ O ₅ assimilable.....	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01
T méq %	50,8	12,8	20,0	15,1	12,5
FRACTIONNEMENT % :					
Densité < à 2	8,0	1,0	3,0	2,0	0
2 à 2,4	12,0	4,0	45,0	31,0	0,5
2,4 à 2,6 ...	30,0	33,0	11,0	20,0	44,5
> 2,6	50,0	62,0	41,0	47,0	55,0

TABLEAU 17

FORÊT OMBROPHILE SUR SOL GRANITO-GNEISSIQUE
(moyennes de 10 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne ..	1.500 mm.						
Température moyenne des	mois les plus chauds : 19° ; mois les plus froids : 13°2						
Topographie.....	crête et mi-pente						
Roche-mère	granito-gneiss						
Erosion	pratiquement nulle						
Drainage et prof. nappe..	rapide						
Profondeur en cm. Litrière	0 à 5 cm. 5 à 15 cm. 15 à 25 cm. 25 à 50 cm. 50 à 75 cm. 75 cm.						
Couleur (réf. au Code Munsell) (corresp. franç.)	10 YR 3/2 brun	10 YR 5/3 jaune- ponceau	10 YR 7/6 jaune- grisâtre	10 YR 5/6 brun- safran	7 YR 5/5 ocre- rouge	5 YR 5/4 roux	
	—	—	—	—	—	—	
ANALYSE PHYSIQUE % :							
pH	6,3	6,2	5,7	5,8	5,6	5,0	4,8
Argile		17,4	18,9	14,6	28,7	32,9	27,5
Limon	-	11,3	13,6	17,7	14,7	25,2	17,5
Sable grossier.		30,0	32,1	25,1	21,6	14,8	21,8
Sable fin		36,0	26,0	34,5	28,0	27,0	32,6
Humidité hydr. 36,5		30,0	24,0	7,1	6,5	7,4	8,8
» équiv. 68,2		50,7	41,7	33,7	25,3	28,4	19,9
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :							
Humine	37,6	21,1	15,2	10,9	4,7	1,3	1,3
Acides humiq. 16,4		8,7	5,9	5,9	1,3	0,3	0,3
» fulvique.. 5,4		5,5	4,2	2,6	1,0	0,5	0,5
Carbone	203,4	84,9	50,0	44,1	13,3	3,0	4,0
Azote total ..	9,1	5,3	3,7	3,3	1,2	0,35	0,5
C/N	22,3	15,9	13,5	13,5	11,1	8,6	8,0
CaO échangeab. 2,88		1,76	0,86	0,63	0,44	0,37	0,33
MgO	1,01	0,83	0,28	0,13	0,08	0,04	0,03
K ₂ O.....	0,44	0,22	0,17	0,17	0,05	0,08	0,07
P ₂ O ₅ assimilab. 0,08		0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
T méq %	59,5	42,5	34,1	20,8	18,6	20,7	15,0
FRACTIONNEMENT % :							
Dens. inf. à 1,8 47,5		32,5	21,1	2,7	0	0	0
» de 1,8 à 2 7,6		6,8	5,9	5,6	1,1	0	0
» de 2 à 2,4 21,6		30,0	25,3	17,8	8,2	6,0	12,0
» de 2,4 à 2,6 13,3		14,7	33,4	42,2	36,6	24,0	25,0
» sup. à 2,6 10,0		16,0	14,4	31,7	54,1	70,0	73,0
ANALYSE TOTALE ‰ :							
Silice combinée		64,5	52,5	61,8	74,0	88,2	
Fe ₂ O ₃		110,2	170,9	74,1	72,5	74,0	
Al ₂ O ₃		165,9	158,3	180,0	198,0	200,7	
TiO ₂		13,5	8,2	22,5	13,0	5,4	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ...		0,68	0,56	0,58	0,63	0,74	
CaO total		3,0	2,5	0,9	2,1	0,9	
K ₂ O		0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	
P ₂ O ₅		0,8	1,0	0,7	1,4	0,6	

TABLEAU 18

FORÊT OMBROPHILE SUR SOL GRANITO-GNEISSIQUE
(moyenne de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne...	1.500 mm.					
Température moyenne des mois les plus chauds : 19°1 ; du mois le plus froid : 13°2						
Topographie	bas de pente colluvionnée					
Roche-mère	granito-gneiss					
Érosion	faible					
Drainage.....	lent en général					
Profondeur en cm. Litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	30 à 35 cm.	60 à 80 cm.	100 cm.
Couleur (réf. au Code Munsell) (corresp. franç.)	10 YR 3/2 brun	10 YR 5/3 jaune moyen	10 YR 5/6 brun- safran	7 YR 5/6 ocre- rouge	5 YR 6/4 roux	25 YR 5/3 ocre- rouge
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	5,6	5,6	5,5	5,4	5,2	4,9
Argile		15,3	17,6	11,6	22,0	28,5
Limon		16,4	19,0	18,9	16,9	14,3
Sable grossier.		36,0	39,9	37,6	30,0	34,5
Sable fin		21,0	22,0	36,0	29,0	22,0
Humidité bygr. 30,0		22,0	7,5	6,8	6,5	6,8
„ équiv. 50,6		42,8	41,8	14,8	14,7	14,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	41,8	20,0	15,4	10,4	5,7	1,6
Acides humiq. 10,6		9,1	11,4	4,2	1,6	0,8
„ fulvique. 6,4		7,4	6,7	3,5	0,8	0,7
Carbone 128,0		64,0	53,0	28,8	10,2	4,6
Azote total .. 4,4		3,9	3,2	2,3	1,4	0,5
C/N	30,0	16,5	16,5	12,4	9,3	9,2
CaO échangeab. 1,96		0,4	0,31	0,25	0,19	0,19
MgO	0,66	0,21	0,12	0,06	0,02	0,02
K ₂ O	0,41	0,16	0,12	0,09	0,06	0,03
P ₂ O ₅	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
T méq % 54,8		33,3	26,8	15,7	10,2	9,5
FRACTIONNEMENT % :						
Dens. inf. à 1,8 42,0		14,5	5,3	4,0	0	0
„ de 1,8 à 2 6,0		5,8	11,0	7,0	0	0
„ de 2 à 2,4 11,0		23,8	18,7	14,5	8,0	2,0
„ de 2,4 à 2,6 21,0		36,0	35,3	44,5	25,0	34,0
„ sup. à 2,6 20,0		19,9	29,7	30,0	67,0	64,0
ANALYSE TOTALE ‰ :						
Silice combinée	61,9	40,6	61,9	65,6	64,0	53,0
Fe ₂ O ₃	108,0	70,5	58,0	84,2	70,0	88,0
Al ₂ O ₃	150,0	101,0	168,9	158,2	162,4	148,4
TiO ₂	21,0	14,0	13,5	13,5	13,0	7,5
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ...	0,7	0,68	0,61	0,72	0,69	0,6
CaO total	2,6	1,8	1,2	1,2	2,1	0,9
K ₂ O	0,5	0,6	0,6	0,3	0,3	0,2
P ₂ O ₅	1,1	0,7	0,7	0,7	1,4	0,6

TABLEAU 19

PRAIRIE A ARISTIDA
(moyennes de 5 analyses par horizon)

Température des mois les plus chauds : 21°5 ; mois les plus froids : 15°3
Topographie..... ondulations faibles ou pentes légères
Roche-mère granito-gneiss
Érosion assez marquée
Drainage..... actif

Profondeur en cm. Litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.	50 à 100 cm.	100 cm.
Couleur (réf. au Code Munsell)	7,5 YR 6/6		5 YR 6/8		2,5 YR 5/8	
(corresp. franç.).	ocre jaune		ocre obscur		bistre vineux	zone d'altération micacée et bigarrée
ANALYSE PHYSIQUE % :	—	—	—	—	—	—
pH	5,0	5,2	5,3	5,2	5,6	5,7
Argile	11,8	24,8	22,5	24,1	25,1	7,3
Limon	22,5	23,6	22,5	21,3	22,2	21,1
Sable grossier.	20,0	21,7	20,0	17,2	15,2	36,4
Sable fin	35,5	25,0	32,0	36,8	37,3	35,0
Humidité hydr.	8,7	8,3	8,0	—	—	—
» équiv. 74,3	41,0	28,1	27,8	22,7	22,6	19,7
ANALYSE CHIMIQUE % :	—	—	—	—	—	—
Humine	7,0	11,8	5,3	5,7	0,5	0,1
Acides humiq.	3,8	5,8	2,7	3,1	0,4	0,1
» fulvique ..	1,6	3,7	1,6	1,7	0,2	0,1
Carbone	68,0	53,7	20,2	16,5	4,0	1,0
Azote total ..	2,2	2,9	1,6	1,8	0,4	0,1
C/N	30,9	18,6	12,9	9,1	10,0	8,3
CaO échangeab.	0,78	1,23	1,04	1,20	0,44	0,38
MgO	0,17	0,35	0,20	0,39	0,06	0,05
K ₂ O	0,10	0,18	0,09	0,10	0,07	0,07
P ₂ O ₅	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
T méq %	50,8	30,3	22,7	20,8	8,3	7,8
FRACTIONNEMENT % :	—	—	—	—	—	—
Dens. inf. à 1,8	3,0	2,5	1,2	0,3	0	0
» de 1,8 à 2	5,0	4,4	2,0	1,0	0	0
» de 2 à 2,4	12,0	38,0	26,8	24,0	0,5	0
» de 2,4 à 2,6	30,0	24,1	40,0	20,7	1,5	1,0
» sup. à 2,6	50,0	31,0	30,0	54,0	98,0	99,0
ANALYSE TOTALE % :	—	—	—	—	—	—
Silice combinée	—	185,0	200,0	208,4	206,4	120,0
Fe ₂ O ₃	—	110,0	100,0	102,5	65,0	87,5
Al ₂ O ₃	—	267,3	284,0	319,7	320,0	269,4
TiO ₂	—	14,0	12,0	12,0	16,5	16,8
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ...	—	1,19	1,2	1,03	1,0	0,75

TABLEAU 20

PRAIRIE A IMPERATA
(moyennes de 3 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.850 mm.			
Température du mois le plus chaud : 22°; du mois le plus froid : 17°				
Topographie	ondulations faibles ou pente légère			
Roche-mère	granito-gneiss			
Érosion	faible			
Drainage et prof. nappe	mauvais, ou nappe peu profonde			
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.
Couleur				
(référ. du Code Munsell)	5 YR 3/4	5 YR 3/3	5 YR 4/8	
(correspondance française) ...	terre d'ombre	sépia	rouille	
	—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	5,6	5,2	5,5	5,7
Argile	16,6	22,6	25,7	44,7
Limon	16,2	22,7	15,9	5,9
Sable grossier	16,4	28,8	33,7	22,6
Sable fin	11,1	25,1	23,0	25,1
Humidité hygroscopique	—	0,1	8,6	9,6
» équivalente	36,8	27,5	27,0	23,7
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	12,5	8,0	4,7	0,7
Acides humiques	4,1	3,3	3,1	0,9
» fulviques	1,5	2,5	4,8	0,6
Carbone	37,5	17,0	13,0	8,7
Azote total	2,1	0,7	0,5	0,7
C/N	18,2	25,7	27,7	12,3
CaO échangeable	1,61	1,0	0,88	0,81
MgO	0,46	0,22	0,13	0,14
K ₂ O	0,30	0,30	0,46	0,25
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,02	0,02
T méq %	36,1	22,7	20,6	19,7
FRACTIONNEMENT % :				
Densité inférieure à 1,8	0,8	1,0	0,5	0
» de 1,8 à 2	3,0	5,5	0,5	0
» de 2 à 2,1	37,0	26,8	30,0	4,0
» de 2,1 à 2,6	31,8	16,7	13,0	33,8
» sup. à 2,6	27,1	50,0	56,0	62,2

TABLEAU 21

PRAIRIE A HETEROPOGON
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.700 mm.				
Température du mois le plus chaud : 22° ; du mois le plus froid : 17°					
Topographie	ondulations faibles et mi-pente				
Roche-mère	migmatite granitoïde				
Érosion	forte				
Drainage	bon				
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.	50 à 75 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)	7,5 YR 3/2	5 YR 6/8	5 YR 4/0	2,5 YR 4/8	2,5 YR 5/8
(correspondance française).	brun	ocre	rouille	havane	bistre
	Van Dyck	obscur		pourpre	lie de vin
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	5,5	5,5	5,1	5,2	5,0
Argile	24,0	18,7	27,1	26,2	27,8
Limon	20,2	18,0	14,2	20,7	22,8
Sable grossier	21,0	27,9	21,3	27,0	10,5
» fin	26,8	25,2	35,0	26,0	10,4
Humidité hygroscopique	12,0	11,6	11,0	10,3	10,5
» équivalente.....	38,0	31,6	27,7	24,2	20,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	9,0	7,6	4,1	1,7	0,6
Acides humiques	4,2	3,5	1,8	0,8	0,4
» fulviques	0,3	0,8	0,4	0,4	0,2
Carbone	44,1	33,6	14,6	5,5	7,0
Azote total	2,4	1,9	1,45	0,55	0,68
C/N	18,2	17,5	10,0	10,0	10,3
CaO échangeable	1,20	1,16	0,63	0,75	0,59
MgO	0,34	0,32	0,25	0,16	0,10
K ₂ O	0,12	0,11	0,08	0,08	0,12
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
T méq %	29,4	24,0	21,1	19,7	19,7
FRACTIONNEMENT %					
Densité infér. à 1,8	0,5	0,5	0	0	0
» de 1,8 à 2	2,5	2,4	0,8	0,4	0
» de 2 à 2,4	17,0	16,4	3,0	2,8	1,5
» de 2,4 à 2,6	40,0	30,4	30,0	21,0	10,5
» sup. à 2,6.....	40,0	49,3	66,2	75,8	88,0
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée		171,0	151,0	215,0	220,0
Fe ₂ O ₃		82,5	95,0	107,5	85,0
Al ₂ O ₃		175,0	169,0	252,0	315,0
TiO ₂		12,0	15,5	12,5	15,0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1,5	1,3	1,44	1,2

TABLEAU 22

PRAIRIE A HYPARRHENIA
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.900 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 22°; du mois le plus froid : 16°					
Topographie	ondulations faibles et pentes légères				
Roche-mère	granito-gneiss				
Érosion	marquée				
Drainage	moyen				
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)		5 YR 6/4	7.5 YR 7/8	2.5 YR 4/4	2.5 YR 4/8
(correspondance française).		gris foncé	ocre obscur	feuille morte	fauve
		—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH		5,2	4,9	4,6	5,1
Argile		18,6	20,1	20,3	32,6
Limon		17,7	12,8	19,7	18,7
Sable grossier		22,6	17,0	10,7	25,0
» fin		27,0	42,0	48,0	23,2
Humidité hygroscopique		7,8	10,6	10,5	12,1
» équivalente.....		58,3	42,4	33,0	27,1
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine	23,9	14,7	8,2	2,2	2,0
Acides humiques	10,8	6,8	4,0	1,2	0,8
» fulviques	2,2	1,5	1,8	0,6	1,0
Carbone	70,3	40,7	22,6	8,4	7,9
Azote total	4,0	2,6	1,9	1,1	0,64
C/N	17,5	15,4	11,9	7,6	12,3
CaO échangeable		1,23	1,08	0,91	0,79
MgO		0,48	0,31	0,26	0,17
K ₂ O		0,12	0,09	0,04	0,05
P ₂ O ₅		0,03	0,02	0,06	0,04
T méq %		42,8	31,5	25,1	16,9
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8		4,0	0,8	0	0
» de 1,8 à 2		6,8	1,8	0	0
» de 2 à 2,4		27,5	17,7	3,0	2,2
» de 2,4 à 2,6		30,0	30,3	39,0	31,5
» sup. à 2,6		31,7	49,4	58,0	66,3
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée		111,6	133,7	141,0	148,5
Fe ₂ O ₃		158,5	142,5	187,0	159,5
Al ₂ O ₃		173,0	213,0	225,0	232,5
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1,13	1,1	1,06	1,08

TABLEAU 23

EUCALYPTUS ROBUSTA
(moyennes de 5 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne ..	1.600 mm.						
Température moyenne du	mois le plus chaud : 22° ; mois le plus froid : 15°						
Topographie.....	ondulations faibles en pentes légères						
Roche-mère	granito-gneiss						
Érosion	marquée						
Drainage.....	bon						
Profondeur en cm. litière	0 à 5 cm. 5 à 15 cm. 15 à 25 cm. 25 à 50 cm. 50 à 75 cm. 100 cm.						
Couleur							
(réf. Code Munsell)	10 YR 3/2 7,5 YR 7/8 10 YR 8/6				10 YR 6/6		
(corresp. française)	gris verdâtre	ocre obscur	jaune glaucue		jaune grenadine	ocre à zones bigarrées de rouge	
ANALYSE PHYSIQUE % :							
pH	5,3	5,5	5,6	5,4	5,1	5,1	5,0
Argile		20,5	20,1	26,1	25,0	38,0	40,0
Limon		14,0	21,9	26,0	25,0	20,0	28,0
Sable grossier.		11,7	12,7	23,0	30,0	27,0	22,0
Sable fin		37,8	37,3	21,0	18,0	17,0	10,0
Humidité équiv. 60,0		51,7	40,3	38,3	34,5	34,8	34,0
ANALYSE CHIMIQUE % :							
Humine	28,9	19,8	14,7	6,4	2,9	1,0	0,15
Acides hum....	10,8	10,8	4,4	2,2	2,6	0,7	0,08
» fulv....	3,8	8,5	3,2	1,4	1,0	0,7	0,05
Carbone	98,8	86,5	43,5	22,6	18,8	12,0	2,0
Azote total ..	6,97	6,44	4,26	1,82	1,93	0,95	0,2
C/N	14,1	13,4	10,0	12,4	9,8	12,6	10,0
CaO échang...	0,9	0,95	0,63	0,48	0,6	0,36	0,3
MgO	0,3	0,21	0,09	0,06	0,08	0,05	0,06
K ₂ O	0,15	0,19	0,11	0,10	0,16	0,04	0,04
P ₂ O ₅	0,05	0,10	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01
T méq %	30,6	32,8	19,3	15,8	12,0	10,4	7,6
FRACTIONNEMENT % :							
Dens. inf. à 1,8	36,2	5,7	1,6	0,5	0	0	0
» de 1,8 à 2	6,6	3,7	2,1	1,6	0	0	0
» de 2 à 2,4	16,3	23,5	10,3	6,1	2,0	5,0	0
» de 2,4 à 2,6	15,0	20,0	28,0	40,0	44,0	30,0	20,0
» sup. à 2,6	25,9	47,1	58,0	51,8	54,0	65,0	80,0

TABLEAU 24

ACACIA DEALBATA
(moyennes de 5 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne .	1.700 mm.					
Température moyenne du mois le plus chaud :	22°8 ;					
Température moyenne du mois le plus froid :	15°7					
Topographie	ondulations faibles ou pentes légères					
Roche-mère	granito-gneiss					
Érosion	marquée					
Drainage	bon					
Profondeur en cm.	litère	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.	50 à 80 cm.
Couleur						
(réf. Code Munsell) .		10 YR 4/1	10 YR 5/2	10 YR 5/3	5 YR 7/6	5 YR 5/6
(correspond. franç.) ..		noir bleuté	garance olivâtre	garance ponceau	orange	fauve
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	5,0	5,0	5,0	5,7	6,0	6,1
Argile		13,7	13,1	15,2	17,0	25,6
Limon		10,2	13,5	17,4	24,0	20,3
Sable grossier		38,0	31,0	28,9	20,9	16,2
fin		22,3	33,4	29,5	33,8	36,2
Humidité équivalente ..	80,0	30,0	20,7	20,4	20,9	20,2
ANALYSE CHIMIQUE % :						
Humine	32,0	19,0	13,9	11,1	7,2	1,6
Acides humiques	10,0	5,3	7,2	7,4	3,3	0,7
fulviques	6,0	5,1	4,5	2,5	1,8	0,8
Carbone	200,0	87,2	52,7	45,0	28,7	9,7
Azote total	15,0	5,15	2,98	2,31	1,90	0,7
C/N	13,0	16,9	17,6	18,7	14,6	13,7
CaO échangeable	1,7	1,01	0,80	0,71	0,57	0,46
MgO	0,5	0,30	0,24	0,12	0,08	0,04
K ₂ O	0,2	0,10	0,06	0,06	0,08	0,05
P ₂ O ₅	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
T m _{éq} %	70,0	29,0	21,8	19,1	19,8	19,2
FRACTIONNEMENT % :						
Densité infér. à 1,8 ...	57,0	11,6	2,8	0,2	0,2	0
de 1,8 à 2 ...	8,0	4,0	2,4	3,1	1,8	0,1
de 2 à 2,4 ...	12,0	27,4	25,6	18,9	5,5	0,4
de 2,4 à 2,6 ...	12,0	27,0	39,2	37,7	42,0	10,4
sup. à 2,6	11,0	30,0	30,0	40,1	50,5	89,1
ANALYSE TOTALE % :						
CaO total		1,19	0,81	0,64	0,49	0,62
K ₂ O		0,55	0,14	0,26	0,18	0,24
P ₂ O ₅		0,29	0,13	0,36	0,29	0,49

