

RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

SCIENCES DE LA TERRE

PÉDOLOGIE

N° 1

1988

Les vertisols de Nouvelle Calédonie

Pascal PODWOJEWSKI

RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

SCIENCES DE LA TERRE

PÉDOLOGIE

N° 1

1988

Les vertisols de Nouvelle Calédonie

Pascal PODWOJEWSKI

**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**



CENTRE DE NOUMEA

AVERTISSEMENT

Ce document est une première synthèse régionale concernant les VERTISOLS DE NOUVELLE CALEDONIE. P. BRABANT m'a encouragé à rédiger cette note, suivi en cela par P. WILLAIME. Le but était de recueillir des informations complémentaires sur les sols se développant sous climat contrasté, et plus particulièrement sur les vertisols.

Ce document est un *rapport préliminaire*. La formulation de certains termes reste ouverte à la discussion.

Il m'est en effet apparu que dans le Référentiel pédologique ne figurait pas la définition en tant qu'horizon type de l'horizon VERTIQUE caractérisé par sa *structure spécifique* ("à fentes en coins"). Cela apparaît en typologie sur la forme de VERTICHRON à structure sphénoclode.

De plus, les éléments figurés, souvent composante importante, voire majeure des horizons ne sont mentionnés (en indice) que selon leur nature chimique mais très rarement selon leur *morphologie* (pourtant définie dans le glossaire de 1969). Leur *quantification relative*, à la fois entre les éléments figurés et entre ceux-ci et le matériau encaissant n'est pas non plus exprimée.

J'ai tenté de répondre à ces deux questions en me servant d'un outil répondant à ces manques. J'attends toutes les propositions concernant les moyens d'exprimer ces informations morphologiques majeures car importantes pour l'utilisation potentielle de ces sols à des fins agricoles ou autres.

En outre, le problème s'affirme avec une importance bien plus significative dans les oxysols de Nouvelle-Calédonie avec des formes multiples dans l'expression des oxydes de fer.

I

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	1
DEFINITION	3
PREMIERE PARTIE :	
SITUATION DES CONDITIONS DU DEVELOPPEMENT DES VERTISOLS :	
LE MILIEU NATUREL	5
I - SITUATION DE LA NOUVELLE CALEDONIE	
II - LE CLIMAT	
III - LA GEOLOGIE	
IV - LA SITUATION GEOMORPHOLOGIQUE	
V - LA VEGETATION	
DEUXIEME PARTIE :	
LES SOLS	13
I - CARACTERISATION DES PRINCIPAUX TYPES DE VERTISOLS ..	13
II - DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE VERTISOLS	15
1. Caractères communs	
2. Caractères distinctifs	
III - LES CARACTERES ANALYTIQUES	23
1. Minéralogie	
2. Caractéristiques physiques	
3. Caractéristiques chimiques	
IV - ORGANISATION DES DIFFERENTS VERTISOLS	
1. Distribution des sols	
2. Répartition des différents vertisols	
TROISIEME PARTIE :	
UTILISATION DES VERTISOLS	45
I - CONTRAINTES LIEES A L'UTILISATION DES VERTISOLS	45
1. Contraintes physiques	
2. Contraintes chimiques	
II - UTILISATION ACTUELLE DES VERTISOLS	48
III - PERSPECTIVES D'AMENAGEMENTS	50
BIBLIOGRAPHIE	51

RESUME

Les vertisols de Nouvelle-Calédonie se situent sur la côte Ouest sous un climat subtropical sec et contrasté. Ils se localisent soit en aval de séquence sur roche basique, soit au niveau des terrasses alluviales moyennes. La nature chimique de la roche mère détermine la nature chimique du vertisol. Trois pôles ont ainsi été définis : vertisol calcimagnésique, vertisol hypermagnésien, vertisol sodique acide avec tous les intermédiaires possibles entre eux. Leurs analyses et surtout leurs distinctions tant morphologiques qu'analytiques sont décrites de même que leur distribution et leur utilisation agronomique.

Mots - clés : CHIMIE SOL, DISTRIBUTION SOL, MONTMORILLONITE, MORPHOGENESE, NOUVELLE-CALEDONIE, SMECTITE, UTILISATION SOL, VERTISOL.

ABSTRACT

Vertisols of New Caledonia are located on the west coast of the main island. the climate is tropical, dry and contrasted. These soils appear is the lower part of catena on basic rock, or at the level of medium alluvial terrace. The chemical nature of the parent rock determines the soil chemical nature. So, these main poles were defined : calcimagnesian vertisols, hypermagnesian vertisols and acid, sodic vertisols and all possibilities of transition between them. Their analogies and especially their morphological and analytical distinction are described as well as their distribution and agronomical use.

Keywords : SOIL CHEMISTRY, SOIL DISTRIBUTION, MONTMORILLONITE, MORPHOGENESIS, NEW CALEDONIA, SMECTITE, SOIL USE, VERTISOL.

AVANT PROPOS

Autrefois décrite comme "argile noire tropicale" par les premiers pédologues (DUGAIN 1953, 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, mais posent néanmoins quant à leur utilisation, de nombreux problèmes souvent spécifiques à la Nouvelle Calédonie.

Ce rapport fait part des points communs à tous les vertisols néo-calédoniens et insiste également sur les distinctions principales faites entre les différents types tant au niveau de leur origine, de leurs caractères morphologiques ou chimiques, que des possibilités d'aménagement qui leur sont imparties.

Il s'agit d'une synthèse globale de toutes les études pédologiques réalisées à l'ORSTOM depuis 1953 jusqu'à présent. 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.

Les études plus fines de détail menées par P. PODWOJEWSKI ont permis une définition plus rigoureuse des morphologies et du chimisme. Des études de comportement physique et hydrique ont été menées par B. DENIS tandis que parallèlement des études concernant l'utilisation agronomique de ces sols ont été abordés par B. DENIS et se poursuivent actuellement par B. BONZON.

Climat

tropical contrasté

Roche mèreroche basique
en placealluvions anciennes
issues de roches basiques

Vertisol lithomorphe

Vertisol topomorphe

Topographieaval de
séquenceterrasse alluviale
ancienne planePentefaible
moyennulle
lentDrainage externe

faible

nulle

Erosion

ACCUMULATION D'ARGILE DE TYPE 2/1

CARACTERISATION
MORPHOLOGIQUE PROPRE
AU SOL
STRUCTURE SPHENOCLODEModelémicromodelé de type "Gilgai"
(non visible en N. Calédonie)Propriétés physiques du solargile collante en période humide
argile dure en saison sèche

drainage interne très lent

forte retenue de l'eau
pF à capacité au champ élevéPropriétés chimiques du solcapacité d'échange élevée
complexe d'échange saturé en bases
accumulation possible de sels
(carbonates, sulfates, chlorures...)

CAUSES

CONSÉQUENCES

FIG. 1 : Schéma d'organisation des vertisols; causes et conséquences de l'accumulation d'argiles de type smectite.

DEFINITION

En Nouvelle Calédonie, un VERTISOL est un sol profond, très argileux, qui se caractérise par la présence à partir de 80 cm de profondeur d'un horizon vertique défini par sa structure spécifique à fentes en coins (dite sphénoclude ou à slicken sides), présente de façon exclusive.

Rappel :

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.

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

Cette structuration particulière due aux smectites est fondamentale selon le schéma ci-contre (Fig. 1) :

1° Elle définit l'horizon diagnostic qualifiant le vertisol.

2° Elle résulte d'un ensemble de paramètres.

Un vertisol se forme :

- sous un climat tropical ou subtropical contrasté provoquant des alternances marquées humectation-dessiccation.
- à partir d'une roche mère relativement basique riche en cations (calcium ou magnésium) et dont l'altération est susceptible de néoformer des argiles de type smectite.
- dans les zones basses où s'accumulent les matériaux, à drainage externe réduit, à l'aval de séquences sur roche ou à partir de terrasses alluviales inactuelles.

3° Elle engendre des propriétés particulières.

- un faible drainage interne.
- une grande retenue de l'eau (pF à capacité au champ très élevé souvent supérieur à 3)
- une capacité d'échange élevée et un complexe d'échange saturé.

La démarche suivie dans ce rapport sera :

1° Situation des conditions du développement des vertisols.

2° Description morphologique, propriétés chimiques, essai de différenciation.

3° Utilisation actuelle de ces sols en Nouvelle Calédonie.

PREMIERE PARTIE

SITUATION DES CONDITIONS DU DEVELOPPEMENT DES VERTISOLS : LE MILIEU NATUREL

I - SITUATION DE LA NOUVELLE CALEDONIE (Cf : 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, par 166°E et 22°S.

La Grande Terre couvre environ 16000 km². Elle est allongée dans le sens Nord Ouest - Sud Est et mesure 400 km de long pour 40 km de large.

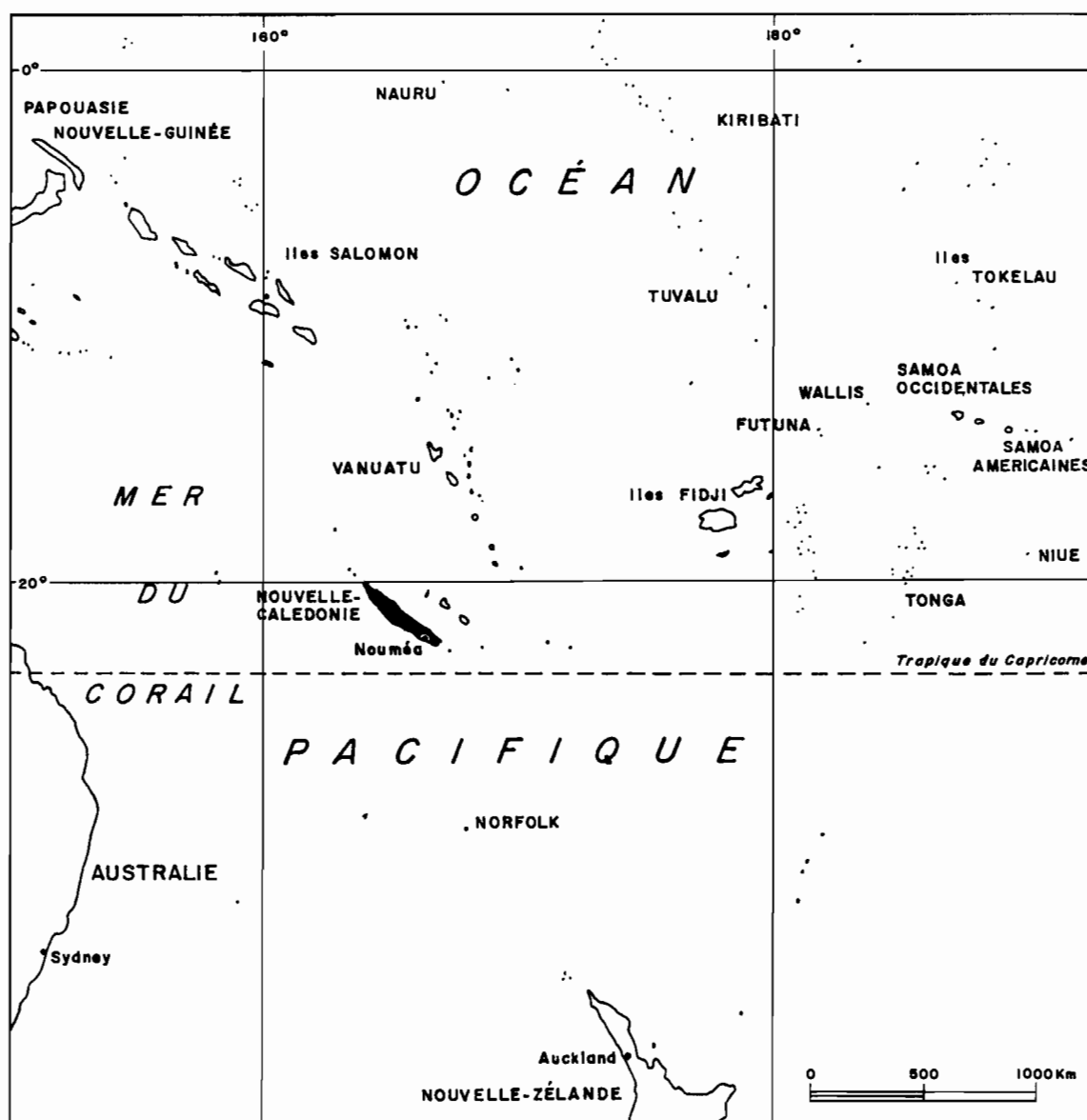
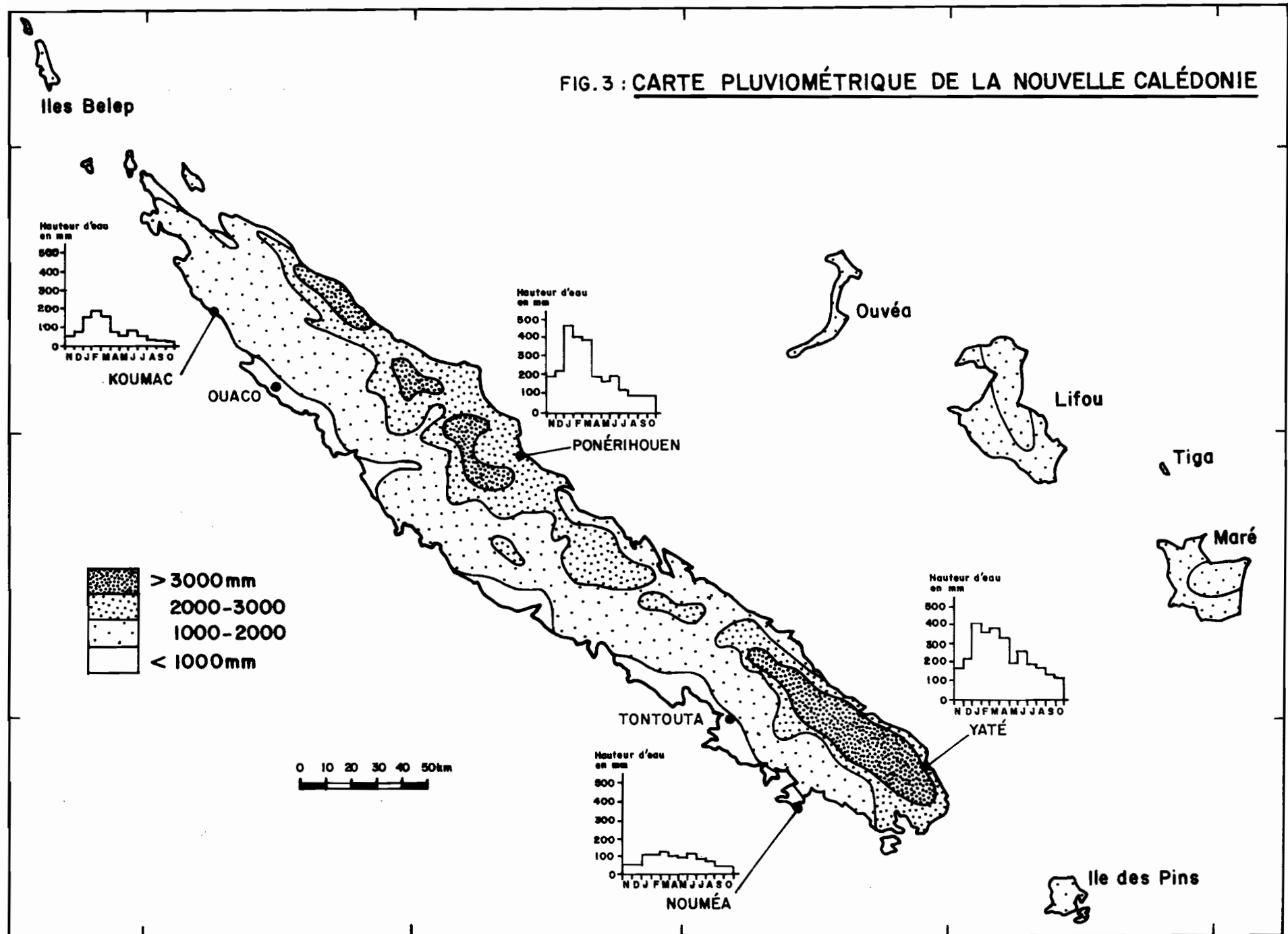


