Les vertisols de Nouvelle-Calédonie

Pascal PODWOJEWSKI

Pédologue ORSTOM, ORSTOM centre de Bondy, 70-74, route d'Aulnay 93143 Bondy cedex 03, France

RÉSUMÉ

Les vertisols de Nouvelle-Calédonie sont localisés sur la côte ouest de l'île principale sous un climat subtropical sec et contrasté. Ils sont situés soit vers l'aval des toposéquences de sols sur roches basiques, soit sur des terrasses alluviales anciennes. La composition chimique du matériau originel détermine les propriétés chimiques du vertisol. Trois ensembles ont été définis : vertisol calcimagnésien, vertisol hypermagnésien, vertisol sodique et acide. Un certain nombre de vertisols présentent cependant des caractéristiques intermédiaires entre celles de ces trois ensembles.

L'article décrit d'abord la répartition des vertisols, puis leurs caractères morphologiques et leurs propriétés chimiques communes ou distinctives.

MOTS-CLÉS : Chimie sol — Distribution sol — Montmorillonite — Morphogenèse — Nouvelle-Calédonie — Smectite — Vertisol.

ABSTRACT

THE VERTISOLS OF NEW CALEDONIA

The vertisols of New Caledonia are to be found on the west coast of the main island where a dry and varied tropical climate reigns. They lie in the lower part of soil catenas, overlying basic rocks, or on old alluvial terraces. The chemical composition of the parent material determines the chemical properties of the vertisol. Three groupings have been identified : calcimagnesic vertisols, hypermagnesic vertisols and sodic and acid vertisols. Some vertisols however show intermediate characteristics between the three categories.

The paper begins by describing the distribution of the vertisols and goes on to state their morphological features and common or distinctive properties.

KEY WORDS : Soil chemistry — Soil distribution — Montmorillonite — Morphogenesis — New Caledonia — Smectite — Vertisol.

INTRODUCTION

Autrefois décrite comme « argile noire tropicale » par les premiers pédologues (F. DUGAIN 1953, G. TERCINIER 1955), les Vertisols occupent en Nouvelle Calédonie une superficie de 100 000 ha environ.

Ces sols profonds, caractéristiques des plaines de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie, sont facilement accessibles et offrent d'importantes perspectives pour le développement de l'agriculture mécanisée. Cependant, leur mise en valeur est soumise à des contraintes édaphiques, souvent spécifiques à la Nouvelle-Calédonie.

Cet article décrit d'une part les points communs à tous les vertisols de Nouvelle-Calédonie et d'autre part des caractères distinctifs de ces vertisols, en ce qui concerne leur origine, leur répartition, leur propriétés morphologiques et analytiques.

Il s'agit d'un travail de synthèse sur les vertisols de Nouvelle-Calédonie à partir de tous les travaux réalisés dans ce territoire entre 1953 et 1988. Les récentes prospections systématiques de cartographie sous la direction de M. LATHAM, puis d'A.G. BEAUDOU nous ont renseigné sur leur situation et leur extension.

Des études détaillées menées par P. PODWOJEWSKI ont permis de mieux définir leur morphologie et leurs propriétés chimiques. Des études de comportements physique et hydrique ont été menées par B. DENIS, tandis que parallèlement des études concernant l'utilisation agronomique de ces sols ont été abordées par B. DENIS et se poursuivent actuellement avec B. BONZON.

RAPPEL DES PRINCIPAUX CARACTÈRES DES VERTISOLS

Définition, conditions de formation et principales propriétés des vertisols

Définition

Selon la 2e proposition du Référentiel Pédologique Français, un vertisol est un sol profond d'au moins 50 cm ; développant depuis la surface vers le bas des fentes de retrait qui, à certaines périodes, la plupart des années (sauf si le sol est irrigué), ont au moins 1 cm de large sur 50 cm de profondeur ; présentant un ou plusieurs des caractères suivants : micro-relief gilgaï, slickensides se recoupant ou agrégats en coin ou parallélépipédiques à une profondeur comprise entre 25 et 100 cm à partir de la surface (J. BOULAINE *in* AFES : Référentiel Pédologique Français, 1988).

En Nouvelle-Calédonie, les vertisols sont caractérisés par la succession des trois horizons définis par le référentiel : les horizons Vs, V et Vv. Mais, sur le territoire, *seul l'horizon Vv a été retenu comme horizon-diagnostic pouvant caractériser les vertisols.*

— L'horizon Vs (ou horizon A), de par sa cinétique structurale (J. BOULAINE 1988), en particulier durant la saison des pluies, ne présente pas de spécificité particulière ; les fentes de retrait, caractéristiques de cet horizon, ne sont alors pas visibles.
— L'horizon V médian (ou horizon AB), à structure polyédrique ou prismatique grossière n'est pas non plus spécifique aux vertisols. Il peut être observé dans certains sols bruns ou dans les sols intergrades bruns vertiques.
— L'horizon Vv (anciennement horizon (B)), par contre, est caractéristique et commun à tous les groupes de vertisols en Nouvelle-Calédonie. Il est défini par une structure rhomboédrique. Celle-ci est également appelée structure en coins, parallélépipédique, en plaquettes obliques etc. En Nouvelle-Calédonie, nous lui avons attribué le terme de structure vertique ou structure « sphénoclode » (en référence aux coins et aux angles saillants) (BEAUDOU *et al.* 1983 : cartographie typologique des sols : méthodologie). Les faces structurales sont luisantes et généralement striées.

Cette structuration est induite par la *nature minéralogique du sol* : les faces structurales obliques résultent du cisaillement du sol sous l'effet de contraintes latérales. Les déplacements des compartiments sont à l'origine des surfaces de glissement caractéristiques : les faces structurales sont luisantes et striées.

Les contraintes sont provoquées par l'alternance du gonflement et du retrait *d'argile de type smectite* (en général montmorillonite bien cristallisée) sous la double action humectation-dessiccation.

La présence d'argile gonflante de type smectite est fondamentale (fig. 1) :
1°. Elle est à l'origine des caractères morphologiques comme les fentes de retrait et surtout la structure vertique caractérisant le vertisol.
2°. Elle résulte d'un ensemble de conditions nécessaires à sa formation.
3°. Elle génère des propriétés particulières.

Conditions de formation

Elles sont d'ordres *climatiques, géologiques* et *géomorphologiques*. Un vertisol se forme dans un environnement spécifique :
— sous un climat tropical ou subtropical contrasté provoquant des alternances marquées d'humectation et de dessiccation.
— à partir d'une roche mère assez riche en cations alcalino-terreux (calcium ou magnésium), dont l'altération peut produire des argiles de type smectite.
— dans les zones basses, à drainage externe réduit, à l'aval de séquences sur roche ou à partir de terrasses alluviales anciennes.

En Nouvelle-Calédonie, la nature et le chimisme de la roche-mère sont à la base de la différenciation de trois groupes de vertisols.

Principales propriétés

— Dans la littérature, les vertisols sont souvent associés à un *micro-modelé de type gilgaï*. Ce micro-modelé n'apparaît pas en Nouvelle Calédonie.

De plus, il affecte également d'autres types de sols comme les solonetz solodisés, les planosols ou dans certaines conditions, les sols bruns lessivés hydromorphes, (CSIRO 1983, Soils : An Australian Viewpoint). Du fait

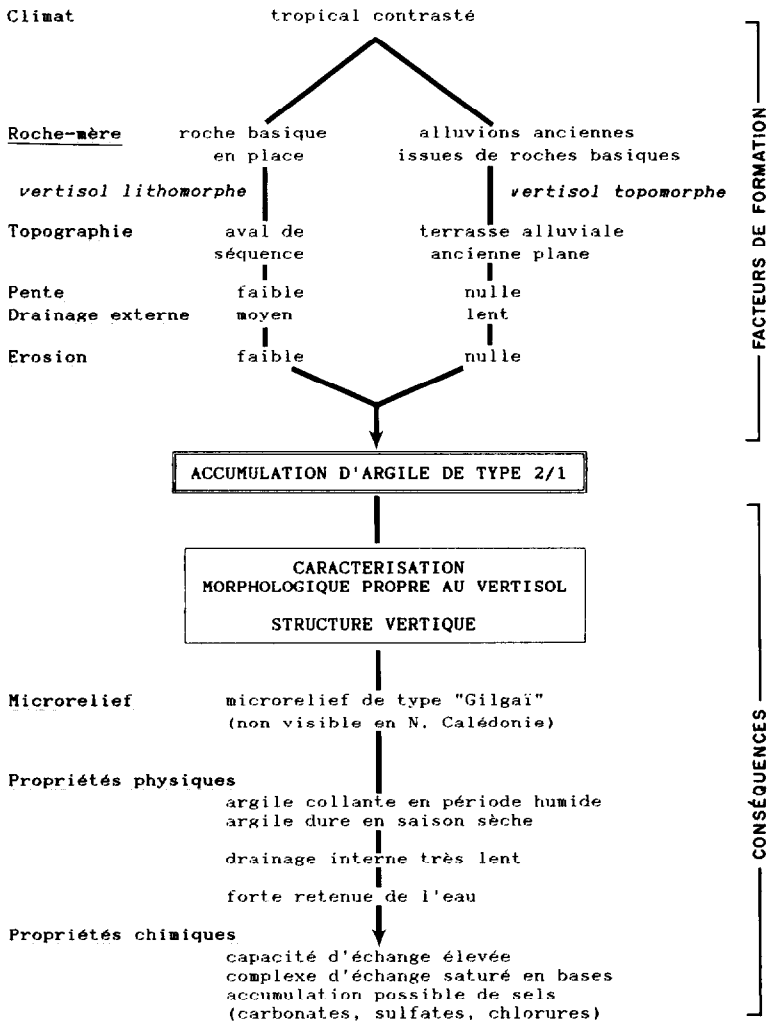


FIG. 1. — Organisation des vertisols de Nouvelle-Calédonie. Facteurs de formation d'argiles de type smectite et conséquences de leur accumulation

de ce manque de spécificité, la présence du micro-relief de type gilgaï ne devrait pas apparaître dans une définition rigoureuse de ces sols.

— Un faible drainage interne.

— Une grande retenue de l'eau (la teneur en eau à la capacité au champ est équivalente à la teneur en eau au pF3).

— Une capacité d'échange élevée et un complexe d'échange saturé.

Tous ces caractères se retrouvent dans les vertisols de Nouvelle-Calédonie avec toutefois des spécificités locales, et seront développés dans la suite de cet article.

I. Environnement spécifique aux vertisols de Nouvelle-Calédonie (fig. 3, 5, 6 et 7)

1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE (fig. 2)

La Nouvelle-Calédonie se situe à 2000 km à l'est de l'Australie et à 2000 km au nord de la Nouvelle Zélande, entre le 20e et le 23e degré de latitude sud et le 164e et 167e degré de longitude est.

L'île principale ou « Grande Terre » couvre environ 16000 km². Elle est orientée dans le sens nord ouest - sud est et mesure 400 km de long sur 40 km de large.

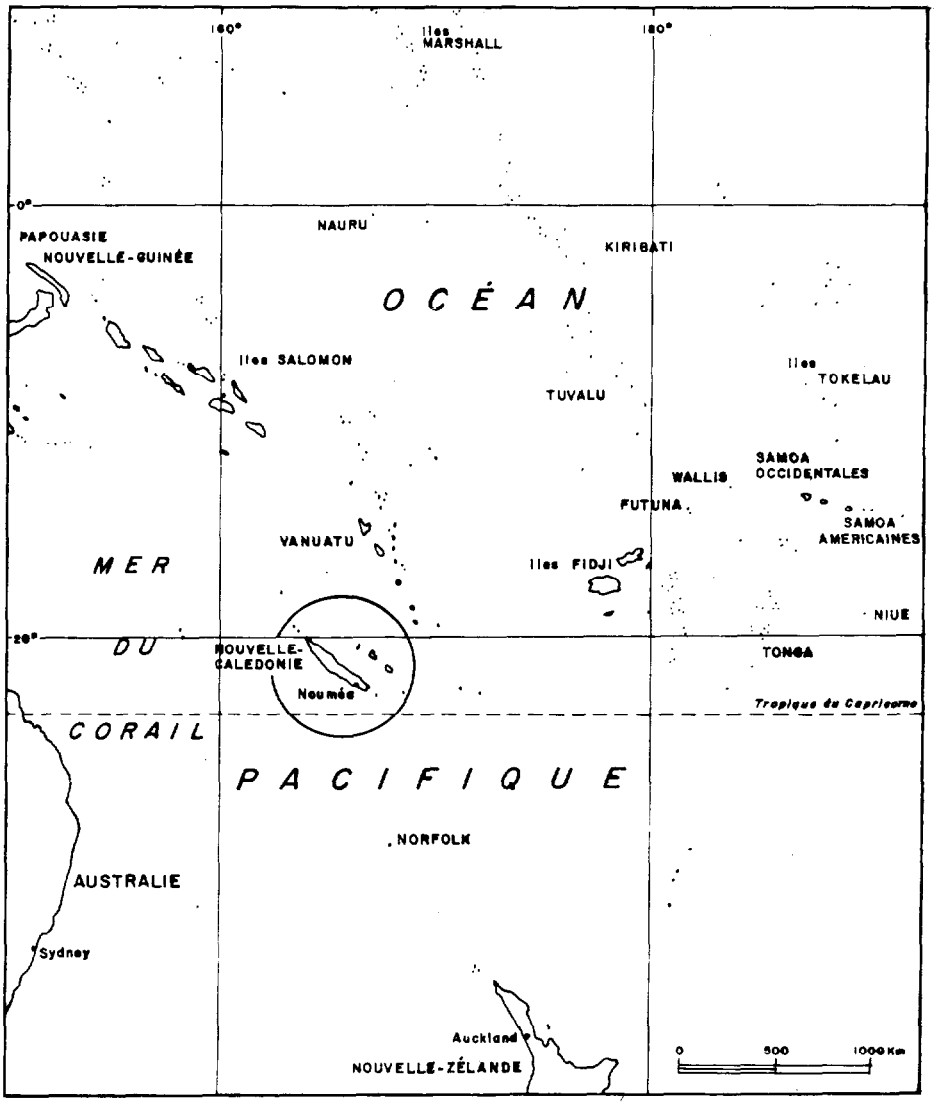


FIG. 2. — Carte de localisation de la Nouvelle-Calédonie

2. LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Les vertisols occupent exclusivement les plaines de la côte ouest (fig. 3), dans la zone située sous le vent des alizés qui soufflent en direction du sud est. Dans ces zones, la pluviométrie annuelle moyenne est généralement inférieure à 1000 mm avec des minima inférieurs à 800 mm comme à Ouaco (fig. 4).