TABLEAU 25

PINS (PATULA ET KHASTA)
(moyennes de 6 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.700 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 22°8 ; du mois le plus froid : 15°7				
Topographie	crêtes et mi-pente			
Roche-mère	granito-gneiss			
Érosion	très faible			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.
Couleur				
(réf. au Code Munsell)		10 YR 4/1	7,5 YR 3/1	7,5 YR 4/1
(correspondance française) ...		noir bleuté	noir sépia	brun Van Dyck
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	4,9	5,3	5,4	5,8
Argile	18,0	20,0	15,7	18,0
Limon	5,2	15,0	16,5	14,0
Sable grossier	28,5	41,0	40,0	42,0
» fin	38,5	13,8	15,2	26,0
Humidité hygroscopique		8,8	7,8	
» équivalente	62,0	35,8	30,5	29,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	23,7	15,3	12,5	10,0
Acides humiques	18,6	9,5	7,6	4,8
» fulviques	5,9	4,0	3,8	3,4
Carbone	88,7	42,5	27,7	23,0
Azote total	4,37	3,03	1,9	2,0
C/N	20,3	14,0	14,5	14,0
CaO échangeable	0,92	0,73	0,38	0,35
MgO	0,26	0,24	0,17	0,12
K ₂ O	0,18	0,14	0,11	0,05
P ₂ O ₅	0,07	0,06	0,04	0,02
T méq %	41,5	25,0	20,4	17,5
FRACTIONNEMENT % :				
Densité inférieure à 1,8	37,7	3,3	1,0	0,8
» de 1,8 à 2	15,5	1,8	0,6	1,5
» de 2 à 2,4	27,5	43,6	32,5	20,5
» de 2,4 à 2,6	10,3	21,3	35,9	37,1
» sup. à 2,6	9,0	30,0	30,0	40,0
ANALYSE TOTALE ‰ :				
CaO total	1,8	0,88	0,61	
K ₂ O	0,34	0,51	0,47	
P ₂ O ₅	0,73	0,30	0,24	

TABLEAU 26

PINS (KHASYA)
(moyennes de 3 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.700 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 22°8 ; moyenne du mois le plus froid : 15°7					
Topographie	bas de pente plus ou moins colluvionnés				
Roche-mère	granito-gneiss				
Érosion	très faible				
Drainage	bon				
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 20 cm.	20 à 45 cm.	45 à 100 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)		10 YR 4/1	7.5 YR 3/1	10 YR 6/0	5 YR 6/4
(correspondance française).		noir bleuté	noir sépia	jaune grenadine	roux
	—	—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	5,0	5,6	5,8	5,7	5,6
Argile	12,5	22,0	23,0	29,5	31,0
Limon	6,5	8,5	10,0	17,2	21,1
Sable grossier	38,0	38,5	39,6	35,0	32,2
» fin	31,0	34,2	25,0	16,0	14,4
Humidité équivalente	52,0	43,5	32,0	31,0	30,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine	28,5	12,0	9,0	2,0	0,3
Acides humiques	11,4	6,0	5,4	0,8	0,1
» fulviques	8,8	4,0	4,4	0,5	0,1
Carbone	72,0	39,1	32,2	9,3	1,5
Azote total	4,11	2,55	1,9	0,81	0,14
C/N	17,5	15,3	16,8	11,5	10,6
CaO échangeable	1,9	1,58	1,31	0,37	0,28
MgO	0,33	0,26	0,22	0,17	0,02
K ₂ O	0,39	0,27	0,14	0,13	0,02
P ₂ O ₅	0,08	0,05	0,02	0,02	0,01
T méq %	37,0	28,4	20,0	18,3	14,7
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8	6,5	1,0	0	0	0
» de 1,8 à 2	23,0	3,0	3,0	0	0
» de 2 à 2,4	37,0	35,0	30,0	6,0	1,0
» de 2,4 à 2,6	32,0	31,0	37,0	20,0	10,0
» sup. à 2,6	20,0	30,0	30,0	74,0	84,0
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée		58,0	58,3	13,4	20,9
Fe ₂ O ₃		40,5	48,5	44,0	56,0
Al ₂ O ₃		120,4	149,5	142,2	226,8
TiO ₂		21,0	14,5	11,5	9,0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		0,81	0,66	0,16	0,15
CaO total	6,83	3,12	2,49	2,69	
K ₂ O	1,02	0,38	0,36	0,26	
P ₂ O ₅	0,51	0,40	0,45	0,23	

TABLEAU 27

MANGUIER
(moyennes de 2 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.368 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 21°6 ; moyenne du mois le plus froid : 14°1					
Topographie	pentcs faibles				
Roche-mère	gneiss				
Érosion	peu marquée				
Drainage	bon				
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	10 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.
Couleur					
(référ. Code Munsell) ...		10 YR 3/2	10 YR 5/5	7,5 YR 6/6	5 YR 4/8
(correspondance française).		brun	brun safran	ocre jaune	rouille
	—	—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	6,2	6,0	5,9	5,8	5,6
Argile	5,0	20,0	15,0	25,0	20,0
Limon	5,0	15,0	18,0	20,0	10,0
Sable grossier	10,0	16,0	20,0	21,0	20,0
» fin	27,0	31,0	43,0	23,0	16,0
Humidité équivalente.....	88,0	58,1	36,0	27,2	23,9
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	28,0	11,5	5,7	5,4	1,1
Acides humiques	10,0	6,0	4,0	2,0	1,1
» fulviques	6,0	4,0	1,8	3,6	0,6
Carbone	195,0	96,0	38,0	32,0	16,0
Azote total	8,3	6,0	9,0	2,6	1,7
C/N	23,4	16,0	12,6	12,3	9,4
CaO échangeable	6,8	2,2	1,5	1,2	0,7
MgO	1,1	0,3	0,2	0,15	0,08
K ₂ O	1,3	0,4	0,2	0,2	0,1
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
T méq %	57,0	44,0	24,5	12,4	10,6
FRACTIONNEMENT % :					
Densité 1,8 à 2	55,0	17,0	0,5	2,0	0
» 2 à 2,4	17,0	30,0	18,5	9,0	0,5
» 2,4 à 2,6	14,0	18,0	38,0	45,0	32,0
» sup. à 2,6.....	14,0	35,0	43,0	44,0	67,5

TABLEAU 28

CINCHONA LEDGERIANA
(moyennes de 2 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne .	2.260 mm.					
Température moyenne du mois le plus chaud :	22°6 ; du mois le plus froid : 15°8					
Topographie	pentes légères					
Roche-mère	gneiss					
Érosion :	marquée					
Drainage	bon					
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	30 cm.	60 cm.	80 cm.	120 cm.
Couleur						
(référ. Code Munsell) .	10 YR 3/3	10 YR 4/3	10 YR 5/6	7 YR 5/6	7,5 YR 5/4	7,5 YR 5/8
(corresp. française) ..	noir	brun noirâtre	brun safran	ocre roux	roux	rouille
	—	—	—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	6,0	5,8	5,9	6,0	6,0	6,0
Argile		12,6	20,0	24,0	22,0	9,0
Limon		3,5	15,5	17,5	16,5	14,0
Sable grossier		18,1	23,0	28,5	26,5	37,6
» fin		52,0	37,0	30,0	34,0	39,0
Humidité équivalente ..	43,0	37,0	28,0	29,5	24,0	12,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	13,2	5,0	3,45	0,75	0,35	0
Acides humiques	2,9	1,6	0,85	0,45	0,30	0,05
» fulviques	2,3	1,4	0,60	0,10	0,10	0,05
Carbone	60,0	28,6	18,10	8,40	3,00	1,50
Azote total	4,1	2,95	1,76	0,75	0,36	0,12
C/N	14,6	9,8	10,10	11,20	8,20	12,5
CaO échangeable	0,67	0,60	0,48	0,40	0,31	0,34
MgO	0,27	0,18	0,11	0,08	0,07	0,07
K ₂ O	0,16	0,05	0,10	0,04	0,10	0,03
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
T méq %	38,6	28,3	19,4	20,6	13,0	11,7
FRACTIONNEMENT % :						
Densité infér. à 1,8 ...	3,5	1,0	1,0	0,5	0	0
» de 1,8 à 2 ...	4,0	1,0	2,0	0,5	0,5	0
» de 2 à 2,4 ...	56,0	35,0	9,0	2,0	1,5	0
» de 2,4 à 2,6 ...	32,0	25,0	29,0	8,0	8,0	2,0
» supér. à 2,6 ...	1,5	38,0	69,0	89,0	90,0	98,0

TABLEAU 29

CHAMP D'ARACHIDE CULTIVÉ DEPUIS 10 ANS

Pluviométrie moyenne .	1.500 mm.					
Température moyenne du mois le plus chaud :	20°5 ; du mois le plus froid : 13°6					
Topographie	ondulations faibles					
Roche-mère	gneiss					
Érosion	en ravins					
Drainage	bon					
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 30 cm.	30 à 50 cm.	50 à 60 cm.	75 cm.
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	6,4	6,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Argile	26,0	30,0	22,0	22,1	24,1	22,5
Limon	20,0	16,0	10,0	15,1	15,1	18,0
Sable grossier	8,0	8,0	30,0	36,0	36,0	44,0
» fin	42,0	38,0	38,0	23,0	21,0	13,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	5,9	3,8	2,5	2,5	1,0	0,3
Acides humiques	1,7	5,2	2,2	0,8	0,5	0,2
» fulviques	0,6	0,2	0,3	0,25	0,1	0,10
Carbone	18,8	17,3	8,31	5,15	2,52	1,32
Azote total	1,2	1,4	0,62	0,70	0,48	0,30
C/N	15,6	12,4	13,4	7,4	5,2	4,3
CaO échangeable	4,81	3,11	2,1	1,69	1,02	0,80
MgO	0,69	0,69	0,52	0,46	0,14	0,09
K ₂ O	0,13	0,16	0,05	0,02	0,02	0,05
P ₂ O ₅	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
T méq %	30,0	22,0	17,0	16,6	9,31	6,9
FRACTIONNEMENT % :						
Densité infér. à 1,8 ...	0	0				
» de 1,8 à 2	2,0	2,0	0,5	0	0	0
» de 2 à 2,4 ...	6,0	6,0	1,5	1,5	1,5	1,0
» de 2,4 à 2,6 ...	85,0	40,0	34,0	34,0	15,0	10,0
» supér. à 2,6 ...	7,0	52,0	64,0	64,5	83,5	89,0

TABLEAU 30

POPULATIONS DIVERSES

Pluviométrie moyenne 1.368 mm.

Température moyenne du mois le plus chaud : 21°6 ; du mois le plus froid : 14°1

Roche-mère colluvions gneissiques

Profondeur en cm. 0 à 5 cm. 10 à 15 cm. 0 à 5 cm. 0 à 5 cm. 10 à 15 cm.

	<i>Laurus camphora</i>		<i>Grevillea robusta</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	
	—	—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	6,2	6,0	6,4	6,0	6,1
Argile	10,0	15,0	20,0	5,0	10,0
Limon	10,0	10,0	15,0	5,0	10,0
Sable grossier	28,0	20,0	17,0	30,0	25,5
fin	52,0	53,5	40,0	61,0	52,5
Humidité équivalente.....	35,8	30,0	44,7	50,0	34,2
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	4,7	1,1	12,0	7,0	2,1
Acides humiques	2,4	1,2	3,0	2,4	2,0
fulviques	0,4	0,3	2,0	0,6	0,4
Carbone	17,4	6,0	40,0	23,4	10,0
Azote total	1,5	0,93	2,12	1,9	0,82
C/N	11,6	6,4	18,4	12,3	12,1
CaO échangeable	2,09	0,81	1,75	2,0	1,04
MgO	0,25	0,17	0,16	0,33	0,12
K ₂ O	0,13	0,10	0,08	0,28	0,07
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
T méq %	12,8	7,1	20,0	18,6	9,0
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8	0	0			
de 1,8 à 2	0,5	0	8,0	2,5	0
de 2 à 2,4	1,5	1,0	22,0	2,5	1,0
de 2,4 à 2,6	30,0	30,0	6,0	49,0	49,0
supér. à 2,6	68,0	69,0	64,0	46,0	50,0

TABLEAU 31

SOLS GNEISSIQUES
Analyse des fractions

<i>Végétation</i>	<i>Fraction de densité</i>	<i>Carbone %</i>	<i>Azote ‰</i>	<i>Humus total ‰ des fract.</i>	<i>Lessivage à l'acétate NH₄ S méq %</i>	<i>humus entraîné ‰ (5)</i>	<i>Capacité d'échange %</i>
Forêt	inf. à 2	366,0	15,22	196,0	35,0	38,0	171,5
	2 à 2,4	56,0	4,15	32,5	13,4	9,5	54,3
	2,4 à 2,6	24,0	1,42	10,5	4,5	4,1	38,3
	sup. à 2,6	6,0	0,58	3,0	1,1	0,9	16,2
Prairie	inf. à 2	260,0	9,24	106,5	12,3	—	88,0
	2 à 2,4	60,0	4,08	32,6	9,3	—	30,0
	2,4 à 2,6	24,8	1,80	12,1	4,6	—	20,0
	sup. à 2,6	4,8	0,42	2,6	2,8	—	6,0
Eucalyptus	inf. à 2	206,0	8,90	142,5	25,0	23,0	98,0
	2 à 2,4	60,0	3,54	35,0	10,8	10,0	29,4
	2,4 à 2,6	26,0	1,66	14,9	6,6	4,9	18,5
	sup. à 2,6	6,0	0,36	2,8	2,7	1,2	6,5
Pin	inf. à 2	210,0	8,66	125,0	36,0	25,0	160,0
	2 à 2,4	83,0	3,25	39,0	16,8	12,6	39,5
	2,4 à 2,6	26,0	2,46	12,0	5,3	2,8	22,0
	sup. à 2,6	9,4	0,35	4,2	4,3	2,2	8,6
Acacia	inf. à 2	340,0	17,0	162,0	24,8	17,5	195,8
	2 à 2,4	80,0	3,92	39,0	17,1	11,0	40,2
	2,4 à 2,6	28,8	2,0	17,2	4,4	6,2	26,5
	sup. à 2,6	4,3	0,34	2,0	3,7	1,2	3,1
Manguier	inf. à 2	288,0	—	127,5	42,0	27,5	108,0
	2 à 2,4	72,0	—	40,0	14,8	12,0	—
	2,4 à 2,6	32,0	—	20,0	6,8	7,2	—
	sup. à 2,6	7,0	—	3,0	3,0	2,0	—
Imperata	inf. à 2	—	—	—	36,4	—	94,5
	2 à 2,4	—	—	—	10,7	—	27,0
	2,4 à 2,6	—	—	—	10,0	—	14,8
	sup. à 2,6	—	—	—	4,5	—	6,3

Analyses du sol total (éléments ‰ de sol)

	<i>Profondeur</i>	<i>Humus total</i>	<i>Éléments solubilisés par l'acétate NH₄</i>			
			<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>K₂O</i>	<i>Humus total</i>
Forêt	0 à 5 cm.	57,0	1,59	0,26	0,37	22,9
	10 à 15 cm.	25,1	0,87	0,18	0,15	8,3
	30 cm.	11,5	0,59	0,10	0,08	4,3
Lande à Philippia	0 à 5 cm.	24,5	0,72	0,20	0,18	11,0
	0 à 5 cm.	13,5	0,62	0,16	0,15	4,5

(5) L'humus entraîné est calculé par différence entre l'humus dosé avant et après lessivage à l'acétate d'ammonium.

TABLEAU 32

TOURBIÈRES DE SOIS GRANITO-GNEISSIQUES
(moyennes de 40 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne .. 1.400 mm.

Température moyenne du mois le plus chaud : 22°5; du mois le plus froid : 15°2

Profondeur en cm. Litière	0 à 5 cm.	10 à 25 cm.	25 à 80 cm.	80 à 100 cm.	100 à 150 cm.	150 cm.
Couleur	acajou	noir	noir	gris- noir	grisâtre à jaunâtre	blanc bleuté
ANALYSE PHYSIQUE % :	—	—	—	—	—	—
pH	5,3	4,8	5,0	4,9	5,0	5,6
Argile	8,5	14,5	12,9	16,2	22,0	31,5
Limon	10,3	16,0	16,2	19,5	15,0	24,3
Sable grossier.	15,2	14,7	18,4	15,0	22,0	16,2
fin	16,0	18,0	20,0	23,0	24,0	23,0
Humidité équiv.	94,8	68,8	71,2	66,2	43,7	31,7
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	22,1	32,6	25,2	16,4	10,8	8,7
Acides hum....	10,9	18,9	18,6	16,4	9,8	5,9
fulv....	12,8	11,4	17,5	16,4	9,8	4,5
Carbone	287,3	220,3	189,5	169,8	101,0	36,0
Azote total ..	8,8	9,6	9,2	9,1	6,4	3,4
C/N	32,6	22,9	20,6	18,5	15,8	10,6
CaO échang....	2,10	2,70	2,90	1,30	0,97	0,85
MgO	0,45	0,60	0,60	0,18	0,16	0,12
K ₂ O	0,19	0,10	0,20	0,14	0,10	0,07
P ₂ O ₅	0,08	0,10	0,15	0,08	0,04	0,02
T méq %	54,1	40,7	10,9	37,6	26,2	16,1
FRACTIONNEMENT % :						
Dens. inf. à 1,8	92,5	84,0	72,0	6,0	4,0	0
de 1,8 à 2	6,5	13,0	25,0	63,0	25,0	0
de 2 à 2,4	0,7	1,0	1,0	22,0	50,0	5,0
de 2,4 à 2,6	0,2	1,0	1,0	4,0	10,0	20,0
sup. à 2,6	0,1	1,0	1,0	5,0	11,0	75,0

TABLEAU 33

Assèchement progressif	Fractions % de densité			Acide humique ‰	Acide fulvique ‰
	inférieure à 2	2 à 2,4	supérieure à 2,4		
Marais inondé.....	76	9	15	36,8	48,0
Marais asséché depuis 6 mois	68	16	16	29,8	31,2
» » » 1 an ..	33	51	16	17,2	30,6
» » » 1 an ½	16	60	24	21,9	28,9
» » » 2 ans	12	64	24	29,8	26,9
» » » 2 ans ½	4	70	26	26,5	27,1
» » » 10 ans environ	2	57	41	24,0	26,0

TABLEAU 34

TERRASSES ALLUVIALES ANCIENNES
(alluvions jaunes)

Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	10 à 15 cm.	15 à 25 cm.
Couleur			
(réf. Code Munsell).....	75 YR 4/2	75 YR 6/4	
(correspondance française)	sépia	brun orange à jaune orange	
ANALYSE PHYSIQUE % :			
pH	5,4	5,8	6,0
Argile	17,0	26,0	38,0
Limon	18,0	20,0	28,0
Sable grossier	22,0	23,6	15,8
» fin	41,0	30,0	16,0
Humidité équivalente	18,5	16,8	11,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :			
Humine	3,2	0,8	0,5
Acides humiques	2,8	1,8	0,2
» fulviques	3,0	1,4	0,3
Carbone.....	24,0	14,0	1,6
Azote total	1,72	0,97	0,1
C/N	14,0	15,0	16,0
CaO échangeable	0,60	0,45	0,34
MgO.....	0,08	0,04	0,02
K ₂ O	0,05	0,02	0,01
P ₂ O ₅	0,04	0,01	0,01
T méq %	13,8	10,4	8,6
FRACTIONNEMENT % :			
Densité inférieure à 1,8	0		
» de 1,8 à 2	2,0	2,0	0
» de 2 à 2,4	10,0	10,0	8,0
» de 2,4 à 2,6	12,0	8,0	5,0
» supérieure à 2,6	76,0	80,0	87,0

TABLEAU 35

SOLS BASALTIQUES
(moyennes de 3 analyses par horizon)