FIG. 2 : Carte de localisation de la Nouvelle Calédonie

FIG.3 : CARTE PLUVIOMÉTRIQUE DE LA NOUVELLE CALÉDONIE



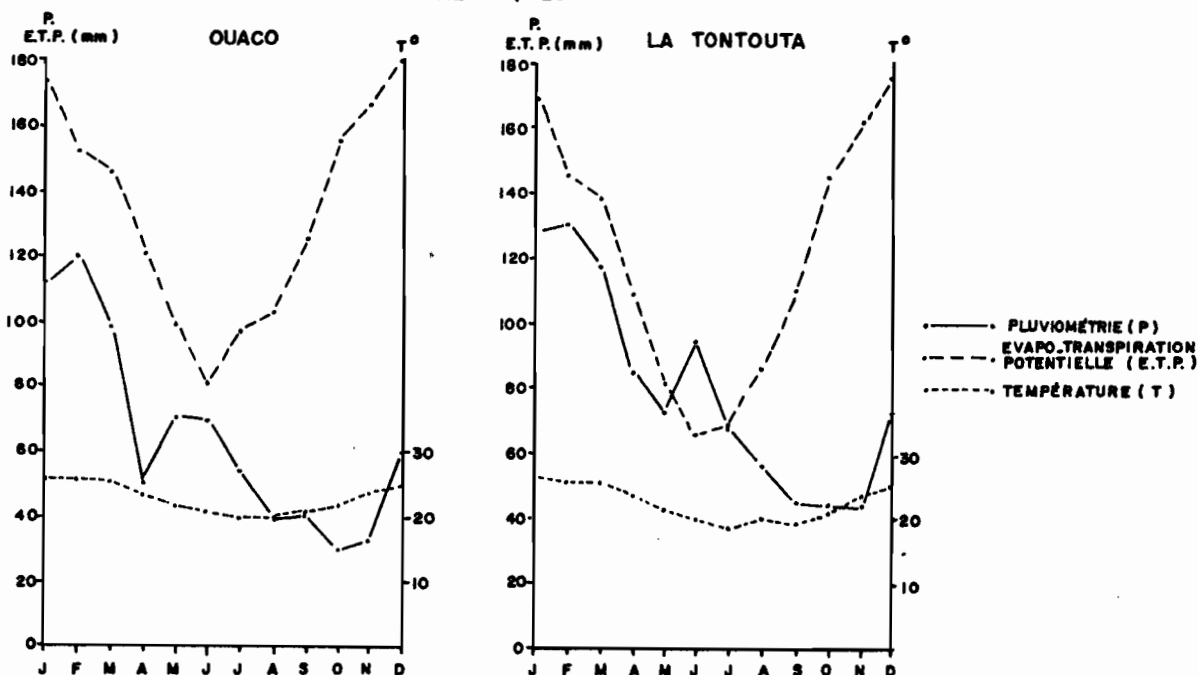
II - LE CLIMAT (cf : fig. 3)

Les vertisols occupent les plaines de la côte ouest exclusivement, dans la zone située sous le vent des alizés qui soufflent en direction du Sud Est. Dans ces zones, la pluviométrie moyenne est généralement inférieure à 1000 mm avec des extrêmes inférieurs à 800 mm comme à Ouaco.

- Les variations de la pluviométrie 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. 4).
- Le déficit hydrique est important. Seuls les mois de juillet et août (hiver austral) présentent un solde positif sur la côte ouest. Ce solde est particulièrement déficitaire de septembre à novembre.

Le climat est donc assez contrasté malgré une très grande variabilité.

FIG.4 - DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES



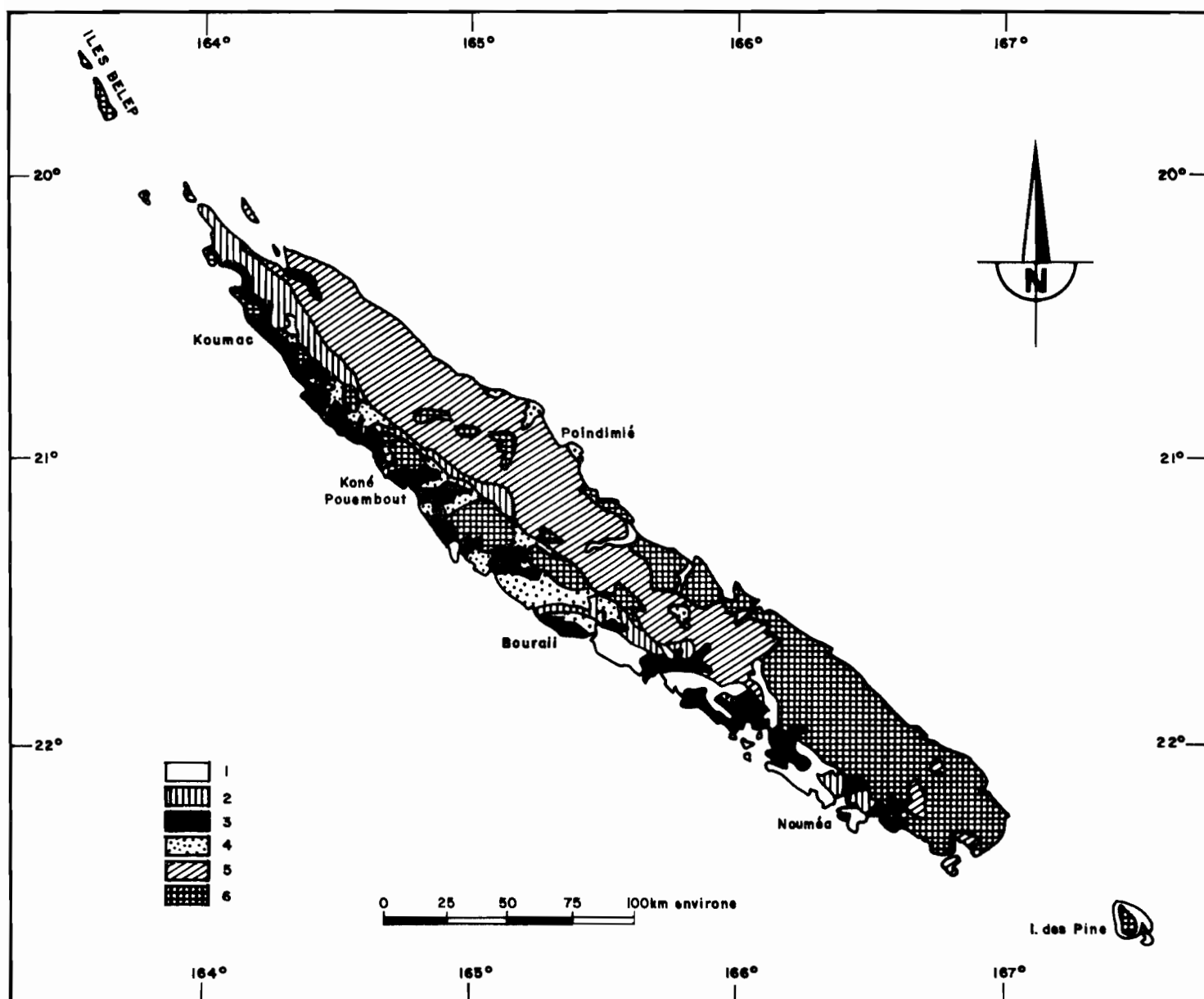


FIG.5 : ESQUISSE LITHOLOGIQUE DE LA NOUVELLE - CALÉDONIE

D'après la carte géologique à 1/200 000 de J.P. PARIS

ROCHES SEDIMENTAIRES

- 1 Formations pélitiques plus ou moins calcaires (flyschs)
- 2 Formations siliceuses et gréseuses
- 3 Alluvions anciennes et modernes

ROCHES ERUPTIVES ET METAMORPHIQUES

- 4 Formation des basaltes
- 5 Micaschistes, glaucophanites, gabbros et granodiorites
- 6 Péridotites et serpentinites

III-LA GEOLOGIE (fig. 5)

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

1. Les serpentinites (associées aux péridotites).
2. Les flyschs, pélites et calcaires.
3. La formation des basaltes (dolérite).
4. Les grauweekes et schistes volcano-sédimentaires.

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

1. Les serpentinites

Ces roches se situent à la base (semelle) des massifs de péridotites et en filons au sein de la formation des basaltes. Ce sont des roches ultrabasiques (la teneur en $\text{SiO}_2 < 50\%$).

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

Calcium et aluminium font défaut de même que le potassium et le phosphore. Les argiles qui dérivent de ces roches sont de type smectite ferrifère. L'individualisation de carbonate de magnésium est fréquente (giobertite).

2. Les flyschs, pelites et calcaires

3. La formation des basaltes

La nature des sols formés sur ces deux types de roche se distingue dans la partie amont des séquences :

- Il y a une fréquence plus importante de croûte calcaire à la base des sols bruns sur flyschs et pélites calcaires.
- Les parties aval se ressemblent.

Ces roches silicatées alumineuses engendrent des vertisols calcimagnésiques. Le rapport entre ces deux cations est en général équilibré. La proportion de calcium est plus abondante dans les sols issus de calcaires.

Les argiles dérivant de ces roches sont des montmorillonites bien cristallisées. L'individualisation d'oxydes de fer, de manganèse, de gypse et de carbonates est fréquente dans les sols situés à l'aval des séquences.