— Les variations inter-annuelles de la pluviométrie et celles de la répartition des pluies sont très importantes tout au long de l'année ainsi que d'une année à l'autre ; mais généralement la saison humide s'étend de la mi-décembre à la fin mars et la saison sèche de septembre à novembre (cf. fig. 5).

— Le bilan hydrique est déficitaire ; seuls les mois de juillet et août (hiver austral) présentent un bilan hydrique excédentaire positif tandis que ce bilan est très déficitaire de septembre à novembre.

Les conditions climatiques sont donc assez contrastées et soumises aussi à une grande variabilité.

3. MATÉRIAUX ORIGINELS (fig. 6)

Les vertisols se développent généralement à partir de matériaux issus de quatre grands groupes de formations géologiques :

1. Les serpentinites (associées aux péridotites),

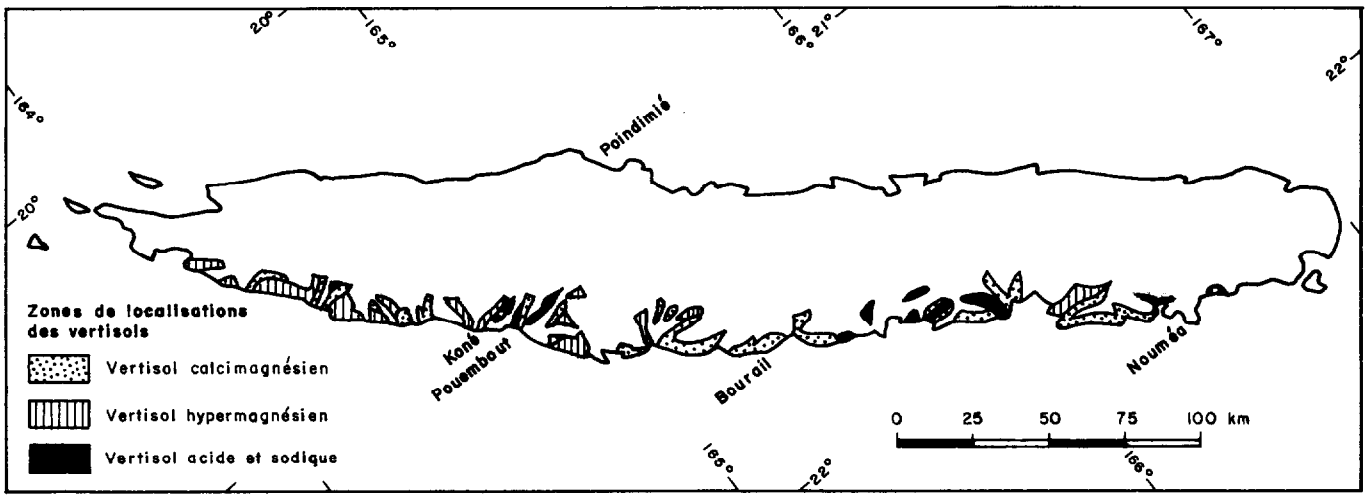


FIG. 3. — Localisation des différents groupes de vertisols en Nouvelle-Calédonie

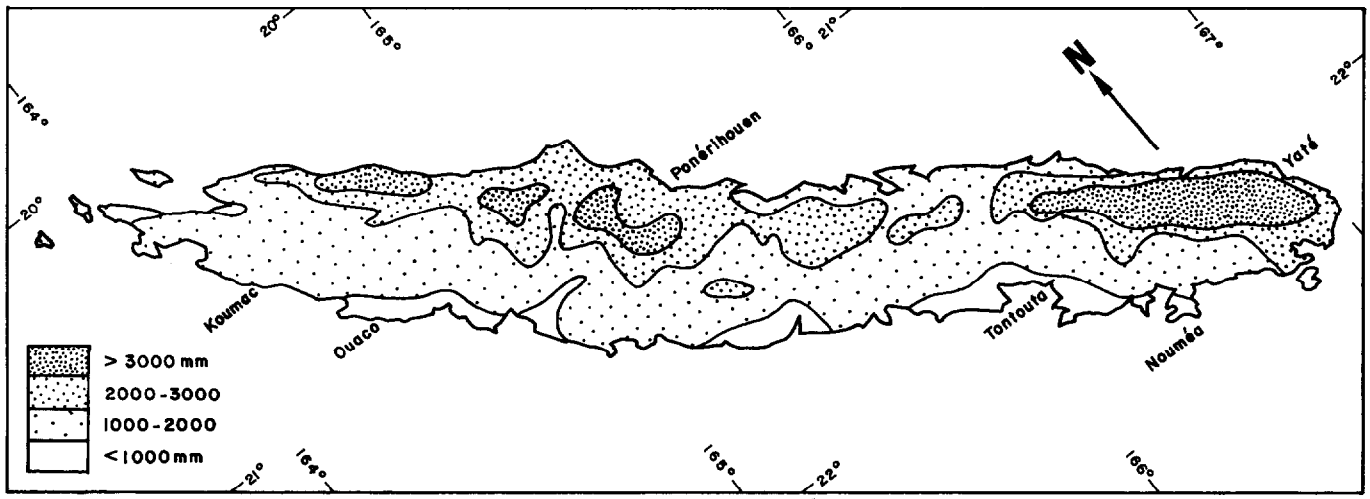


FIG. 4. — Carte de pluviométrie de la Nouvelle-Calédonie (J. DANLOUX, 1987)

2. Les flyschs, pélites et calcaires,
3. La formation des basaltes (dolérite),
4. Les grauwackes et schistes volcano-sédimentaires.

— soit directement au niveau de la roche-mère en place (ou plus probablement à partir des colluvions anciennes dérivant de ces roches) ;

— soit à partir des formations alluviales issues de l'altération de ces mêmes roches.

La différenciation des principaux types de vertisols est fortement liée à la nature de la roche mère.

3.1. Les formations du socle

LES SERPENTINITES

Ces roches se situent à la base des massifs de péridotites et en filons au sein de la formation des basaltes. Ce sont des roches ultrabasiques dont la teneur en silice est inférieure à 50 %.

La caracéristique principale de cette roche est d'être composée presque exclusivement de fer, de silice et de magnésium.

Les éléments aluminium, magnésium, potassium et phosphore ne sont présents qu'à l'état de traces. Les argiles qui proviennent de l'altération de ces roches sont de type smectite ferrifère. L'individualisation de carbonate de magnésium (giobertite) est fréquente.

LES FLYSCHS, PELITES ET CALCAIRES ET LA FORMATION DES BASALTES

La nature des sols formés sur ces deux groupes

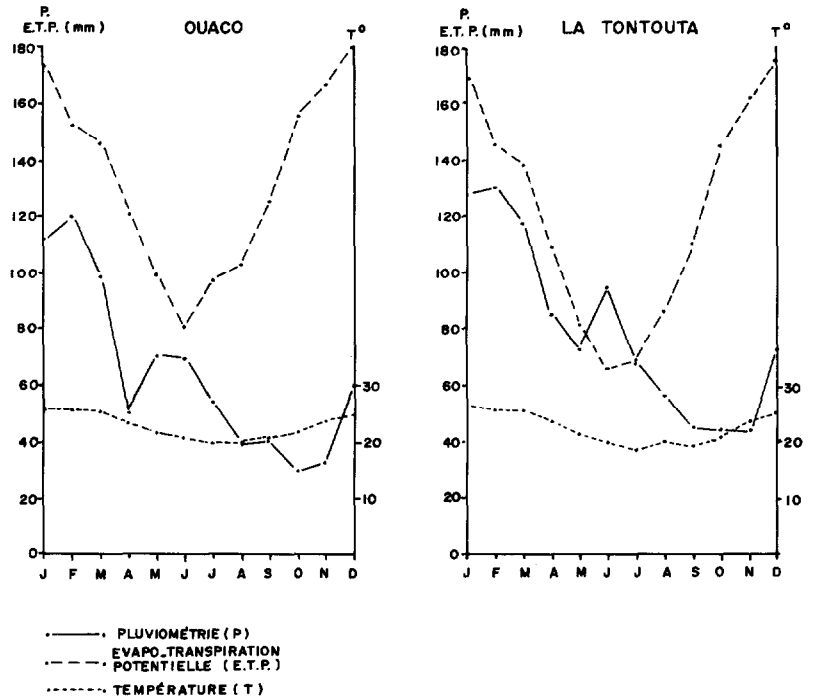


FIG. 5. — Diagrammes ombrothermiques

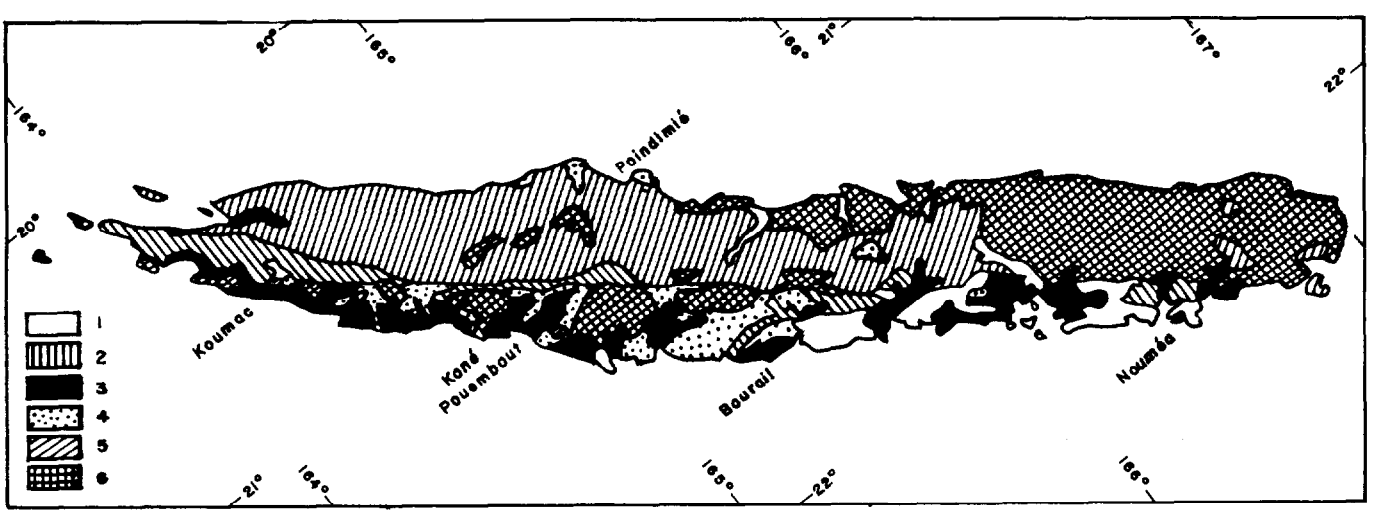


FIG. 6. — Esquisse lithographique de la Nouvelle-Calédonie (J.P. PARIS, 1981)
Roche sédimentaires : 1. Formations pélitiques plus ou moins calcaires ; 2. Formations siliceuses et gréseuses ; 3. Alluvions anciennes et récentes. Roches éruptives et métamorphiques : 4. Formation des basaltes ; 5. Micaschistes, glaucophanites, gabbros et granodiorites ; 6. Péridotites et serpentinites

de roches se distingue dans la partie amont des séquences :

Sur les flyschs et les pélites calcaires, les croûtes calcaires sont plus fréquentes à la base des sols bruns. Par contre les parties aval des séquences sont homologues.