Température moyenne du mois le plus chaud : 16° ; du mois le plus froid : 10°

	SOL BRUN			SOL NOIR		
Topographie	ondulations faibles			ondulations faibles		
Roche-mère	basalte			basalte		
Érosion	marquée			faible		
Drainage	bon			mauvais		
Profondeur en cm.	0 à 10 cm.	40 à 50 cm.	100 cm.	0 à 10 cm.	30 à 50 cm.	100 cm.
Couleur (référ. Code Munsell) (corresp. française) ..	7,5 YR 4/4 terre d'ombre	7,5 YR 5/8 brun sépia	5 YR 6/6 terre de sienne	10 YR 2/1 noir sépia	2,5 YR 2/2 brun pourpre	5 YR 3/2 sépia
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	5,5	5,9	6,0	5,7	6,3	6,8
Argile	38,0	45,0	59,0	24,6	32,6	46,9
Limon	30,0	30,0	22,0	16,1	26,3	9,2
Sable grossier	8,5	12,0	11,0	2,0	1,3	3,4
» fin	17,5	11,0	8,0	45,0	33,0	27,0
Humidité équivalente ..	37,8	36,0	36,6	98,0	50,0	48,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	4,0	3,6	1,0	22,8	14,4	11,2
Acides humiques	2,1	0,8	0,3	12,7	4,2	3,5
» fulviques	1,6	1,0	0,3	3,3	4,0	3,2
Carbone	30,0	10,0	6,0	159,0	120,0	51,0
Azote total	2,3	0,7	0,5	7,6	7,2	3,5
C/N	13,0	14,3	12,0	20,8	16,6	14,6
CaO échangeable	0,42	0,40	0,45	0,35	0,33	0,24
MgO	0,02	0,02	0,03	0,13	0,07	0,06
K ₂ O	0,03	0,03	0,04	0,11	0,08	0,05
P ₂ O ₅	0,03	0,02	0,02	0,08	0,05	0,02
T méq %	16,8	15,3	15,0	68,3	45,0	35,8
FRACTIONNEMENT % :						
Densité infér. à 1,8 ...				24,0	5,0	0,5
» de 1,8 à 2 ...	0,5	0	0	23,0	30,0	2
» de 2 à 2,4 ...	2,5	0,5	0	12,0	15,5	50,0
» de 2,4 à 2,6 ...	38,0	10,0	1,0	20,0	30,0	38,0
» supér. à 2,6 ...	59,0	89,5	99,0	21,0	20,0	9,5
ANALYSE TOTALE ‰ :						
Silice combinée	18,5	33,7	228,0	94,0	157,5	262,0
Fe ₂ O ₃	250,0	192,5	75,0	155,0	185,0	168,5
Al ₂ O ₃	356,0	305,4	345,7	157,0	268,0	264,0
TiO ₂	46,0	42,0	15,5	23,0	26,0	23,0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,09	0,18	1,11	1,02	1,0	1,68
CaO total	1,61	1,58	2,20	1,05	1,51	2,10
K ₂ O	1,78	2,05	1,70	0,45	0,53	0,36
P ₂ O ₅	5,10	5,60	1,80	3,88	2,85	2,03
MnO	1,40	1,20	traces	2,50	2,70	3,10

TABLEAU 36

FORÊT OMBROPHILE
(moyennes de 5 analyses par horizon)

Pluviométrie moy.	1.690 mm.						
Température moyenne du mois le plus chaud :	16°						
Température moyenne du mois le plus froid :	10°						
Topographie	ondulations faibles						
Roche-mère.....	basalte						
Érosion	faible						
Drainage	moyen						
Profondeur en cm..	litière	0	5	15	25	50	90
		à 5 cm.	à 15 cm.	à 25 cm.	à 40 cm.	à 60 cm.	à 100 cm.
Couleur							
(réf. Code Munsell)	75 YR	75 YR	10 YR	10 YR	10 YR	5 YR	10 YR
	4/1	4/2	2/2	4/3	2/2	3/3	2/2
(corresp. française)	noir	noir	brun	brun	sépia	violet	sanguine
	bleuté	pourpre	pourpre	pourpre	Van Dyck	noir-râtre	
ANALYSE PHYSIQUE % :							
pH	6,0	6,2	6,2	6,2	6,4	6,2	5,8
Argile	5,5	14,0	12,0	24,0	24,0	36,8	42,0
Limon	15,2	16,5	20,0	16,3	25,2	28,0	30,0
Sable grossier	20,0	12,0	9,5	4,0	10,0	3,5	3,6
fin	31,3	34,0	40,5	46,0	33,0	27,0	24,0
Humidité hygrosop.	23,2	15,7	18,4	17,5	16,2	—	—
équival...	68,0	57,0	50,0	41,5	35,0	34,0	36,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :							
Humine.....	42,6	31,6	22,6	17,0	10,0	5,0	0,4
Acides humiques...	16,6	9,0	6,77	5,5	4,0	1,8	0,3
fulviques ..	8,0	3,7	4,15	3,6	3,0	1,3	0,5
Carbone	144,0	121,0	94,2	53,0	40,2	26,0	2,5
Azote total	7,64	6,8	5,37	2,77	2,14	2,1	0,25
C/N	18,7	18,1	17,5	19,1	18,7	12,3	8,9
CaO échangeable ..	2,95	2,0	1,67	0,86	0,70	0,62	0,50
MgO	0,61	0,5	0,37	0,19	0,16	0,14	0,12
K ₂ O	0,35	0,23	0,14	0,12	0,09	0,03	0,08
P ₂ O ₅	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
T méq %.....	72,8	45,4	40,8	30,0	24,5	22,6	20,0
FRACTIONNEMENT % :							
Densité infér. à 1,8	63,0	16,5	6,0	0,5	0	0	0
de 1,8 à 2	12,5	30,0	28,0	11,5	1,0	1,0	0,5
de 2 à 2,4	16,0	33,5	33,5	43,0	27,0	10,0	2,0
de 2,4 à 2,6	7,5	16,0	23,2	30,0	38,0	40,0	40,0
supér. à 2,6	1,0	4,0	9,3	15,0	34,0	49,0	57,5
ANALYSE TOTALE ‰ :							
Silice combinée		98,2	127,7	185,9		100,5	
Fe ₂ O ₃		105,0	117,5	205,0		200,0	
Al ₂ O ₃		221,0	198,0	198,0		133,7	
TiO ₂		18,5	22,5	32,0		43,8	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		0,75	1,09	1,58		1,3	
CaO total.....		1,32	1,44	1,52		1,8	
K ₂ O		0,47	0,50	0,51		0,48	
P ₂ O ₅		2,56	2,48	2,50		2,10	
MnO		2,5	3,9	2,5		3,4	

TABLEAU 37

PRAIRIE A ARISTIDA
(moyennes de 6 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne ..	1.500 mm.						
Température moyenne du mois le plus chaud : 19° ; du mois le plus froid : 12°							
Topographie.....	ondulations et pentes douces						
Roche-mère.....	basalte						
Érosion.....	faible						
Drainage.....	bon						
Profondeur en cm.	0	5	15	25	50	75	
	à 5 cm.	à 15 cm.	à 25 cm.	à 50 cm.	à 75 cm.	à 100 cm.	100 cm.
Couleur							
(réf. Code							
Munsell)	5 YR 3/3	25 YR 4/3	25 YR 4/8	25 YR 3/8	25 YR 6/2	5 YR 5/2	75 YR 5/4
(corresp. franç.)	sépia	brun	bistre	lie de	châtain	terre	gris-
		acajou	lie de vin	vin		cuite	roux
ANALYSE PHYSIQUE % :							
pH	5,4	5,4	5,6	5,8	5,9	5,9	5,9
Argile	21,2	22,5	31,2	36,4	40,6	38,4	18,0
Limon	10,1	14,1	16,3	16,4	27,7	29,6	18,4
Sable grossier.	5,8	5,4	4,1	3,4	3,4	4,4	28,7
» fin	55,0	50,1	45,0	43,0	28,0	27,0	35,0
Humidité équiv.	46,9	41,6	30,8	34,8	34,6	37,3	32,7
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :							
Humine	10,2	9,6	5,3	3,3	1,4	0,5	0,4
Acides hum....	8,0	5,7	4,2	2,0	1,0	0,4	0,2
» fulv....	3,2	2,3	1,9	0,6	0,6	0,2	0,1
Carbone	47,5	38,2	22,9	12,9	5,7	2,3	1,5
Azote total ..	2,8	3,2	1,0	1,2	0,6	0,3	0,18
C/N	16,9	11,8	12,0	10,7	9,3	7,3	7,9
CaO échang...	1,6	1,0	1,2	1,2	0,8	0,6	0,5
MgO	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
K ₂ O	0,1	0,1	0,1	0,06	0,05	0,05	0,05
P ₂ O ₅	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,06	0,10
T méq %	33,1	27,2	17,3	19,5	18,8	17,8	15,0
FRACTIONNEMENT % :							
Dens. inf. à 1,8	2,0	0,5					
» de 1,8 à 2	1,2	2	4,5				
» de 2 à 2,4	31,7	30,5	20,0	0,5		9,0	2,5
» de 2,4 à 2,6	46,5	20,5	14,5	0,7	0,7	20,0	17,5
» sup. à 2,6	20,0	48,0	62,0	99,0	99,2	71,0	80,0
ANALYSE TOTALE ‰ :							
Silice combinée	242,0	251,0	271,0	258,0	210,1		
Fe ₂ O ₃	140,0	120,0	155,0	90,0	215,0		
Al ₂ O ₃	331,0	315,0	348,0	420,0	256,0		
TiO ₂	35,0	32,0	26,0	27,0	30,0		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ...	1,23	1,35	1,35	1,04	1,39		
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ ...	0,93	1,09	1,05	0,91	0,90		
CaO total	1,96	2,00	2,20	3,64	2,50		
K ₂ O	0,45	0,63	0,37	0,18	0,22		
P ₂ O ₅	3,50	1,22	4,00	4,00	2,50		
MnO	1,60	1,80	1,40	3,90	1,40		

TABLEAU 38

PRAIRIE A ILYPARRHENIA
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne . 1.300 mm.

Température moyenne du mois le plus chaud : 22°; du mois le plus froid : 16°

Roche-mère basalte

Topographie ondulations faibles et plaines

Érosion marquée

Drainage bon

Profondeur en cm.	0	5	15	25	50	75
	à 5 cm.	à 15 cm.	à 25 cm.	à 50 cm.	à 75 cm.	à 150 cm.
Couleur						
(réf. Code Munsell) .75 YR 5/2	10 YR 5/8	7.5 YR 6/8	5 YR 6/6	2.5 YR 6/6	2.5 YR 5/8	
(corresp. française) ..	brun garance	rouille	ocre obscur	brun giroflée	ocre rouge	lié de vin
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,9
Argile	34,6	30,1	21,7	32,7	32,8	28,0
Limon	14,3	26,2	25,5	19,7	22,4	28,6
Sable grossier	8,9	9,0	1,1	11,0	20,5	11,0
» fin	25,9	26,4	44,5	26,2	23,9	25,4
Humidité hygroscopique		17,8	19,3			
» équivalente ..	42,7	36	35,3	30	28,0	33,1
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	8,8	8,9	2,5	1,9	0,7	0,5
Acides humiques	8,1	2,4	2,4	0,4	0,25	0,3
» fulviques	2,2	1,2	1,7	0,2	0,2	0,2
Carbone	46,1	28,3	13,9	8,0	4,0	3,6
Azote total	3,2	2,0	1,2	0,8	0,4	0,4
C/N	14,4	14,1	11,6	10,0	10,0	9,0
CaO échangeable	1,6	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6
MgO	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
K ₂ O	0,05	0,08	0,07	0,1	0,07	0,04
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,05	0,1	0,02	0,02
T méq %	33,1	21,6	19,45	14,0	18,0	16,5
FRACTIONNEMENT % :						
Densité infér. à 1,8 ...	—	—				
» de 1,8 à 2 ...	5,0	3,7	0	0	0	0
» de 2 à 2,4 ...	20,5	20,1	2,5	2,5	0	0
» de 2,4 à 2,6 ...	29,5	20,6	32,2	50,0	44,5	0,5
» supér. à 2,6 ...	36,0	55,6	65,3	47,5	55,5	99,5
ANALYSE TOTALE ‰ :						
Silice combinée		210,5	200,0		265,0	
Fe ₂ O ₃		230,0	218,5		230,0	
Al ₂ O ₃		260,0	305,8		262,5	
TiO ₂		40,0	37,5		38,0	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1,4	1,1		1,7	
CaO total		1,61	0,56		0,60	
K ₂ O		1,78	3,00		2,2	
P ₂ O ₅		2,5	1,6		1,8	
MnO	1,0	4,5	5,0		3,9	

TABLEAU 39

PRAIRIE A IMPERATA
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.200 mm.				
Température moyenne du mois	le plus chaud : 25°2 ; du mois le plus froid : 18°				
Topographie	ondulations faibles				
Roche-mère	basalte				
Érosion	faible				
Drainage	faible				
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.	50 à 100 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)	75 YR 3/2	75 YR 4/4	75 YR 5/4	75 YR 5/6	10 YR 5/4
(correspondance française).	ocre calciné	terre d'ombre	garance ponceau	ocre jaune	gris olivâtre
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	5,8	5,8	6,1	6,2	6,4
Argile	15,5	20,1	25,8	26,9	27,7
Limon	23,1	23,0	27,0	21,5	15,6
Sable grossier	8,4	5,2	7,9	13,5	17,2
» fin	37,4	44,6	35,5	36,0	39,3
Humidité équivalente.....	52,9	45,0	40,2	40,9	38,9
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	26,1	14,1	9,9	2,1	2,2
Acides humiques	10,4	7	3,6	2,1	1,5
» fulviques	3,0	1,9	1,0	0,85	0,2
Carbone	82,0	43,2	27,5	12,7	2,6
Azote total	5,2	3,9	2,6	1,2	0,8
C/N	15,7	11,0	10,5	10,5	10,7
CaO échangeable	2,0	1,8	1,3	0,8	1,2
MgO	0,7	0,5	0,5	0,3	0,45
K ₂ O	0,08	0,1	0,04	0,05	0,04
P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,03	0,04	0,06
T méq %	46,3	35,6	25,1	24,6	23,5
FRACTIONNEMENT % :					
Densité de 1,8 à 2	10,0	0,7	0,7		
» de 2 à 2,4	40,0	34,0	25,3	0,7	0,5
» de 2,4 à 2,6	32,5	36,3	16,0	8,0	3,5
» supér. à 2,6	17,5	29,0	58,0	91,3	96,0
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée	107,5	98,0	99,0	157,5	262,0
Fe ₂ O ₃	185,0	132,0	170,0	180,0	162,5
Al ₂ O ₃	268,0	270,0	197,0	228,5	264,0
TiO ₂	20,0	21,0	22,0	23,0	23,0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,7	0,6	0,9	1,2	1,7
CaO total	4,2	3,2	2,7	2,5	3,1
K ₂ O	0,4	0,7	0,4	0,5	1,6
P ₂ O ₅	5,2	4,5	5,5	2,9	2,9
MnO	2,7	2,0	3,0	2,7	3,1

TABLEAU 40

PRAIRIE A PANICUM
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.500 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 17° ; du mois le plus froid : 10°5					
Topographie	ondulations et pentes faibles				
Roche-mère	basalte				
Érosion	faible				
Drainage	faible				
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 70 cm.	70 à 120 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)	75 YR 3/4	75 YR 5/2	5 YR 4/8	75 YR 5/6	75 YR 6/6
(correspondance française).	terre d'ombre	garance ponceau	rouille	ocre jaune	bistre garance
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	5,0	5,7	6,1	6,0	6,2
Argile	6,6	13,8	16,5	28,5	27,4
Limon	23,6	19,8	24,1	23,7	16,6
Sable grossier	6,4	5,1	8,5	6,4	6,9
» fin	48,0	57,0	47,0	41,0	48,0
Humidité équivalente.....	63,1	51,8	48,6	37,8	38,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	24,6	12,7	7,7	3,3	1,2
Acides humiques	8,2	6,2	3,5	1,9	1,1
» fulviques	4,8	2,5	2,9	1,7	1,4
Carbone	87,7	45,4	20,6	9,5	11,3
Azote total	5,2	3,8	1,9	0,9	1,1
C/N	16,7	11,9	10,8	10,5	10,9
CaO échangeable	1,0	0,6	0,5	0,5	0,6
MgO	0,3	0,2	0,10	0,08	0,03
K ₂ O	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
T méq %	44,7	31,4	27,4	19,4	20,6
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8	4,8				
» de 1,8 à 2	17,5	7,9	3,8		
» de 2 à 2,4	41,0	24,9	16,0	1,2	
» de 2,4 à 2,6	25,0	9,2	27,2	15,4	16,5
» supér. à 2,6	11,7	58,0	53,0	83,4	83,5
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée	123,0	169,5	198,5	219,9	198,5
Fe ₂ O ₃	168,0	150,0	224,0	200,0	224,0
Al ₂ O ₃	158,0	280,0	250,0	245,0	280,0
TiO ₂	43,0	45,0	38,0	38,0	38,0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,3	1,1	1,4	1,5	1,2
CaO total	3,30	3,03	2,52	2,01	2,0
K ₂ O.	0,56	0,75	0,78	0,60	0,5
P ₂ O ₅	3,43	3,00	1,79	2,9	2,2
MnO	10,0	9,0	6,0	1,8	2,3

TABLEAU 41

PINS
(moyennes de 12 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.450 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 18° ; du mois le plus froid : 11°				
Topographie	pentes légères			
Roche-mère	basalte			
Érosion	faible			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	75 YR 3/1	75 YR 4/2	5 YR 3/4	75 YR 4/6
(correspondance française) ...	brun havane	brun Van Dyck	terre d'ombre	rouille
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	5,6	5,5	5,6	5,6
Argile		19,8	26,7	24,3
Limon		18,7	18,8	20,0
Sable grossier		25,4	21,6	22,6
» fin		20,6	23,0	27,0
Humidité hygroscopique	20,7	20,0	19,7	19,2
» équivalente	88,0	57,0	43,7	44,8
ANALYSE CHIMIQUE % :				
Humine	33,4	18,8	12,3	6,6
Acides humiques	14,5	8,4	6,5	7,1
» fulviques	4,1	2,3	3,0	4,5
Carbone	216,6	83,0	54,0	35,0
Azote total	8,9	5,0	3,7	2,45
C/N	24,3	16,6	14,6	14,3
CaO échangeable	3,0	1,8	1,4	1,0
MgO	0,8	0,45	0,2	0,17
K ₂ O	0,3	0,16	0,14	0,14
P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,02	0,02
T méq %	60,7	35,5	25,3	23,3
FRACTIONNEMENT % :				
Densité inférieure à 1,8	44,1	7,6	1,0	0,8
» de 1,8 à 2	11,3	19,9	10,9	5,2
» de 2 à 2,4	26,4	32,5	31,0	29,6
» de 2,4 à 2,6	8,0	21,9	36,3	21,5
» supér. à 2,6	10,2	18,1	20,8	42,9

TABLEAU 42

ACACIA
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.150 mm.				
Température moyenne du mois	le plus chaud : 18°3 ; du mois le plus froid : 11°3				
Topographie	pentes légères				
Roche-mère	basalte				
Érosion	marquée				
Drainage	bon				
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	20 à 25 cm.	25 à 50 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)	75 YR 4/2	5 YR 3/4	75 YR 4/6	75 YR 5/8	
(correspondance française).	brun	terre	rouille	ocre obscur	
	Van Dyck	d'ombre			
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	6,4	6,4	6,3	6,6	6,2
Argile		15,6	18,0	11,7	14,0
Limon		16,5	16,9	20,3	22,0
Sable grossier		8,9	3,2	3,6	6,0
» fin		56,0	53,5	60,0	56,0
Humidité hygroscopique	23,7	20,1	19,2	16,8	14,5
» équivalente	80,0	54,5	44,5	31,5	24,2
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine	35,1	24,5	15,2	8,0	5,0
Acides humiques	18,0	19,5	8,3	4,0	2,0
» fulviques	6,3	5,2	4,5	3,3	2,0
Carbone	246,5	81,1	47,4	20,4	16,0
Azote total	13,9	5,25	3,4	1,84	1,6
C/N	17,7	15,4	13,9	11,1	10,0
CaO échangeable	2,2	1,80	1,20	0,76	0,60
MgO	0,8	0,30	0,2	0,09	0,07
K ₂ O	0,37	0,10	0,09	0,06	0,04
P ₂ O ₅	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01
T méq %	70,9	37,8	28,6	18,3	17,1
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8	54,0	10,8	1,5	1,6	0
» de 1,8 à 2	11,1	3,7	1,3	6,0	2,0
» de 2 à 2,4	13,4	40,5	33,5	19,2	10,0
» de 2,4 à 2,6	14,3	24,4	42,5	18,0	16,0
» supér. à 2,6	7,2	14,6	21,2	55,2	72,0

TABLEAU 43

CYPRES
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.450 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 18°6 ; du mois le plus froid : 11°6				
Topographie	pentcs légères			
Roche-mère	basalte			
Érosion	faible			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	25 YR 2/4	5 YR 4/3	5 YR 1/2	75 YR 5/3
(correspondance française) ...	brun violacé	acajou	brun havane	fauve
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	6,2	5,4	5,3	6,4
Argile		10,1	10,4	23,0
Limon		24,1	16,4	25,0
Sable grossier		29,0	6,7	10,0
» fin		18,0	58,7	33,0
Humidité hygroscopique	25,3	20,8	17,2	19,5
» équivalente	76,3	48,2	32,4	40,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	48,2	12,9	10,9	4,8
Acides humiques	13,1	6,3	4,1	2,5
» fulviques	4,6	4,0	1,6	1,8
Carbone	266,6	90,5	39,7	24,0
Azote total	7,8	4,9	2,75	1,94
C/N	34,2	18,5	14,4	12,4
CaO échangeable	2,8	1,1	0,8	0,68
MgO	0,66	0,30	0,2	0,11
K ₂ O	0,27	0,20	0,16	0,14
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,01
T méq %	33,5	20,9	16,8	20,3
FRACTIONNEMENT % :				
Densité inférieure à 1,8	85,4	12,1	1,0	1,0
» de 1,8 à 2	4,5	19,4	2,4	1,0
» de 2 à 2,4	3,8	40,6	37,2	30,0
» de 2,4 à 2,6	2,1	14,8	47,7	38,0
» supérieure à 2,6	4,2	7,2	11,7	30,0

TABLEAU 44

GREVILLEA
(moyennes de 3 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.450 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 18°6 ; du mois le plus froid : 11°6				
Topographie	pentes légères			
Roche-mère	basalte			
Érosion	faible			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	5 YR 2/2	5 YR 3/3	5 YR 3/3	7.5 YR 1/3
(correspondance française) ...	brun pourpre	terre d'ombre	terre d'ombre	roux
ANALYSE PHYSIQUE % :				
Ph	6,0	6,0	5,9	5,4
Humidité équivalente	92,0	68,5	57,2	51,5
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	38,7	21,7	14,9	10,0
Acides humiques	10,9	8,9	6,4	5,4
» fulviques	4,3	1,1	1,6	2,6
Carbone	255,2	110,3	69,0	60,0
Azote total	9,4	5,6	5,1	3,05
C/N	27,1	19,7	13,5	15,5
CaO échangeable	3,2	2,4	1,9	1,06
MgO	0,84	0,6	0,23	0,16
K ₂ O	0,16	0,23	0,08	0,04
P ₂ O ₅	0,03	0,01	0,01	0,01
T méq %	54,4	39,3	30,6	27,7
FRACTIONNEMENT % :				
Densité inférieure à 1,8	56,3	14,2	0,8	2,5
» de 1,8 à 2	24,3	33,5	3,5	1,5
» de 2 à 2,4	14,3	33,2	57,7	40,0
» de 2,4 à 2,6	1,0	13,3	23,2	32,0
» supérieure à 2,6	4,1	5,8	14,8	24,0

TABLEAU 45

CINCHONA
(moyennes de 3 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne 2.564 mm.
 Température moyenne du mois le plus chaud : 22° ; du mois le plus froid : 20°
 Topographie pentes moyennes
 Roche-mère basalte
 Érosion forte
 Drainage bas

Profondeur en cm. 0 à 10 cm. 25 à 30 cm. 40 à 60 cm. 80 à 90 cm. 125 cm.