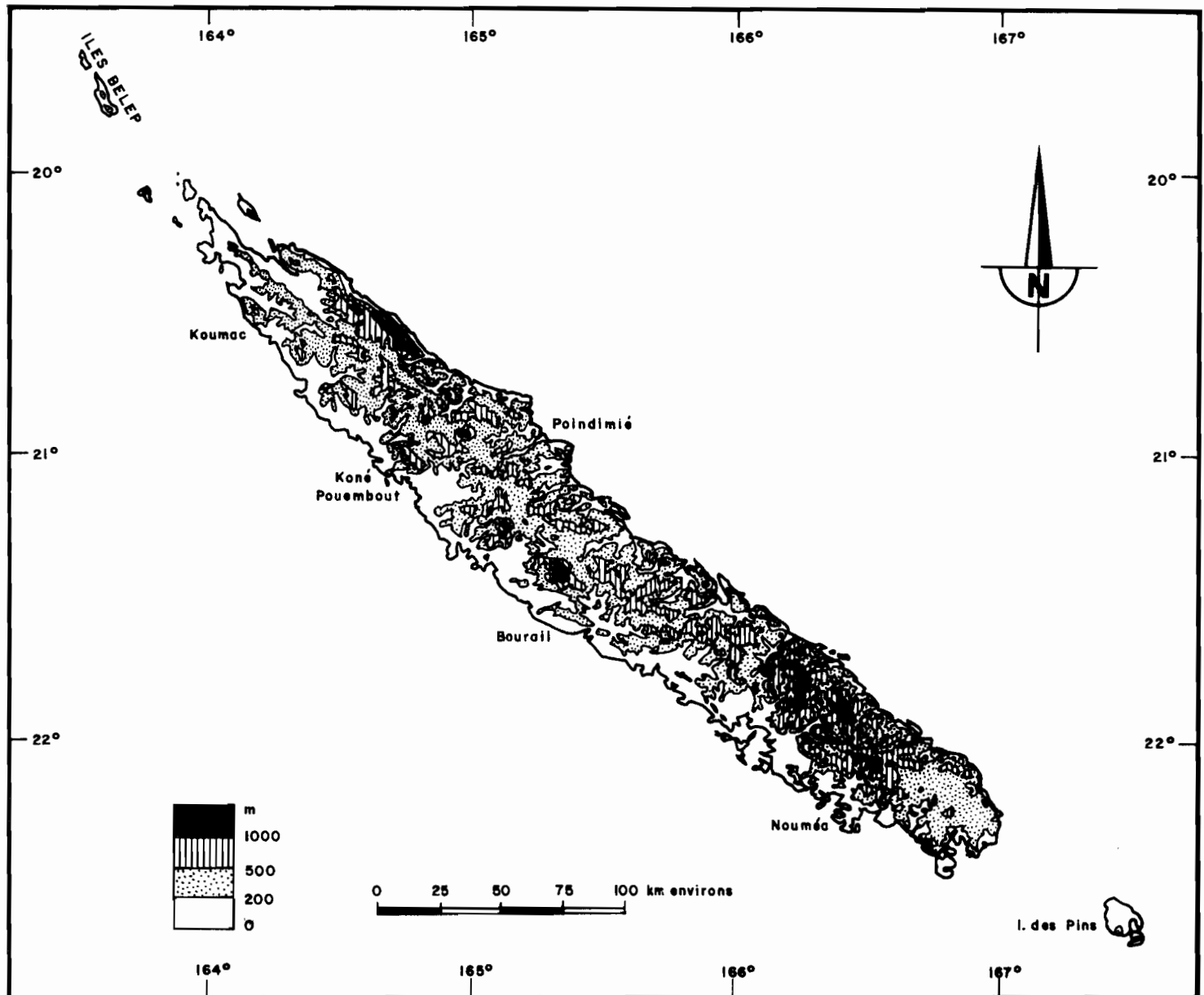


FIG.6 : CARTE HYPSONOMETRIQUE DE LA NOUVELLE - CALEDONIE

4. Les schistes volcano-sédimentaires

Ces schistes sont abondants près de la chaîne centrale, mais il existe aussi quelques affleurements dans les zones plus proches de la mer et soumises à une pluviométrie plus faible. Ces roches assez acides engendrent des vertisols plus vivement colorés et aussi à structure moins caractéristique. Lorsque l'acidité de la roche augmente, on observe corrélativement un amoindrissement des caractères vertiques. Par contre, le caractère fersiallitique acide se manifeste sur les pentes avec un lessivage des horizons de surface. On peut assister à une pédogenèse de planosols ou de solonetz solodisés dans les zones les moins bien drainées.

IV -SITUATION GEOMORPHOLOGIQUE (Cf. : fig. 6 et fig. 12 et 13p.)

Les vertisols se situent toujours dans les zones basses du paysage.

- SOIT DANS LES PARTIES AVAL DES SEQUENCES SUR ROCHE MERE EN PLACE OU COLLUVIONNEE - le drainage externe est faible.
- SOIT DANS LES TERRASSES ALLUVIALES INACTUELLES - le drainage externe est très faible à nul.

En Nouvelle Calédonie, les vertisols se situent dans les plaines à une altitude inférieure à 100 m, particulièrement étendues dans l'Ouest du Territoire.

V - LA VEGETATION

Elle est étroitement dépendante de la nature chimique des vertisols.

Elle est composée généralement d'une savane arbustive ou herbacée.

- Sur les vertisols calcimagnésiques : 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 gâïacs (Acacia spirorbis), auquel est associé le bois de fer - phyllaos (Casuarina collina).
- Sur les vertisols sodiques et hydromorphes : 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 (calcium ou magnésium).

DEUXIEME PARTIE : LES SOLS

I -CARACTERISATION DES PRINCIPAUX TYPES DE VERTISOLS

La distinction entre les principaux types de vertisols s'effectue en fonction de leurs caractéristiques chimiques. Celles-ci affectent également la morphologie des sols.

La NATURE de la ROCHE MERE est DETERMINANTE.

Trois POLES se dégagent. Tous les vertisols peuvent se déterminer en fonction de ces trois pôles où tous les intergrades sont possibles.

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

CAS A :

LES VERTISOLS CALCIMAGNESIQUES se forment à partir de calcaire, de flysch ou de basalte. Ils couvrent une superficie de plus de 55 000 ha.

CAS B :

LES VERTISOLS HYPERMAGNESIENS se forment à partir de serpentine ou de colluvions de serpentine, associés à des colluvions de péridotites. Ils occupent 35 000 ha environ.

CAS C :

LES VERTISOLS ACIDES, SODIQUES, magnésiens et lessivés se forment à partir de pélites siliceuses et de grauweekes. Leur étendue est inférieure à 10 000 ha.

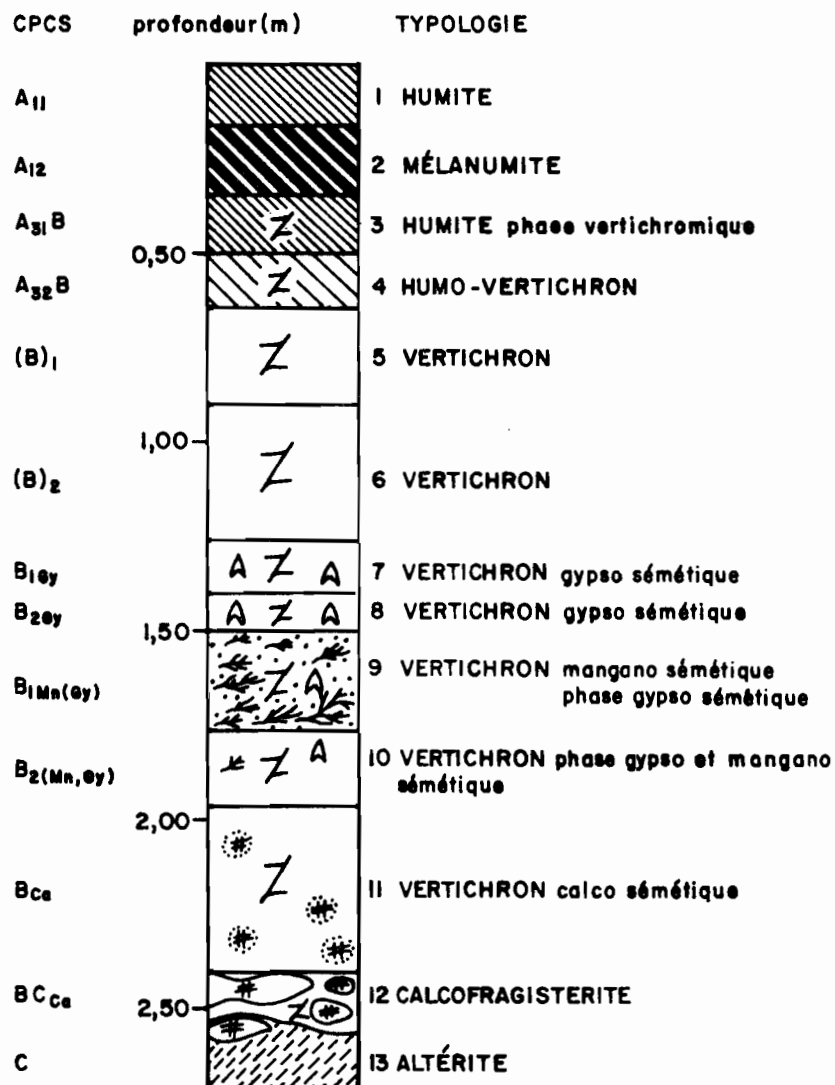


FIG.7 : PROFIL MER 63

1 - Caractères communs

Dénomination de l'horizon : horizon de surface humifère A₁

HEMITR

anguclode centi à méso

couleur² : 10 YR 3/1 gris très foncé - vertisol calcimagnésique

10 YR 2/1
2.5 Y 2/0] noir - vertisol hypermagnésien.

Dénomination de l'horizon : horizon humifère sous l'horizon de surface : A₁₂ FINITE

HUMILI

anguclode méso à macro

couleur¹ : 10 YR 3/1 gris très foncé - vertisol calcimagnésique

10 YR 2/1
2.5 Y 2/0] noir - vertisol hypermagnésien

Dénomination de l'horizon : horizon humifère avec traces de Turn-over: A₃(B) HUMITE vertique
mélange avec horizon moins humifère

HEMITE verticale

angucloide, prismocloide macro.

couleur² : 10 YR 3/2 , brun gris très foncé -

à 2,5 Y 3/2 traces de mélange, teintes entremêlées.

Volume des vides (fentes) : disparition des fentes verticales entre 40 et 50 cm relaiés par des fentes obliques.

60 - 90 cm HORIZON 4

Dénomination de l'horizon : horizon de transition
argileux humique et vertique

HUMOVERTICHRON
ou **VERTIMITE**

structure : 2 structures juxtaposées

1°- polyédrique anguleuse à prismatique, grossière

2°- structure en fentes en coins

faces luisantes striées ou non de taille variable

- anguclide à pauciclude macro

- sphénoclude

pauciclude lucique centi, méso, macro

texture : très argileux

début de plasticité de l'ensemble

couleur* : 7,5 YR 3/4 à 4/4 brun foncé

- vertisol sodique

10 YR 3/3 à 4/4 brun à brun-jaune foncé

- vertisol calcimagnésique

2,5 Y 4/2 à 4/4 brun gris à brun olive

- vertisol hypermagnésien

Toutes ces teintes sont entremêlées de teintes plus sombres issues de l'horizon 3

Volume des vides (fentes) : fentes obliques, peu écartées

90 cm et plus : HORIZON 5

Dénomination de l'horizon : horizon vertique, minéral : (B)

VERTICHRON

structure : exclusivement fentes en coin

faces luisantes, striées, centimétriques à métriques

sphénoclude

pauciclude lucique centi à mega

texture : très argileux

plastique, collant

couleur* : 2,5Y 4/4,5/4,5/6 brun olive

- vertisol hypermagnésien

10 YR 4/4,5/4,5/6 brun jaune

- vertisol calcimagnésique

7,5 YR 4/4,4/6 brun

- vertisol sodique ou dérivant de calcaire

volume des vides (fentes) : fentes obliques très peu écartées

* La couleur est variable, ce sont les grandes tendances qui sont invoquées dans le texte.

2 - Caractères distinctifs

21 - 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 COMPLEMENTAIRES :

211. A partir de leur nature chimique :

Il existe quatre natures chimiques différentes :

- 1 - Les carbonates de calcium (calcaire, calcite) - caractéristiques des horizons
 B_{Ca} -> Vertisol calcimagnésique - CAS A (très rarement cas C)
- 2 - Les carbonates de magnésium (giobertite) - caractéristiques des horizons
 B_{Mg} -> Vertisol hypermagnésien - CAS B
- 3 - Les sulfates de calcium (gypse) - caractéristiques des horizons
 B_{Gv} -> Vertisol calcimagnésique - CAS A
- 4 - Les oxydes de manganèse caractéristiques des horizons
 A_{Mn} - fréquent parmi les vertisols acides, sodiques et lessivés - Cas C
 B_{Mn} - pouvant être présent dans tous les types de vertisols, mais serait plus abondant dans les vertisols topomorphes des plaines alluviales des cas A et B (Cf : chapitre sur la distribution des sols).