L'altération des ces roches-mères génère des vertisols calcimagnésiens. Le rapport entre les teneurs en calcium et magnésium est généralement équilibré ; cependant la proportion de calcium est plus forte dans les sols formés sur les flyschs.

Les vertisols issus uniquement de calcaires sont très rares. L'ion calcium y est largement dominant.

LES GRAUWACKES ET LES SCHISTES VOLCANO-SÉDIMENTAIRES :

Les grauwackes, roches assez acides, sont peu abondants. Les vertisols dérivant de ces roches ont des couleurs plus vives et une structure moins caractéristique. Les grauwackes étant assez riches en sodium et pauvres en calcium, les vertisols qui en dérivent sont de type sodiques et acides.

Lorsque l'acidité de la roche augmente, (cas de la plupart des schistes), on observe corrélativement une péjoration des caractères vertiques.

3.2. Les terrasses alluviales

L'organisation et la nature des terrasses alluviales de la côte ouest de La Nouvelle-Calédonie est complexe. D'après les travaux en cours de J. ILTIS, dans la *majeure partie du territoire, les vertisols se situent sur les terrasses les plus élevées,* bien que les cartes géologiques les qualifient de terrasses moyennes (Fy).

Il n'y a que dans le nord du territoire (rivières Iouanga, Diahot...) où le niveau le plus élevé (terrasse ancienne - Fx - selon les cartes géologiques), n'est pas constitué de vertisols, mais de sols fersiallitiques. Ces terrasses sont alors qualifiées par J. ILTIS de très hautes terrasses.

En attendant les prochaines publications de J. ILTIS, la nomenclature utilisée sur les figures est celle mentionnée sur les cartes géologiques. Mais, pour lever toute ambiguïté, les terrasses supportant les vertisols seront dénommées *terrasses anciennes*, et composées d'*alluvions anciennes*, qu'il s'agisse d'une haute ou d'une moyenne terrasse.

L'épaisseur des alluvions argileuses est variable. Au niveau de la rivière Tamoa, des forages ont permi de mesurer la puissance des alluvions argileuses. Celle-ci atteint 12 mètres environ ; au niveau de la rivière Oua-Tom, cette épaisseur n'est que de 4 mètres.

La composition chimique des vertisols situés sur ces terrasses alluviales dépend étroitement de la nature du matériau originel issu du socle et décrit précédemment.

4. POSITION DANS LE PAYSAGE ET DANS LE MODELÉ (fig. 7, fig. 8 et 9)

Les vertisols sont situés à une altitude inférieure à 100 m dans les plaines qui s'étendent à l'ouest de la Nouvelle-Calédonie ; ils sont toujours localisés dans les parties basses du modelé.

— soit à l'aval des séquences sur des matériaux originels, issus directement du socle sous-jacent ou colluvionnés ; le drainage externe y est faible.

— soit sur des terrasses alluviales anciennes ; le drainage externe est très faible à nul.

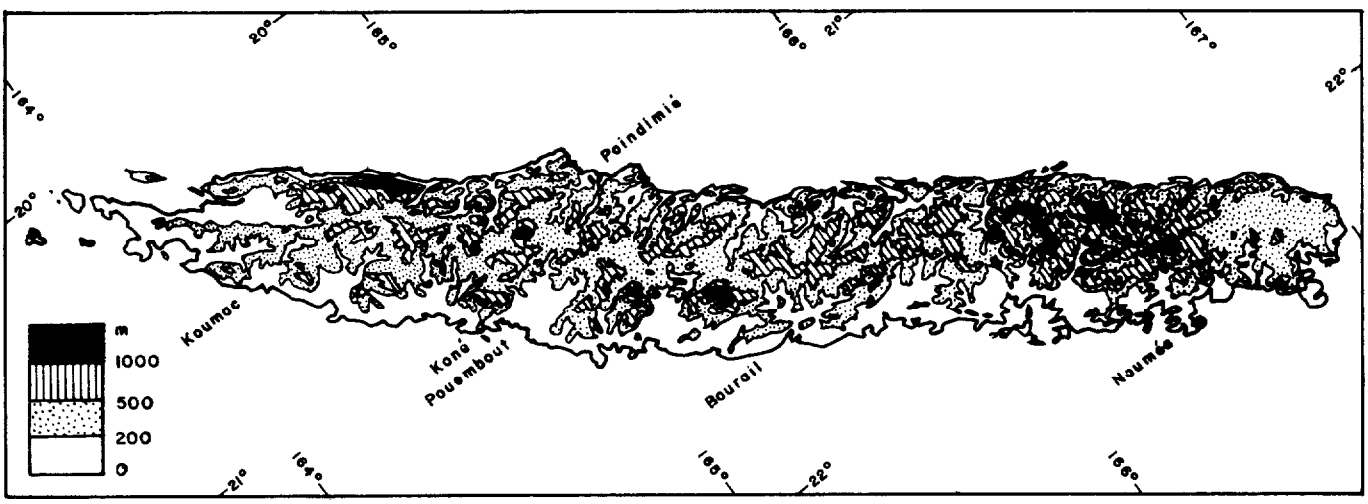


FIG. 7. — Carte hypsométrique de la Nouvelle-Calédonie (I.G.N. 1954)

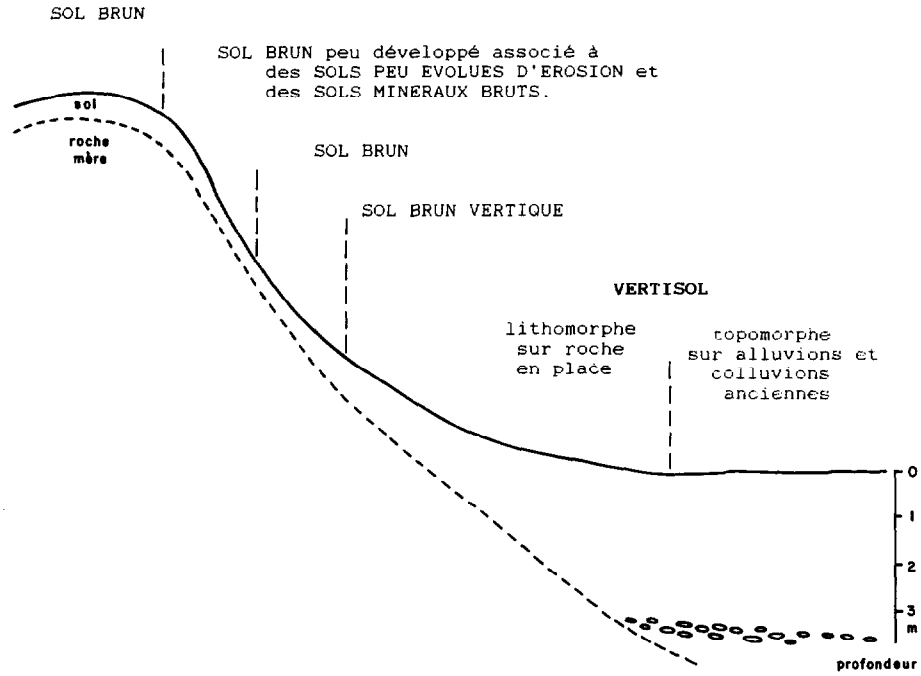


FIG. 8. — Distribution des sols le long d'une séquence sur roche. (Exemple : séquence de Tiaré sur Flysch - région de la Tontouta)

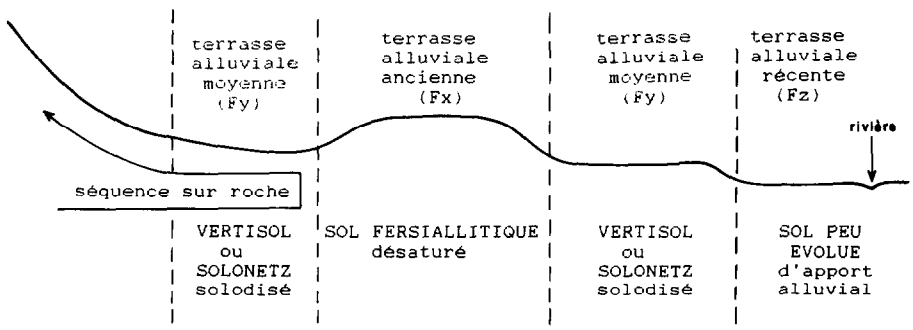


FIG. 9. — Distribution des sols en fonction des différentes terrasses alluviales. (Exemple de la rivière Iouanga - région de Kaala Gomen)

5. VÉGÉTATION

Les deux formations végétales, arbustive et herbacée, ont une répartition en étroite relation avec les propriétés chimiques des vertisols.

— Sur les *vertisols calcimagnésiens* : la végétation dominante est une savane herbacée à *Heteropogon contortus* avec quelques acacias *(Acacia farnesiana, Acacia nilotica)*, des goyaviers *(Psidium guajava)* et plus rarement quelques niaoulis *(Melaleuca quinquenervia)*.

— Sur les *vertisols hypermagnésiens* : on observe une savane arbustive parfois assez dense de gaïacs *(Acacia spirorbis)*, auquel est associé le bois de fer - phyllaos *(Casuarina collina)*.

— Sur les *vertisols sodiques et acides* : la savane est herbacée avec de nombreux niaoulis souvent rabougris.

La présence du niaouli, arbre assez ubiquiste, a été constatée sur les autres types de vertisols ; cependant il n'apparaît pas sur les sols à accumulation de carbonates de calcium ou de magnésium.

II. Distribution et différenciation des vertisols

1. DISTRIBUTION DES VERTISOLS DANS LE PAYSAGE (fig. 8 et 9)

1.1. Localisation des vertisols dans les séquences :

Les vertisols se situent dans deux ensembles morphopédologiques distincts :

— *Dans les séquences sur roches basiques* (fig. 8)
Les sols apparaissent dans l'ordre suivant :
sol peu évolué d'érosion → sol brun vertique → vertisol (Réf : CPCS 1967).

Le passage d'un sol à un autre est progressif. Le passage au vertisol se manifeste dans le paysage à l'endroit où la pente s'adoucit et où le drainage externe se ralentit. L'épaisseur du sol augmente rapidement. La structure polyédrique à prismatique moyenne de l'horizon (B) devient de plus en plus grossière en profondeur et se juxtapose à une structure vertique (faces de glissement). La structure devient exclusivement vertique à partir de 80 cm de profondeur.

Ces vertisols peuvent être considérés commes des *vertisols lithomorphes* (CPCS 1967).

— *Sur les terrasses alluviales* (de type Fy (1) des principaux cours d'eau de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie (fig.9).

— Cette terrasse est souvent la terrasse la plus élevée. Elle se différencie nettement de la terrasse récente par une dénivelée brutale pouvant atteindre 3 à 4 mètres. Les alluvions anciennes sont constituées d'une épaisse couche de matériaux argileux aux caractères vertiques (d'une puissance pouvant aller jusqu'à 10 mètres) reposant sur un lit de matériaux d'apport assez grossiers (sables, graviers ou plus fréquemment galets) ou directement sur la roche-mère. Ces vertisols peuvent être considérés comme des *vertisols topomorphes* (CPCS 1967).

1.2. Vertisols topomorphes et lithomorphes

Il y a un continuum entre les vertisols lithomorphes sur le socle et les vertisols topomorphes sur les alluvions anciennes :

La transition entre les deux types est très peu marquée d'où la difficulté de les distinguer les uns des autres. Pour ce faire, il est cependant possible :

— de repérer la légère rupture de pente qui marque le passage entre les vertisols du socle et ceux de la terrasse ;

— d'observer la pente du terrain, légèrement inclinée sur le socle alors que le terrain est quasiment plat sur la terrasse ;

— d'observer aussi dans les vertisols de la terrasse un niveau enrichi en oxydes de manganèse (dendrites, cutanes, etc...) qui apparaît mieux dans ces zones à très faible drainage externe.

— d'observer le soubassement des vertisols. Le vertisol topomorphe repose sur une couche d'éléments grossiers, en majorité constitués de galets d'origines diverses souvent siliceux et peu altérés. Le vertisol lithomorphe repose directement sur le matériau d'altération issu de la roche-mère en place.

En réalité, il convient d'être très prudent dans ces interprétations. Des vertisols formés sur des pentes, parfois supérieures à 5 %, dans la région de Tiare (Paita) à partir de flyschs peuvent atteindre huit mètres d'épaisseur (P. PODWOJEWSKI, Etude des sols à gypse, 1984).

Vraisemblablement, les sols ne se sont pas développés directement sur la roche, mais sur un colluvionnement massif de roche fragmentée qui s'est ensuite transformé sur place.

Des observations identiques ont été effectuées dans des colluvions de roches péridotitiques et serpentinisées aux pieds des massifs « miniers » de la côte ouest (Me Maoya, Boulinda, Kaala, etc.). Il ne subsiste que les fantômes de blocs de péridotite serpentinisée, de texture sablo-limoneuse dans une matrice très argileuse ; l'évolution de ce matériau allant vers une homogénéisation et une transformation en vertisol hypermagnésien.