Couleur

(réf. Code Munsell)	10 YR 4/2	10 YR 6/3	5 YR 6/6	5 YR 7/6	10 YR 7/6
(correspondance française).	brun gris	gris feutre	bistre	ponceau	jaune cendre
	—	—	—	—	—

ANALYSE PHYSIQUE % :

pH	5,6	5,7	5,6	5,3	5,4
Humidité équivalente.....	92,8	50,0	42,5	48,5	40,0

ANALYSE CHIMIQUE ‰ :

Humine.....	28,3	14,4	5,0	1,6	0,2
Acides humiques	13,0	9,5	2,7	0,9	0,1
» fulviques	5,6	4,6	1,9	0,4	0,05
Carbone	137,5	40,0	16,9	4,2	1,3
Azote total	9,2	3,07	1,5	0,4	0,14
C/N	14,9	14,8	11,2	10,5	9,3
CaO échangeable	3,15	1,51	0,80	0,55	0,58
MgO	1,05	0,34	0,24	0,20	0,20
K ₂ O	0,40	0,14	0,07	0,05	0,04
P ₂ O ₅	0,02	0,05	0,15	0,05	0,04
T méq %	45,3	29,9	25,5	25,9	22,9

FRACTIONNEMENT % :

Densité de 1,8 à 2	32,7				
» de 2 à 2,4	50,0	30,0	8,5	1,0	
» de 2,4 à 2,6	4,5	12,0	12,0	1,0	
» supér. à 2,6	12,8	58,0	79,5	98,0	

TABLEAU 46

CHÊNE
(moyennes de 3 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.450 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 18°6 ; du mois le plus froid : 11°6				
Topographie	pente faible			
Roche-mère	basalte			
Érosion	faible			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	10 à 15 cm.	20 à 25 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	10 YR 4/2	75 YR 4/3	75 YR 5/3	75 YR 4/6
(correspondance française) ...	brun gris	roux	fauve	rouille
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	6,0	5,8	5,4	5,2
Humidité équivalente	95,0	69,8	61,2	52,0
ANALYSE CHIMIQUE % :				
Humine	32,5	24,6	16,2	10,8
Acides humiques	14,0	11,6	9,6	8,0
» fulviques	6,0	2,1	1,4	3,2
Carbone	241,0	92,4	73,3	50,0
Azote total	18,9	7,75	4,8	2,9
C/N	17,2	11,9	15,2	17,2
CaO échangeable	5,25	2,8	1,12	1,07
MgO	1,40	0,70	0,21	0,15
K ₂ O	0,84	0,33	0,15	0,08
P ₂ O ₅	0,05	0,03	0,03	0,02
T méq %	72,3	48,8	40,1	32,2
FRACTIONNEMENT % :				
Densité inférieure à 1,8	57,5	12,7	3,0	
» de 1,8 à 2	21,0	16,2	10,0	6,0
» de 2 à 2,4	8,7	35,2	44,0	45,0
» de 2,4 à 2,6	5,0	17,3	26,0	26,0
supérieure à 2,6	7,8	18,5	17,0	23,0

TABLEAU 47
SOLS BASALTIQUES
Analyse des fractions

Végétation	Fraction de densité	Carbone ‰	Azote ‰	Lessivage à l'acétate NH_4			
				Humus total ‰ des fract.	Somme des bases még %	Humus entraîné ‰	Capacité d'échange még %
Forêt	infér. à 2	—	—	148,5	28,5	20,0	132,0
	2 à 2,4	—	—	35,4	18,8	10,2	68,5
	2,4 à 2,6	—	—	11,0	6,7	5,4	47,8
	supér. à 2,6	—	—	4,6	2,5	2,0	10,6
Pin	infér. à 2	348,0	0,52	143,0	38,0	28,5	78,4
	2 à 2,4	70,0	4,92	36,0	20,2	19,5	60,7
	2,4 à 2,6	45,6	3,56	19,6	10,2	7,2	54,0
	supér. à 2,6	12,0	1,26	4,2	4,0	2,3	23,5
Cyprés	infér. à 2	300,0	4,61	156,0	39,5	28,0	125,5
	2 à 2,4	65,0	4,56	32,0	15,0	10,2	68,8
	2,4 à 2,6	34,0	3,36	14,4	5,6	4,0	50,3
	supér. à 2,6	16,0	1,32	8,0	3,0	2,0	30,8
Chêne	infér. à 2	372,0	10,04	190,0	58,0	40,5	200,0
	2 à 2,4	272,0	9,25	140,0	25,5	17,0	97,2
	2,4 à 2,6	86,0	6,30	41,0	10,5	7,0	58,0
	supér. à 2,6	22,0	1,90	12,5	5,0	4,5	24,0
Prairie	infér. à 2	200,0	12,28	93,7	36,0	25,0	80,5
	2 à 2,4	73,3	6,19	27,5	20,2	11,5	51,3
	2,4 à 2,6	32,0	4,15	16,5	8,6	5,5	18,7
	supér. à 2,6	11,2	2,28	4,5	1,4	1,5	12,5

Analyse du sol total (éléments ‰ de sol)

Profondeur	Humus total	S még %	Éléments solubilisés par l'acétate NH_4				Humus total
			CaO	MgO	K ₂ O		
Pin	0 à 5 cm.	43,0	10,4	1,90	0,60	0,26	29,0
Cyprés	0 à 5 cm.	37,0	8,8	1,12	0,42	0,26	26,5
	10 à 15 cm.	25,0	6,1	0,69	0,31	0,24	17,0
	0 à 5 cm.	30,0	4,9	0,95	0,25	0,12	13,0
Pin	0 à 5 cm.	47,5	9,3	1,66	0,55	0,26	27,0
	10 à 15 cm.	23,0	4,3	0,78	0,26	0,09	10,5

TABLEAU 48

ALLUVIONS DÉCALCARIFIÉES						
<i>Sols sous Ficus, Euphorbes</i>				<i>Baïboa</i>		
(moyennes de 7 analyses par horizon)				(moy. de 4 an. p ^r hor.)		
Pluviométrie moyenne..	1.100 mm.					
Température moyenne du mois le plus chaud :	27°			29°2		
Température moyenne du mois le plus froid :	20°7			24°2		
Topographie	terrasses ou pentes légères			terrasses		
Roche-mère	couches alluviales calcaires			alluvions granito-gneissiques remaniées		
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.
Couleur						
(référ. Code Munsell) ..	10 YR 5/6	10 YR 4/2	10 YR 7/8	10 YR 9/8	75 YR 4/4	75 YR 5/6
(corresp. française) ..	noir	brun	ocre	jaune	terre	ocre
	verdâtre	Van Dyck	obscur	glauque	d'ombre	jaune
ANALYSE PHYSIQUE % :						
pH	7,2	7,3	7,8	7,6	5,9	6,6
Argile	19,9	21,7	18,2	14,8	20,3	18,0
Limon	23,4	18,2	18,6	12,7	32,3	34,6
Sable grossier	19,1	26,0	29,2	45,8	1,1	0,7
» fin	23,5	30,0	32,8	26,0	40,0	44,2
Humidité équivalente..	64,0	45,0	37,8	16,0	51,7	44,4
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :						
Humine	6,2	2,1	0,7	0,1	7,4	1,6
Acides humiques	3,2	1,1	0,4	0,06	3,4	0,9
» fulviques	1,9	0,9	0,2	0,06	0,8	0,4
Carbone	29,1	9,9	6,3	2,3	29,0	9,3
Azote total	2,3	1,0	0,68	0,3	1,8	0,6
C/N	12,7	9,9	9,2	7,7	16,1	15,5
CaO échangeable	7,0	4,4	4,8	4,45	4,7	4,1
MgO	0,6	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5
K ₂ O	0,5	0,3	0,2	0,14	0,9	0,7
T méq %	40,5	26,8	22,3	9,6	31,8	23,8
ANALYSE TOTALE ‰ :						
Silice combinée	190,0	120,2	122,5	61,2	128,9	148,6
Fe ₂ O ₃	50,0	38,0	35,5	28,1	75,8	82,8
Al ₂ O ₃	106,5	63,5	68,6	32,5	53,2	57,4
TiO ₂	9,2	5,4	5,5	2,0	10,5	12,4
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3	3,2	3	3,2	4,1	4,4
CaO total	8,4	12,5	10,8	12,2	8,5	7,05
K ₂ O	3,7	3,2	3,8	3,2	1,43	2,25
P ₂ O ₅	2,7	2,6	2,5	2,2	1,6	1,32
MgO					3,21	3,8

TABLEAU 49

ALLUVIONS DÉCALCARIFIÉES
Sols sous *Tamarindus*, *Acacia* et *Albizia*
(moyennes de 9 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.700 mm.				
Température moyenne du mois	le plus chaud : 27°; du mois le plus froid : 21°2				
Topographie	terrasses et pentes légères				
Roche-mère	alluvions				
Érosion	très faible				
Drainage	excellent				
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.	100 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)	10 YR 3/1	10 YR 4/2	10 YR 4/3	75 YR 7/8	75 YR 5/8
(correspondance française).	gris feutre	gris garance	ocre calciné	tan	brun garance
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	6,9	7,1	7,3	7,6	7,2
Argile	13,4	17,2	9,7	25,7	23,4
Limon	22,2	15,9	19,7	17,3	10,7
Sable grossier	13,5	11,6	25,7	17,7	13,1
» fin	33,0	57,2	40,0	38,0	52,0
Humidité hygroscopique	8,5	5,8	4,1	3,6	
» équivalente	74,7	59,6	48,8	30,3	31,5
ANALYSE CHIMIQUE % :					
Humine	16,5	15,1	8,6	2,1	0,9
Acides humiques	8,3	5,8	5,3	0,9	0,3
» fulviques	2,2	2,0	1,3	0,4	0,2
Carbone	89,7	47,8	24,6	6,7	4,8
Azote total	4,65	3,54	2,21	0,7	0,5
C/N	19,1	13,6	11,1	9,6	9,6
CaO échangeable	10,7	11,3	8,62	6,7	10,25
MgO	0,7	0,86	0,60	0,36	0,84
K ₂ O	0,8	0,64	0,30	0,30	0,07
P ₂ O ₅	0,12	0,14	0,10	0,08	0,15
T méq %	48,3	33,5	20,7	22,7	23,6
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8	3,3	2,5	0		
» de 1,8 à 2	20,0	48,5	0		
» de 2 à 2,4	36,7	34,0	12,0		
» de 2,4 à 2,6	4,0	5,0	16,5		
» supér. à 2,6	37,0	10,0	71,5		
ANALYSE TOTALE % :					
Silice combinée	76,0	94,5	106,0	120,5	146,0
Fe ₂ O ₃	35,8	36,8	36,8	50,0	34,5
Al ₂ O ₃	42,0	45,8	48,0	58,5	82,0
TiO ₂	2,7	5,4	2,7	3,2	0,6
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,1	3,5	3,6	3,4	3,0
CaO total	15,0	18,0	18,9	20,0	35,0
K ₂ O	2,9	3,1	3,5	2,6	1,3
P ₂ O ₅	2,0	2,4	2,0	1,5	0,5
MgO	2,9	3,1	2,8	1,8	0,4

TABLEAU 50

ALLUVIONS DÉCALCARIFIÉES
Sols sous Alluaudia, Didierea, Euphorbes
 (moyennes de 5 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.100 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 27° ; du mois le plus froid : 20°2				
Topographie	terrasses			
Roche-mère	alluvions			
Érosion	marquée			
Drainage	lon			
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 30 cm.	30 à 50 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell) ,	75 YR 4/4	75 YR 5/6	75 YR 5/4	
(correspondance française) ...	terre d'ombre	brun garance	ocre rouge	
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	7,3	7,6	7,8	8,0
Argile	14,4	8,6	13,3	11,9
Limon	30,4	26,2	17,7	16,7
Sable grossier	5,1	15,5	18,7	23,7
» fin	51,5	46,0	48,5	46,0
Humidité équivalente	33,4	36,8	27,3	27,2
ANALYSE CHIMIQUE % :				
Humine	5,2	1,7	0,6	0,3
Acides humiques	2,5	0,9	0,4	0,1
» fulviques	0,9	0,7	0,3	0,1
Carbone	43,3	19,1	6,3	2,8
Azote total	3,0	1,3	0,6	0,33
C/N.....	14,4	14,7	10,5	8,5
CaO échangeable	3,01	3,1	3,27	6,8
MgO	0,35	0,36	0,33	0,40
K ₂ O	0,40	0,50	0,21	0,21
T méq %	29,3	24,9	19,0	17,7
ANALYSE TOTALE % :				
CaO total	9,8	11,8	13,2	18,5
K ₂ O	1,2	2,5	2,8	2,9
P ₂ O ₅	1,9	1,7	1,5	1,7

TABLEAU 51

ALLUVIONS DÉCALCARIFIÉES
Sol sous prairies
 (moyennes de 5 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.100 m.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 27° ; du mois le plus froid : 20°2				
Topographie	terrasses			
Roche-mère	alluvions			
Érosion	forte			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 25 cm.	25 à 50 cm.
Couleur				
(référ. Code Munsell)	75 YR 5/6	75 YR 5/4	75 YR 5/4	75 YR 7/8
(correspondance française) ...	brun garance	ocre rouge		ocre jaune
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	6,8	6,6	7,8	8,0
Argile	11,9	17,4	14,2	13,6
Limon	11,8	14,1	11,9	13,9
Sable grossier	19,4	23,1	35,6	23,5
fin	50,0	44,0	40,0	42,3
Humidité équivalente	39,4	32,7	26,0	28,9
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	6,9	2,9	0,9	0,6
Acides humiques	2,6	1,3	0,3	0,2
fulviques	1,4	0,5	0,2	0,1
Carbone	36,0	13,6	4,0	3,3
Azote total	1,8	0,94	0,4	0,34
C/N	20,0	14,4	10,0	9,7
CaO échangeable	4,9	5,2	6,1	8,77
MgO	0,7	0,9	0,5	0,5
K ₂ O	0,4	0,4	0,2	0,2
T méq %	25,2	21,2	15,2	20,8
FRACTIONNEMENT % :				
Densité de 1,8 à 2	0,5	0		
de 2 à 2,4	16,5	1,2		
de 2,4 à 2,6	54,0	56,2		
supérieure à 2,6	29,0	42,6		

TABLEAU 52

PEUPLEMENT DE CASUARINA SP. SUR FALAISE DE GRÈS CALCAIRE

	Moyenne 1	Moyenne 2	Moyenne 3
pH	7,6	7,2	7,0
CO ₂ Ca %	8,4	5,8	1,7
Argile %	0,3	0,6	8
Limon %	1,2	1,3	6,2
Sable grossier %	31,7	29,4	25,6
» fin %	18	46,9	54
Humidité équivalente %	14,8	12,8	31,4
Capacité d'échange %	9,8	12,1	26,7
Humine ‰	15,0	4,0	3,8
Acides humiques ‰	4,5	1,2	2,1
» fulviques ‰	1,5	1,2	1,0
Carbone ‰	220,5	33,6	27,2
Azote total ‰	5,55	1,78	1,50
C/N	39,7	18,8	17,1
CaO échangeable ‰			2,74
MgO » ‰			0,72
K ₂ O » ‰			0,14
P ₂ O ₅ assimilable ‰			0,34

TABLEAU 53

MARNES. — PRAIRIES ARBORÉES A TAMARINDUS
(moyennes de 5 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.700 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 29°; du mois le plus froid : 21°2				
Topographie	terrasses			
Roche-mère	alluvions			
Érosion	forte			
Drainage	faible			
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	10 à 15 cm.	20 à 25 cm.	50 à 75 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	5 YR 4/2	5 YR 4/3	10 YR 1/8	10 YR 7/4
(correspondance française) ...	noir verdâtre	vert olive	vert bistre	gris cendré
—				
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	7,1	7,0	8,4	8,3
Argile	25,6	21,0	38,4	29,3
Limon	27,0	26,8	18,0	21,2
Sable grossier	4,8	6,2	5,3	2,6
» fin	37,0	61,6	30	35
Humidité équivalente	37,3	29,7	33,8	
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	14,3	7,2	0,3	
Acides humiques	5,4	4,8	0,1	
» fulviques	1,0	0,4	0,2	
Carbone	27,2	11,0	4,2	2,7
Azote total	1,7	0,85	0,54	0,3
C/N.....	16,0	12,9	7,8	9,0
CaO échangeable	7,9	6,4	4,36	
MgO	0,64	0,55	0,20	
K ₂ O	0,3	0,2	0,08	0,38
T méq %	10,1	44,4	39,0	38,7
FRACTIONNEMENT % :				
Densité de 1,8 à 2	2,6	0		
» de 2 à 2,4	5,4	1,5	0,5	
» de 2,4 à 2,6	25,3	37,0	14,0	
» supérieure à 2,6	7,7	61,5	75,5	

TABLEAU 54

ALLUVIONS DÉCALCARIFIÉES
Analyse des fractions

Végétation	Fraction de densité	Carbone ‰	Azote ‰	Lessivage à l'acétate NH_4			Capacité d'échange méq %
				Humus total ‰ des fract.	Somme des bases méq. ‰	Humus ‰ restant	
Adabo	infér. à 2	105,0	9,3	65,0	35,0	75,0	77,0
	2 à 2,4	24,0	3,29	25,0	19,8	30,0	47,1
	supér. à 2,4	5,3	0,6	5,6	5,8	6,8	14,1
Tamarindus	infér. à 2	93,0	7,29	70,0	50,0	81,0	81,6
	2 à 2,4	44,0	4,02	44,0	30,0	52,0	54,1
	supér. à 2,4	8,5	1,0	4,4	17,0	8,2	10,1

Analyse du sol total (éléments ‰ de sol)

Profondeur	Humus total	S méq %	Éléments solubilisés par l'acétate NH_4				Humus restant
			CaO	MgO	K_2O		
Prairie	0 à 5 cm.	6,2	26,0	6,37	0,24	0,55	12,8
Tamarindus	0 à 5 cm.	38,5	53,8	11,24	1,35	0,74	52,5
	0 à 5 cm.	23,0	31,9	7,11	0,77	0,15	30,0
Acacia	0 à 5 cm.	27,3	44,2	9,93	1,26	0,61	39,0
Adabo	0 à 5 cm.	22,0	50,6	11,70	1,10	0,64	36,5
	0 à 5 cm.	22,5	30,8	7,02	0,69	0,51	31,5