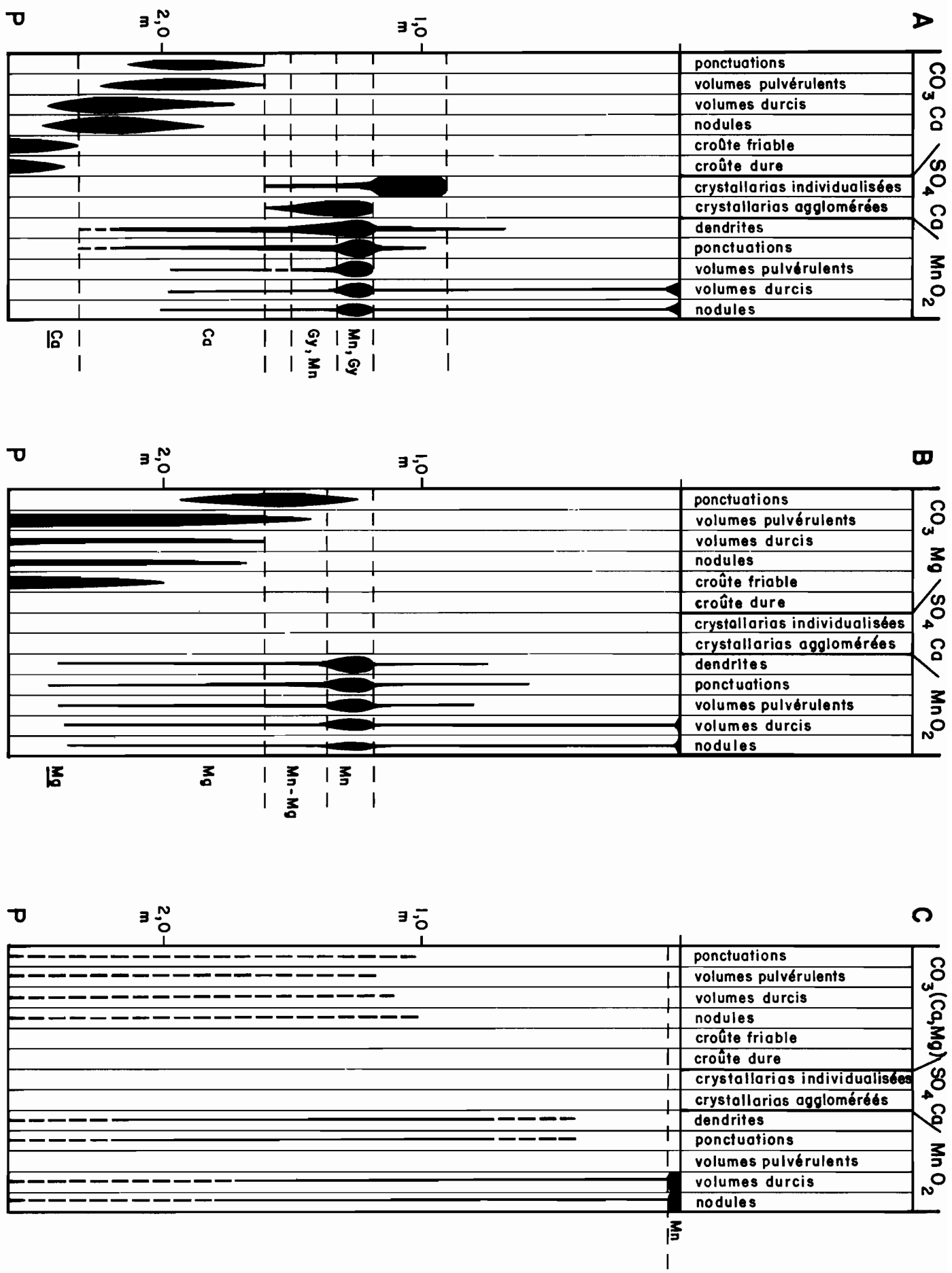


FIG. 8 : Distribution des éléments figurés pour les trois grands types de vertisols

212. A partir de leur morphologie (Typologie Chatelain-Beaudou)

Eléments figurés libres :

SEMETON - efflorescence	: $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$
dendrite	: MnO_2
punctuation	: MnO_2 , CaCO_3 , MgCO_3
volume pulvérulent	: MnO_2 , CaCO_3 , MgCO_3
volume durci	: MnO_2 , CaCO_3 , MgCO_3
crystallaria	: $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$

Eléments libres indurés :

LAPIDON - nodules, concrétions MnO_2 , CaCO_3 , MgCO_3

Elément continu :

STERITE - fragistérite : croûte friable CaCO_3 , MgCO_3
 pétrostérite : croûte indurée CaCO_3 ,
 (MgCO_3) rare.

22 - Caractères morphologiques pouvant distinguer les trois pôles
(Fig. 8)

221-Vertisol de type A :

- Les horizons de surface ne rencontrent qu'une très faible concentration en nodules (ou volumes durcis) de manganèse.
- Les horizons d'accumulation débutent en général dans l'horizon vertique -VERTICHRON- à partir de 1,00 m de profondeur environ. On observe en premier lieu une accumulation fréquente et brutale de cristaux de gypse (Ba_v) pouvant atteindre plus de 25% en poids de sol sec. Les cristaux sont lenticulaires de 0,5 à 2 cm de long et davantage (Cf P. PODWOJEWSKI 1984, Etude des sols à gypse).

Dans cet horizon d'accumulation de gypse ou en dessous de celui-ci, on observe dans les zones planes des accumulations brutales d'oxyde de manganèse (B_{mn}) colorant le sol en noir. Ce manganèse est abondant sous forme de dendrites et de cutanes recouvrant les pores, ainsi que sous forme de volumes pulvérulents et de nodules. En valeur absolue, il ne dépasse jamais 15% en pourcentage total pondéral. Cet élément traduit sans doute le toit d'une ancienne nappe aquifère. Les cristaux de gypse situés dans l'horizon à accumulation de manganèse et sous celui-ci 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 conservent néanmoins leur présence à l'état de stigne (1 à 5% du volume).

Les concentrations en carbonate de calcium apparaissent lorsque le gypse a disparu complètement.

Elles se manifestent successivement sous la forme de :

volumes pulvérulents, ponctuations, volumes durcis, nodules, croûte discontinue puis continue indurée (SEMETON, SEMETON + LAPIDON, FRAGISTERITE, PETROSTERITE).

Ces concentrations successives et différentes de carbonates s'effectuent sous la forme de relais où la teneur en carbonates devient de plus en plus forte. La croûte continue, indurée (PETROSTERITE) sert généralement de lien entre l'altérite et les horizons vertiques.

222-Vertisol de type B

Il se rapproche du type A 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 (SEMETON à FRAGISTERITE).

Il se distingue du type A 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. La magnésite est rarement présente en croûte indurée (PETROSTERITE).

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

Il est par ailleurs difficile de différencier les vertisols de type A et B par leur structuration, leur aspect, leur couleur ou d'autres traits morphologiques.

Le vertisol hypermagnésien de type B serait plus noir en surface (MELANUMITE) et les horizons vertiques (VERTICHRON) de couleur plus olivâtre (2,5 Y à 5 Y), mais il ne s'agit là que d'une tendance générale.

223-Vertisol de type C.

- Le vertisol de type C se distingue des deux autres types par la nature de l'horizon de surface (HUMITE, A₁). Celui-ci est plus gris, moins argileux et concentre d'abondantes quantités de concrétions de manganèse sous forme de "plombs de chasse" - LAPIDON manganique. Cet horizon annonce un lessivage (qui devient très poussé chez les planosols et solonetz solodisés).
- Les horizons vertiques ont une structure sphénoclode moins marquée. La cohésion d'ensemble est très forte.
- La couleur est en général plus vive (7,5 YR à 5 YR).
- Il n'y a pas de concentrations de sulfates.
- Les accumulations de carbonates sont rares et lorsqu'elles existent sont de nature 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.

23 - Autres types de VERTISOLS

Certains vertisols peuvent posséder des caractères morphologiques particuliers liés à leur état hydrique sans appartenance préférencielle à l'un des 3 pôles décrits précédemment. Il s'agit en particulier des VERTISOLS HYDROMORPHES. Ils sont très peu fréquents.

- 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 (REDUCTION) 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.

La distinction macromorphologique est apparente, mais est très ténue à l'observation micromorphologique.

- Dans les VERTISOLS de l'îlot LEPREDOUR (cf : 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). Cette décoloration est due peut-être à une migration des oxydes de fer.

Ce phénomène a été enregistré par les cristaux de gypse dont les inclusions sont rouge vif au cœur et jaunes à la périphérie.

- 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.

III-LES CARACTERES ANALYTIQUES DES PRINCIPAUX TYPES DE VERTISOLS Cf : Tab I, II et III

1 - Minéralogie

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

Les vertisols hypermagnésiens (type B) montrent par ailleurs des pics plus nets et mieux marqués (lame chauffée, orientée ou glycérolée).

Les vertisols de type C sont constitués de montmorillonite avec des interstratifiés illite/montmorillonite.

2 - Les caractéristiques physiques

21 - La structuration a déjà été évoquée dans les caractères distinctifs morphologiques.

22 - La texture (Fig. 9A)

- Tous les horizons caractéristiques à structure verticale 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 (enrichis en limons). Dans le vertisol sodique lessivé (type C), l'appauvrissement en argile (ou le lessivage) en surface est très net, sans pour autant se redistribuer en profondeur sous forme d'argillanes dans un horizon d'accumulation (de type BT).

23 - Les taux d'humidité (pF)

Les teneurs en eau étant fortement liées aux teneurs en argile, les valeurs augmentent avec la profondeur.

pF 2,5 varie de 45 à 60%

pF 3,0 varie de 35 à 45%

pF 4,2 varie de 23 à 30%

Ces valeurs ne sont bien sûr pas valables pour les horizons argilo-limono-sableux constituant les horizons humifères des vertisols sodiques lessivés (type C). Elles sont dans ce cas bien plus faibles.

D'après les travaux de B. DENIS (site des essais d'irrigation de POUEMBOUT, 1980) le pF à la capacité au champ est voisin de pF3 pour les horizons vertiques. La réserve en eau utile comprise entre pF 3 et pF 4,2 varie entre 10 et 15% .

TABLEAU I VERTISOL CACIMAGNESIQUE A GYPSE ET CARBONATES EN AVAL DE SEQUENCE SUR BASALTE (région de La Tontouta)

NUMERO DE L'HORIZON	MER 63 1	MER 63 2	MER 63 3	MER 63 4	MER 63 5	MER 63 6
DIAGNOSE MAJEURE	HUMITE	MELANUMITE	HUMITE vertique	HUMO- VERTICHRON	VERTICHRON	VERTICHRON
PROFONDEUR en cm.	0-20	20-40	40-55	55-70	70-95	95-125
GRANULOMETRIE %						
argile	46.5	49.6	47.6	61.2	65.8	66.5
limon fin	21.8	20.9	19.5	16.7	14.8	15.7
limon grossier	11.0	11.1	9.7	7.0	6.7	7.1
sable fin	10.4	11.6	11.4	6.9	6.4	6.2
sable grossier	5.6	3.4	11.0	6.7	5.0	4.7
EAU DU SOL						
pF 2,5	41.0	37.3	42.7	50.5	55.3	53.8
pF 4,2	23.9	27.7	23.3	24.5	27.3	26.4
MATIERE ORGANIQUE						
C %.	30.4	19.1	8.4	4.5	2.4	
N %.	1.84	1.20	0.73	0.45	0.32	
C/N	16.5	15.9	11.5	10.0	7.7	
M.O. %	5.2	3.3	1.4	0.8	0.4	
pH H ₂ O	5.9	6.2	6.2	5.6	5.4	5.3
pH KCl	4.8	5.1	5.1	4.5	4.2	4.1
COMPLEXE D'ECHANGE me% (méthode Tucker : NH ₄ Cl à pH 7)						
Ca ⁺⁺	12.0	13.1	11.6	12.3	13.0	13.1
Mg ⁺⁺	14.7	16.9	16.3	21.1	23.5	24.5
K ⁺	0.84	0.26	0.11	0.06	0.08	0.10
Na ⁺	0.65	3.61	4.06	6.74	8.37	8.80
S Somme des bases	28.19	33.87	32.07	40.20	44.95	46.50
T Capacité d'échange	36.2	38.0	34.4	39.0	42.1	46.5
V (S/T) Taux de saturation	77.9	89.1	93.2	SAT.	SAT.	SAT.
Phosphore total P ₂ O ₅ %.	0.48	0.22	0.13	0.07	0.04	
ELEMENTS TOTAUX %						
Perte au feu	10.44	9.38	7.72	6.71	6.67	6.64
Résidu	38.96	38.64	41.30	36.26	34.28	34.14
SiO ₂	32.68	32.26	29.60	34.54	35.90	35.98
Al ₂ O ₃	6.31	9.45	9.07	10.39	10.58	11.52
Fe ₂ O ₃	6.35	6.86	7.35	8.44	8.78	8.92
MnO ₂	0.58	0.76	1.24	0.10	0.05	0.04
TiO ₂	0.87	0.91	0.84	1.04	1.04	0.99
CaO	0.48	0.52	0.39	0.38	0.39	0.42
MgO	0.76	0.87	0.84	1.06	1.11	1.18
K ₂ O	0.08	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06
Na ₂ O	0.08	0.12	0.16	0.24	0.39	0.39
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	8.8	5.8	5.5	5.6	5.7	5.2
Mg/ Ca	1.22	1.29	1.40	1.71	1.81	1.87
Na/ T %	1.8	9.4	11.8	17.2	19.9	20.3