En raison de leur faible différenciation tant sur le plan morphologique que génétique, la distinction entre les vertisols topomorphes et lithomorphes n'a pas été retenue comme critère dans le choix définissant les différents types de vertisols néocalédoniens. C'est pourquoi nous avons choisi de les distinguer d'après leurs propriétés chimiques et non pas en fonction du drainage externe.

2. DIFFÉRENCIATION DES VERTISOLS

2.1. Critères de différenciation

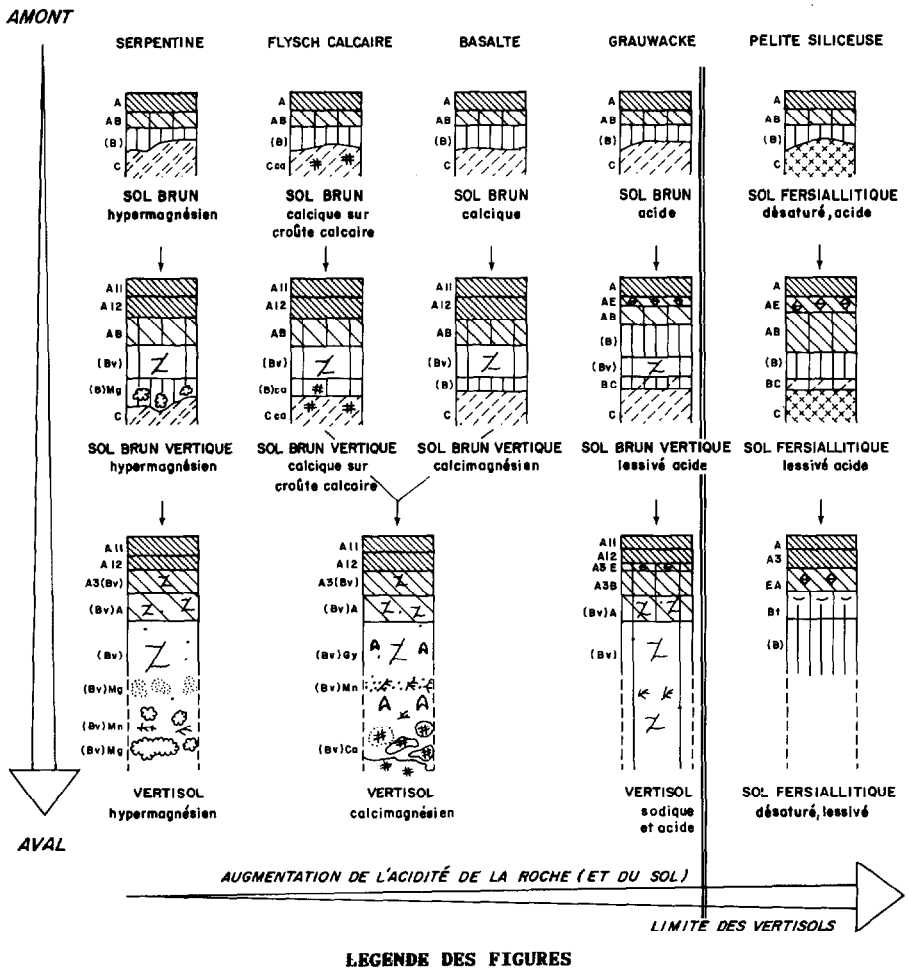
La distinction entre les vertisols est fondée sur leurs propriétés chimiques qui affectent également leur morphologie.

Les vertisols peuvent être regroupés en trois ensembles. Cependant un certain nombre d'entre-eux présentent des caractères intergrades par rapport aux normes choisies pour définir chacun de ces ensembles.

Ces trois ensembles apparaissent tout au long de cette synthèse. Ils seront symbolisés par la nomenclature suivante :

A — *Les vertisols calcimagnésiens* formés à partir de

(1) Fy : nomenclature utilisée sur les cartes géologiques éditées par le BRGM. (Cf : chapitre sur le substrat géologique).



LEGENDE DES FIGURES

HORIZON A humifère

HORIZON B structuré, coloré

HORIZON E éluvié, blanchi

HORIZON (B)v vertique

HORIZON C ou couche R

ELEMENTS FIGURES MEUBLES

Cutanes dans un horizon Bt

Volumes pulvérulents carbonatés calcaires dans $(B)_{Ca}$ ou magnésiens dans $(B)_{Mg}$

Dendrites et ponctuations de manganèse dans $(B)_{Mn}$

Cristaux de gypse dans $(B)_{Gy}$

ELEMENTS FIGURES INDURES

Nodules et concrétions carbonatés calcaires dans $(B)_{Ca}$ ou magnésiens dans $(B)_{Mg}$

Ca ou Mg — Croûte calcaire ou magnésienne induration continue

FIG. 10. — Séquences de sols en fonction de la nature de la roche-mère

calcaire, de flysch ou de basalte. Ils couvrent une superficie de plus de 55 000 ha.

B. *Les vertisols hypermagnésiens* se forment à partir de serpentinites ou de colluvions de serpentinites, associées à des colluvions issues de péridotites. Ils occupent 35 000 ha environ.

C. *Les vertisols sodiques et acides* se forment à partir de pélites siliceuses et de grauwackes. Leur superficie est inférieure à 10 000 ha.

2.2. **Différenciation en relation avec les variations des roches-mères et des matériaux originels** (fig. 10 et 11)

Les trois groupes de vertisols sont en relation avec trois grands types de roches et la répartition générale des sols s'effectue selon un tableau à trois entrées (fig. 11).

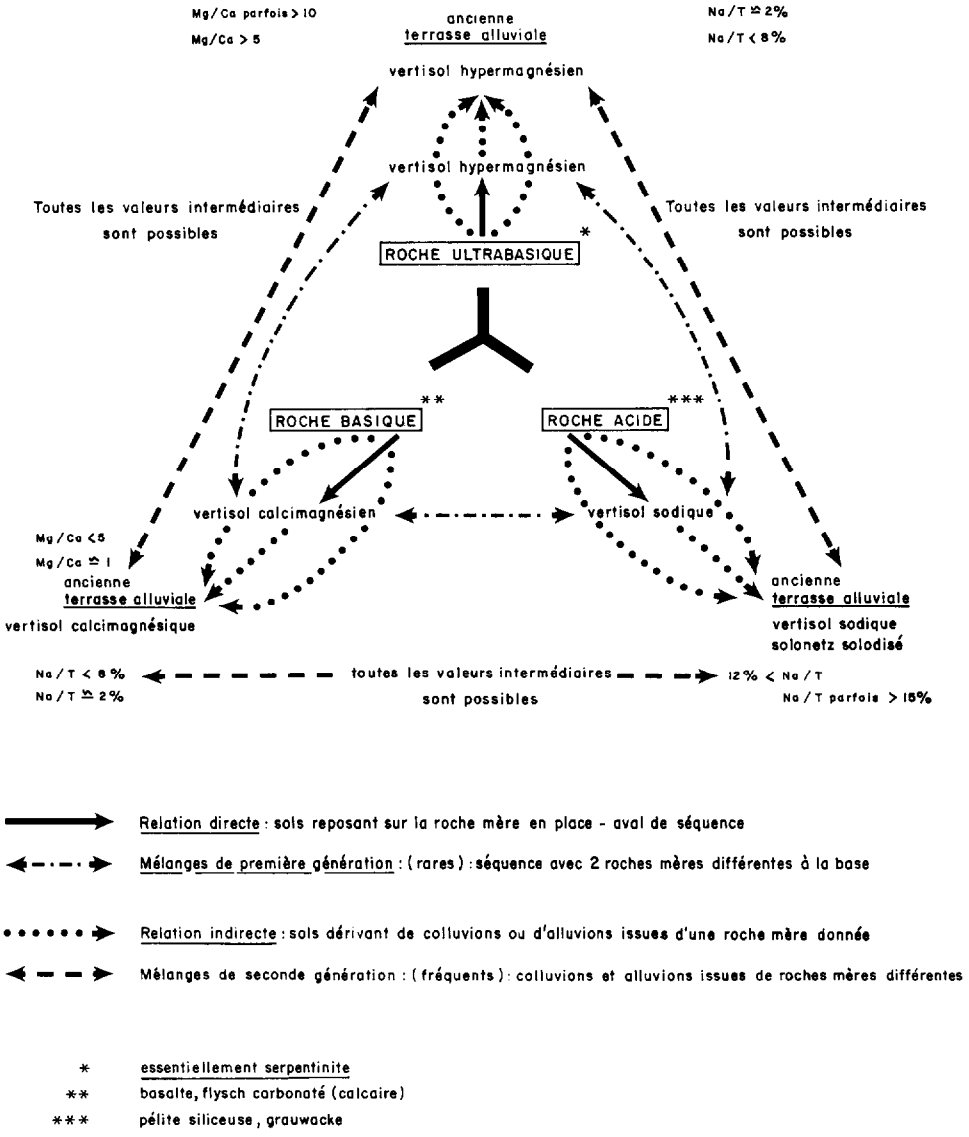


FIG. 11. — Relations entre les principaux groupes de vertisols et les principales roches en Nouvelle-Calédonie

VARIATIONS DE LA ROCHE-MÈRE DANS UNE SÉQUENCE DE SOLS SUR LE SOCLE

— Roche-mère de nature hétérogène : le cas de filons de serpentinite recoupant des basaltes est très fréquent. Dans ce cas, l'apport de magnésium provenant de la serpentine, dans le vertisol calcimagnésien formé sur basalte, sera important.

— Roche-mère présentant des caractères intergrades : les grauwackes et pélites peuvent présenter des variations centimétriques dans leur constitution minéralogique et donc chimique. Dans la région de Ouatom (Boulouparis), de Nakutakoin (Païta), les grauwackes peuvent engendrer des vertisols dont le chimisme est compris entre le pôle calcimagnésien et le pôle sodique et acide avec une amorce de dégradation en surface.

Ces variations lithologiques sont à l'origine d'un mélange de matériaux dont dérivent les vertisols. Ces mélanges ont été dénommés « *mélanges de première génération* », car il s'effectuent directement au sein des toposéquences.

VARIATIONS DANS LA NATURE DES MATÉRIAUX COMPOSANT LA TERRASSE ALLUVIALE ANCIENNE

L'origine des différents composants peut être très variable :

— Ils peuvent provenir de l'altération directe d'éléments lithologiques hétérogènes pouvant provenir d'une séquence.

— Ils peuvent provenir de l'érosion de colluvions, donc de matériaux pouvant déjà avoir subi un premier mélange.

— Ils peuvent provenir de l'érosion d'un sol (sol brun, vertisol).

L'alluvionnement résulte d'un transport de matériaux. De plus, ces matériaux peuvent avoir déjà fait l'objet d'un premier brassage ou d'une transformation préalable. Ces mélanges parfois très complexes ont été dénommés « *mélanges de seconde génération* ».

Voici un exemple choisi dans la vallée alluviale de la rivière Pouembout (carte pédologique réalisée par B. DENIS et MERCKY, 1982, fig. 12).

— *La partie amont* du bassin versant de la rivière est constituée de roches acides volcano-sédimentaires de la chaîne centrale. Celles-ci vont favoriser le développement de solonetz solodisés et de *vertisols sodiques et acides* dans les terrasses alluviales anciennes.

— *La partie aval du bassin, au sud de la rivière* est constituée par les hauts massifs péridotitiques du Tigamus et du Kopeto avec à leur base une semelle de serpentinite. Ces reliefs aux contreforts très abrupts apportent de grandes quantités d'alluvions et de colluvions favorables à la constitution de *vertisols hypermagnésiens*. Celles-ci vont se mélanger aux alluvions calcimagnésiennes issues des basaltes qui occupent un relief plus mou en contrebas.

— *La partie aval, au nord de la rivière* est composée de matériaux basaltiques à filons de serpentine. Le matériau alluvial issu de ces roches est plutôt favorable au

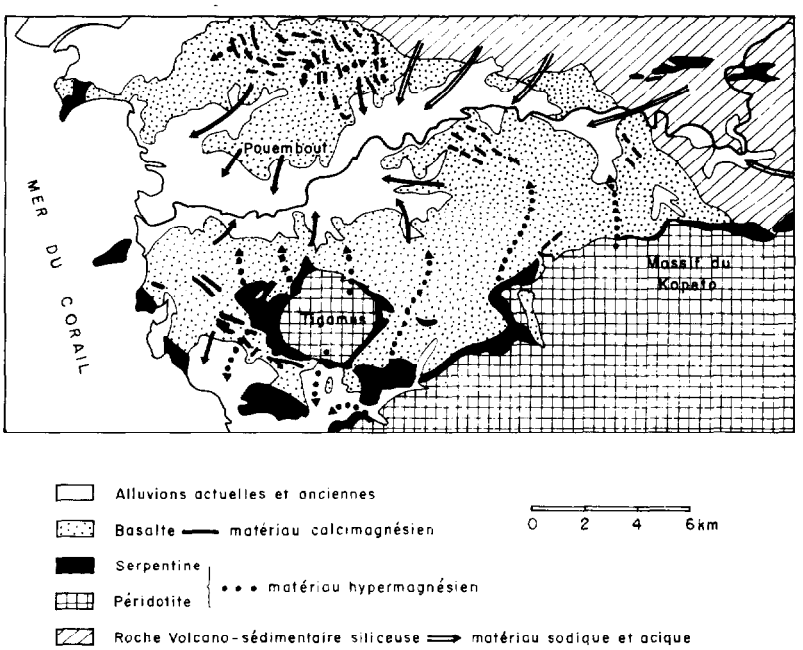


FIG. 12. — Esquisse géologique de la région de Pouembout et de sa vallée alluviale

développement de *vertisols calcimagnésiens* bien qu'il y ait des influences magnésiennes importantes.