TABLEAU 55

ÉVOLUTION D'UN SABLE DUNAIRE SOUS L'INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION
(moyennes de 4 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne ..	2.500 mm.						
Température moyenne du mois le plus chaud :	25° ; du mois le plus froid : 18°5						
Topographie.....	plage basse	plage haute	dune récente	forestée	dune ancienne forestée	savoka	
Profond. en cm.	0 à 10 cm.	0 à 10 cm.	litière	0 à 10 cm.	litière	0 à 10 cm.	0 à 10 cm.
Couleur	jaune	jaune brun	—	jaune	—	blanc	blanc
ANALYSE PHYSIQUE % :	—						
pH	7,0	8,0	5,8	6,0	5,8	5,1	5,0
Humidité équiv.	3,3	2,5	40,0	4,8	60,0	7,1	4,2
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :	—						
Humine	0,35	1,1	30,0	5,0	21,0	6,9	1,4
Acides hum....	0,20	0,8	11,5	3,15	4,9	3,2	2,3
» fulv....	0,15	0,25	3,5	0,8	3,8	1,4	1,0
Carbone	4,26	11,4	152,0	9,92	149,0	20,0	5,9
Azote total ..	0,57	0,61	7,72	0,98	5,98	1,1	0,7
C/N	7,4	18,7	18,8	10,1	24,8	18,1	8,4
CaO échang...	0,5	0,64	3,24	0,76	2,31	0,78	0,47
MgO	0,07	0,02	1,08	0,20	0,78	0,14	0,07
K ₂ O	0,03	0,1	0,11	0,13	0,14	0,05	0,03
T méq %	4,2	2,6	30,1	6,0	45,6	6,4	3,9
FRACTIONNEMENT % :	—						
Dens. de 1,8 à 2	0	1,0	30,0	4,5	30,0	7,0	3,0
» de 2 à 2,4	0	3,0	5,5	1,0	0,5	1,0	0,5
» de 2,4 à 2,6	0	0	1,5	0,5	2,0	1,0	0,5
» sup. à 2,6.	100	96,0	63,0	94,0	67,5	91,0	96,0

TABLEAU 56

SABLES DUNAIRES ET QUARTZITTIQUES
Sols sous forêt
 (moyennes de 15 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	2.000 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 25° ; du mois le plus froid : 19°					
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	20 à 50 cm.	50 à 100 cm.
Couleur	—	gris noir	gris foncé	gris clair	blanc
ANALYSE PHYSIQUE % :					
pH	5,6	5,6	5,6	6,1	5,0
Argile		5,1	2,3	7,3	7,4
Limon		2,2	2,3	3,2	3,2
Sable grossier		56,9	65,6	64,5	45,4
» fin		29,5	23,0	25,0	38,0
Humidité hygroscopique		2,1	1,0	0,4	0,1
» équivalente	42,1	15,1	5,0	2,9	19,6
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine	22,5	8,7	3,8	1,2	4,0
Acides humiques	8,2	4,1	2,4	0,6	3,5
» fulviques	4,3	1,0	0,5	0,7	1,0
Carbone	102,8	35,1	9,8	2,0	38,0
Azote total	5,4	2,1	0,7	0,25	1,22
C/N	19,0	16,7	14,0	8,0	31,0
CaO échangeable	2,7	1,4	0,6	0,2	0,5
MgO	0,8	0,2	0,14	0,04	0,08
K ₂ O	0,2	0,05	0,08	0,04	0,14
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,01		0,01
T méq	31,5	12,1	4,8	1,6	19,4
FRACTIONNEMENT % :					
Densité infér. à 1,8	23,0	5,8			
» de 1,8 à 2	1,8	3,2	1,0	0,1	3,0
» de 2 à 2,4	3,7	2,7	3,0	1,8	24,0
» de 2,4 à 2,6	1,7	5,4	13,0	10,7	13,0
» supér. à 2,6	69,8	72,9	83,0	88,4	60,0

TABLEAU 57

SABLES ROUX
Sols sous forêt
 (moyennes de 8 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.100 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 26°5 ; du mois le plus froid : 20°5				
Topographie	terrasses et plateaux			
Roche-mère	sables alluviaux anciens			
Érosion	faible			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 10 cm.	10 à 25 cm.	25 à 50 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	25 YR 2/4	5 YR 3/4	5 YR 4/3	25 YR 4/8
(correspondance française) ...	brun pourpre	terre d'ombre	roux	rouge fuschine
ANALYSE PHYSIQUE ‰ :				
pH	6,5	6,4	6,4	5,8
Argile	7,3	11,3	16,6	10,9
Limon	8,4	9,9	7,6	6,5
Sable grossier	47,7	44,2	47,5	57,2
fin	32	33	27	25
Humidité équivalente	20,7	9,8	12,7	5,4
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	14,4	3,1	0,9	0,5
Acides humiques	5,1	1,7	0,5	0,3
fulviques	1,1	0,7	0,3	0,25
Carbone	27,7	7,4	3,9	2,6
Azote total	1,85	0,8	0,4	0,3
C/N	19	9,2	9,7	8,6
CaO échangeable	3,9	1,7	1,5	1,6
MgO	0,3	0,2	0,3	0,25
K ₂ O	0,2	0,1	0,1	0,1
T méq ‰	16,7	8,4	11,1	6,9
FRACTIONNEMENT ‰ :				
Densité inférieure à 1,8	3,8	0,5		
de 1,8 à 2	7	0,5		
de 2 à 2,4	12,8	3,3		
de 2,4 à 2,6	7,5	1,2		
supérieure à 2,6	68,9	91,5		
ANALYSE TOTALE ‰ :				
Silice combinée	53,7	83,7	84,5	94,5
Fe ₂ O ₃	21,2	28,7	46,5	51,5
Al ₂ O ₃	41,7	68,2	56,3	67,0
TiO ₂	4,6	4,7	8,3	9,5
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,2	2,1	2,5	2,4
CaO total	7,7	2,87	5,0	12
K ₂ O	0,18	0,18	0,35	0,43
P ₂ O ₅	0,61	0,77	0,88	2,1
MgO	0,61	0,17		

TABLEAU 58

SABLES ROUX
Sols sous Tamarinier
 (moyennes de 8 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.100 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 20°5 ; du mois le plus froid : 20°5					
Topographie	terrasses et plateaux				
Roche-mère	sables alluviaux anciens				
Érosion	faible				
Drainage	bon				
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 10 cm.	10 à 25 cm.	25 à 60 cm.	60 à 120 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)	5 YR 3/3	5 YR 4/4	7.5 YR 4/4	7.5 YR 5/6	2.5 YR 4/6
(correspondance française).	havane	pélessandre	gris rouille	fauve	laqué rouge
ANALYSE PHYSIQUE ‰ :					
pH	7,0	6,7	7,0	7,2	6,8
Argile	5,1	8,5	5,3	14,0	14,4
Limon	6,5	5,6	8,7	4,8	4,4
Sable grossier	54,8	47,0	41,6	41,3	12,5
» fin	35,0	30,0	38,0	39,0	68,0
Humidité équivalente.....	30,7	19,4	10,5	16,7	15,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	12,5	4,0	1,7	0,05	0,05
Acides humiques	5,1	2,4	1,1	0,05	0,05
» fulviques	1,5	1	0,0	0,2	0,02
Carbone	42,2	11,0	3,8	3,3	5
Azote total	2,5	1,04	0,4	0,3	0,29
C/N	16,8	11,4	9,5	10	17,2
CaO échangeable	4,8	3	3,7	2,3	1,2
MgO	0,54	0,35	0,4	0,25	0,11
K ₂ O	0,3	0,15	0,1	0,1	0,14
P ₂ O ₅	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01
T méq ‰	23,4	16,4	8,2	12,3	12,3
FRACTIONNEMENT ‰ :					
Densité infér. à 1,8	5,4	0,5			
» de 1,8 à 2	4,1	0,8	0,5		
» de 2 à 2,4	10,8	3,0	3,0	3,0	
» de 2,4 à 2,6	6,5	2,7	15	10	1
» supér. à 2,6	73,2	93,0	81,5	87,0	99
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée	34,0	32,6	80,0	93,0	40,0
Fe ₂ O ₃	13,5	13,3	27,5	37,5	40,0
Al ₂ O ₃	27,5	24,8	82,5	68,5	37,5
TiO ₂	8,2	9,5	10,7	8,5	10,2
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,1	2,1	2,6	2,3	1,8
CaO total	8,4	12,8	12,4	7,7	3,2
K ₂ O	0,6	0,5	0,5	0,3	0,6
P ₂ O ₅	1,5	1,6	1,4	2,5	1,6

TABLEAU 59

SABLES ROUX
Sols sous prairie
 (moyennes de 14 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.100 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud : 26°5 ; du mois le plus froid : 20°5				
Topographie	plateaux et terrasses			
Roche-mère	sables alluvions anciennes			
Érosion	forte			
Drainage	bon			
Profondeur en cm.	0 à 5 cm.	5 à 10 cm.	10 à 50 cm.	50 à 100 cm.
Couleur				
(réf. Code Munsell)	5 YR 3/3	5 YR 4/4	5 YR 5/5	5 YR 4/8
(correspondance française) ...	sépia	ocre calciné	brun garance	tan
ANALYSE PHYSIQUE % :				
pH	6,7	7,0	7,2	7,1
Argile	11,1	13,6	11,3	15
Limon	7	7,1	5,7	6,3
Sable grossier	39,9	43,2	46,3	43,2
fin	38,0	36,0	36,0	35,0
Humidité équivalente	20,8	16,8	15,2	17,2
ANALYSE CHIMIQUE % :				
Humine	3,9	1,2	0,6	0,3
Acides humiques	2,6	1,0	0,5	0,1
fulviques	1,2	0,5	0,2	0,1
Carbone	15,7	5,1	2,5	1,1
Azote total	1,4	0,54	0,3	0,2
C/N	11,2	9,4	8,3	5,5
CaO échangeable	2,02	1,55	1,3	2,3
MgO	0,33	0,2	0,2	0,3
K ₂ O	0,3	0,2	0,7	0,2
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,01	0,03
T méq %	13,6	9,8	7,6	7,5
FRACTIONNEMENT % :				
Densité de 1,8 à 2	1,9			
» de 2 à 2,4	36	13,6	4,5	
» de 2,4 à 2,6	40,3	36,3	15,5	
» supérieure à 2,6	21,8	50,1	80	100
ANALYSE TOTALE % :				
Silice combinée	57,2	72	75,5	89,6
Fe ₂ O ₃	40,5	40,5	89,8	41,3
Al ₂ O ₃	15,7	48,6	47,8	68,1
TiO ₂	8,5	10,5	9,8	8,2
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,1	2,5	2,7	2,1
CaO total	3,1	2,6	2,7	3,4
K ₂ O	0,52	0,45	0,46	0,8
P ₂ O ₅	0,8	0,42	0,39	0,5

TABLEAU 60

SABLES ROUX
Sols sous Hyphaene et Medenia
 (moyennes de 8 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	1.500 mm.			
Température moyenne du mois le plus chaud: 28°; du mois le plus froid: 24°				
Topographie	plateaux			
Roche-mère	sable gréseux			
Érosion	faible			
Drainage	bon			
ANALYSE PHYSIQUE ‰ :				
pH	6,2	6,5	6,1	6,1
Argile	13,1	10,8	20,7	32,3
Limon	4,8	5,0	8,5	9,0
Sable grossier	39,3	27,5	17,8	12,6
" fin	37,0	63,0	50,0	45,0
Humidité équivalente	18,0	12,8	17,3	25,0
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :				
Humine	4,8	2,9	2,3	1,0
Acides humiques	4,5	1,5	1,3	0,7
" fulviques	1,2	0,8	0,5	0,5
Carbone	20,4	12,2	7,1	3,1
Azote total	1,8	1,6	0,75	0,5
C/N.....	11,3	7,7	9,5	6,2
CaO échangeable	1,35	1,2	1,0	1,9
MgO	0,2	0,14	0,1	0,27
K ₂ O	0,12	0,17	0,07	0,12
T méq ‰	14,1	12,9	17,8	22,9
FRACTIONNEMENT ‰ :				
Densité inférieure à 1,8	0,3	0,5	0,2	
" de 1,8 à 2	1,4	1,3	0,7	
" de 2 à 2,4	26,3	18,7	8,2	
" de 2,4 à 2,6	12,1	20,0	29,5	6,0
" supérieure à 2,6	60,9	70,5	72,4	94,0
ANALYSE TOTALE ‰ :				
CaO total	2,75	1,86	2,03	2,63
K ₂ O	0,48	0,43	0,32	0,45
P ₂ O ₅	0,82	0,55	0,39	0,52
MgO	0,67	0,45	0,36	0,48

TABLEAU 61

SABLES ROUX
Sols sous scrub épineux
(moyennes de 10 analyses par horizon)

Pluviométrie moyenne	700 mm.				
Température moyenne du mois le plus chaud : 27° ; du mois le plus froid : 18°					
Topographie	terrasses et plateaux				
Roche-mère	alluvions sableuses anciennes et conglomérat				
Érosion	forte				
Drainage	bon				
Profondeur en cm.	litière	0 à 5 cm.	5 à 15 cm.	15 à 60 cm.	60 à 100 cm.
Couleur					
(réf. Code Munsell)		5 YR 4/1	5 YR 5/4	5 YR 6/6	25 YR 5/6
(correspondance française).		terre d'ombre ocre rouge		terre cuite	vermillon
—	—	—	—	—	—
ANALYSE PHYSIQUE ‰ :					
pH		6,9	6,8	7,0	7,2
Argile	4,5	7,3	10,3	13,5	2
Limon	1,6	11,7	3,6	9,8	1
Sable grossier	12,5	36,5	49,0	41,3	87,0
» fin	12	35	33	30	10
Humidité équivalente.....	25,3	21,7	12,9	10,9	
ANALYSE CHIMIQUE ‰ :					
Humine.....	18,5	13,9	8,3	0,5	
Acides humiques	22,7	5,2	5,3	0,5	
» fulviques	6,5	1	1,1	0,4	
Carbone	354,8	51,8	21,8	5	
Azote total	10,3	3,6	1,9	0,45	
C/N	28,7	14,4	11,4	11,1	
CaO échangeable	1,47	3,50	1,8	1,5	
MgO	0,15	0,40	0,30	0,2	
K ₂ O	0,01	0,30	0,20	0,2	
T méq %	22,6	20,9	12,5	10,6	
ANALYSE TOTALE ‰ :					
Silice combinée		49,5	100,0	123,0	241,2
Fe ₂ O ₃		16,0	48,0	60,0	80,0
Al ₂ O ₃		31,0	59,0	64,0	68,5
TiO ₂		18,0	12,0	14,0	20,0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		2,9	2,8	3,3	5,9
CaO total		8,23	3,54	3,02	4,76
K ₂ O		3,93	1,72	1,69	1,52
P ₂ O ₅		2,1	1,58	0,74	1,27

TABLEAU 62

SOLS SABLEUX
Analyse des fractions

Végétation	Fraction de densité	Carbone ‰	Azote ‰	Lessivage à l'acétate NH ₄			Capacité d'échange méq %
				Humus total ‰ des fract.	Somme des bases méq %	Humus entraîné ‰	
SABLES HYDROMORPHES							
Forêt	infér. à 2	300	20,41	136,3	50	32,5	142,3
	2 à 2,4	83	5,87	41	7,2	6	80,6
	supér. à 2,4	9,4	1,62	3,5	1	1	10,2
SABLES ROUX							
Kily	infér. à 2	240	17,76	106,4	32	8,4	129,6
	2 à 2,4	96	6,36	43,5	17,8	3	113,4
	supér. à 2,4	5,6	1,04	3	8,2	0,7	13
Prairie	infér. à 2	188	8,19	82,2	29,0	7,5	71,6
	2 à 2,4	49,4	3,53	14	13,6	2,6	29,1
	supér. à 2,4	3,1	0,6	4	4	0	6,8

Analyse du sol total (éléments ‰ du sol)

Éléments libérés par l'acétate NH_4						
Profondeur	Humus total	Somme des bases méq %	CaO	MgO	K ₂ O	Humus entraîné
—	—	—	—	—	—	—
SABLES HYDROMORPHES						
Forêt	0 à 5 cm.	31	3,7	0,72	0,14	9,0
—	—	38	4,2	0,87	0,19	11,0
—	—	20	0,6	1,61	0,24	0,5
—	—	41,5	4,92	1,04	0,11	14
Lande à Philippia	—	26,8	4,58	1,04	0,12	13,8
—	—	7	1,85	0,39	0,05	3,5
SABLES ROUX						Humus restant
Prairie	—	6,5	9,1	1,89	0,32	7,5
—	—	19	15,8	2,79	0,82	21,5
Euphorbe	—	7,2	8,5	1,79	0,30	7,6
Alluaudia	—	8,3	14,1	2,52	0,59	10,3
Teck	—	6,0	7,2	1,42	0,28	6
Hyphaene	—	11,5	16,4	2,86	0,88	14,5
Tamarinidus	—	24,9	22,1	5,01	0,61	30,0

TABLEAU 63

TÉMOIN	Matières humiques totales ‰	Éléments ‰ du sol solubilisés par l'acétate d'ammonium N						Capacité d'échange méq %	pH
		M.H.T.	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅		
Début de l'expérience	3,9	2,5	0,84	0,09	0,13	—	0,17	5,3	5,8
Fin de l'expérience	1,8	1,4	0,20	0,07	0,06	0,04	0,14	4,7	5,8

TABLEAU 65

COMPOSITION MOYENNE DE L'EUGENIA

Matière minérale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matières végétales	Corps gras	Résine et soluble alcool benzène
6,4	0,14	0,62	0,24	0,27	0,60	3,6	2,8	93,6	10,8	3,2

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	7.930	3.050	1.400	2.620	950	—	—	—	—	—
30 »	1.320	470	210	225	150	—	—	—	—	—
60 »	1.010	450	220	300	150	—	—	—	—	—
80 »	880	410	230	200	150	—	—	—	—	—
Total	11.140	4.380	2.060	3.345	1.400	—	—	—	—	—

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,1	1,0	0,3	0,8	9,2	6,1

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
3,4	1,2	0,8	1,4	11,7	5,9

Pouvoir cellulolytique accru de 6 fois par rapport au témoin.
Pouvoir ammonifiant accru de 20 %.

TABLEAU 64

CARRÉS NUS	Matières humiques totales ‰	Éléments ‰ du sol solubilisés par l'acétate d'ammonium N						Capacité d'échange méq %	pH
		M.H.T.	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅		
Début de l'expérience	3,0	2,0	0,65	0,08	0,10	—	0,02	6,2	5,8
Fin de l'expérience	1,8	1,0	0,37	0,06	0,06	—	0,01	5,9	5,8

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
21,0	41,7	12,3	7,1	1,6	15,6	8,0	3,5	4,1	39,0	0,94

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.552	308	5.000	2.500	5,7
419	46	310	480	5,9
285	75	210	200	6,6
304	76	220	150	6,7
2.560	505	5.740	3.330	—

éléments ‰ du sol sous litière d'Eugenia après 2 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
1,5	0,18	0,21	0,10	0,04	0,13

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm. et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
1,32	0,55	0,10	0,05

Taux d'Azotobacters inchangé en surface mais doublé entre 10 et 15 cm.
Taux de Clostridium inchangé.

TABLEAU 66

COMPOSITION MOYENNE DU SEVABE

Matière minérale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matières végétales	Corps gras	Résine et soluble alcool benzène
11,4	2,00	0,48	0,2	0,21	0,62	6,4	5,0	88,6	7,2	7,2

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₂ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	5.050	2.050	176	100	100
30 »	2.350	740	155	376	170
60 »	1.300	430	88	275	180
80 »	1.100	300	65	180	140
110 »	760	300	80	100	100
Total	10.560	3.720	564	1.031	690

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq. %	pH
2,8	1,3	0,6	0,9	12,2	6,2

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq. %	pH
4,9	1,2	0,5	3,2	8,9	6,1

Pouvoir cellulolytique accru de 3 fois.
Pouvoir ammonifiant accru de 35 %.

TABLEAU 67

COMPOSITION MOYENNE DE DOMBEYA

Matière minérale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matières végétales	Corps gras	Soluble alcool benzène
8,6	1,8	1,1	0,19	0,82	0,68	3,8	4,8	91,4	6,3	1,6

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₂ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	5.000	2.000	1.075	1.000	1.150
30 »	1.500	810	410	500	450
60 »	1.100	550	250	400	200
80 »	710	200	150	250	150
110 »	720	250	140	200	100
Total	9.030	3.900	3.025	2.350	2.050

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq. %	pH
2,0	1,0	0,4	0,6	10,8	6,1

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
25,6	25,1	10,0	10,2	2,4	18,8	4,3	4,6	9,9	39	2,5

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
2.415	685	800	1.750	5,2
206	448	550	1.150	7,1
99	136	380	0.610	7,7
70	130	380	0.580	8,2
126	154	456	0.280	
2.916	1.553	2.566	3.370	

éléments % du sol sous litière de *Sevabe* après 3 mois à 28° C.

Humus total (Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
2,3	0,74	0,11	0,17	0,03	0,11

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm. et 19° C.

CaO (Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
1,69	0,20	0,17	0,05

Taux d'*Azotobacters* en baisse d'environ 10 %.
Taux de *Clostridium* un peu plus élevé en surface.

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
22,7	44,1	15,8	9,5	2,5	18,0	11,5	5,4	1,1	50,4	0,83

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.330	220	4.000	1.300	6,3
57	138	253	355	7,9
56	119	240	325	7,9
56	54	184	200	6,9
78	112	544	230	
1.577	643	5.241	2.410	

éléments % du sol sous litière de *Dombeya* après 3 mois à 28° C.