NUMERO DE L'HORIZON	MER 63 7	MER 63 8	MER 63 9	MER 63 10	MER 63 11	MER 63 12
DIAGNOSE MAJEURE	VERTI- CHRON gypse	VERTI- CHRON gypse	VERTI- CHRON MnO ₂ +gypse	VERTI- CHRON gypse+MnO ₂	VERTI- CHRON carbonaté	CALCOFRAGI- STERITE
PROFONDEUR en cm.	125-140	140-150	150-175	175-195	195-240	240-255
GRANULOMETRIE %						
argile	70.9	69.8	65.8	71.6	64.4	46.6
limon fin	12.1	14.6	20.1	15.5	11.8	13.1
limon grossier	7.6	7.0	7.4	6.0	5.7	6.6
sable fin	4.9	4.5	4.9	4.3	5.9	11.0
sable grossier	5.8	3.1	3.5	3.9	10.5	21.0
EAU DU SOL						
pF 2,5	46.2	44.9	42.4	45.7	44.0	33.3
pF 4,2	26.3	27.2	25.7	28.4	28.2	19.8
pH H ₂ O	5.8	6.0	6.6	7.3	8.2	8.4
pH KCl	4.8	5.2	5.7	6.1	7.1	7.3
COMPLEXE D'ECHANGE mé%						
Ca ⁺⁺	20.1	18.0	18.3	16.6	21.4	20.8
Mg ⁺⁺	24.3	24.9	27.3	29.2	28.6	23.7
K ⁺	0.14	0.13	0.17	0.14	0.12	0.13
Na ⁺	7.88	8.14	9.12	9.60	8.83	8.06
S Somme des bases	52.42	51.17	54.89	55.54	58.95	52.69
T Capacité d'échange	41.6	42.0	46.1	48.1	46.2	40.0
V (S/T) Taux de saturation	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.	SAT.
SELS SOLUBLES (Extrait au 1/2) mé%						
Ca ⁺⁺	6.31	6.45	5.87	1.05	0.73	0.40
Mg ⁺⁺	5.79	5.83	5.75	1.82	1.25	0.68
K ⁺	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
Na ⁺	5.40	4.86	5.62	4.78	4.36	3.50
CL ⁻	3.67	3.95	3.74	3.99	3.81	2.68
SO ₄ ⁻⁻	13.83	14.41	14.25	3.17	2.19	1.66
CO ₃ H ⁻	0.01	0.02	0.02	0.03	0.21	0.24
ELEMENTS TOTAUX %						
Perte au feu	7.84	7.99	7.49	7.01	8.43	12.09
Résidu	28.40	30.34	31.34	29.98	29.14	26.14
SiO ₂	34.00	32.80	33.06	36.80	35.42	30.34
Al ₂ O ₃	11.15	11.33	10.77	11.52	10.58	9.07
Fe ₂ O ₃	7.58	7.72	8.01	9.07	8.72	8.07
MnO ₂	0.04	0.29	1.84	0.24	0.22	0.18
TiO ₂	0.86	0.82	0.82	0.99	0.98	1.03
CaO	4.20	2.00	1.92	0.67	2.94	8.25
MgO	1.22	1.39	1.63	2.02	2.58	3.64
K ₂ O	0.11	0.15	0.20	0.19	0.15	0.15
Na ₂ O	0.32	0.38	0.40	0.43	0.45	0.49
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.2	4.9	5.2	5.4	5.7	5.7
Mg/ Ca	1.2	1.4	1.5	1.7	1.3	1.1
Na/ T %	18.9	19.4	19.8	19.9	19.1	20.1

TABLEAU II VERTISOL HYPERMAGNESIEN SUR COLLUVIONS DE SERPENTINE ET PERIDOTITE (La Tontouta)

NUMERO DE L'HORIZON	TNT 85 1	TNT 85 2	TNT 85 3	TNT 85 4
DIAGNOSE MAJEURE	HUMITE	HUMO- VERTICHRON	VERTICHRON	VERTICHRON giobertite
PROFONDEUR en cm.	0-40	40-60	60-120	120-160

GRANULOMETRIE %				
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

EAU DU SOL				
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 ₂ O	6.2	7.6	8.4	8.3
pH KCl	5.0	6.2	6.8	7.0

COMPLEXE D'ECHANGE me%				
Ca ⁺⁺	1.80	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 ₂ O ₅ %.	NON DOSABLE PAR COLORIMETRIE (interférences dues à un excès de chrome)			

ELEMENTS TOTAUX %				
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 ₂ O ₃	2.87	2.65	1.97	2.23
Fe ₂ O 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 ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	0.04	0.06	0.07	0.08
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	17	24.5	34.2	26.2
CrO ₂	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
DIAGNOSE MAJEURE	HUMITE	HUMITE	HUMO- VERTICHRON	VERTICHRON	ENTAFERON alluvial
PROFONDEUR en cm.	0-12	12-35	35-60	60-95	95-135
GRANULOMETRIE %					
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
EAU DU SOL					
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 %.	23.37	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 ₂ O	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 me%					
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 ₂ O ₅ %.	0.43	0.42	0.15		
ELEMENTS TOTAUX %					
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 ₂ O ₃	3.6	9.1	11.7	9.8	6.8
Fe ₂ O 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 ₂ O	0.13	0.20	0.30	0.36	0.42
Na ₂ O	0.10	0.16	0.29	0.34	0.27
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	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

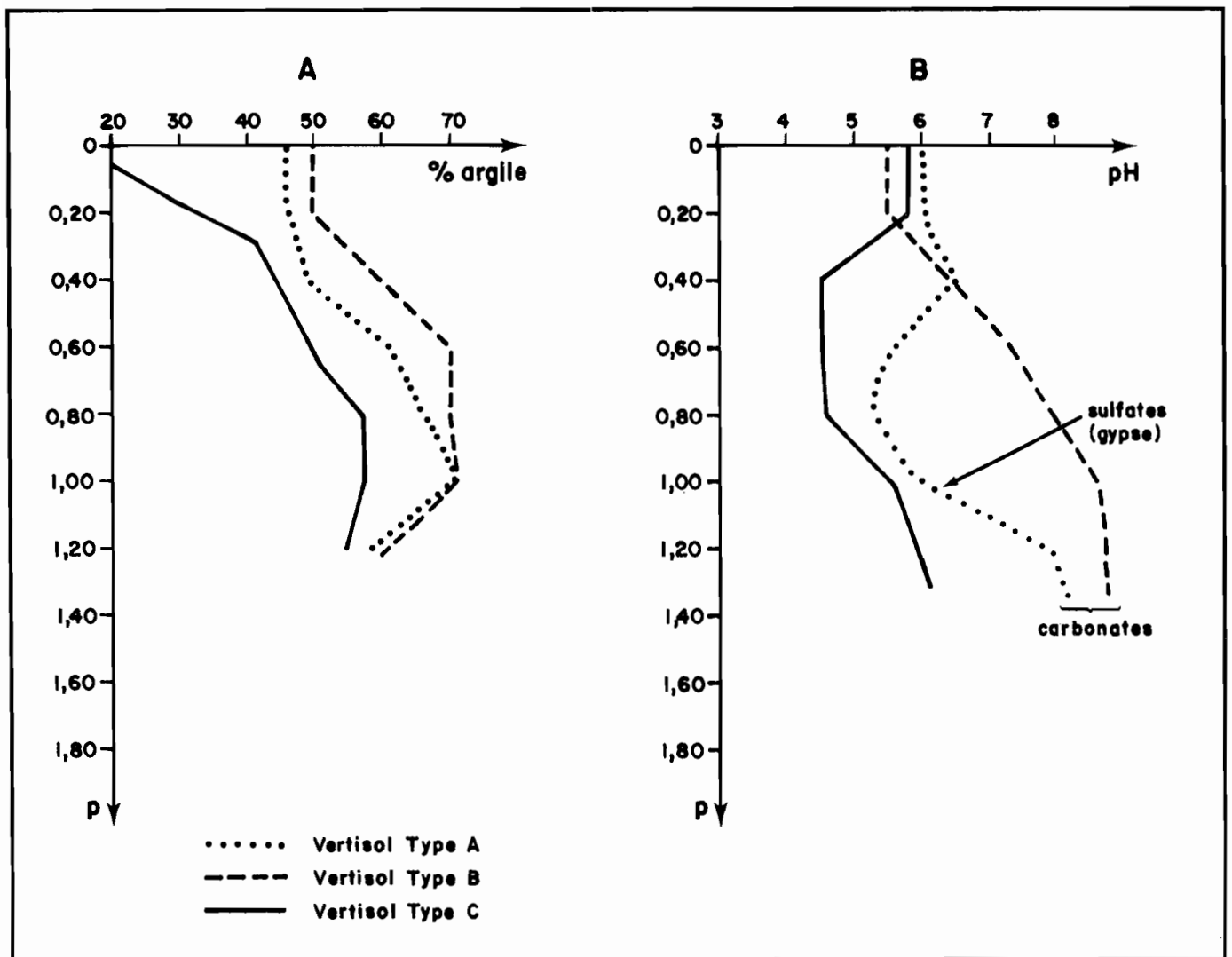


FIG. 9 : Valeur moyenne du taux d'argile et du pH pour les trois grands types de vertisols

3 - Les caractéristiques chimiques

31- Le pH (cf Fig. 9B)

Les variations du pH au sein des différents types de vertisols est caractéristique : le pH de tous les horizons humifère varie entre 5,5 et 6,0.

Par contre, en profondeur, des distinctions importantes se manifestent :

- Les vertisols calcimagnésiques (type A) sont fortement influencés par la nature des accumulations salines :
Les sulfates (gypse) vont abaisser le pH à 5,5 et en dessous.
Les carbonates vont augmenter le pH
Le pH atteindra et dépassera 7,0 en présence d'éléments figurés carbonatés. Il atteindra et dépassera 8,0 lors de la présence de croûte calcaire.
- Les vertisols hypermagnésiens (type B)

Les horizons étant dépourvus de sulfates, mais s'enrichissant en carbonates de magnésium en profondeur, le pH augmente régulièrement pour atteindre et dépasser 8,0 dans les horizons à accumulation continue de magnésite (giobertite).
- Les vertisols sodiques acides (lessivés et magnésiens (type C))
Comme leur définition l'indique, leur pH est acide, <6,0. Certains horizons vertiques peuvent avoir un pH <5,0 (avec des traces d'aluminium échangeable).
Bien sûr, le pH montera rapidement en présence, même très diffuse, d'accumulations carbonatées.

32 - Les bases échangeables La capacité d'échange

(Cf. : Fig. 10 teneur relative en Ca^{++} , Mg^{++} et Na^+ échangeables des 3 principaux types de vertisols).

LES BASES ECHANGEABLES SONT A LA BASE DE LA DIFFERENCIATION DES TROIS GRANDS POLES CONSTITUANT LES VERTISOLS.

321. Les vertisols calcimagnésiques (de type A)

- La capacité d'échange est assez élevée (40 mé%)
- Ils sont saturés en bases dans les horizons vertiques.
- Le rapport Mg/Ca est voisin de 1. Ce rapport dépasse très rarement 2. Mg^{++} demeure cependant souvent le cation dominant même en présence de gypse.
- Les horizons inférieurs s'enrichissent relativement en Na^+ .

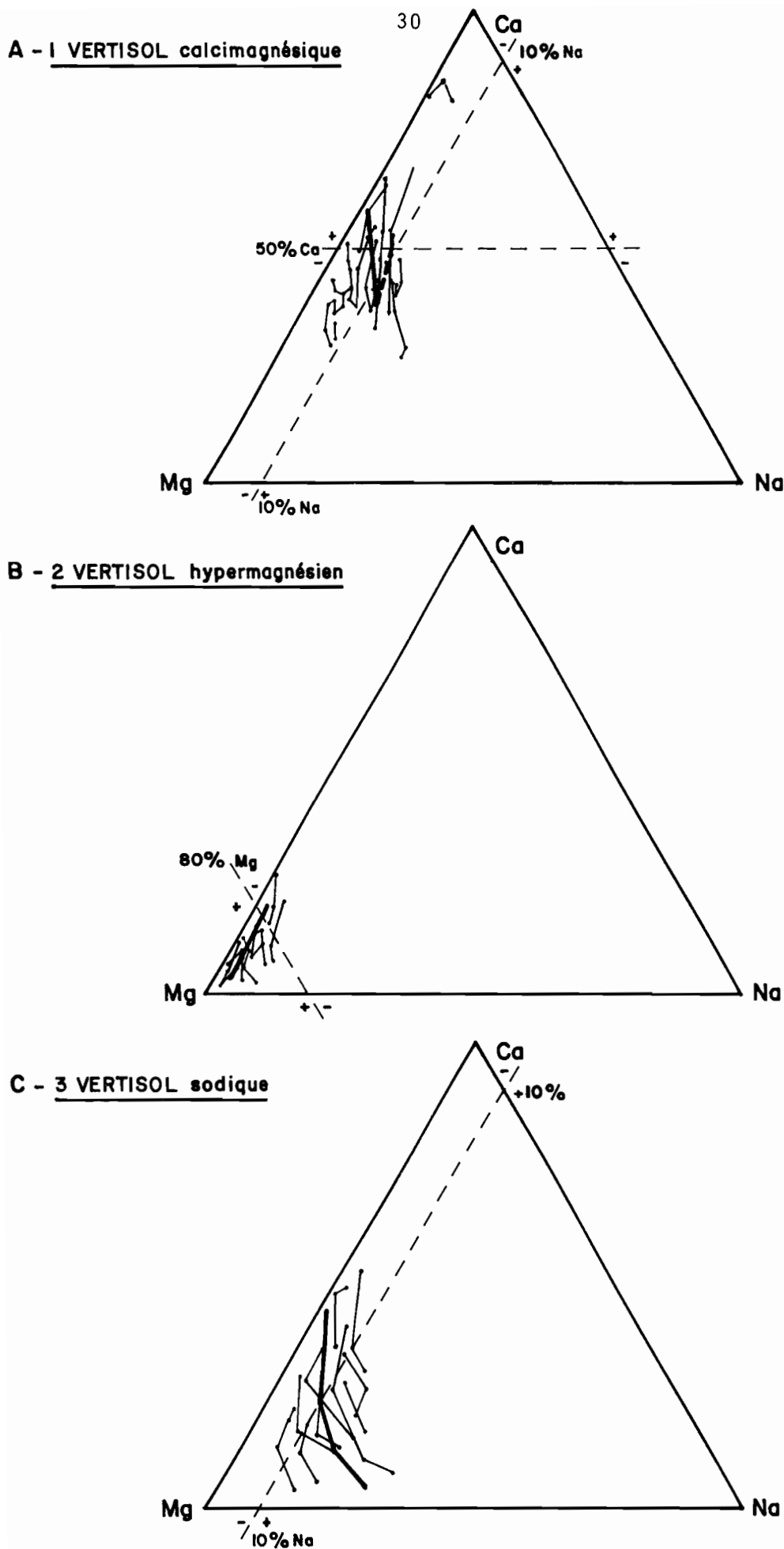


FIG. 10 : Teneur relative en Ca^{++} , Mg^{++} , et Na^+ échangeable des trois grands types de vertisols

322. Les vertisols hypermagnésiens (de type B)

- La capacité d'échange est élevée, souvent supérieure aux vertisols calcimagnésiques (50 à 60 mé%)
Ce fait serait dû à une plus grande proportion d'argile dans les horizons vertiques et probablement à une meilleure cristallisation des smectites.
- 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 s'enrichissent également en Na^+ .