Sur le terrain, *l'hétérogénéité des sols* due à cet important mélange d'alluvions de trois origines différentes nécessite une cartographie très détaillée de ces zones pour délimiter les sols qui ayant apparemment la même morphologie, présentent des propriétés chimiques fort différentes ; cela est important pour la mise en valeur agricole.

III. Caractères morphologiques et analytiques des vertisols

1. MORPHOLOGIE DES VERTISOLS

1.1. Caractères communs aux trois groupes de vertisols

0 — 15 cm HORIZON 1
Dénomation de l'horizon : horizon de surface humifère A_{11} ou Vs_1
Structure : polyédrique fine à moyenne
Fentes de dessiccation (en saison sèche uniquement) : écartement : 1 cm, orientation : verticale.

15 — 30 cm HORIZON 2
Dénomination de l'horizon : horizon humifère sous l'horizon de surface : A_{12} ou Vs_2
Structure : polyédrique moyenne à grossière
Fentes de dessiccation (en saison sèche uniquement) : écartement : 1 cm, orientation : verticale.

30 — 50 cm HORIZON 3
Dénomination de l'horizon : horizon humifère avec traces de mélange avec du matériau moins humifère : A_{31} (B) ou V_1
Structure : polyédrique à prismatique grossière
Texture : très argileux
Couleur (1) : 10 YR 3/2 brun gris très foncé à 2,5 Y 3/2 teintes entremêlées.
Fentes de dessiccation (en saison sèche uniquement) : disparition des fentes verticales entre 40 et 50 cm, relais par des fentes obliques présentes tout au long de l'année.

50 — 70 cm HORIZON 4
Dénomination de l'horizon : horizon de transition argileux humifère et vertique A_{32} (B) ou V_2
Structure : 2 structures juxtaposées
1° polyédrique anguleuse à prismatique, grossière - 2° structure en fentes en coins : faces luisantes, striées ou non, de taille décimétrique
Texture : très argileux
Consistance : indépendante de la saison, humidité relative peu variable, début de plasticité de l'ensemble, non collant
Volume des vides (fentes) : fentes obliques, peu écartées.

70 cm et plus : HORIZON 5
Dénomination de l'horizon : horizon vertique, minéral : (B) ou Vv
Structure : exclusivement fentes en coin, faces luisantes, striées, de taille centimétrique à métrique
Texture : très argileux
Consistance : indépendante de la saison, humidité relative peu variable, début de plasticité de l'ensemble, non collant
Fentes : obliques très peu écartées.

1.2. Caractères distinctifs des trois groupes de vertisols

ELÉMENTS FIGURÉS, CONCENTRATIONS MINÉRALES

Les caractères morphologiques de ces sols diffèrent surtout par la nature et le développement des éléments figurés et des concentrations minérales (oxydes, sels), présents dans tous les horizons, mais plus particulièrement concentrés à partir de l'horizon 5.

Les concentrations minérales peuvent se distinguer de deux manières *complémentaires :*

Par la nature de leurs constituants

Quatre types de constituants caractérisant quatre types différents d'horizons peuvent ainsi être distingués :

1. Les carbonates de calcium (calcaire, calcite) caractéristiques des horizons $(B)_{Ca}$ des Vertisols calcimagnésiens, rarement observés dans les vertisols sodiques et acides (nouvelle proposition : V_{Ca}).

2. Les carbonates de magnésium (giobertite) caractéristiques des horizons $(B)_{Mg}$ des vertisols hypermagnésiens (nouvelle proposition : V_{Mg}).

3. Les sulfates de calcium (gypse) caractéristiques des horizons $(B)_{Gy}$ des Vertisols calcimagnésiens (nouvelle proposition : V_{Gy}).

4. Les oxydes de manganèse caractéristiques des horizons : A_{Mn} — fréquents dans les vertisols sodiques et acides. $(B)_{Mn}$ — pouvant être présents dans tous les types de vertisols, mais seraient plus abondants dans les vertisols calcimagnésiens et hypermagnésiens topomorphes des plaines alluviales (nouvelle proposition : V_{Mn}) (cf. : chapitre sur la distribution des sols).

Par leur morphologie

Eléments figurés libres :
- — efflorescence : gypse
- — dendrite : oxyde de manganèse
- — ponctuation : oxyde de manganèse, carbonate de calcium ou de magnésium
- — volume pulvérulent : oxyde de manganèse, carbonate de calcium ou de magnésium
- — volume durci : oxyde de manganèse, carbonate de calcium ou de magnésium

(1) La couleur est variable, ce sont les grandes tendances qui sont mentionnées dans le texte.

— crystallaria : gypse.

Eléments libres indurés :

— nodules et concrétions d'oxyde de manganèse, de carbonate de calcium ou de magnésium.

Eléments continu :

— croûte friable de carbonate de calcium ou de magnésium

— croûte indurée de carbonate de calcium ou de magnésium (rare).

CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES (fig. 13)

Vertisols calcimagnésiens

— Les horizons de surface ne sont le siège que d'une très faible concentration en nodules (ou volumes durcis) de manganèse.

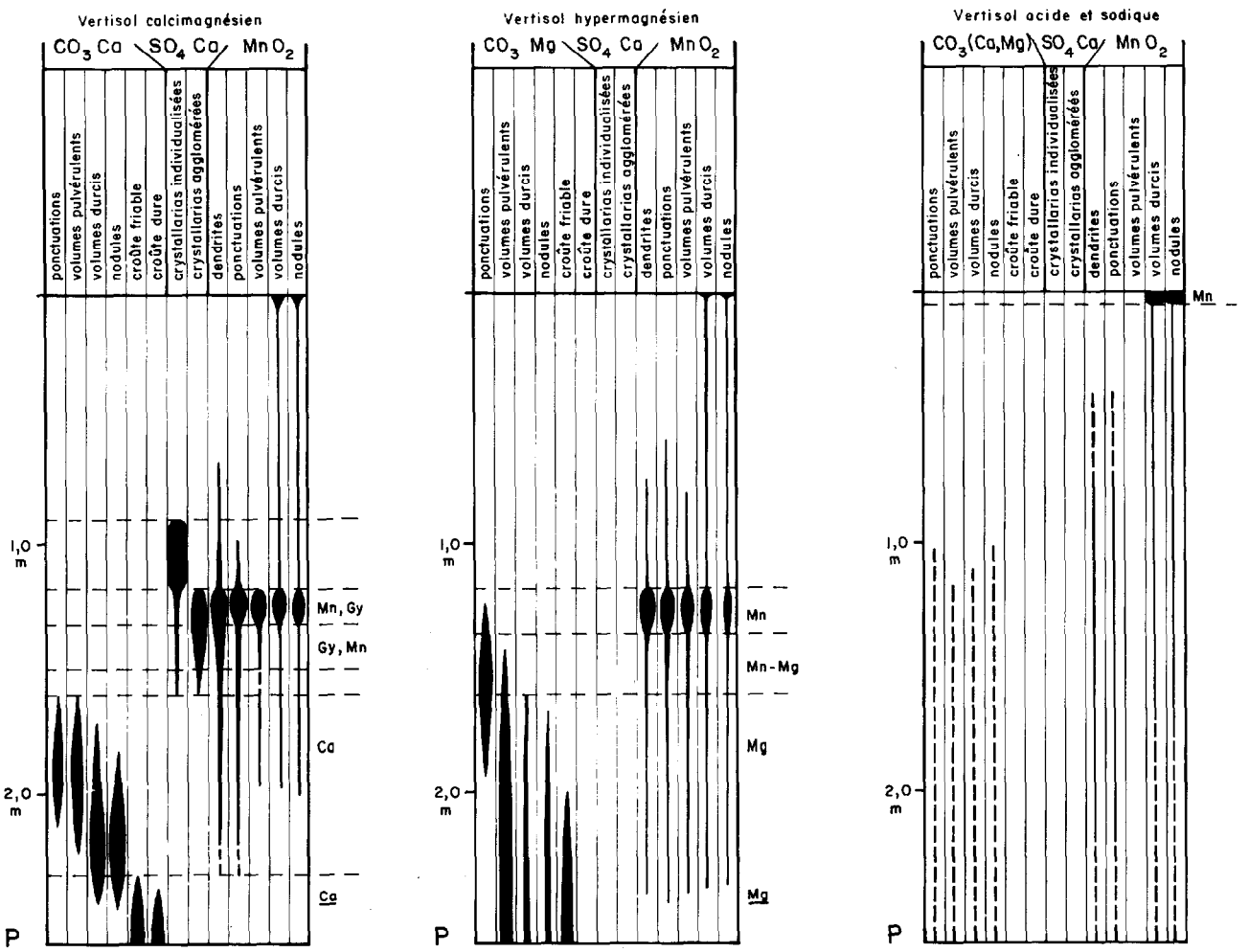


FIG. 13. — Distribution des éléments figurés pour les trois grands groupes de vertisols

— Les horizons d'accumulation de sels débutent en général dans l'horizon vertique à partir de 100 cm de profondeur environ. On observe une accumulation fréquente et massive de cristaux de gypse $(B)_{Gy}$ pouvant atteindre plus de 25 % en poids de sol sec. Les cristaux sont lenticulaires de 0,5 à 2 cm de long et davantage (P. PODWOJEWSKI 1984, Etude des sols à gypse).

— Dans les vertisols localisés dans les zones planes, on observe dans ou sous cet horizon d'accumulation de gypse, des accumulations importantes d'oxyde de manganèse $(B)_{Mn}$ colorant le sol en noir selon une raie subhorizontale de 10 à 15 cm d'épaisseur. Ce manganèse est abondant sous forme de dendrites et de cutanes recouvrant les pores, ainsi que sous forme de volumes pulvérulents et de nodules. Malgré leurs nombreuses formes d'accumulation et leur teinte noire très apparente, les oxydes de manganèse dépassent rarement 5 % en poids de sol sec. La présence de cet élément exprime probablement l'existence du toit d'une ancienne nappe aquifère. Les cristaux de gypse situés dans et sous l'horizon à accumulation de manganèse sont agglomérés en figures ressemblant à des roses des sables.

— Les cristallisations de gypse diminuent rapidement en profondeur ; elles ne subsistent guère que comprimées à la surface des faces de glissement et apparaissent en relief à la mise à l'air de la face structurale sous forme de losanges de 0,5 à 0,8 cm de long.

— Les concentrations de manganèse diminuent elles aussi rapidement en profondeur, mais se conservent néanmoins à l'état de traces (0,1 à 0,3 % du poids de sol sec).

— Les concentrations en carbonate de calcium apparaissent *lorsque le gypse a complètement disparu.* Elles se manifestent successivement sous la forme de : volumes pulvérulents, ponctuations, volumes durcis, nodules, croûte discontinue puis continue indurée.

Ces morphologies successives sont le fait d'une augmentation régulière en profondeur des teneurs en carbonates. La croûte continue, indurée forme généralement la transition entre l'altérite et les horizons vertiques.

Vertisols hypermagnésiens

Ils se rapprochent des précédents par :

— La présence d'un horizon de surface à faible concentration en nodules (ou volumes durcis) de manganèse.

— L'individualisation fréquente en profondeur, dans les zones de plaine d'un horizon à concentrations en oxyde de manganèse.

— L'individualisation de carbonates allant depuis les ponctuations, jusqu'à la croûte en profondeur.

Il s'en distinguent par :

— l'absence complète de cristallisation de gypse.

— La présence de carbonate de magnésium (magnésite ou giobertite) en lieu et place de carbonate de calcium. Le magnésite est rarement présente en croûte indurée.

Les nodules sont reconnaissables par leur surface craquelée donnant l'aspect de « chou-fleur », le cœur étant de couleur blanche immaculée (comparée au carbonate de calcium grisâtre ou jaunâtre).

Il est par ailleurs difficile de différencier les vertisols calcimagnésiens des vertisols hypermagnésiens par leur structuration, leur aspect, leur couleur ou d'autres traits morphologiques.