Humus total (Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
1,7	0,28	0,14	0,17	0,03	0,12

TABLEAU 68

COMPOSITION MOYENNE DE ARISTIDA

Matière minérale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matières végétales	Corps gras	Soluble alcool benzène
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12,0	0,16	0,23	0,40	0,18	0,36	3,0	9,0	88,0	2,8	2,8

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca, Mn, O ₄ , K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
—	—	—	—	—	—
10 jours	1.780	975	520	150	200
30 »	680	370	280	50	120
60 »	560	300	200	80	100
80 »	420	195	95	50	50
110 »	510	195	115	60	60
Total	3.950	2.035	1.210	390	530

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
—	—	—	—	—	—
1,9	0,9	0,4	0,6	8,6	5

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
—	—	—	—	—	—
2,7	0,75	0,5	1,45	9,0	5,9

Pouvoir cellulolytique accru de 60 % en surface et 25 % à 15 cm.
Pouvoir ammonifiant légèrement plus élevé surtout à 15 cm.

TABLEAU 69

COMPOSITION MOYENNE DE L'HYPPARRHENIA

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Résine et soluble à l'alcool benzène
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,4	0,06	0,22	0,22	0,18	1,06	4,8	3,6	91,6	5,2	2,2

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca, Mn, O ₄ , K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
—	—	—	—	—	—
10 jours	4.125	1.125	405	356	400
30 »	1.100	600	210	150	250
60 »	1.050	580	180	180	220
80 »	950	410	165	200	200
110 »	1.450	750	225	490	300
Total	8.675	3.435	1.185	1.346	1.370

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
—	—	—	—	—	—
2,1	1,0	0,7	0,4	9,7	6,1

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide fulvique	Acide humique	Humine	Carbone	Azote
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32,1	36,1	6,2	2,6	0,6	16,6	4,6	3,7	8,3	48	0,83

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
—	—	—	—	—
498	432	988	800	5,2
54	166	300	300	5,8
31	99	165	250	6,8
45	50	112	225	8,2
28	67	200	300	
651	814	1.765	1.875	

éléments ‰ du sol sous litière d'Aristida après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
—	—	—	—	—	—
1,4	0,19	0,10	0,16	0,05	0,08

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm. et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
—	—	—	—
0,53	0,12	0,06	0,02

Taux d'Azotobacters. plus faible en surface, accru de 25 % à 15 cm.
Taux de Clostridium. inchangé en surface, plus faible de 25 % à 15 cm.

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28,3	40,7	13,2	6,8	1,6	18,5	9,5	6,0	3,0	45,6	0,99

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
—	—	—	—	—
737	382	3.200	2.250	6,2
298	162	742	240	6,7
260	139	530	250	5,6
51	129	336	350	6,1
321	249	554	390	
1.667	1.061	5.362	3.480	

éléments ‰ du sol sous litière d'Hypparrhenia après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
—	—	—	—	—	—
1,7	0,26	0,11	0,27	0,05	0,09

TABLEAU 70

COMPOSITION MOYENNE DE RHYNCHELYTRUM										
Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
8,2	0,30	0,14	0,20	0,36	0,42	6,0	2,2	91,8	5,4	1,9

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₂ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	6.960	2.475	800	1.350	650
30 »	730	370	180	100	260
60 »	680	300	140	100	200
80 »	770	340	95	120	100
110 »	850	365	105	130	120
Total	9.990	3.850	1.320	1.800	1.330

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq. %	pH
2,5	1,0	0,6	0,9	7,2	6,1

TABLEAU 71

COMPOSITION MOYENNE DE PENNISETUM PURPUREUM										
Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
10,9	0,44	0,40	0,19	0,48	1,36	4,2	6,7	89,1	3,1	3,7

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₂ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	7.500	2.750	1.150	1.688	800
30 »	1.120	450	190	150	280
60 »	840	330	190	150	300
80 »	780	285	95	50	70
Total	10.290	3.815	1.625	2.038	1.520

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq. %	pH
2,5	1,0	0,5	1,0	11,1	5,4

Composition % de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq. %	pH
3,5	1,2	0,7	1,6	10,6	6,0

Pouvoir cellulolytique 4 fois plus élevé dans tout le profil.
Pouvoir ammonifiant accru de 50 % en surface et de 20 % à 15 cm.

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
29,0	36,2	14,1	6,1	1,8	20,8	8,5	6,9	5,4	44,3	0,92

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
518	1.092	3.200	3.250	6,5
49	146	444	175	7,4
49	131	300	200	5,1
170	140	416	250	5,2
42	266	480	290	
828	1.775	4.900	4.165	

éléments ‰ du sol sous litière de *Rhynchelytrum* après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
2,0	0,25	0,09	0,26	0,04	0,16

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
27,5	40,5	11,2	3,3	1,8	16,0	7,3	5,7	3,0	35,2	1,40

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.331	931	4.000	2.750	5,5
60	80	260	350	5,8
46	74	180	270	6,0
246	124	204	290	6,2
1.683	1.209	4.834	3.660	

éléments ‰ du sol sous litière de *Pennisetum purpureum* après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
2,0	0,25	0,15	0,35	0,05	0,06

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)			
0,8	0,11	0,15	0,02

Taux d'*Azotobacters* réduit de moitié en surface.
Taux de *Clostridium* 20 % plus élevé en surface.

TABLEAU 72

COMPOSITION MOYENNE DE L'IMPERATA

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
4,6	0,14	0,13	0,10	0,22	0,50	2,8	1,8	95,4	2,6	5,9

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₃ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	4.880	1.800	525	1.725	450
30 »	800	340	140	150	100
60 »	800	380	125	250	150
80 »	650	275	150	200	120
110 »	600	280	125	185	100
Total	7.730	3.065	1.065	2.150	980

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
3,0	1,5	0,8	0,7	15,4	5,6

TABLEAU 73

COMPOSITION MOYENNE DU PANICUM

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
12,8	0,10	0,37	0,21	0,24	0,92	4,8	8,0	87,2	3,5	3,1

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₃ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	8.750	3.750	420	788	250
30 »	2.050	570	200	338	40
60 »	1.100	270	110	180	80
80 »	510	150	80	20	90
Total	12.390	4.740	810	1.326	470

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,4	1,2	0,3	0,9	10,4	5,4

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
35,3	36,8	3,2	4,4	1,0	21,5	6,3	8,1	7,0	46,8	1,3

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
575	650	2.400	1.800	6,7
165	160	380	225	7
77	173	420	150	5,4
33	143	214	150	5,8
31	144	320	80	
881	1.270	3.734	2.405	

éléments ‰ du sol sous litière d'Imperata après 2 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
1,7	0,22	0,12	0,23	0,05	0,11
	(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)				

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
25,6	33,6	15,9	10,4	0,7	18,5	6,1	7,0	5,4	38,7	1,3

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
2.543	555	1.496	1.950	6,0
274	356	950	1.050	6,1
77	163	435	600	6,3
54	76	136	230	6,3
2.951	1.150	3.017	3.830	

éléments ‰ du sol sous litière de Panicum après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
2,0	0,26	0,07	0,30	0,08	0,11
	(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium, N)				

TABLEAU 74

COMPOSITION MOYENNE DU PENNISETUM CLANDESTINUM

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
13,9	0,14	0,41	0,22	0,36	1,48	6,1	7,8	86,1	6,1	7,5

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca, Mn, O ₄ , K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	6.100	2.100	1.330	750	300
30 »	3.240	1.070	780	525	150
60 »	2.285	820	400	500	100
80 »	1.350	450	200	50	90
Total	12.975	4.440	1.710	1.820	640

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en éléments

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,7	1,3	0,7	0,7	12,6	5,9

TABLEAU 75

COMPOSITION MOYENNE DE L'EUCALYPTUS

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
5,4	1,30	0,44	0,15	0,4	1,29	2,4	3,0	94,6	30,5	4,2

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca, Mn, O ₄ , K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	5.375	3.700	1.320	1.725	580
30 »	2.010	1.090	350	863	130
60 »	1.450	820	280	250	130
80 »	740	450	150	100	90
Total	9.575	5.660	2.100	2.938	930

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,5	1,0	0,7	0,8	14,0	5,2

Composition % de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,8	0,8	0,5	2,1	10,3	5,8

Pouvoir cellulolytique accru de 4 fois par rapport au témoin.
Pouvoir ammonifiant accru de 50 %.

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
18,4	29,9	19,3	10,8	0,9	18,2	5,4	7,6	5,2	34,0	3,99

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.900	1.251	1.408	2.300	6,2
799	616	776	1.300	6,9
525	225	240	805	7,3
226	144	132	550	7,2
3.450	2.236	2.556	4.955	

% du sol sous litière de Pennisetum clandestinum après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)				
1,8	0,36	0,14	0,20	0,04	0,04

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
23,0	21,1	14,7	10,1	2,2	15,5	9,6	4,8	1,1	42,4	1,37

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.476	774	1.808	800	6,0
425	125	2.200	650	6,0
516	144	240	300	6,3
268	82	168	200	6,1
2.685	1.125	4.416	1.950	

éléments % du sol sous litière d'Eucalyptus après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)				
2,0	0,26	0,14	0,18	0,05	0,12

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)			
0,88	0,12	0,14	0,02

Taux d'Azotobacters diminué de 50 % en surface, comparable à 15 cm.
Taux de Clostridium inchangé en surface, accru de 20 % à 15 cm.

TABLEAU 76

COMPOSITION MOYENNE DU PIN

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
5,3	0,90	0,82	0,13	0,46	0,54	3,2	2,1	94,7	17,6	8,4

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₃ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	6.050	4.520	580	225	200
30 »	1.800	1.440	110	125	60
60 »	780	420	110	150	100
80 »	600	400	115	100	120
110 »	530	385	110	100	55
Total	9.760	7.165	1.025	700	535

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
1,8	0,9	0,3	0,7	10,0	5,6

Composition ‰ de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
3,3	0,75	0,5	2,05	8,6	5,8

Pouvoir cellulolytique accru de 4 fois en surface, de 2 fois à 15 cm.
Pouvoir ammonifiant accru de 50 % en surface, de 20 % à 15 cm.

TABLEAU 77

COMPOSITION MOYENNE DU CYPRES

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
5,6	0,80	0,76	0,30	0,73	0,57	3,2	2,4	94,4	7,8	2,4

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	Ca ₃ MnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	9.050	4.200	1.700	1.575	1.200
30 »	1.100	630	180	300	250
60 »	1.350	740	180	400	300
80 »	850	440	90	200	100
110 »	850	475	100	115	50
Total	12.200	6.485	2.230	2.590	1.900

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,0	1,0	0,7	0,3	11,3	5,8

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
27,7	21,3	14,7	10,6	0,9	22,8	9,4	5,2	8,2	38,4	1,42

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
3.141	984	1.200	1.300	3,9
1.182	158	460	275	5,1
171	109	250	250	6,6
96	84	136	150	6,1
70	145	440	110	
4.660	1.335	2.046	2.085	

éléments ‰ du sol sous litière de Pin après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)					
1,2	0,15	0,14	0,12	0,04	0,09

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)			
0,43	0,11	0,08	0,01

Taux d'Azotobacters diminué de 50 % en surface, accru de 50 % à 15 cm.
Taux de Clostridium sensiblement égal.

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
29,3	37,2	14,0	8,6	2,2	21,3	11,0	5,6	3,7	57,6	1,05

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
2.894	381	4.500	1.800	5,8
259	41	345	250	5,6
241	59	650	350	5,3
126	74	440	250	5,1
	231	716	190	
3.520	786	6.651	2.740	

éléments ‰ du sol sous litière de Cypres après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)					
1,5	0,26	0,10	0,20	0,04	0,04

TABLEAU 78

COMPOSITION MOYENNE DU CASSIA

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,5	0,60	1,2	0,15	0,51	0,66	2,6	5,9	91,5	13,0	5,3

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaMnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
—	—	—	—	—	—
10 jours	8.800	3.800	2.400	4.925	1.300
30 »	1.200	520	260	600	200
60 »	1.400	600	350	600	250
80 »	1.500	720	450	700	350
Total	12.900	5.640	3.460	6.825	2.100

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
—	—	—	—	—	—
3,1	1,5	0,7	0,9	14,3	6,0

Composition % de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
—	—	—	—	—	—
2,7	0,7	0,6	1,4	11,9	6,0

TABLEAU 79

COMPOSITION MOYENNE DU GREVILLEA

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,3	1,40	1,16	0,29	0,41	0,34	4,0	3,3	94,7	5,9	2,5

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaMnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
—	—	—	—	—	—
10 jours	7.650	2.700	1.050	1.612	1.000
30 »	1.400	610	280	160	300
60 »	780	350	140	150	120
80 »	760	280	150	170	160
110 »	960	400	180	250	200
Total	11.450	4.320	1.780	2.342	1.780

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
—	—	—	—	—	—
2,0	1,0	0,4	0,6	9,2	6,1

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28,4	25,2	14,5	6,9	2,4	23,5	12,9	5,5	5,1	53,2	2,45

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
—	—	—	—	—
331	1.044	5.500	1.800	6,2
131	69	200	250	6,6
216	134	500	250	6,6
297	103	372	150	6,9
975	1.350	6.572	2.450	

éléments % du sol sous litière de Cassia après 2 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
—	—	—	—	—	—
1,7	0,50	0,04	0,15	0,03	0,11

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
—	—	—	—
0,69	0,12	0,12	—

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21,1	44,2	18,0	12,6	3,4	18,0	11,0	6,0	1,0	50,4	0,85

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
—	—	—	—	—
2.214	399	3.600	2.425	5,1
612	128	410	200	6,4
207	103	220	200	6,7
147	33	176	250	6,8
240	120	320	150	
3.420	683	4.726	3.225	

éléments % du sol sous litière à Grevillea après 2 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
—	—	—	—	—	—
1,5	0,43	0,07	0,12	0,03	0,13

TABLEAU 80

COMPOSITION MOYENNE DU MELIA

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
12,5	0,76	1,05	0,66	0,98	2,84	5,7	6,8	87,5	13,0	7,0

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaMnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	14.150	5.375	2.750	3.825	1.100
30 »	2.250	770	320	700	130
60 »	2.400	900	430	700	200
80 »	1.300	450	290	500	120
Total	20.100	7.495	3.790	5.725	1.550

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
3,8	1,5	1,0	1,3	17,1	6,2

Composition % de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,7	0,7	0,6	1,4	10,1	5,9

TABLEAU 81

COMPOSITION MOYENNE DU FILAO

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
8,9	—	1,12	0,16	0,35	1,12	2,0	6,9	91,1	4,5	4,5

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaMnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	1.880	1.000	220	188	100
30 »	1.190	680	150	232	100
60 »	790	360	90	200	50
80 »	458	300	80	130	50
110 »	350	220	60	100	50
Total	4.668	2.560	600	850	350

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,3	1,0	1,0	0,3	9,5	6,1

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
22,9	13,0	24,6	17,3	1,6	25,0	10,4	7,6	7,0	48,0	2,76

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
4.420	1.602	9.150	3.400	5,1
565	180	433	675	5,1
746	204	440	550	7,6
155	175	320	350	6,5
5.986	2.161	10.343	4.975	

éléments % du sol sous litière de Melia après 2 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
2,5	0,77	0,14	0,20	0,03	0,11

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1.380 mm et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
0,89	0,12	0,12	0,03

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
21,3	47,8	5,8	3,0	0,8	14,0	3,4	3,4	7,2	38,4	1,96

matière sèche à 28° C. exprimée en mg

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
703	314	520	675	6,0
370	183	412	375	6,3
68	147	265	325	7,2
63	95	144	120	7,2
22	78	132	100	
1.226	817	1.473	1.595	

éléments % du sol sous litière de Filao après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
1,8	0,36	0,13	0,17	0,04	0,07

TABLEAU 82

COMPOSITION MOYENNE DE L'ACACIA

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
4,3	0,58	0,36	0,15	0,37	0,60	2,4	1,9	95,7	6,8	13,6

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaMnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	3.675	1.600	580	568	150
30 »	1.350	590	180	225	100
60 »	1.300	630	210	200	100
80 »	880	125	170	80	50
110 »	700	350	180	120	20
Total	7.905	2.295	1.420	1.193	420

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,2	1,1	0,4	0,7	8,9	5,9

TABLEAU 83

COMPOSITION MOYENNE DU MANGUIER

Matière minérale totale	R ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matières minérales solubles à l'eau	Cendres	Matière organique totale	Corps gras	Soluble à l'alcool benzène
10,2	2,0	1,04	0,18	0,28	1,2	2,4	7,8	89,8	7,5	9,5

Solubilisation progressive de 100 g de

Durée	Matière sèche	CaMnO ₄ K n/10 oxydés	Précipitation à SO ₄ H ₂	Tanins	Polyuronides
10 jours	3.850	2.625	860	563	200
30 »	1.250	650	250	163	65
60 »	1.220	560	270	200	60
80 »	800	450	210	150	50
Total	7.120	4.185	1.500	1.076	375

Composition de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,6	1,7	0,2	0,7	11,6	5,4

Composition ‰ de l'horizon supérieur d'un sol gneissique en place

Humus total à la soude	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Capacité d'échange méq %	pH
2,0	0,6	0,3	1,1	8,4	6,0

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
27,2	33,9	11,2	8,1	0,5	17,5	8,6	5,9	3,0	56	2,45

matière sèche à 28° C. exprimée en mg.

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.218	914	1.760	875	5,2
536	139	300	350	5,4
696	104	120	200	6,0
647	113	124	150	5,8
254	206	532	100	
3.351	1.476	2.836	1.675	

éléments ‰ du sol sous litière d'Acacia après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	(Éléments solubilisés à l'acétate d'ammonium N)				
1,2	0,16	0,09	0,20	0,03	0,10

(% de matières sèches)

Lignine	Cellulose	Extrait à l'eau	Polyholosides	Polyuronides	Humus total	Acide humique	Acide fulvique	Humine	Carbone	Azote
22,1	37,8	8,9	5,9	0,6	15,5	7,5	4,4	3,6	37,4	1,67

matière sèche à 28° C. exprimée en mg.

Polyholosides	Protéides	Carbone	Matières minérales	pH
1.600	234	1.600	625	
385	87	470	500	
358	72	290	550	
290	60	250	250	
2.653	453	2.610	1.925	

éléments ‰ du sol sous litière de Manguiier après 3 mois à 28° C.

Humus total	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)				
1,5	0,25	0,10	0,15	0,05	0,11

après 2 ans sous une pluie moyenne annuelle de 1380 mm, et 19° C.

CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Éléments solubilisés par l'acétate d'ammonium N)			
0,77	0,12	0,10	0,02

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ALESHIN (S. N.), ZHUPAKHINA (E. S.), 1950. — The use of Spectrophotometry in the study of soil organic matter. — *Pochvovedenie*, 10, pp. 158-170.
- (2) ANDERSON (M. S.), BYERS (H. G.), 1934. — The Carbon Nitrogen ratio in relation to soil classification. — *Soil. Sci.*, 38, pp. 121-128.
- (3) ANNE, 1945. — Détermination du carbone organique dans les sols par le bichromate de K. — *Ann. Agron.*, XV, 2, pp. 161-172.
- (4) Anonyme, 1932. — Laterite and lateritic soils. — *Comm. Bur. Soil Sci. Tech. Commun.* N° 24.
- (5) — 1934. — Soil vegetation and climate. — *Comm. Bur. Soil Sci. Tech. Commun.* N° 29.
- (6) — 1942. — Clay humus complexes and soil fertility. — *Soil Fertilizers*, 5, pp. 1-3.
- (7) AUBERT (G.), 1950. — Observations sur le rôle de l'érosion dans la formation de la cuirasse latéritique. — *Conf. Afric. Sols Goma. Commun.* N° 66.
- (8) — 1950. — Observations sur la dégradation des sols et la formation de la cuirasse latéritique dans le Nord-Ouest du Dahomey. — *Congrès Int. Sci. Sols Amsterdam*, III, 223, pp. 127-128.
- (9) — 1951. — Les sols des régions semi-arides d'Afrique et leur mise en valeur. Les bases écologiques de la régénération de la végétation des zones arides. — U.N.E.S.C.O. Série B, n° 9.
- (10) — 1953. — Cours de Pédologie générale. — O.R.S.O.M. Paris.
- (11) — BETREMIEUX (R.), 1944. — Étude des sols des prairies marécageuses de la région de Gray. — *Ann. Agron.* XIV, 4, pp. 389-408.
- (12) — MAIGNIEN (R.), 1947. — Les sols du Sénégal au Nord de la Gambie britannique. — *C. R. Conf. Pédol. Médit.*, pp. 358-370.
- (13) BALIABO (N. K.), VASSILIEVA (S. G.), 1951. — Sur la dynamique de la capacité hydrique des sols de constitutions différentes. — *Pochvovedenie*, 8, pp. 457-469.
- (14) BASTISSE (E. M.), 1949. — Essais sur le rôle des complexes colloïdaux en pédologie et en physiologie végétale. — Thèse. Paris.
- (15) BAYENS (J.), 1938. — Les sols d'Afrique Centrale et spécialement du Congo belge. — *I.N.E.A.C. Bruxelles*, pp. 181-182.
- (16) BENNET (H. H.), 1939. — Soil Conservation. — New-York, Mc Graw Hill.
- (17) BERTRAND (L.), JOLEAUD (L.), 1923. — Sur les relations des terrains cristallins et sédimentaires dans la partie occidentale de Madagascar entre la Betsiboka et la Tsiribihina. — *Bull. Econ. Madag.* 23, 3, pp. 177-179.
- (18) — 1925. — Géologie de Madagascar. — *Bull. Econ. Madag.*, 25, p. 177.
- (19) BESAIRIE (H.), 1946. — Essai d'une carte des sols de Madagascar. — Serv. Géolog. Tananarive.
- (20) — 1934-1939. — Notice explicative de la carte géologique au 200.000^e. — Serv. Géolog. Tananarive.
- (21) — 1935. — La géologie du Nord-Ouest. — *Mém. Acad. Malg.*

- (22) BESAIRIE (H.), 1937. — Altération des roches et formation des sols à Madagascar. — *Bull. Assoc. Fr. Etude des sols*, 3, pp. 15-20.
- (23) BETRÉMIEUX (R.), 1951. — Étude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans le sol. — *Ann. Agron.* A, II, 3, pp. 193-295.
- (24) — 1952. — Raisons et enseignements de la pédologie expérimentale. — *Bull. Assoc. Fr. du Sol. C.N.R.A.*, 37, pp. 3-15.
- (25) BOTELHO DA COSTA (J.), 1950. — Le problème général de la classification des sols. — *Bull. Inst. Agron. Gembloux*, 18, 3, 4, pp. 23-36.
- (26) 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.
- (27) BRAJNIKOV, BŒUF, ROMANOVSKY, 1943. — Technique d'études des sédiments. — Paris. Hermann.
- (28) BREMNER (J. M.), 1950. — Some observation on the oxidation of soil organic matter in the presence of alkali. — *J. Soil Sci.*, 1-2, pp. 198-204.
- (29) — 1950. — Amino-Acids in soil. — *Nature*, N° 165, p. 367.
- (30) — 1951. — A review of recent work on soil organic matter. — *J. Soil Sci.*, 2-1, pp. 67-82.
- (31) — LEES (H.), 1949. — Studies on soil organic matter. — *J. Agr. Sci.* 38 et 39, pp. 183-193, 274-279, 284-293.
- (32) BRIGGS (L. J.), SHANTZ (H. L.), 1912. — The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. — *U.S.D.A. Bur. Pl. Indust. Bull.*, 230.
- (33) BRUNEL (A.), 1948. — Traité pratique de chimie végétale. — Paris, t. II.
- (34) BRYAN (W. H.), TEAKLE (L. J. H.), 1949. — Pedogenic inertia a concept in soil science. — *Nature*, N° 164.
- (35) CAROLAN, 1948. — Modification of Graham's method for determining soil organic matter. — *Soil Sci.* 66, 4, pp. 241-248.
- (36) CASTAGNOL (E. M.), PHAM-GIA-TU, 1940. — Étude des principaux types de latérite d'Indochine. — *Bull. Econ. Indoch.*, 2, Hanoi.
- (37) — 1942. — Le sol. — Hanoi.
- (38) CHAMINADE (R.), 1934. — Étude des équilibres entre le complexe absorbant et les solutions du sol. — *Ann. Agron.*, 4, 5, 6, p. 626-636, 781-792.
- (39) — 1943. — Sur les propriétés des complexes phospho-humiques des sols. — *C. R. Ac. Agr.*, 29, pp. 275-278.
- (40) — DROUINEAU (G.), 1936. — Recherche sur la mécanique chimique des cations échangeables. — *Ann. Agron.*, 6, 5, pp. 677-690.
- (41) — VISTELLE (R.), 1947. — Contribution à l'étude expérimentale du rôle de l'humus dans le sol. — *Ann. Agron.*, 3, pp. 536-544.
- (42) COILE (T. S.), 1938. — Effect of incorporated organic matter on the moisture equivalent and wilting percentage values of soils. — *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.*, 3, p. 43.
- (43) COLCANAP, 1910. — Notice géologique sur le cercle de Maevatanana. — *Bull. Econ. Madag.*, n° 10, p. 69.
- (44) — 1910. — Notice géologique sur le cercle d'Analalava. — *Bull. Econ. Madag.*, n° 10, p. 86.
- (45) — 1921. — Esquisse géologique de la région Nord de l'Onilahy. — *Bull. Econ. Madag.*, n° 21, p. 204.
- (46) CROWTHER (E. M.), 1931. — The relationship of climatic and geological factors to the composition of soil clay and the distribution of soil types. — *Proc. of the Royal Soc. Bull.*, 107, n° 748, pp. 1-30.
- (47) DAY (W. R.), 1948. — Relations entre les conditions du sol, le type de couverture végétale et la croissance des arbres. — *Forestry (London)*, n° 22-2, pp. 184-194.
- (48) DEB (B. C.), 1949. — Le mouvement et la précipitation des oxydes de fer dans les sols podzoliques. — *J. Soil Sci.*, I, pp. 112-122.

- (49) DECARY (R.), 1918, 1919. — Étude géologique et hydrologique de l'Androy. — *Bull. Acad. Malg.*, n° 18, pp. 11-15.
- (50) — 1918, 1919. — Géographie et géologie du district de Tsihombe. — *Bull. Acad. Malg.*, pp. 41-43.
- (51) — 1921. — Monographie du district de Tsihombe. — *Bull. Econ. Madag.*, 21, 1, pp. 1-38.
- (52) — 1924. — Observations géologiques dans l'Ambongo — *Bull. Econ. Madag.*, 24, pp. 52-83.
- (53) — 1931. — Notes géologiques sur l'Extrême Sud de Madagascar. — *Bull. Econ. Madag.*, pp. 14-41.
- (54) DEFOORT (E.), 1913. — L'Androy. — *Bull. Econ. Madag.*, 13, p. 130.
- (55) DEMOLON (A.), LEROUX (D.), 1933. — Guide pour l'étude expérimentale du sol. — Gauthier Villars. Paris.
- (56) DEMOLON (A.), 1948. — Dynamique du sol. — Dunod. Paris.
- (57) — 1950. — La génétique des sols. — *P.U.F.*, Paris.
- (58) DESHYANDE (V. V.), TELANG (M. J.), 1950. — Pipet method of sedimentation analysis. — *Anal. Chem.*, 22, 6, pp. 840-841.
- (59) DE SIGMOND (A. A. J.), 1938. — Principles of soil science. — Londres.
- (60) DIMBLEBY (G. W.), 1952. — Soil regeneration on the North East Yorkshire moors. — *J. Ecol.*, n° 40, pp. 331-341.
- (60bis) DOMMERGUES (Y.), 1952. — Influence du défrichement de forêt suivi d'incendie sur l'activité biologique du sol. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 2, pp. 273-296.
- (60ter) — 1953. — Rôle de la couverture du sol dans le maintien et l'accroissement de son activité biologique. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, p. 299-314.
- (61) DRAGOUNOV (S. S.), JELOKHOVZEVA STRELKOVA, 1948. — Étude comparative des acides humiques de sol et de tourbes. — *Pochvovedenie*, 7, pp. 409-420.
- (62) — — 1951. — Étude de la matière chimique de l'acide humique. — *Pochvovedenie*, 10, pp. 151-157.
- (63) DUCHAUFOR (Ph.), 1948. — Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. — *Ann. Ec. Eaux For. Nancy*, XI, I.
- (64) — 1950. — L'humus forestier et les facteurs de sa décomposition. — *Rev. For. Franç.*, I, pp. 479-488.
- (65) — 1952. — Pédologie. Certificat de pédologie et chimie agricole. — *Fac. Sc. Nancy. Centr. Doc. Univ. Paris*.
- (66) DULEY (F. L.), KELLY (L. L.), 1945. — Effect of soil type, hope and surface conditions on intake of water. — *Agric. Imp. Stat. Bull.* III.
- (67) DUPONT (J. P.), 1951. — La classification pédologique du Professeur Emile Huguet del Villar et les sols d'Afrique du Nord. — *Soc. Sci. Nat. Maroc*, 2, 3, Rabat.
- (68) DUTHIE (D. W.), DOUGHTY (L. R.), 1947. — Soil fertility in relation to soil conservation. — *C. R. Serv. Agric. Yangambi*, 104.
- (69) DUVERGÉ (P.), 1949. — L'indice d'aridité à Madagascar. — *Serv. Météorologique de Madagascar*, n° 18, Tananarive.
- (70) EMBERGER (L.), 1930. — La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. — *Rev. Gen. Bot.*, 42, pp. 705-721.
- (71) — MANGENOT (G.), MIEGE (J.), 1950. — Existences d'associations végétales typiques dans la forêt dense équatoriale. — *C. R. Acad. Sci.*, 231, 14, pp. 640-642.
- (72) EN-FENG-CHEN, 1938. — Untersuchungen über die Zersetzung des Stallmistes im Boden während der Vegetation. — *Landw. Jahrb.*, 86, I, pp. 71-121.
- (73) ERIART (H.), 1926. — L'influence de l'origine géologique et des facteurs extérieurs sur la formation et la valeur culturale des terres latéritiques de l'Est de Madagascar. — Paris.

- (74) ERHART (H.), 1929. — Sur la nature et l'origine géologique des sols de Madagascar. — *C. R. Acad. Sci.*, 188, p. 1561.
- (75) — 1937. — *Traité de Pédologie*. — Paris.
- (76) FIELDER (M.), SWINDALE (L. D.), RICHARDSON (J. P.), 1952. — Relation of colloidal hydrous oxides to the high cation exchange capacity of some tropical soils of the Cook Islands. — *Soil Sci.*, 74, pp. 197-205.
- (77) FLAIG (W.), BENTELSPACHER (H.), 1951. — Sur les acides humiques. Investigations à l'ultramicroscope sur les acides humiques naturels et synthétiques. — *Z. Pflernähr. Düng.*, 52, pp. 1-21.
- (78) FORSYTH (W. G. C.), 1947. — Studies on the more soluble complexes of soil organic matter. — *Biochem. J.*, 41, 2, p. 176.
- (79) — 1947. — Caractérisation of humic complexes to organic matter of soil. — *J. Agric. Sci.*, 37, 2, pp. 132-138.
- (80) FOURNIER (F.), 1949. — Les facteurs climatiques de l'érosion du sol. — *Bull. Ass. Géogr. Franc.*, 203, 3, pp. 97-103.
- (81) FOWLER (R. H.), WHEETING (R. H.), 1941. — Influence des chutes de pluies sur la nature de la matière organique des sols de prairies de l'Ouest de l'état de Washington. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 33, 1, pp. 13-23.
- (82) FRANTSESSON (V. A.), 1951. — Humidité du sol au point de flétrissement des plantes. — *Sovet. Agron.*, 7, pp. 53-60.
- (83) FREI (E.), 1944. — Contribution à la classification de l'humus. — *Ber. Schweiz. Bot. Ges.*, 54, pp. 267-346.
- (84) — 1946. — Classification de l'humus sur des bases morphologiques et chimiques. — *J. Forest. Suisse*. Octobre, pp. 413-430.
- (85) GARBOSKI (A. J.), TCHAPEK (M.), 1950. — Adsorción del ácido humico por los minerales. — *Inst. Suel. Agrotec. Argentina*, Pub. 15, pp. 15-23.
- (86) GARNAUD, 1880. — La lumière, le couvert et l'humus étudiés dans leur influence sur la végétation des forêts. — *C. R. Acad. Sci.*, 92, Janvier.
- (87) GAUTHIER-DROUIN, 1891. — Rôle des matières humiques. — *C. R. Acad. Sci.*, 93, p. 820.
- (88) GEDROIZ (K. K.), 1929. — Der absorbierende Bodenkomplex. — Leipzig.
- (89) — 1933. — Le complexe absorbant du sol et son importance agronomique. — *I.N.R.A.*, 3, 2, pp. 172-183.
- (90) Mc GEORGE (W. T.), 1930. — Base exchange properties of soil organic matter, in soils. — *Ariz. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.*, 30, pp. 181-213.
- (91) — 1931. — The base exchange properties of soil organic matter. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 23, 5, pp. 331-336.
- (92) — 1934. — Organic base exchange compounds in soils. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 26, pp. 575-579.
- (93) GESLIN (H.), 1947. — La caractérisation des climats locaux. — Conférence pédologique méditerranéenne, Nancy, pp. 37-84.
- (94) GEZE (B.), 1947. — Paléosols et sols dus à l'évolution actuelle. — *C. R. Conf. Pédol. Médit.*, pp. 140-156.
- (95) GOGUEL (J.), 1943. — Sur une influence possible du reboisement sur les glissements de terrain. — *C. R. Acad. Sci.*, 216, pp. 124-125.
- (96) GREENING (C. B.), 1936. — Oxidation of soil humus. — *J. Roy. Hort. Soc.*, 61, pp. 369-373.
- (97) GRILLET (J. B.), 1941. — Les formations végétales de la Somalie Occidentale anglaise et de la province de Harrar. — *Bull. Miscell. Inform.*, pp. 37-75.
- (98) GURR (C. G.), MARSHALL (T. J.), HUTTON (J. T.), 1952. — Movement of water in soil due to a temperature gradient. — *Soil Sci.*, 74, pp. 335-345.
- (99) HENIN (S.), 1934. — État actuel de la physique du sol. — *I.N.R.A.*, 4, 5, pp. 611-625.

- (100) HENIN (S.), 1936. — Idées actuelles sur l'eau du sol et ses rapports avec la plante. — *Ann. Agron.*, VI, 5, pp. 723-741.
- (101) — 1950. — Le mécanisme de l'érosion par l'eau. — *Bull. Tech. Inform. Ing. Serv. Agric.*, n° 50.
- (102) — AUBERT (G.), 1945. — Relation entre le drainage, la température et l'évolution des sols. — *C. R. Acad. Sci.*, 220, pp. 330-331.
- (103) — TURC (L.), 1945. — Comparaison entre diverses formules reliant l'écoulement et les précipitations. — *C. R. Acad. Sci.*, 221, pp. 760-762.
- (104) — 1950. — Essais de fractionnements des matières organiques du sol. — Fourth Inst. Congr. of Soil Sci. Amsterdam, I, pp. 152-154.
- (105) HENRY (E.), 1908. — Les sols forestiers. — Paris. Berger Levrault.
- (106) HISSINK (D. J.), 1935. — Der Basenaustausch. — 3^e Congr. Soil Sci. Oxford, II, pp. 60-75.
- (107) HITIER, 1929. — Complexe argilo-humique des sols. — *C. R. Inst. Rech. Agron.* 48.
- (108) HUMBERT (H.), 1927. — Principaux aspects de la végétation à Madagascar. — *Mém. Acad. Malg.* V.
- (109) — 1938. — Les aspects biologiques du problème des feux de brousse et la protection de la nature dans les zones intertropicales. — *Inst. Roy. Colon. Belge*, IX, 3, pp. 811-835.
- (110) — 1948. — The genesis of laterite. — *Soil Sci.*, 65, 4, pp. 281-290.
- (111) — 1949. — La dégradation des sols à Madagascar. — *Bull. Agric. Congo Belge*, XI, 2, pp. 1141-1162.
- (112) Imperial Bureau of Soil Science, 1934. — Soil, vegetation and climate. — *Harpenden. Techn. Com.* n° 29.
- (113) I.N.E.A.C., 1949. — Systèmes cultureux applicables à la production des plantes annuelles en zone équatoriale congolaise. — *C. R. Conf. Goma*, n° 146.
- (114) JANKE (A.), 1949. — Décomposition de la cellulose par les micro-organismes. — *Osterreich. Bot. Ztschr.*, 96, 24 A, pp. 398-443.
- (115) JENNY (H.), 1930. — A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil. — *Miss. Agric. Expt. Sta. Bull.*, 152.
- (116) — 1930. — Rapports entre humus du sol et climat. — *Naturwissenschaften*, II, p. 859.
- (117) — 1935. — The clay content of the soil as related to climatic factors particularly temperature. — *Soil Sci.*, 40, 2, pp. 111-129.
- (118) — BINGHAM, SARAVIA (P.), 1948. — Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Columbia. — *Soil Sci.*, 66, 3, pp. 173-186.
- (119) JOFFE (J. S.), 1949. — Pedology. — New-Jersey.
- (120) — 1949. — The A B C of soils. — New-Brunswick. U.S.A.
- (121) KELLOGG (Ch. E.), 1948. — Preliminary suggestions for the classification and nomenclature of great soil groups in tropical and equatorial regions. — *Proc. First Comm. Conf. on Trop. Sub. trop. Soils, Tech. Commun.* 46.
- (122) — 1950. — Tropical soils. — *Congr. Soil Sci. Amsterdam*, I, pp. 266-276.
- (123) KILLIAN (M. V.), 1948. — Conditions édaphiques et réactions des plantes de la région alfatière algérienne. — *Ann. Agron.*, 18, I, pp. 4-27.
- (124) KIVINEN (E.), 1934. — Composition organique des espèces de tourbes et de quelques-uns de leurs constituants. — *Suomi Maat. Seuran. Julk.*, 31, p. 165.
- (125) KONONOVA (M. M.), 1947. — Principaux résultats de l'étude au champ de l'humus du sol en U.R.S.S. dans les trente dernières années. — *Pedology*, 10, pp. 590-599.
- (126) KUHNHOLTZ-LORDAT (G.), 1938. — La terre incendiée. — Ed. Maison Carrée.

- (127) LACROIX (A.), 1913. — Sur les roches rhyolitiques et dacitiques de Madagascar et en particulier sur celles de la région Sakalava. — *C. R. Acad. Sci.*, 157, p. 14.
- (128) — 1913. — Sur la constitution minéralogique et chimique des laves des volcans du centre de Madagascar. — *C. R. Acad. Sci.*, 156, p. 175.
- (129) — 1914. — Roches basiques non volcaniques de Madagascar. — *C. R. Acad. Sci.*, 159, p. 417.
- (130) — 1914. — Les produits d'altération des roches silicatées aluminieuses et en particulier les latérites de Madagascar. — *C. R. Acad. Sci.*, 159, p. 617.
- (131) — 1922. — Minéralogie de Madagascar. — Paris.
- (132) — 1928. — Sur une nouvelle région de roches intrusives et néphélitiques à Madagascar. — *C. R. Acad. Sci.*, 186, pp. 105-108.
- (133) LAMBERTON. — La flore de Madagascar. — *Bull. Econ. Madag.*, 12, 2, p. 39.
- (134) LANG (R.), 1915. — Versuch einer exakter Klassifikation der Böden in klimatischen und geologischen Hinsicht. — *Inter. Mitt. für Bodenkunde*. Stuttgart, pp. 312-346.
- (134bis) LAPPARENT (J. de.), 1923. — Leçons de Pétrographie. — Masson et Cie. Paris.
- (135) LAUDELOUT (H.), HOORE (J. d'), 1949. — Influence des micro-organismes sur certaines propriétés physico-chimiques des sols de Yangambi. — *Bull. Agric. Congo Belge*, 42, pp. 339-354.
- (136) — — 1949. — Influence du milieu sur les matières humiques en relation avec la microflore du sol dans la région de Yangambi. — *I.N.E.A.C.*, n° 44.
- (137) MC LEAN (E. D.), 1952. — The effect of humus on Cationic Interactions in a Beidellite clay. — *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.* XVI, pp. 134-137.
- (138) LEANDRI, 1936. — Reconnaissance botanique de la partie médiane de l'Ouest malgache. — *Bull. Acad. Malg.*, 19.
- (139) LEIN (Z. Y.), 1940. — Les formes de combinaison de l'humus avec la partie minérale du sol. — *Pedology.*, 10, pp. 41-57.
- (140) LENOBLE (A.), 1935. — Constitution et structure du pays betsileo. — *Serv. Géolog. Tananarive*.
- (141) — 1940. — Études sur la géologie de Madagascar. — *Mém. Acad. Malg.*
- (142) LOINIS (F.), 1929. — Die Kleinlebewesen des Bodens. — Berlin.
- (143) LOUVEL, 1914. — Les forêts de l'Ouest de Madagascar. — Challamel. Paris.
- (144) LOZET (J.), 1950. — Terres noires et Kaiso beds dans la vallée de la Ruzizi. — *Bull. Agric. Congo Belge*, XLI, 1, pp. 105-112.
- (145) LUTZ (H. J.), 1944. — Propriétés physiques des sols forestiers. — *Soil Sci.*, 58, p. 4.
- (146) — CHANDLER (R. F.), 1949. — Forest Soils. — New-York.
- (147) MAILLARD, 1919. — Genèse des matières protéiques et des matières humiques. — Paris. Masson.
- (147bis) MALTERRE (H.), HIROUX (G.), 1947. — Facteurs susceptibles d'influencer le dosage de l'humus soluble. — *Ann. Agron.*, XVII, 6, pp. 858-862.
- (148) MARBUT (C. F.), 1931. — The importance of organic matter in the classification of soils. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 23, pp. 1056-1057.
- (149) MARTONNE (E. de), 1926. — Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. — *La Météorologie*, pp. 449-459.
- (150) — 1950. — Traité de géographie physique. — Paris. A. Colin.
- (151) MASSIBOT (J. A.), 1948. — Notions sur les méthodes statistiques. Traité pratique de chimie végétale. — A. Brunel. Tourcoing, pp. 369-510.