323. Les vertisols sodiques, lessivés, acides et magnésiens (de type C)

Dans ces profils, 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, elle croît en profondeur en même temps que le taux d'argile pour atteindre 30 à 35 mé% .
- Le taux de saturation des horizons vertiques est généralement plus faible que dans les vertisols proches des pôles A et B et avoisine 80 à 90% .
- Le sodium échangeable atteint rapidement dans les horizons argileux un taux supérieur à 10%, proche de 15%

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.

324. Conclusions

1°) l'ion magnésium est dominant dans les horizons vertiques, souvent même dans les vertisols calcimagnésiques à accumulations de sels de calcium (gypse, calcaire) dans les sols dérivant de basalte et de flyschs*.

2°) Les taux de calcium échangeable sont proportionnellement bien plus élevés dans les horizons de surface humifères que dans les horizons vertiques.

Deux raisons peuvent être invoquées :

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

b) 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°) Les teneurs en sodium échangeable augmentent rapidement en profondeur dans les horizons vertiques. Ils sont lixiviés de la frange humifère du sol.

L'origine d'une partie du sodium serait peut-être liée aux embruns (les alizés soufflent régulièrement).

4°) Le taux de potassium échangeable est très faible. Même dans les horizons humifères, il n'excède que très rarement 1,0 mé%. Malgré cela, les plantes ne marquent aucune carence en potassium, signe de la facile assimilabilité de ce cation.

* Dans les sols dérivant de calcaires (île LEPREDOUR), le calcium est dans ce cas largement dominant pour se concentrer dans les horizons argileux moins drainants.

33 - La matière organique

- Cette matière organique est présente en faibles quantités. 5% dans l'horizon humifère de surface pour tomber rapidement à 2 et 1% dans les horizons humifères profonds.
- La couleur noire n'est donc pas une indication quant à la teneur en matière organique, mais reflète plutôt une qualité de matière organique (cf : M. BONNEAU, B. SOUCHIER, 1979).
- A ce propos aucune étude spécifique sur la matière organique dans les sols calédoniens n'a été menée jusqu'à présent.

Les taux d'azote demeurent également faibles et les rapports C/N des horizons de surface sont souvent supérieurs à 13. B. DENIS (essais de fertilité) et C. THOMANN (étude sur le fractionnement de l'azote) montrent qu'un apport en fertilisants azotés est nécessaire pour entreprendre des cultures sur vertisols.

34 - 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 (ou assimilable) sont très faibles.

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 donc 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 végétatifs des plantes croissant sur les vertisols hypermagnésiens sont également très faibles (T. JAFFRE, 1980).

- Les analyses totales montrent :

Un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ toujours supérieur à 4.

Ce rapport peut être bien plus élevé dans les smectites ferrifères et magnésiennes issues des serpentines et péridotites (vertisol de type B) 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 alcalins et alcalino-terreux, le magnésium est l'élément 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 est à 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.

IV - ORGANISATION DES DIFFERENTS TYPES DE VERTISOLS

1 - Distribution des sols (Fig. 11)

Les vertisols se situent dans deux ensembles morphopédologiques distincts :

11. A l'aval de séquences sur roches de type basique (Cf : Fig. 12)

Les sols apparaissent dans l'ordre suivant :

sol peu évolué d'érosion → sol brun vertique → vertisol

Le passage d'une classe de sol à une autre est progressive. Elle se dessine au niveau du paysage à l'endroit où la pente s'adoucit et le drainage externe se ralentit.

Au niveau de la morphologie du sol, on assiste à un approfondissement très rapide ; la structure anguclode à prismoclode centi à meso (polyédrique à prismatique moyenne) évolue en structure anguclode ou prismoclode juxtaposée à une structure sphénoclode (fentes en coins), puis à une structure exclusivement sphénoclode (à partir de 80 cm de profondeur) dans les sols vertiques.

Ces vertisols pourraient être assimilés à des vertisols lithomorphes.

12. Au niveau des terrasses alluviales moyennes (de type Fy) des principaux cours d'eau de la côte ouest de la Nouvelle Calédonie (Cf. : Fig 13).

- Cette terrasse moyenne est souvent la terrasse la plus élevée car la présence de la terrasse ancienne (Fx) est très aléatoire.

- La terrasse moyenne se différencie nettement de la terrasse récente par une dénivelée brutale pouvant atteindre 3 à 4 mètres (communication orale de J. ILTIS). Les alluvions inactuelles 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 - Entaféron arenique à rudique) ou directement sur la roche-mère.

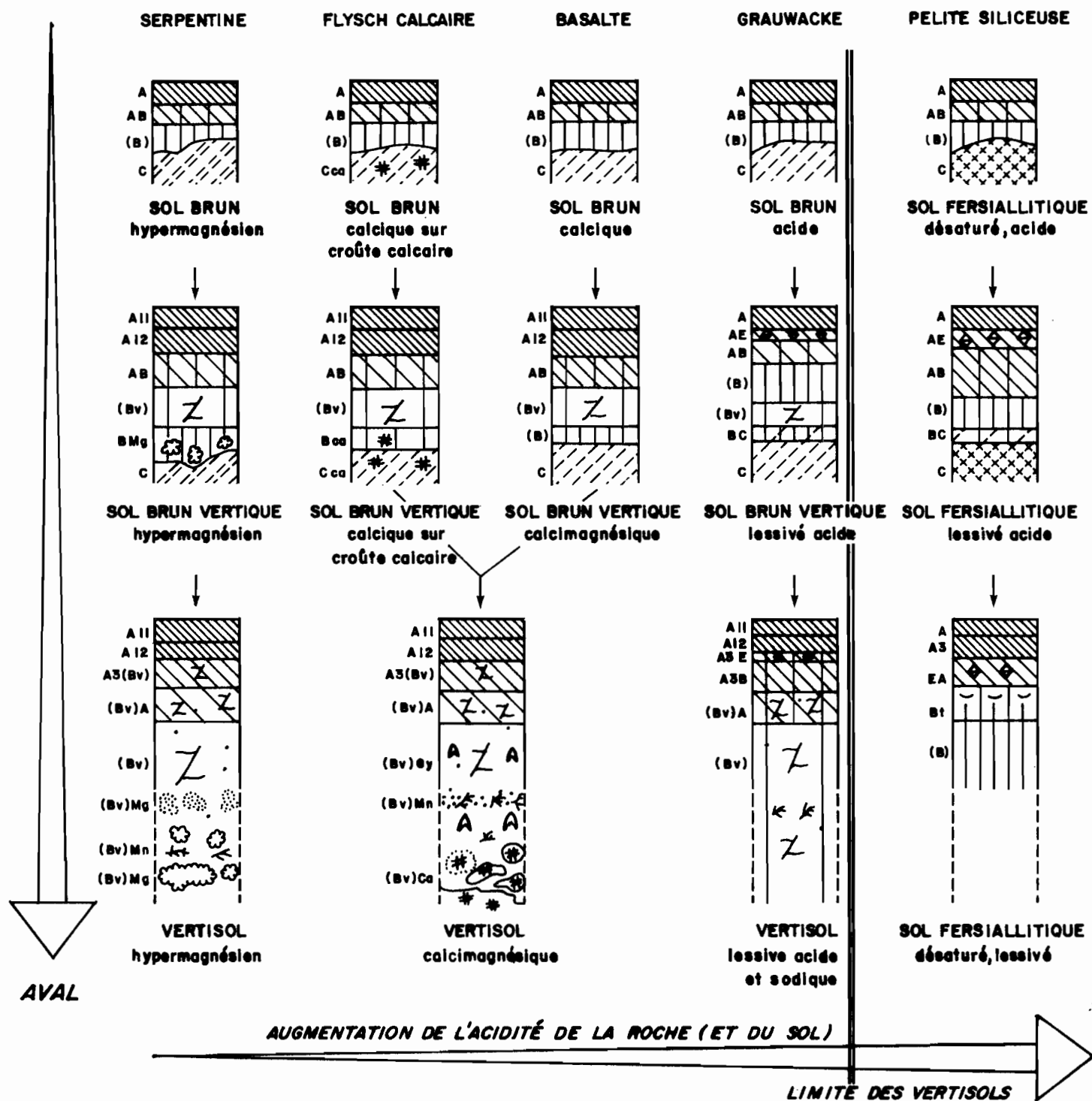


FIG-II SÉQUENCES DE SOLS EN FONCTION DE LA NATURE DE LA ROCHE MÈRE

LÉGENDE DES FIGURÉS



HUMITE* ou horizon A humifère

* La fréquence des traits correspond à l'importance de la diagnose.



STRUCTICHRON* ou horizon B structuré, coloré



LEUCITON ou horizon E éluvié, blanchi



VERTICHRON ou horizon (Bv) verticale



ALTÉRITE, RÉGOLITE, TOPOLITE horizons C à R

ÉLÉMENTS FIGURÉS : CUTANON MEUBLES



Cutanes (dans un horizon BT)

SÉMÉTON



Volumes pulvérulents carbonatés calcaires dans B Ca ou magnésien B Mg



Dendrites et ponctuations de manganèse B Mn



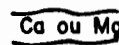
Crystallarites de gypse B Gy

ÉLÉMENTS INDURÉS : LAPIDON



Nodules et concrétions carbonatés calcaire dans B Ca ou magnésien B Mg

STÉRITE



Croûte calcaire ou magnésienne (induration continue) plus rarement manganésifère

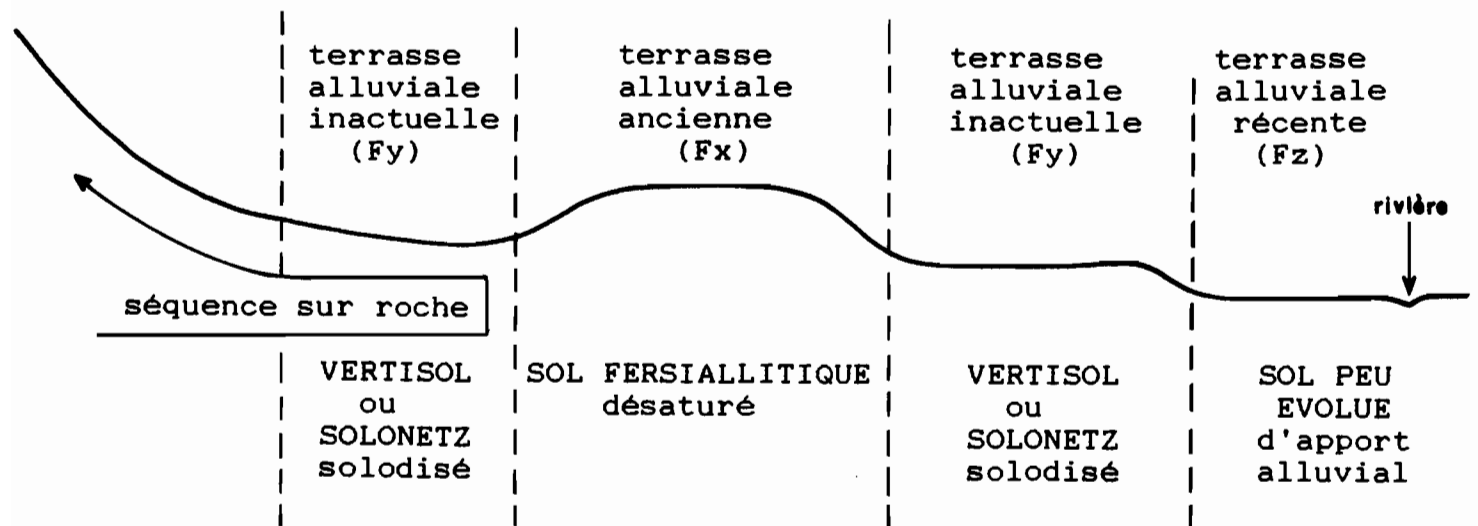
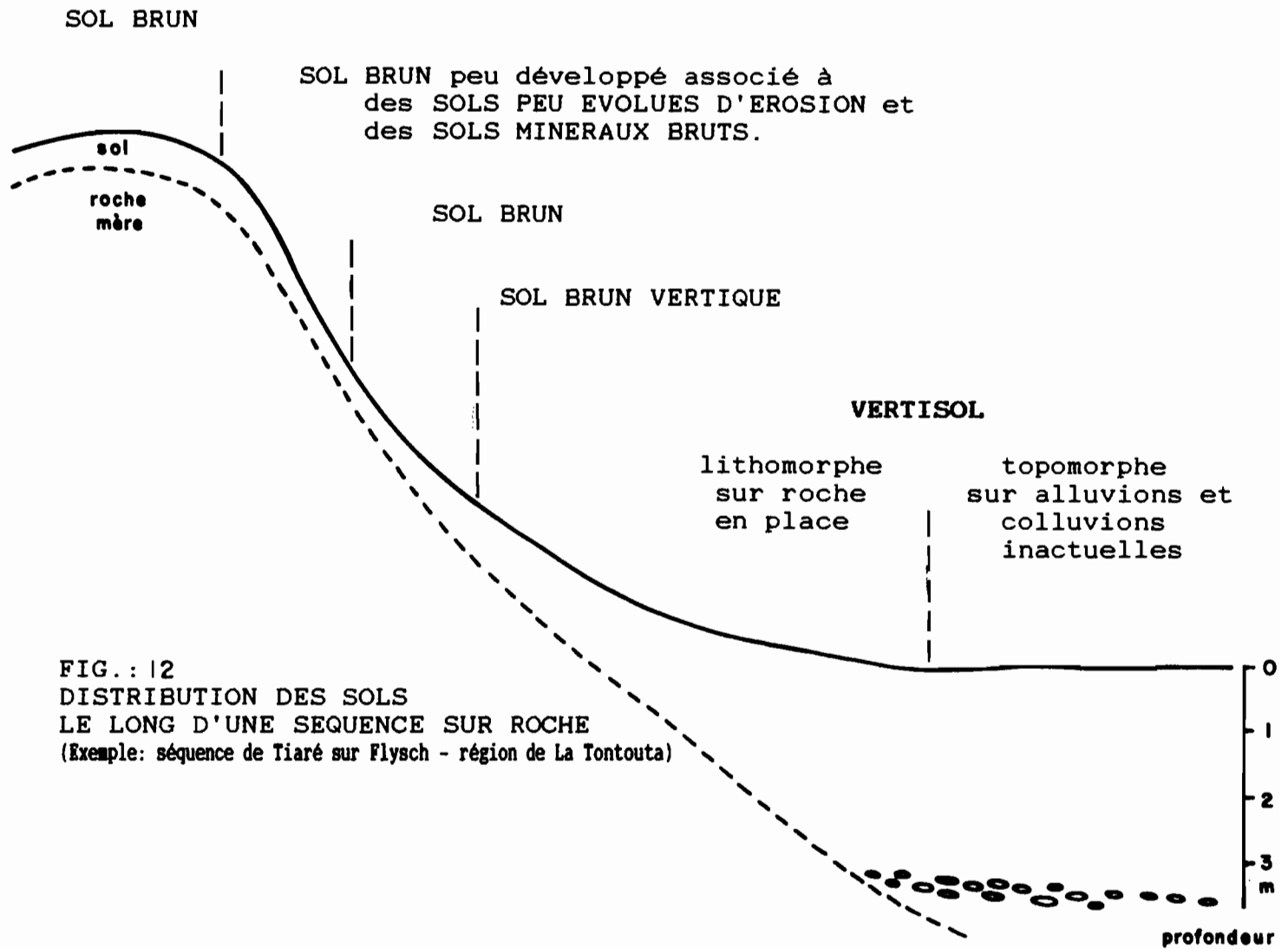