Le vertisol hypermagnésien serait plus noir en surface 10 YR 2/1 à 2,5 Y 2/0 contre 10 YR 3/1 pour les vertisols calcimagnésiens et les vertisols sodiques et acides. Les horizons vertiques des vertisols hypermagnésiens sont de couleur plus olivâtre 2,5 Y 4/4 à 5/6, alors que les teintes des vertisols calcimagnésiens varient de 10 YR 4/4 à 5/6, mais il ne s'agit là que d'une tendance générale.

Vertisols sodiques et acides

— Ceux-ci se distinguent des deux autres groupes par la nature de l'horizon de surface : celui-ci est plus gris (10 YR 4/1), voire 10 YR 5/1), moins argileux (Limono-Argilo-Sableux). Il renferme d'abondantes concrétions d'oxyde de manganèse sous forme de « plombs de chasse ». Cet horizon annonce une dégradation (qui devient très poussée dans les planosols et les solonetz solodisés).

— Les horizons vertiques ont une structure moins caractéristique. La cohésion d'ensemble est très forte.

— La couleur est en général plus vive (7,5 YR à 5 YR 4/4 à 5/6).

— Il n'y a pas de concentration de sulfates.

— Les accumulations de carbonates sont rares et lorsqu'elles existent sont de natures calciques et magnésiennes, discontinues sous la forme de volumes pulvérulents et de ponctuations.

— Les accumulations d'oxyde de manganèse sont moins marquées. Ponctuations, nodules et dendrites demeurent présents en faibles quantités.

AUTRES TYPES DE VERTISOLS

Certains vertisols présentent des caractères morphologiques particuliers en relation avec leur régime hydrique. Ce sont les *vertisols hydromorphes* qui sont très peu répandus. On ne peut les rattacher à aucun des trois groupes définis précédemment.

— Leurs traits pédologiques majeurs consistent en la présence de traces de redistribution des oxydes de fer (oxydation - réduction).

— Les horizons où le fer apparaît sous forme réduite sont rares. On peut néanmoins constater que la surface de nombreuses faces de glissement est de couleur vert-pâle à verdâtre alors que la partie interne des agrégats

est de teinte rouille. Les caractères macromorphologiques sont apparents sur le terrain, mais ils sont difficiles à observer en lame - mince.

Dans les vertisols de l'îlot Lepredour (P. PODWOJEWSKI, 1985), la partie supérieure du sol à l'aval de la séquence sur calcaire gréseux se décolore et passe d'une teinte brun rouge (5 YR) à une teinte jaune (10 YR).

Ce phénomène a été enregistré par les cristaux de gypse dont les inclusions sont rouge vif au centre et jaune à la surface.

— Enfin, certains éléments figurés (carbonates ou sulfates) sont redistribués à la surface des faces de glissement où les conditions de circulation de l'eau dans le sol sont les plus favorables.

2. CARACTÈRES ANALYTIQUES DES VERTISOLS (tabl. I, II et III)

TABLEAU I

Vertisol calcimagnésien à gypse et carbonates en aval de séquence sur basalte (région de Tontouta)

NUMERO DE L'HORIZON	MER 63 1	MER 63 3	MER 63 5	MER 63 6	MER 63 7	MER 63 9	MER 63 11	MER 63 12
DENOMINATION DE L'HORIZON	A_{11}	$A_{31}(B)$	$(B)_1$	$(B)_2$	B_{1ss}	$B_{1Mn(Gy)}$	B_{Ca}	BC_{Ca}
PROFONDEUR en cm	0-20	40-55	70-95	95-125	125-140	150-175	195-240	240-255
GRANULOMETRIE % de terre fine séchée à l'air								
Argile	46.5	47.6	65.8	66.5	70.9	65.8	64.4	46.6
limon fin	21.8	19.5	14.8	15.7	12.1	20.1	11.8	13.1
limon grossier	11.0	9.7	6.7	7.1	7.6	7.4	5.7	6.6
sable fin	10.4	11.4	6.4	6.2	4.9	4.9	5.9	11.0
sable grossier	5.6	11.0	5.0	4.7	5.8	3.5	10.5	21.0
TENEUR EN EAU DU SOL (g/100g)								
pF 2,5	41.0	42.7	55.3	53.8	46.2	42.4	44.0	33.3
pF 4,2	23.9	23.3	27.3	26.4	26.3	25.7	28.2	19.8
MATIERE ORGANIQUE								
C °/..	30.4	8.4	2.4					
N °/..	1.84	0.73	0.32					
C/N	16.5	11.5	7.7					
M.O. %	5.2	1.4	0.4					
pH H_2O	5.9	6.2	5.4	5.3	5.8	6.6	8.2	8.4
pH KCl	4.8	5.1	4.2	4.1	4.8	5.7	7.1	7.3
COMPLEXE D'ECHANGE mé/100g (méthode Tucker : NH_4Cl à pH 7)								
Ca^{++}	12.0	11.6	13.0	13.1	20.1	18.3	21.4	20.8
Mg^{++}	14.7	16.3	23.5	24.5	24.3	27.3	28.6	23.7
K^+	0.84	0.11	0.08	0.10	0.14	0.17	0.12	0.13
Na^+	0.65	4.06	8.37	8.80	7.88	9.12	8.83	8.06
S Somme des bases	28.19	32.07	44.95	46.50	52.42	54.89	58.95	52.69
T Capacité d'échange	36.2	34.4	42.1	46.5	41.6	46.1	46.2	40.0
V (S/T) Taux de saturation %	77.9	93.2	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.
Phosphore total P_2O_5 °/..	0.48	0.13	0.04					
ELEMENTS TOTAUX % de terre fine séchée à 105°C								
Perte au feu	10.44	7.72	6.67	6.64	7.74	7.49	8.43	12.09
Résidu	38.96	41.30	34.28	34.14	28.40	31.34	29.14	26.14
SiO_2	32.68	29.60	35.90	35.98	34.00	33.06	35.42	30.34
Al_2O_3	6.31	9.07	10.58	11.52	11.15	10.77	10.58	9.07
Fe_2O_3	6.35	7.35	8.78	8.92	7.58	8.01	8.72	8.07
MnO_2	0.58	1.24	0.05	0.04	0.04	1.84	0.22	0.18
TiO_2	0.87	0.84	1.04	0.99	0.86	0.82	0.98	1.03
CaO	0.48	0.39	0.39	0.42	4.20	1.92	2.94	8.25
MgO	0.76	0.84	1.11	1.18	1.22	1.63	2.58	3.64
K_2O	0.08	0.06	0.05	0.06	0.11	0.20	0.15	0.15
Na_2O	0.08	0.16	0.39	0.39	0.32	0.40	0.45	0.49
SiO_2/Al_2O_3 mol.	8.8	5.5	5.7	5.2	5.2	5.2	5.7	5.7
Mg/Ca	1.22	1.40	1.81	1.87	1.2	1.5	1.3	1.1
Na/T %	1.8	11.8	19.9	20.3	18.9	19.8	19.1	20.1

TABLEAU II
Vertisol hypermagnésien sur colluvions de serpentine et péridotite (La Tontouta)

NUMERO DE L'HORIZON	TNT 85 1	TNT 85 2	TNT 85 3	TNT 85 4
DENOMINATION DE L'HORIZON	A_{11}	A_3(B)	B_{vm}	BC_{vm}
PROFONDEUR en cm	0-40	40-60	60-120	120-160
GRANULOMETRIE % de terre fine séchée à l'air				
argile	44.6	59.2	54.4	42.3
limon fin	17.6	10.6	11.4	11.5
limon grossier	9.2	6.1	4.0	5.9
sable fin	16.7	11.8	14.7	20.6
sable grossier	7.4	9.3	13.8	17.4
TENEUR EN EAU DU SOL (g/100g)				
pF 2,5	47.4	62.5	54.3	47.8
pF 4,2	29.8	40.3	35.9	32.7
MATIERE ORGANIQUE				
C °/..	21.3	8.5	1.3	
N °/..	1.82	0.70	0.14	
C/N	11.7	12.1	9.3	
M.O. %	3.7	1.5	0.2	
pH H_2O	6.2	7.6	8.4	8.3
pH KCl	5.0	6.2	6.8	7.0
COMPLEXE D'ECHANGE mé/100g				
Ca^{++}	1.8	0.23	0.34	0.13
Mg^{++}	40.20	66.90	59.20	47.00
K^+	0.08	0.04	0.03	0.04
Na^+	0.48	1.30	1.40	1.30
S Somme des bases	42.56	68.47	60.97	48.47
T Capacité d'échange	49.0	61.0	57.9	47.7
V (S/T) Taux de saturation %	86.9	SAT.	SAT.	SAT.
Phosphore total P_2O_5 (interférences dues à un excès de chrome)	NON DOSABLE PAR COLORIMETRIE			
ELEMENTS TOTAUX % de terre fine séchée à 105°C				
Perte au feu	10.57	9.47	7.94	7.10
Résidu	54.98	56.46	61.94	65.60
SiO_2	28.86	38.26	39.80	34.54
Al_2O_3	2.87	2.65	1.97	2.23
Fe_2O_3	22.88	22.02	17.16	13.30
MnO_2	1.00	1.23	0.42	0.68
TiO_2	0.18	0.16	0.10	0.12
CaO	0.19	0.10	0.13	0.15
MgO	4.22	5.34	9.07	9.52
K_2O	0.02	0.01	0.01	0.01
Na_2O	0.04	0.06	0.07	0.08
SiO_2/Al_2O_3 mol.	17	24.5	34.2	26.2
Cr_2O_3	2.32	1.11	0.52	0.65
Mg/Ca	22.3	291	174	361
Na/T %	1.0	2.1	2.4	2.7

TABLEAU III
Vertisol sodique acide sur terrasse alluviale moyenne (rivière Oua Tom)

NUMERO DE L'HORIZON	TOM 49 1	TOM 49 2	TOM 49 3	TOM 49 4	TOM 49 5
DENOMINATION DE L'HORIZON	A_{11}	A_{12}	A_3(B)	(B)	BC
PROFONDEUR en cm	0-12	12-35	35-60	60-95	95-130
GRANULOMETRIE % de sol séché à l'air					
argile	24.0	37.6	53.9	49.3	33.0
limon fin	30.0	20.5	18.5	17.2	16.0
limon grossier	22.5	11.2	9.9	10.0	11.5
sable fin	16.5	17.3	16.3	21.8	33.5
sable grossier	3.5	12.7	2.0	2.0	6.8
TENEUR EN EAU DU SOL (g/100g)					
pF 2,5	33.7	31.7	39.2	39.2	26.3
pF 4,2	12.2	16.4	22.3	18.5	13.1
MATIERE ORGANIQUE					
C °/..	22.37	8.47	4.89		
N °/..	1.41	1.00	0.74		
C/N	16.6	8.5	6.6		
M.O.%	4.0	1.5	0.8		
pH H_2O	5.3	5.1	4.5	4.6	4.8
pH KCl	4.7	4.2	3.6	3.7	3.7
COMPLEXE D'ECHANGE mé/100g					
Ca^{++}	4.4	4.2	3.6	3.5	2.9
Mg^{++}	3.8	7.3	10.5	10.6	7.6
K^+	0.2	0.1	0.14	0.12	0.23
Na^+	0.34	2.9	4.7	5.1	4.3
S Somme des bases	8.74	14.5	18.94	19.32	15.03
T Capacité d'échange	17.7	21.0	23.4	22.5	15.2
V (S/T) Taux de saturation %	49.4	69.0	80.9	85.9	98.9
Phosphore total P_2O_5 °/..	0.43	0.42	0.15		
ELEMENTS TOTAUX % de terre fine séchée à 105°C					
Perte au feu	6.6	6.9	6.6	5.5	3.9
Résidu	59.4	47.9	45.4	49.6	62.6
SiO_2	25.0	26.6	28.7	26.9	19.8
Al_2O_3	3.6	9.1	11.7	9.8	6.8
Fe_2O_3	2.4	6.3	6.0	5.6	4.7
MnO_2	0.77	1.5	0.05	0.03	0.04
TiO_2	0.43	0.60	0.72	0.67	0.57
CaO	0.15	0.09	0.07	0.07	0.06
MgO	0.23	0.47	0.63	0.62	0.59
K_2O	0.13	0.20	0.30	0.36	0.42
Na_2O	0.10	0.16	0.29	0.34	0.27
SiO_2/Al_2O_3 mol.	11.9	5.0	4.2	4.7	5.0
Mg/Ca	0.86	1.7	2.9	3.0	2.6
Na/T %	1.9	13.8	20.1	22.6	28.2

2.1. *Minéralogie*

Les vertisols calcimagnésiens et hypermagnésiens sont constitués de montmorillonite bien cristallisée (avec un peu de quartz).

Les vertisols hypermagnésiens montrent par ailleurs sur les diffractogrammes RX, des pics plus nets et mieux marqués que les vertisols calcimagnésiens (lames chauffée, orientée ou glycérolée).

Les vertisols sodiques et acides sont constitués de montmorillonite associée à des interstratifiés illite/montmorillonite.

2.2. Les caractéristiques physiques

LA STRUCTURE a déjà été évoquée dans les caractères morphologiques distinctifs.