- (152) MATTSON (S.), ANDERSON (H.), 1941-1943. — Le rapport acide-base dans la végétation, la matière organique en décomposition et l'humus. — *Ann. Ec. Sup. Agric. Suède*, 9, pp. 1-26, 27-37, 38-56 et 57-73; 10, pp. 284-332; 11, pp. 107-207.
- (153) MAYER (A.), 1926. — Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. — *Chem. der Erde*, n° 2.
- (154) MEGINNIS (H. G.), 1935. — Influence of forest litter on surface run and soil erosion. — *Ann. Soil Survey Assoc.*, 1935, Bull. 16, p. 115.
- (155) MEYER (L.), 1935. — Darstellung und Verwendung von humus-ton Gemischen als Träger von Pflanzennährstoffen. — *Z. Pflkrank.*, 39, 3, 4, pp. 221-224.
- (156) — 1941. — Cités par *Soil and Fertilizers*, 1942, 5, pp. 1-3.
- (157) MILLAR (H. C.), SMITH (F. B.), BROWN (P. E.), 1936. — The base exchange capacity of decomposing organic matter. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 28, pp. 753-767.
- (158) MILLAR (C. E.), TURK (L. M.), 1950. — Fundamentals of soils science.
- (159) MISSION (A.), 1950. — Note préliminaire sur l'importance du facteur « eau » dans le complexe éoclimatique de la région d'Elisabethville. — *C. R. Congr. Sci. Elisabethville*, IV, I, *Commun*, n° 33, pp. 79-94.
- (160) MITCHELL (R. L.), MUIR (A.), 1937. — Base exchange capacity and clay content of soils. — *Nature*, n° 139, p. 552.
- (161) MITRA (R. P.), RAJAGOPALAN (K. S.), 1952. — Origin of the base exchange capacity of clay and significance of its upper limiting value. — *Soil Sci.*, 73, 5, pp. 349-360.
- (162) MOHR (F. C. J.), 1944. — The soils of equatorial regions. — Amsterdam, Washington.
- (163) MOREY (H. F.), 1941. — The relationship of humus to the vegetation soil complex and its application to the flood control problem. — *Soil Sci. Soc. of Amer.*, 6, p. 422.
- (164) MORROW (C. A.), 1917. — The organic matter of the soil. A study of the nitrogen distribution in different soils types. — *Soil Sci.*, 3, 4, p. 297.
- (165) MOSER (F.), 1933. — The calcium magnesium ratio in soils and its relation to crop growth. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 25, pp. 305-377.
- (166) MOURANCHE (R.), 1947. — Les forêts à Madagascar. — Encyclopédie coloniale et maritime. T. II, Paris.
- (167) MUIR (A.), 1950. — Gleying in soils. — Rothamsted Expt. Stat. Rept., 49.
- (168) *Munsell Color Company*, 1952. — Munsell soil color charts. — Baltimore, U.S.A.
- (169) MYERS (E. H.), 1937. — Physiochemical reactions between organic and inorganic soils colloids as related to aggregate formation. — *Soil Sci.*, 44, pp. 331-360.
- (170) NAJMR (S.), 1948. — Notes sur le dosage oxydo-volumétrique des acides humiques dans les types de sols génétiques. — *Ann. Acad. Agric. Tchecos.*, 21, p. 104.
- (171) — 1950. — Résultats de recherches de matières organiques dans les types génétiques de sol. — *Ann. Acad. Agric. Tchecos.*, 22, p. 556.
- (172) NATKINA (Al.), 1940. — Études sur la composition et les propriétés des acides humiques dans les chernozems et les podzols. — *Trans. Dokuchaev. Inst.*, 23, pp. 9-22.
- (173) NEAL (J. H.), 1938. — The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. — *Missouri. Agric. Expt. Sta. Res. Bull.*, 280.
- (174) NEMEC (A.), 1926. — Degré d'humification de la couverture des sols forestiers. — *Rev. Int. Rens. Agric.*, 630.
- (175) NIKIFOROFF (C. C.), 1938. — Soil organic matter and soil humus yearbook of agriculture. — *U. S. Dept. Agric.*, pp. 929-939.

- (176) NOLTE (O.), BLEIS (G.), 1930. — Stickstoff und Humus. — *Forst. d. Landw.*, 5, pp. 601-606.
- (177) NORMAN (A. G.), 1943. — Problems in the chemistry of soil organic matter. — *Soil Sci. Soc. Amer.*, 1942, 7, pp. 7-15.
- (178) — BARTHOLOMEW (W.), 1943. — Chemistry of soils organic matter. — *Soil Sci.*, 56, 2, pp. 223-233.
- (179) NOSTITZ (A. V.), 1936. — Zur Humusbestimmung mittels MnO_4K . — *Bodenkultur Pflanz.*, 1, 1-2, pp. 95-101.
- (180) NOULENS (J.), 1921. — Flore et bois de Nossi-Bé. — *Bull. Econ. Madag.*, 15, 4, p. 80.
- (181) OAKES, HARVEY, THORP, 1951. — Dark clay soils of warm regions variously called Rendzina, Black cotton soils, Regur and Tir. — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1950, pp. 347-354.
- (182) ODEN (S.), 1922. — Die huminsäuren Sonderausgabe aus Kolloïdehem beihelfte. — Berlin, 2^e édition.
- (183) PALAWAEW (T.), 1942. — Chemische, physikalische und physiologische Untersuchungen über organische, anorganische, und organomineralische Kolloïden in ihrem Einfluss auf Boden und Pflanze. — *Kuhn. Archiv.*, 66, pp. 173-214.
- (184) PALLMANN (H.), 1942. — Propriétés chimiques et physico-chimiques de l'humus. — *Koll. Zeits.*, 10, pp. 72-81.
- (185) PEECH (M.), 1945. — Determination of exchange cation and exchange capacity of soils. — *Soil Sci.*, 59, II, pp. 25-38.
- (186) PERNET (R.), 1951. — Bibliographie pédo-agronomique et répartition des types de sols à Madagascar. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 2, pp. 293-349.
- (187) — 1952. — L'humus forestier et son évolution après destruction du couvert végétal. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 2, pp. 297-345.
- (188) — 1953. — Connaissance rapide du degré d'érosion d'un sol par la mesure de son état organique. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, pp. 287-298.
- (189) — 1953. — Influence de la végétation sur l'évolution organique des sols gneissiques et basaltiques. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, pp. 251-286.
- (189bis) — 1953. — Les sols de la station forestière de Mandena (région de Fort-Dauphin). — Tananarive, rapport non publié.
- (190) PERRET, SALNAVE, AUDOYNAUD, FONDEVILLE, 1892. — Rôle de l'humus dans la végétation. — *Assoc. Franç. Avancem. Sci.*, 325.
- (191) PERRIER DE LA BATHIE (H.), 1910. — Note sur la vallée permotriasique et le contact des terrains métamorphiques et des terrains sédimentaires dans l'Ouest de Madagascar. — *Bull. Econ. Madag.*, 10, p. 199.
- (192) — 1912. — Note géologique sur le plateau Bara. — *Bull. Econ. Madag.*, 12, p. 117.
- (193) — 1918-1919. — Au sujet des couches les plus anciennes de la série sédimentaire du versant occidental. — *Bull. Acad. Malg.*, IV, p. 213.
- (194) — 1920. — Extraits de rapports de missions. — *Bull. Econ. Madag.*, 20, pp. 8-21.
- (195) — 1920. — Les prairies malgaches. — *Bull. Econ. Madag.*, 20, I, 2, pp. 1-16.
- (196) — 1921. — La végétation malgache. — *Ann. Musée colon. Marseille.*
- (197) PLOTTH (O. Von), 1950. — Die Humusbildung der Mikroorganismen. — *Z. Pflernähr. Düng.*, 51, pp. 212-214.
- (198) POCHON (J.), TCHANG (Y. T.), 1950. — Humus et biologie des sols. — *Rev. Gén. Bot.*, 57, 675, pp. 257-277; 676, pp. 321-347.
- (199) PONOMAREVA (V. V.), 1947. — Sur la méthode de séparation des acides fulviques et leur matière chimique. — *Pedology*, 12, p. 714.

- (200) PONOMAREVA (V. V.), 1949. — Les interactions des groupes d'acides créniques et apocréniques avec les hydroxydes de bases. — *Pedology*, 51, p. 638.
- (201) POISSON (H.), 1921. — Flore et géographie botanique de la province de Tuléar. — *Bull. Econ. Madag.*, 18, 4, pp. 52 et 290.
- (202) — 1921. — Monographie de la province de Tuléar. — *Bull. Econ. Madag.*, 18, 4, pp. 43-73.
- (203) PORTÈRES (R.), 1948. — Sur les plantes indicatrices du niveau de fertilité du complexe cultural édapho-climatique en Afrique tropicale. — *Agron. Trop.*, 3, 5, 6, pp. 246-257.
- (204) POPE & ARCHER, 1940. — Soil and water conservation investigations. — *Annual Report Texas College*, pp. 148-150; 173-174; 196-198.
- (205) PRESCOTT (J. A.), PENDLETON (R. L.), 1947. — Laterites and Lateritic soils. — *Commonw. Bur. of Soil Sci. Techn. Commun.*, 47.
- (206) PICHARD (G.), 1931. — Méthode de séparation et de dosage des principes immédiats contenus dans les tissus lignifiés et dans leurs produits de décomposition. — *Ann. Agron.*, 1, 4.
- (207) PURI (A. N.), 1949. — Soils, their physics and chemistry. — Reinhold. New-York.
- (208) — SARUPA (A.), 1937. — Estimation of soil humus by oxydation with alkaline permanganate. — *Soil Sci.*, 44, pp. 323-327.
- (209) — — 1938. — Extraction de l'humus des sols par les alcalis. — *Bodenkundliche Forschungen*, VI, pp. 122-138.
- (210) — — 1938. — Potentiometric study of the formation of humic acid and humates. — *Soil Sci.*, 45, pp. 165-174.
- (211) QUASTEL (J. H.), 1952. — Influence of organic matter on aeration and structure of soil. — *Soil Sci.*, 73, 6, pp. 419-426.
- (212) RAVET (J.), 1952. — Notice sur la climatologie de Madagascar. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 1, pp. 1-36.
- (212bis) REFENBERG (A.), 1936. — The soils of Palestine. — Thomas Murby. London.
- (213) REMEZOV (N. P.), 1945. — Étude comparative des méthodes d'isolement des acides humiques du sol. — *Acad. Sci. U.R.S.S.*, pp. 303-308.
- (214) REUTTER (L.), 1923. — Traité de matière médicale et de chimie végétale. — Baillière et fils. Paris.
- (215) REY, 1905. — La forêt sakalava du Menabe. — *Bull. Econ. Madag.*, 5, 4, p. 557.
- (216) RIQUIER (J.), 1951. — Essai de classification des sols latéritiques de Madagascar selon la topographie. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 87-99.
- (217) — 1951. — Notice sur la carte pédologique et la basse vallée du Mandrare. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 48-85.
- (218) — 1951. — Les sols du Tampoketsa d'Ankazobe. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 113-126.
- (219) — 1951. — Les sols du périmètre forestier d'Ambila Lemaitso. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 127-135.
- (219bis) — 1953. — Les sols d'Anjouan et de Mayotte. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, pp. 1-62.
- (220) — MOUREAUX (Cl.), SÉGALEN (P.), 1952. — Étude pédologique de la basse vallée de la Menarandra. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, 1, pp. 71-129.
- (221) ROBINSON (W.), 1949. — Soils. — Thomas Murby, London.
- (222) ROCCHETTI (G.), 1947. — La materia organica nei paesi tropicali. — *Riv. Agric. Sub-trop.*, 10-12, pp. 234-247.
- (223) ROGER-VILQUIN, 1908. — Étude de la matière humique de la tourbe. — *C. R. Acad. Sci.*, 147, p. 1404.
- (224) ROMELL (L. G.), 1935. — Ecological problems of the humus layer in the forest. — *Cornell. Univ. Agric. Expt. Sta. Mem.*, n° 170.

- (225) RUDAKOV (K. I.), 1949. — Micro-organismes et formation de l'humus. — *Mikrobiologiya*. Moscou, 18, 6, pp. 481-491.
- (226) SABOUREAU (P.), 1949. — La conservation des sols à Madagascar. — *Bull. Agric. Madag.*, 2, 14, pp. 1-16.
- (227) SCHACHTSCHABEL (P.), 1950. — Einfluss von Kalk auf Boden und Humus. — *Landw. Forsch.*, II, 1, p. 57-64.
- (228) SCHEELE (W.), STEINKE (L.), 1936. — Über Humussauren. — *Kolloid. Zeits.*, 77, 3, pp. 312-320.
- (229) SCHEFFER, WELTE, 1950. — L'emploi de la spectrographie d'absorption dans les recherches sur l'humus. — *Z. Pflkrank.*, 48, 93, pp. 250-263.
- (230) SCHLOESING (Th.), 1874. — *Compte rendu Académie des Sciences*, 78, p. 1276.
- (231) SCHMUK (A.), 1932. — Le problème de la chimie de la matière organique du sol. — *Pochvovedenie*, 25, pp. 1-48.
- (232) SCHOLLENBERGER (J. C.) et DREIBELBIS, 1930. — Analytical methods in base exchange investigations on soils. — *Soil Sci.*, 30, pp. 161-173.
- (233) SEDLETSKY, BRUNOWSKY, 1935. — Cités par *Soil and fertilizers* 1941, 5, pp. 1-3.
- (234) SÉGALEN (P.), 1948. — L'érosion des sols à Madagascar. — *Conf. Afric. Sols Goma*, 2, 1, n° 19.
- (235) — 1951. — Étude des sols de la Station des quinquinas. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 65-79.
- (236) — 1951. — Étude des sols du périmètre forestier d'Ampamaherina. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, pp. 147-163.
- (237) — MOUREAUX (Cl.), 1950. — Notice sur la carte pédologique du Bas Mangoky. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, II, 1, pp. 1-93.
- (238) — TERCINIER (G.), 1951. — Notice sur la carte pédologique de l'Ankaizina. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 2, pp. 181-283.
- (239) SETZER (J.), 1948. — Metodos praticos de controle da erosao. — *Boletim de Agricultura*, Sao-Paulo, pp. 221-229.
- (240) SHANTZ (H. L.), PIEMEISEL (R. L.), 1940. — Types of vegetation in Escalante valley. Utah, as indicators of soils conditions. — *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.*, 713.
- (241) SMITH (H. V.), BUCHNER (I. F.), WICKSTROM (G. A.), 1949. — Maintenance of soil organic matter. — *Soil Sci.*, 68, 6, pp. 463-478.
- (242) SMOLIK (L.), 1924. — Étude sur la composition chimique de l'humus et le climat. — *Conf. Pédology*. Rome, II, p. 617.
- (243) SODY (L.), 1951. — L'amélioration de la fertilité des terres congolaises. — *Bull. Agric. Congo belge*, 42, 2, pp. 283-294.
- (244) SOWDEN, ATKINSON, 1949. — Composition of certain fractions of soil organic matter. — *Soil Sci.*, 68, pp. 433-440.
- (245) SPRINGER (U.), 1931-1932. — Neuere Methodenuntersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen — *Z. Pflkrank.*, 23, 2, p. 1-22, A, pp. 135-152.
- (246) — 1940. — Humifizierung und Zersetzung und ihre Bestimmung in Torfen, Stallmistern und anderen organischen Bildungen. — *Bodenkultur. Pflanz.*, 18, pp. 129-167.
- (247) — 1943. — Fractionnement des substances humiques vraies. — *Bodenkultur. Pflanz.*, 32, pp. 129-146.
- (248) SREENIVAS (L.), JOHNSTON (J. R.) et HILL (H. O.), 1948. — Some relationships of vegetation and soil detachment in the erosion process. — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1947, 12, pp. 471-474.
- (249) SWABY (S. J.), 1950. — The influence of humus on soil aggregation. — *J. Soil Sci.*, 2, 1, pp. 182-194.
- (250) TAMM (O.), 1947. — Influence exercée par la végétation forestière et les bruyères sur les sols de la partie méridionale de la Suède. — *Conf. Pédol. Médit.*, pp. 206-209.

- (251) TEAKLE (L. J. H.), 1952. — An interpretation of the occurrence of diverse types of soils on basalt in Northern New South Wales and Queensland. — *Austr. J. Agric. Res.*, 3, 4, pp. 391-468.
- (252) THIRY, 1903. — Les forêts de Madagascar. — *Bull. Econ. Madag.*, 4, p. 349.
- (253) THOM (Ch.), SMITH (N. R.), 1933. — The relations of soil acidity to the decomposition of organic residues. — *J. Amer. Soc. Agron.*, 25, pp. 392-397.
- (254) TISSIE-RAKOTO, 1922. — L'élevage à Madagascar. — *Bull. Econ. Madag.*, 3, 4, pp. 76-80.
- (255) TIULIN (A. F.), 1938. — Sur les formes d'union entre les substances humiques et la partie minérale des colloïdes du sol. Leur signification dans l'étude des différentes propriétés des colloïdes du sol. — *Pedology*, 7, 8, pp. 998-999.
- (256) TIURIN (I. V.), 1937. — Matières organiques des sols. — Léninegrad.
- (257) TYULIN (A. T.), 1938. — The composition and structure of soils organo-minerals gels and soil fertility. — *Soil Sci.*, 45, pp. 343-357.
- (258) TIURIN (I. V.), 1940. — Nature des acides fulviques de l'humus du sol. — *Trans. Dokuchaev. Inst.*, 23, pp. 23-40.
- (259) TROCHAIN (J.), 1937. — La végétation et le sol au Sénégal. — *C. R. Soc. Biogéographie*, 118, pp. 19-22.
- (260) TROCME (S.), BARBIER (G.), 1947. — Observations sur les propriétés colloïdales d'acides humiques d'origines diverses. — *Ann. Agron.*, 17, 3, pp. 346-364.
- (261) TRUTNEV (A. G.), SKRIPKINA (A. A.), 1947. — Décomposition des litières forestières dans le sol. — *Pedology*, 3, pp. 183-187.
- (262) TURC (L.), 1949. — Note sur la matière organique du sol fractionnée par densité. — *C. R. Acad. Sci.*, Août, pp. 427-428.
- (263) VAN DER MERWE (C. R.), HEYSTECK (H.), 1952. — Clays minerals of South African soil groups. — *Soil Sci.*, 74, pp. 383-401.
- (264) VEIHMEYER (F. S.), HENDRIKSON (A. H.), 1931. — The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. — *Soil Sci.*, 32, pp. 181-193.
- (265) WAEGEMANS (G.), 1948. — Latéritisation et latérites. — *Publ. Centre Doc. Col. Coord. Rech. Chim. Belgique*.
- (266) — 1951. — Introduction à l'étude de la latéritisation et des latérites du centre africain. — *Bull. Agric. Congo Belge*, 42, 1, pp. 13-52.
- (267) — 1951. — Latérites et bauxites. — *Bull. Agric. Congo Belge*, 42, 3, pp. 567-574.
- (268) WAKSMAN (S. A.), 1932. — Liebig. The humus theory and the role of humus in plant nutrition. — *Amer. Assoc. Adv. Sci. Public.*, 16, pp. 56-63.
- (269) — 1938. — Humus origin chemical composition and importance in nature. — Baillière, Tindall et Cox. Londres.
- (270) — CORDON (T. C.), 1936. — Sur la nature de la lignine. — *J. Amer. Chem. Soc.*, 58, pp. 969-972.
- (271) — HUTCHINGS (I. J.), 1935. — Chemical nature of organic matter in different soil types. — *Soil Sci.*, 40, 5, pp. 347-363.
- (272) — IYER (K. R. N.), 1932-1933. — Contribution to our knowledge of the chemical nature and origin of humus. — *Soil Sci.*, 34, pp. 43-70 ; 73-80 ; 36, pp. 57-68, 69-82.
- (273) WELTE (E.), 1949. — Humus und Klima. — *Z. Pflernähr. Düng.*, 46, pp. 244-278.
- (274) WHITE (J.), HOLBEN (E. J.), JEFFRIES (C. D.), 1949. — Cellulose decomposing power in relation to reaction of soils. — *Soil Sci.*, 68, pp. 229-235.
- (275) WILDE (S. A.), 1946. — Forest soils and forest growth. — Waltham. U.S.A.

- (276) WILLIAMS (R.), 1932. — The contribution of clay and organic matter to the base exchange capacity of soils. — *J. Agric. Sci.*, 22, pp. 845-851.
- (277) WILLIAMS (V. P.), 1946. — Pédologie. — Traduction du Serv. Géologique. Tananarive.
- 278) WIRKLANDER (L.), 1951. — Saturation des colloïdes et des sols au moyen de résines échangeurs d'ions. — *Kgl. Lantbr. Akad. Tidskr.*, 18, pp. 154-162.
- (279) ZAITSEV (B. D.), 1949. — Quantitative expression of decomposition of organic matter in the soil. — *Dokl. Akad. Nauk.*, 67, pp. 135-137.