FIG. : 13
DISTRIBUTION DES SOLS EN FONCTION DES DIFFERENTES TERRASSES ALLUVIALES
(Exemple de la rivière IOUANGA - région de Kaala Gomen)

Il y a un continuum entre vertisol lithomorphe et vertisol topomorphe, entre la séquence sur roche et la séquence sur alluvions inactuelles :

La distinction entre les deux types est très peu marquée (contrairement aux vertisols d'Uruguay décrits par J.P. ROSSIGNOL).

1°) On peut observer une légère rupture de pente entre les 2 formations; ainsi le vertisol "lithomorphe" conserve un léger drainage externe car il demeure situé sur une pente tandis que le vertisol "topomorphe" occupe une surface plane sans drainage externe.

Cette distinction se traduit dans la morphologie du vertisol alluvial par la marque du toit d'une ancienne nappe aquifère. Ce niveau est particulièrement enrichi en oxyde de manganèse (dendrites, cutanes, volumes durcis, etc...) et apparait de façon plus nette dans ces zones à très faible drainage externe.

2°) Au niveau morphologique, le vertisol lithomorphe repose directement sur la roche mère alors que le vertisol topomorphe repose sur un lit d'éléments grossiers (en majorité constitués de galets d'origines diverses souvent siliceux et peu altérés).

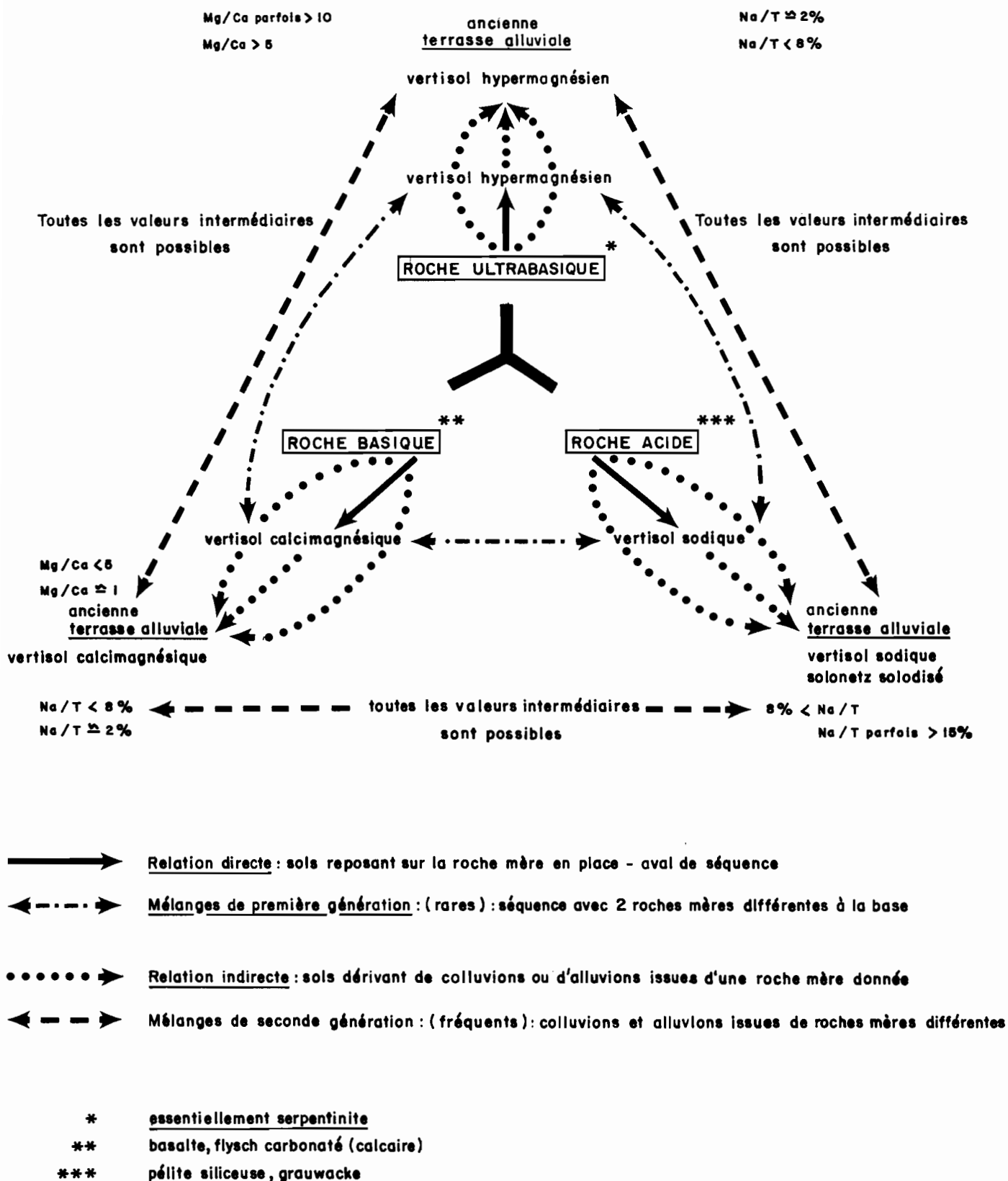
En réalité, il convient d'être très prudent dans cette distinction. Des vertisols formés sur pente (parfois supérieure à 5%) dans la région de Tiare (PAITA) à partir de flyschs peuvent atteindre 8 mètres d'épaisseur (P. PODWOJEWSKI. Etude des sols à gypse 1984).

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 ayant pour trait des colluvions de roches péridotitiques et serpentinisées sont parfaitement visibles 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 allant vers une homogénéisation complète de ce type de matériau 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.

FIG. 14- RELATIONS ENTRE LES PRINCIPAUX TYPES DE VERTISOLS
ET LES PRINCIPALES ROCHES EN NOUVELLE - CALÉDONIE



2 - La répartition des différents vertisols

Tous les vertisols de Nouvelle Calédonie se répartissent en fonction de la nature de leur matériau d'origine.

Les 3 pôles se déterminent par rapport à 3 grands types de roches et la répartition générale des sols s'effectue selon un tableau à trois entrées (Cf. : Fig. 14).

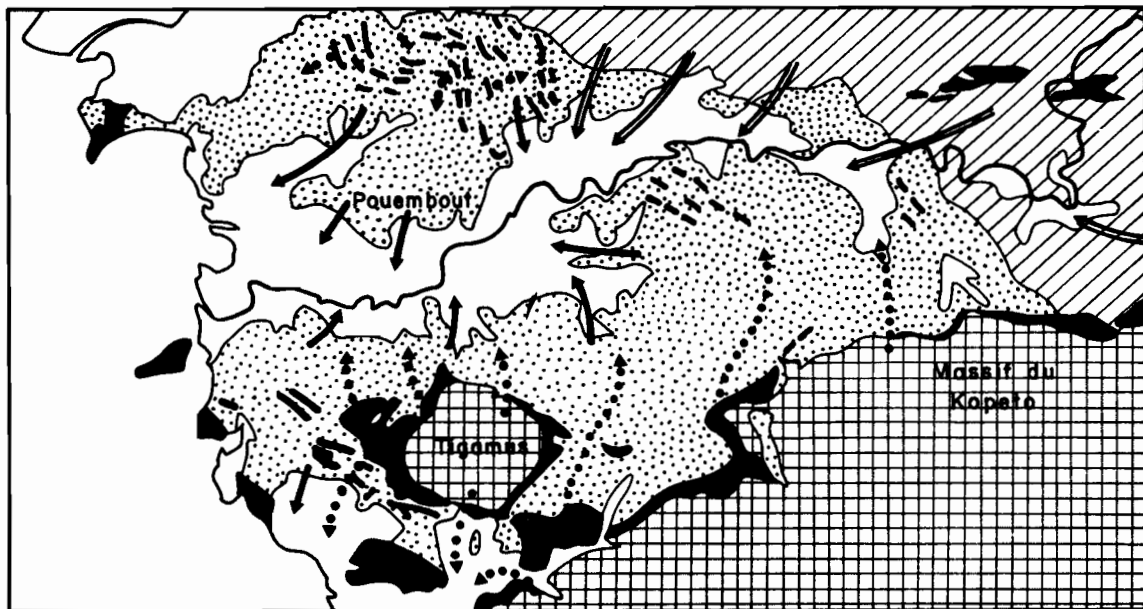
- 21- La séquence sur roche engendre directement 1 type de vertisol

Les rares mélanges de première génération se produisent dans deux cas bien précis :

1°) lorsque la séquence est constituée de roches mères différentes se succédant d'amont en aval : le cas de filons (ou fils) de serpentine recoupant des basaltes est très fréquent. L'apport de magnésium dans le vertisol calcimagnésique sera alors important.

2°) lorsque la roche mère présente des caractères intergrades : grauwackes et pélites peuvent présenter des variations centimétriques dans leur constitution minéralogique et donc chimique. Dans la région de Oua-Tom (Boulouparis), de Nakutakoin (Païta), les grauwackes peuvent engendrer des vertisols dont le chimisme est compris entre le pôle calcimagnésique et le pôle acide et sodique avec une amorce de lessivage en surface.

FIG. 15 - ESQUISSE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE POUEMBOUT et de sa vallée alluviale



- Alluvions actuelles et inactuelles
 Basalte ——— matériau de type 1
 Serpentine matériau de type 2
 Périodite
 Roche Volcano-sédimentaire siliceuse ==> matériau de type 3

1/200 000

0 2 4 6 km

22- Les alluvions ou colluvions inactuelles peuvent engendrer 1 type de vertisol

- le cas le plus fréquent se présente lorsque les alluvions proviennent directement de l'altération d'un seul type de roche mère en place.

- un cas plus rare lorsque les alluvions dérivent de l'érosion d'un vertisol déjà constitué.

Les mélanges de seconde génération sont très fréquents :

Les alluvions résultent généralement d'un transport de matériau favorisant un mélange parfois très complexe d'une extrême variabilité chimique :

Exemple : la vallée alluviale de la rivière POUEMBOUT (carte pédologique réalisée par B. DENIS - 1982) - Cf. : Fig. 15.

- La partie amont de la rivière constituée de roches acides volcano-sédimentaires de la chaîne centrale va favoriser le développement de solonetz solodisés et de vertisols sodiques et acides dans les terrasses alluviales inactuelles.

- La partie aval, 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. Ceux-ci vont se mélanger aux alluvions calcimagnésiques issus des basaltes qui occupent un relief plus mou en contrebas.

- La partie aval, au nord de la rivière est composée de matériaux basaltiques à fils de serpentine. Le matériau alluvial issu de ces roches est plutôt favorable au développement de vertisols calcimagnésiques bien qu'il y ait des influences magnésiennes.