LA TEXTURE (fig. 14 A)

— Tous les horizons caractéristiques à structure vertique ont un taux d'argile supérieur à 50 % (généralement compris entre 60 et 70 %). Cependant, la présence d'éléments figurés (carbonates, oxydes de manganèse) entraîne une diminution du taux d'argile dans les horizons correspondants.

— Les horizons humifères de surface sont en général moins argileux et plus limoneux. Dans les vertisols sodiques et acides, l'appauvrissement en argile (ou le lessivage) en surface est très net. Toutefois, cette argile ne se redistribue pas en profondeur sous forme d'argilanes dans un horizon d'accumulation.

LES TAUX D'HUMIDITÉ (aux différents pF)

La capacité de rétention en eau, étant fortement liée à la teneur en argile, augmente avec la profondeur.

Voici quelques valeurs pondérales de capacité de rétention en eau pour trois valeurs du pF :

pF 2,5 : de 45 à 60 % d'eau
pF 3,0 : de 35 à 45 % d'eau
pF 4,2 : de 23 à 30 % d'eau

Ces valeurs sont, bien sûr, plus faibles dans les horizons argilo-limono-sableux constituant les horizons

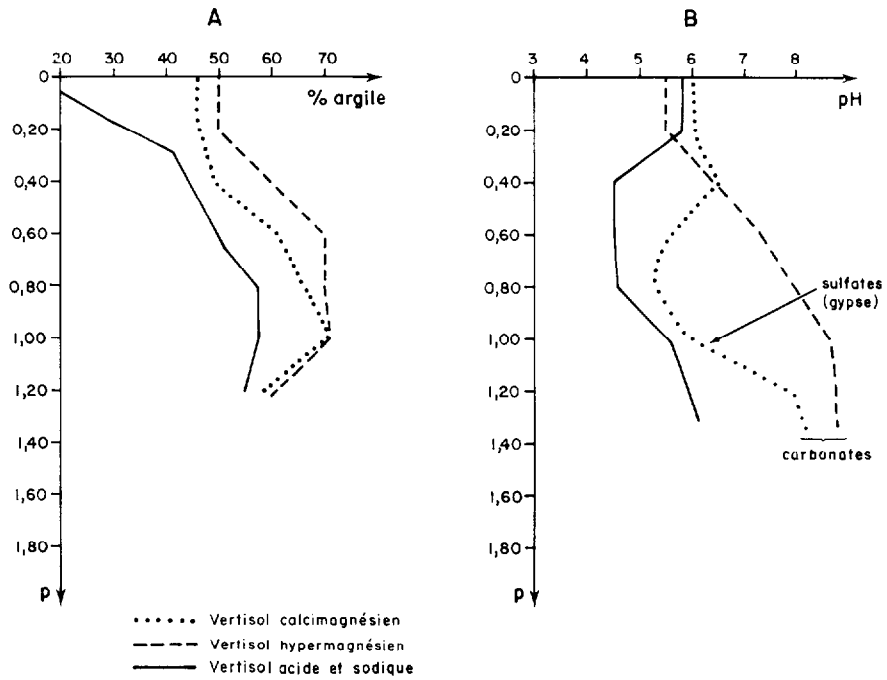


FIG. 14. — Valeur moyenne du taux d'argile et du pH pour les trois grands groupes de vertisols

humifères des vertisols sodiques et acides.

D'après les travaux de B. DENIS (site des essais d'irrigation de POUEMBOUT, 1980) la teneur en eau à la capacité au champ est équivalente à la teneur en eau au pH 3,0 pour les horizons vertiques. La réserve théorique en eau utile (différence entre teneur en eau au pF 3,0 et 4,2) varie entre 10 et 15 % en poids.

2.3. Les caractéristiques chimiques

LE PH (fig. 14 B)

Le pH des différents vertisols est caractéristique : il est de 5,5 à 6,0 dans tous les horizons humifères alors qu'en profondeur, il présente des différences importantes.

Les vertisols calcimagnésiens sont fortement influencés par la nature des accumulations salines :

Les sulfates (gypse) abaissent le pH à 5,5 et en dessous, tandis que les carbonates entraînent une augmentation du pH. Celui-ci atteint et dépasse 7,0 en présence d'éléments figurés carbonatés. Il atteint et dépasse 8,0 lors de la présence d'une croûte calcaire.

Les vertisols hypermagnésiens ont des horizons dépourvus de sulfates, mais riches en carbonates de magnésium en profondeur, le pH augmente alors régu-

lièrement pour atteindre et dépasser 8,0 dans les horizons à accumulations continue de magnésite (giobertite).

Les vertisols sodiques et acides, comme leur définition l'indique, ont un pH acide inférieur à 6,0. Certains horizons vertiques peuvent avoir un pH inférieur à 5,0 et ils contiennent des traces d'aluminium échangeable.

Le pH monte rapidement en présence, d'accumulations carbonatées, même très diffuse.

LES BASES ÉCHANGEABLES, LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE (fig. 15)

La nature et les proportions entre les bases échangeables sont des variables importantes pour faire la distinction entre les trois groupes de vertisols.

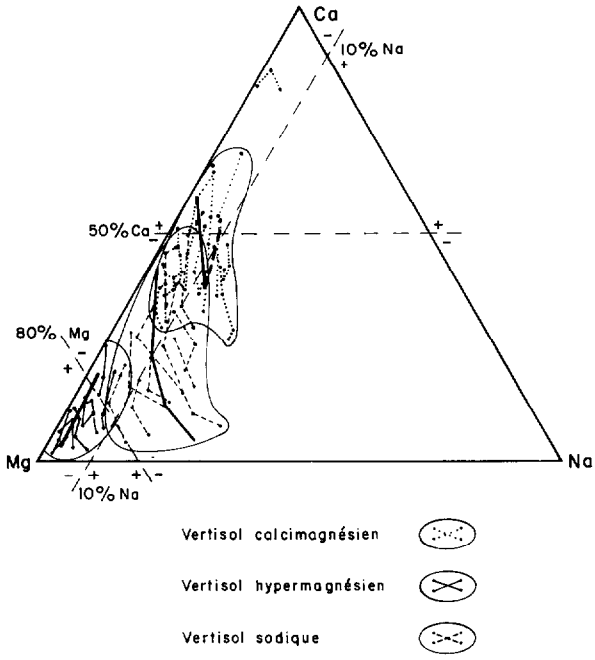


FIG. 15. — Teneur relative en Ca++, Mg++ et Na+ échangeable des trois grands groupes de vertisols

Les vertisols calcimagnésiens

— La capacité d'échange est assez élevée 40 mé/100 g de sol.

— Ils sont saturés en bases dans les horizons vertiques.

— Le rapport Mg/Ca est voisin de 1. Ce rapport dépasse très rarement 2. Cependant, le magnésium demeure souvent le cation dominant même en présence de gypse.

— Les horizons inférieurs sont relativement plus riches en sodium échangeable.

Les vertisols hypermagnésiens

— La capacité d'échange est élevée, souvent supérieure à celles des vertisols calcimagnésiens de 50 à 60 mé/100 g de sol. Ce fait serait dû à une plus grande proportion d'argile dans les horizons vertiques et probablement à une meilleure cristallisation des smectites (confirmée par les déterminations aux R.X.).

— Ils sont saturés en bases dans les horizons vertiques.

— Le rapport Mg/Ca est supérieur à 4,5. Ce rapport augmente en profondeur. Le taux de Mg++ par rapport à la somme des cations échangeables est supérieur à 80 %.

— Les horizons inférieurs sont aussi plus riches en sodium échangeable.

Les vertisols sodiques et acides

Dans ceux-ci, on remarque une nette évolution à partir des horizons de surface vers les horizons de profondeur :

— La capacité d'échange est assez faible dans les horizons de surface (15 à 20 mé/100 g de sol) ; elle croît un peu en profondeur en même temps que le taux d'argile pour atteindre 30 à 35 mé/100 g de sol.

— Le taux de saturation en bases des horizons vertiques est généralement plus faible que celui des autres vertisols et avoisine 80 à 90 %.

— Le sodium échangeable atteint rapidement dans les horizons argileux un taux supérieur à 10 % de la capacité d'échange, pouvant atteindre et dépasser 20 %.

— En même temps le rapport Mg/Ca augmente de façon très sensible en profondeur. D'une valeur moyenne de 2 pour les horizons de surface, il dépasse souvent 5 en profondeur.

Conclusions sur les bases échangeables et la capacité d'échange

1. Le *magnésium est le cation dominant* dans les horizons vertiques, souvent même dans les vertisols calcimagnésiens à accumulations de sels de calcium (gypse, calcaire), dérivant de basalte et de flyschs (1).

2. Le taux de calcium échangeable est proportionnellement bien plus élevé dans les horizons de surface humifères que dans les horizons vertiques.

(1) Dans les sols dérivant de calcaires (île Lepredour), le calcium est dans ce cas le cation largement dominant et il se concentre dans les horizons argileux moins drainants.

Deux raisons peuvent être invoquées pour expliquer cela :

— Le cation Mg^{++}, comme Na^{+} est plus soluble et plus facilement lixiviable que l'ion Ca^{++} (lequel est mieux fixé par le complexe absorbant) (J.P. ROSSIGNOL, 1984-1985).

— La matière organique concentre dans ses tissus du calcium.

Le rapport Mg/Ca y est nettement moindre que dans les horizons vertiques (Cf. : communication personnelle de T. JAFFRE). Les débris organiques vont donc libérer davantage de calcium que de magnésium.

A ce propos, une inconnue subsiste :

Le calcium lié à cette matière organique est-il facilement échangeable ou bien fait-il partie de structures moléculaires stables où il serait faiblement échangeable ?

Le doute est permis car toute la matière organique est détruite avant le dosage des bases échangeables.

3. La teneur en sodium échangeable augmente rapidement en profondeur dans les horizons vertiques. Le sodium est lixivié de la couche humifère du sol.

Si la majeure partie du sodium provient de la roche mère, la fraction soluble (en particulier celle liée aux chlorures) est sans doute liée aux embruns (les alizés soufflent régulièrement), comme le soulignent de nombreuses études du CSIRO en Australie.

4. Le taux de potassium échangeable est très faible. Même dans les horizons humifères, il n'excède que très rarement 1,0 mé/100 g de sol. Malgré cela, les plantes ne marquent aucune carence en potassium, signe d'une assimilation facile de ce cation.

LA MATIÈRE ORGANIQUE

— Le taux de matière organique est inférieur à 5 % dans l'horizon humifère de surface pour tomber rapidement à 2 et 1 % dans les horizons plus profonds.

— La couleur noire n'est pas une indication de forte teneur en matière organique, mais elle est plutôt en relation avec la nature de la matière organique (M. BONNEAU, B. SOUCHIER, 1979).

— Le taux d'azote demeure également faible (de 1,4 à 1,9 %...) et les rapports C/N des horizons de surface sont souvent supérieurs à 13. B. DENIS (essais de fertilité) et C. THOMAN (étude sur le fractionnement de l'azote) montrent qu'un apport en fertilisants azotés est nécessaire pour entreprendre des cultures sur vertisols.

AUTRES ÉLÉMENTS

— La caractérisation des sels solubles liés à ce type de sols est actuellement en cours. Seuls pour l'instant les vertisols à gypse ont fait l'objet d'une étude complète.

— Les teneurs en phosphore total sont très faibles, généralement inférieures à 800 ppm. Les teneurs en phosphore assimilable (méthode TRUOG ou OLSEN modifiée DABIN) sont inférieures à 20 ppm.

Les sols hypermagnésiens dérivant de péridotite sont très riches en chromite. Lors du dosage par colorimétrie du phosphore, la teinte liée au chrome masque celle du phosphore. Cet élément ne peut pas être dosé dans les vertisols par voie colorimétrique. M. LATHAM a fait doser le phosphore par fluorescence X, les taux sont très faibles. Les concentrations de phosphore dans les tissus végétaux des plantes croissant sur les vertisols hypermagnésiens sont également très faibles (T. JAFFRE, 1980).

— Les analyses totales montrent :

— Un rapport moléculaire SiO_2/Al_2O_3 toujours supérieur à 4. Ce rapport peut être bien plus élevé dans les smectites ferrifères et magnésiennes issues des serpentines et péridotites (vertisols hypermagnésiens) car ces roches sont dépourvues d'aluminium.

— Les teneurs moyennes en fer total varient entre 8 et 10 %. Elles atteignent 20 % dans les vertisols hypermagnésiens.

— Parmi les éléments alcalins et alcalino-terreux, le magnésium est le plus abondant dans la majorité des cas (exception faite des sols issus de flyschs carbonatés et de calcaires). Le sodium est souvent plus abondant que le calcium.

— Il faut noter que dans les horizons montrant des figures d'accumulation de manganèse, cet élément atteint facilement 2 à 3 % (dans de très rares cas : 10 %).

— Les horizons vertiques des sols hypermagnésiens issus de péridotites et de serpentines sont enrichis en chrome, mais aussi en nickel et en cobalt.

Conclusion générale

Les vertisols de Nouvelle-Calédonie font partie d'une des composantes principales du paysage de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Leur présence est liée aux conditions du milieu naturel :

— *au climat :* les sols sont situés au niveau de la côte sèche « sous le vent », à pluviosité contrastée,

— *à la géologie :* à partir de matériaux issus de l'altération de roches basiques,

— *à la géomorphologie* : dans des zones très planes à faible drainage externe,

. soit sur des terrasses alluviales anciennes.

. soit à l'aval de séquences de roche basique, où la déclivité décroît faiblement.

Ces vertisols se sont probablement formés ou ont

évolué sous un paléoclimat *plus sec* que le climat actuel (les accumulations de gypse ne pourraient pas se développer sous les conditions climatiques actuelles).

Leur différenciation chimique et morphologique provient de la nature chimique de la roche-mère :

— vertisols calcimagnésiens issus de flyschs carbonatés et de basaltes,

— vertisols hypermagnésiens issus de serpentinites et de péridotites,

— vertisols, sodiques et acides, issus de grauwackes et de schistes volcano-sédimentaires ;

Les mélanges de matériaux peuvent être fréquents d'où l'existence de vertisols à caractères intergrades entre les trois groupes décrits dans cet article.

Ainsi, les vertisols de Nouvelle-Calédonie offrent une *diversité assez remarquable* dans :

— l'expression de leurs éléments figurés,

— leurs caractéristiques analytiques.

Les vertisols sodiques acides et surtout les vertisols hypermagnésiens forment des unités tout à fait originales qui devraient faire l'objet d'études complémentaires, tant sur les plans pédogénétiques et analytique que sur le plan agropédologique.

L'utilisation agricole des vertisols néo-calédoniens nécessite cependant de nombreuses investigations :

— Les études agropédologiques doivent être spécifiques à chaque type de vertisol.

— Une cartographie détaillée dans les zones très hétérogènes constituées par des mélanges d'apports alluviaux (vallée de la Pouembout, B. DENIS et MERCKY, 1982).

— Les études analytiques doivent également être adaptées : recherche de nouvelles méthodologies dans la détermination des sels solubles et des bases échangeables (P. PODWOJEWSKI, J. PETARD, à paraître).

A ce titre, il convient de citer les différentes études déjà entreprises en Nouvelle-Calédonie sur les vertisols :

— Etudes sur la fertilité des vertisols calcimagnésiques (B. DENIS, B. BONZON),

— Etudes sur le fractionnement de l'azote (C. THOMANN, 1987)

— Etudes de l'influence des amendements calciques sur les sols sodiques acides (vertisols et solonetz solodisés) (B. BONZON, B. DENIS), et sur les vertisols hypermagnésiens : études en cours (B. BONZON).

Les vertisols hypermagnésiens méritent une attention particulière. Ils offrent les contraintes classiques de tous les vertisols, en particulier les contraintes d'ordre physique. De plus, ils ont un déséquilibre cationique dans leur complexe d'échange par excès de magnésium. Cela peut entraîner de sérieuses carences en calcium sur certaines plantes (dont le maïs). La sensibilité des plantes à ce déséquilibre cationique varie selon les hybrides d'une même espèce (B. BONZON 1985).

Les premiers essais d'amendements calciques sous forme de calcaire et de gypse montrent les possibilités d'améliorer considérablement les rendements. Cependant, ils nécessitent en parallèle un suivi très rigoureux de la dynamique des ions au niveau des équilibres chimiques entre le complexe d'échange et les sels solubles, en particulier après un apport de gypse.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 22 août 1989

BIBLIOGRAPHIE

Eléments de pédologie générale

Les références précédées du signe « * » sont plus spécifiques à la Nouvelle-Calédonie.

A.F.E.S., 1988. — Référentiel Pédologique Français, 2e proposition. INRA 251 p.

* BEAUDOU (A.G.), FROMAGET (M.), PODWOJEWSKI (P.), BOURDON (E.), 1983. — Etude morpho-pédologique de la région de la Tontouta. Nouméa, ORSTOM. 31 p. *multigr.* + 2 cartes au 1/500.000 + 2 légendes.

BEAUDOU (A.G.), FROMAGET (M.), PODWOJEWSKI (P.), BOURDON (E.), LE MARTRET (H.), BLAVET (D.), 1983. — Cartographie typologique des sols : méthodologie. Nouméa, ORSTOM, 31 p., *multigr.*

* BEAUDOU (A.G.), DENIS (B.), LE MARTRET (H.), 1984. — Magnesian soils of New Caledonia. Experiment to restore the balance of the base exchange complex. Nouméa, ORSTOM, 18 p., *multigr.*

BOCQUIER (G.), 1973. — Genèse et évolution de deux toposéquences de deux sols tropicaux du Tchad. Paris, *Mém. ORSTOM*, n° 62, 350 p.

BONNEAU (M.), SOUCHIER (B.), 1979. — Pédologie. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol. Paris, Masson, 459 p.

BOULAINE (J.), 1982. — Typologie des sols. Paris-Grignon : INA. Tome 1 : département des sols, 8, 139 p. Tome 2 : département des sols, 9, 161 p.

C.P.C.S., 1967. — Classification des sols. Grignon, ENSA, 87 p., *multigr.*

Division of Soils, CSIRO, 1983. — Soils, an Australian viewpoint. CSIRO : Melbourne/Academic Press, London, 928 p.

* DANLOUX (J.), 1987. — Conditions d'utilisation de la carte des isohyètes interannuelles, carte de répartition des précipitations dans les zones à vocation agricole de la Nouvelle-Calédonie au 1/200.000. Nouméa, ORSTOM, 42 p., *multigr.*

* DENIS (B.), 1979. — Etude pédologique de la basse vallée de la Oua Ménie. Détermination des caractéristiques hydrodynamique des principaux types de sols en vue de leur irrigation. Nouméa, ORSTOM, 67 p., *multigr.*, + 2 cartes à 1/25 000.

* DENIS (B.), 1980. — Etude pédologique du site des essais d'irrigation de Pouembout. Détermination des principales caractéristiques hydrodynamiques des sols. Nouméa, ORSTOM, 33 p., *multigr.*

* DENIS (B.), MERCKY (P.), 1982. — Notice de la carte pédologique de la région de Pouembout à 1/50 000. Nouméa, ORSTOM. Tome 1 : Textes et figures, 150 p., *multigr.* ; Tome 2 : Profils et cartes, 109 p., *multigr.*, + 3 cartes au 1/50 000.

DUCHAUFOUR (Ph.), 1977. — Pédologie. Tome 1 : Pédogénèse et classification. Paris : MASSON, 477 p.

DUGAIN (F.), 1953. — La fertilité du sol et quelques-uns de ses aspects en Nouvelle-Calédonie. Possibilité de mise en valeur. Nouméa, ORSTOM, 29 p., *multigr.*

* JAFFRE (T.), 1980. — Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Paris, *Trav. et Doc. ORSTOM*, n° 124, 275 p.

* LATHAM (M.), QUANTIN (P.), AUBERT (G.), 1978. — Etude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Nouvel essai sur la classification, la caractérisation, la pédogenèse et les aptitudes des sols de Nouvelle Calédonie. Paris, ORSTOM. *Notice explicative*, 78, 138 p. + 2 cartes au 1/1 000 000.

* LATHAM (M.), MERCKY (P.), 1979. — Etude des sols de la région de Ouaco. Nouméa, ORSTOM, 37 p., *multigr.*. + 2 cartes au 1/50 000.

* LATHAM (M.), 1986. — Altération et pédogenèse sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Paris, ORSTOM. *Etudes et thèses*, 331 p.

LOZET (J.), MATHIEU (C.), 1986. — Dictionnaire de Science du Sol. Paris, Lavoisier, 269 p.

* PARIS (J.P.), 1981. — Géologie de la Nouvelle-Calédonie. Un essai de synthèse. Orléans : B.R.G.M., Mémoires du B.R.G.M., 113, 278 p. + 2 cartes au 1/200 000.

PEDRO (G.), 1979. — Les minéraux argileux. *In* : Pédologie. Paris, Masson. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol pp. 38-57.

PEDRO (G.), 1979. — Les conditions de formation des constituants secondaires. *In* : pédologie. Paris, Masson. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol : 58-72.

* PODWOJEWSKI (P.), 1981. — Etude pédologique de la basse vallée de la Oua Tom. Eléments de pédogenèse salée et gypseuse. Nouméa, ORSTOM. Mémoire de stage. 97 p. *multigr.*, 2 cartes au 1/25 000.

* PODWOJEWSKI (P.), LATHAM (M.), BOURDON (E.), 1983. — Etude des sols de la région de Kaala Gomen. Nouméa, ORSTOM, 54 p. *multigr.*, + 2 cartes au 1/50 000.

* PODWOJEWSKI (P.), 1984. — Les sols de Nouvelle-Calédonie à accumulation de gypse. Nouméa, ORSTOM, 23 p. *multigr.*

* PODWOJEWSKI (P.), 1985. — Les sols à gypse de l'îlot Leprédour. Nouméa, ORSTOM, 36 p. *multigr.*

* PODWOJEWSKI (P.), BEAUDOU (A.G.), 1987. — Carte morpho-pédologique de la Nouvelle-Calédonie au 1/200 000. Nouméa, ORSTOM. Tome 1 : Avant-propos et présentation générale, 15 p. *multigr.*, tome 2 : légende de la carte, 18 feuillets *multigr.*, tome 3 : possibilités d'utilisation du milieu, 5 feuillets *multigr.*

ROSSIGNOL (J.P.), 1983. — Les vertisols du nord de l'Uruguay. *Cah. ORSTOM (sér. Pédol.*, vol. XX, 4 : 271-291.

ROSSIGNOL (J.P.), 1984-1985. — Les planosols du nord de l'Uruguay. *Cah. ORSTOM, sér. pédol*, vol. XXI, 1 : 57-58.

* TERCINIER (G.), 1955. — Note sur les sols de Nouvelle-Calédonie. Nouméa, ORSTOM. 10 p. *multigr.*

TERCINIER (G.), 1967. — Note sur la définition et la classification proposée de vertisols. Nouméa, ORSTOM, 3 p. *multigr.*

* TERCINIER (G.), 1969. — Carte pédologique de la Nouvelle-Calédonie au 1/40 000. Feuille Bourail-Moindou. Nouméa, ORSTOM, 144 p. *multigr.* + 1 carte.

* TOUTAIN (B.), BEAUDOU (A.G.), 1983. — Etude des relations sols-plantes fourragères en Nouvelle-Calédonie. Nouméa : ORSTOM, IEMVT. Tome A : Typologie des ensembles sols-pâturages et leur production, 172 p. *multigr.*, tome B : Données de terrain, résultats analytiques, annexes.

U.S.D.A., 1975. — Soil taxonomy. Washington = Soil Conservation Service, USDA. Agriculture handbook, 436, 754 p.

Bibliographie spécifique concernant les études de fertilité sur vertisol en Nouvelle-Calédonie

1987. — Recherches conjointes DIDER - CREA - ORSTOM sur la fertilité naturelle et l'évolution sous culture des sols de Nouvelle-Calédonie. Historique des études et état d'avancement des connaissances au 31/07/87. Nouméa, Dider, 62 p.

Convention n° 1 : étude de la fertilisation nitro-phosphopotassique du maïs sur vertisol et sur sol peu évolué d'apport et de ses conséquences sur l'évolution de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Convention n° 2 : étude de l'effet des amendements calciques sur différents types de sols cultivables en Nouvelle-Calédonie.

BONZON (B.), *et al.*, 1986. — Effet des amendements calciques sur un sol sodique acide et sur un vertisol hypermagnésien. Résultat des études expérimentales conduites en 1985. Nouméa, ORSTOM, 36 p. *multigr.*

BONZON (B.) *et al.*, 1987. — Effet des amendements calciques sur vertisol hypermagnésien. Résultats du 3e cycle cultural de l'expérimentation au champ. Nouméa, ORSTOM, 107 p. *multigr.*

BONZON (B.) *et al.*, 1988. — Effet des amendements calciques sur vertisol hypermagnésien. Résultats du 4e cycle cultural de l'expérimentation au champ. Nouméa, ORSTOM, 69 p. *multigr.*

THOMANN (C.), BONZON (B.), ANDRE (Ph.), 1986. — Recherches sur la dynamique de l'azote dans les sols cultivables de Nouvelle-Calédonie. Etudes comparatives de l'utilisation de l'azote de trois fumures azotées différentes par *Panicum maximum*, JACQ., cultivé sur le vertisol non magnésien de Pouembout. Protocole de l'étude expérimentale en série. Nouméa, ORSTOM, 46 p. *multigr.*

THOMANN (C.), 1987. — La disponibilité de l'azote en provenance du sol et des engrais dans le cas d'une culture de *Panicum maximum* sur un vertisol équilibré en Nouvelle-Calédonie. Communication à la réunion du GEMOS de Montpellier.