Mais, il ne s'agit là que de tendances.

Sur le terrain, l'hétérogénéité des sols dû à ce grand mélange d'alluvions de trois origines différentes oblige les responsables des grands projets d'aménagement à cartographier finement ces zones et à tenir compte des écarts possibles entre des sols qui ont apparemment la même morphologie, mais aux propriétés chimiques fort différentes.

TROISIEME PARTIE

UTILISATION DES VERTISOLS

I- CONTRAINTES LIEES A L'UTILISATION DES VERTISOLS

1 - Contraintes physiques.

Les contraintes physiques sont très importantes

11 Absence de drainage

- Le drainage externe est fortement ralenti car les vertisols occupent soit une position basse, soit des surfaces planes.

- Le drainage interne est très limité par la présence des smectites.

12 Travail du sol difficile

- En saison sèche, le sol est très dur, les labours s'effectuent difficilement dans les premiers centimètres du sol uniquement.

- En saison humide, le sol est mou, collant et la plupart des engins mécanisés ne peuvent entrer dans les parcelles.

Il faut donc travailler le sol à un état d'humidité intermédiaire qui permet d'effectuer un labour correct : pas de grosses mottes et le moins de lissage possible avec le versoir.

13 La texture du sol

Cette texture argileuse entraîne non seulement un travail du sol délicat et une absence de drainage interne comme mentionné ci-dessus, mais aussi :

une faible teneur en eau utile du fait de pF à capacité au champ élevé, souvent supérieur à 3 (B. DENIS : Etude pédologique de la Oua-Ménie et sites des essais d'irrigation de Pouembout) ;

des mouvements latéraux par les répétitions humectations-dessications qui provoquent le cisaillement des racines peu flexibles.

2 - Contraintes chimiques

Alors que les contraintes physiques sont communes à tous les types de vertisols, les contraintes chimiques sont très variables.

21 Les vertisols calcimagnésiques

- Le rapport Ca/Mg varie entre 0,5 et 2

- En Nouvelle Calédonie, ces sols sont souvent carencés en azote et en phosphore. B. DENIS*(* Cf : bibliographie consacrée aux conventions traitant des vertisols calcimagnésiques) a effectué des essais de fertilité sur vertisols calcimagnésiques avec des rendements très satisfaisants après apport d'engrais phosphatés et azotés.

Apparemment, les apports de potasse n'ont pas d'effets sur les cultures, mais cela provient du facile passage des ions K^+ , on assiste après 5 années d'essais à des appauvrissements importants. (Communication de B. DENIS).

22 Les vertisols sodiques

Ils ont souvent un pH acide. Le redressement du pH tout comme le rééquilibrage des bases échangeables peut s'effectuer par l'adjonction d'amendements calciques. Les résultats sont alors probants avec bien sûr le complément indispensable en azote et phosphore comme pour les vertisols calcimagnésiques (cf : bibliographie amendements calciques).

23 Les vertisols magnésiens et hypermagnésiens

En plus d'être fortement carencés en azote et en phosphore, l'abondance de magnésium échangeable provoque des blocages de l'assimilation du calcium par les végétaux

B. BONZON a montré des formes de carences en calcium en expérimentant les adaptations aux sols hypermagnésiens de 6 espèces de maïs.

Une série d'expérimentations en pots, au laboratoire a été effectuée par H. LEMARTRET sur des vertisols hypermagnésiens.

Le gypse est l'amendement le plus efficace ; il va libérer une quantité importante de magnésium, sans pourtant que celui-ci ne soit complètement évacué.

B. BONZON, dans ses essais au champ, montre également que les amendements contenant du gypse sont les plus efficaces les premières années, mais qu'il pourrait y avoir des formes d'insolubilisation du magnésium (peut-être sous forme de giobertite), et les rendements semblent décroître après 2 ans d'essais. De toute façon, la durée de ces essais est encore bien trop courte et ne permet en aucun cas de tirer un bilan généralisé de l'efficacité des divers amendements.

II - UTILISATION ACTUELLE DES VERTISOLS

1 - Intérêt de leur utilisation

Ces intérêts sont multiples :

- Ce sont des sols profonds, situés sur des zones planes, facilement accessibles et aussi aisément mécanisables.

De plus, ces zones basses -aval de séquence ou terrasse alluviale ancienne- sont souvent situées à proximité d'une rivière ou d'un point d'eau. L'irrigation d'appoint est possible.

- Ces sols s'assèchent lentement et le lessivage des engrais est assez lent du fait du faible drainage interne.

2 - Utilisation actuelle

Il y a trois types d'utilisation à l'heure actuelle.

Ce sont, dans l'ordre décroissant :

- les pâturages
- la céréaliculture
- les cultures maraîchères (limitées à la grande banlieue de Nouméa et à proximité des localités de la Côte Ouest).

21 Les pâturages :

Le pâturage naturel ou légèrement amélioré s'effectue sur tous les types de vertisols. Il s'agit de leur utilisation majeure.

. Par pâturage amélioré, on entend un pâturage fertilisé avec de faibles doses d'engrais, et avec élimination par girobroyage des espèces ligneuses non comestibles par le bétail, un léger travail du sol avec des semis de plantes fourragères rustiques (graminées, légumineuses).

Le pâturage artificiel est une plantation d'espèces nouvelles fourragères (graminées et légumineuses). Ces plantations s'effectuent généralement à la mi-décembre avant la saison humide.

Les techniques récentes d'ensilage font se développer les cultures de sorgho fourrager et de tournesol (moins exigeantes en eau et à cycle plus court que le maïs).

. Ces plantations s'effectuent très favorablement sur des vertisols calcimagnésiques de bas de pente après un sous-solage profond et une forte fertilisation de redressement.

. Les plantations sur vertisols sodiques ou hypermagnésiens sont d'un rendement très faible sans amendement. Les travaux menés par l'ORSTOM en convention avec les services ruraux territoriaux commencent à porter leurs fruits.

22 La céréaliculture

Elle est pratiquée exclusivement sur vertisol calci-magnésique.

Les rendements en grains sur les autres types de vertisols sont trop faibles.

Les principales cultures sont le sorgho, le maïs et le blé dur.

Cette dernière offre des rendements intéressants dans les zones où l'irrigation d'appoint est limitée.

La fertilisation doit être importante à la fois tant pour l'utilisation immédiate par la plante (azote, phosphore) que pour la conservation du stock d'éléments nutritifs à long terme (potasse, phosphore).

(Cf : travaux de B. DENIS sur les amendements N.P.K. sur vertisols calcimagnésiques).

23 Les cultures maraîchères.

Elles sont pratiquées sur tous les types de vertisols à proximité de Nouméa en raison de leur forte plus-value économique.

Ces sols sont fertilisés intensément par des engrais organiques qui modifient considérablement la texture, la structure, la perméabilité (drainage interne) et les rapports chimiques de l'horizon cultivé.

Les plantations sont irriguées et disposées le plus souvent en banquettes avec des axes de drainage externe pour éviter la stagnation et le surplus d'eau.

Les cultures maraîchères sont abondantes pendant la saison fraîche (avril à octobre).

III - PERSPECTIVES D'AMENAGEMENTS

Les perspectives de développement sont nombreuses dans deux secteurs :

- le pâturage artificiel (à but d'ensilage)
- la céréaliculture

Elle passe par des recherches qui doivent compléter les recherches pédologiques :

1) la maîtrise de l'eau est primordiale car elle conditionne la réussite certaine d'une plantation.

2) le calendrier cultural est important car il faut allier pluviométrie, E.T.P. avec les besoins des plantes en eau.

- la saison fraîche (mai à septembre) offre ces avantages mais elle ne correspond pas au cycle naturel des graminées spontanées. De plus, les cycles des céréales sont plus longs en saison fraîche.

3) le choix des espèces est dicté par 3 soucis :

- la résistance à la sécheresse.
- la sensibilité au magnésium (les sols hypermagnésiens).
- la rentabilité économique (lié à la fertilisation et à l'amendement des sols).

4) le travail du sol complète ces recherches.

Il va favoriser le drainage, l'assimilation des engrais, l'activité biologique et ainsi le rendement de la plantation sera amélioré. Il va de pair avec les amendements calciques qui sont impératifs pour les vertisols hypermagnésiens ou sodiques. L'efficacité de ces amendements est aussi liée au travail du sol.

On peut aussi mentionner l'incitation pronée par les services ruraux à planter des brise-vent. Ces arbres doivent être rustiques, peu sensibles aux sols argileux et peu drainants comme les eucalyptus et les phyllaos (bois de fer : Casuarina collina).

De par la nature de ces sols, en raison d'aménagements très coûteux, ces sols sont à proscrire pour la culture arborée et arbustive (sylviculture, caféiculture, arboriculture fruitière, etc...).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ELEMENTS DE PEDOLOGIE GENERALE :

Les références précédées du signe "*" sont plus spécifiques à la Nouvelle Calédonie.

- * BEAUDOU (A.G.), FROMAGET (M.), PODWOJEWSKI (P.), BOURDON (E.) 1983 - Etude morpho-pédologique de la région de la Tontouta. Nouméa: ORSTOM, 31 p. + 2 cartes au 1/50.000 + 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.

- * 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.

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

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

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

- C.P.C.S., 1967 - Classification des sols. Doc. multigr., Grignon: ENSA, 87 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.

- * DENIS (B.) 1979 - Etude pédologique de la basse vallée de la Oua Mérie. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des principaux types de sols en vue de leur irrigation. Nouméa: ORSTOM 67 p. + 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.

- * DENIS (B.), MERCKY (P.) 1982 - Notice de la carte pédologique de la région de Pouembout à 1/50.000. Tome 1 : Textes et figures, 150 p. Tome 2 : Profils et cartes, 109 p. + 3 cartes au 1/50 000. Nouméa: ORSTOM.

- DUCHAUFOR (Ph.) 1976 - Atlas écologique des sols du monde. Paris: MASSON, 178 p.

- DUCHAUFOR (Ph.) 1977 - Pédologie. Tome 1 : Pédogenèse et Classification. Paris: MASSON, 477 p.

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

- * JAFFRE (T.) 1980 - Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle Calédonie. Trav. et Doc. ORSTOM n° 124. Paris: ORSTOM, 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. Notice explicative n° 78, Paris: ORSTOM, 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. + 2 cartes au 1/50 000

- * LATHAM (M.) 1986 - Altération et pédogenèse sur roches ultrabasiques en Nouvelle Calédonie. Etudes et Thèses. Paris: ORSTOM, 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. Mémoire du B.R.G.M. n° 113. Orléans: B.R.G.M., 278 p. + 2 cartes au 1/200 000.
- PEDRO (G.) 1979 - Les minéraux argileux. In : Pédologie. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris. pp. 38-57.
- PEDRO (G.) 1979 - Les conditions de formation des constituants secondaires. In: Pédologie. Tome 2: Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris. pp. 58-72.
- * PODWOJEWSKI (P.) 1981 - Etude pédologique de la basse vallée de la Oua Tom. Eléments de pédogenèse salée et gypseuse. Mémoire de stage. Nouméa: ORSTOM, 97 p. + 2 cartes à 1/25 000.
- * PODWOJEWSKI (P.), LATHAM (M.), BOURDON (E.) 1983 - Etude des sols de la région de Kaala Gomen. Nouméa: ORSTOM, 54 p. + 2 cartes à 1/50 000.
- * PODWOJEWSKI (P.) 1984 - Les sols de Nouvelle Calédonie à accumulation de gypse. Nouméa: ORSTOM, 23 p.
- * PODWOJEWSKI (P.) 1985 - Les sols à gypse de l'îlot Leprédour. Nouméa: ORSTOM, 36 p.
- * PODWOJEWSKI (P.), BEAUDOU (A.G.) 1987 - Carte morpho-pédologique de la Nouvelle Calédonie au 1/200 000. Tome 1: avant-propos et présentation générale, 15 p., tome 2: légende de la carte, 18 feuillets, tome 3: possibilités d'utilisation du milieu, 5 feuillets. Nouméa: ORSTOM.
- ROSSIGNOL (J.P.) 1983 - Les vertisols du nord de l'Uruguay. Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XX n°4, pp. 271-291.
- ROSSIGNOL (J.P.) 1983 - Les planosols du nord de l'Uruguay. Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XXI n°1, pp. 57-78.
- * TERCINIER (G.) 1955 - Note sur les sols de Nouvelle Calédonie. Nouméa: ORSTOM IFO, 10 p.
- TERCINIER (G.) 1967 - Note sur la définition et la classification proposée de vertisols. Nouméa: ORSTOM, 3 p.
- * TERCINIER (G.) 1969 - Carte pédologique de la Nouvelle Calédonie à 1/40 000. Feuille Bourail-Moindou. Nouméa: ORSTOM, 144 p. + 1 carte.
- * TOUTAIN (B.), BEAUDOU (A.G.) 1983 - Etude des relations sol-plante fourragère en Nouvelle Calédonie. Tome A: Typologie des ensembles sol-pâturage et leur production, 172 p. Tome B: Données de terrain, résultats analytiques, annexes. Nouméa: CORDET - GERDAT - IEMVT - ORSTOM.
- U.S.D.A. 1975 - Soil taxonomy. Agriculture handbook n°436. Washington: Soil Conservation Service, USDA, 754 p.

BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE CONCERNANT LES ETUDES DE FERTILITE
SUR VERTISOL EN NOUVELLE CALEDONIE

- I LES VERTISOLS CALCIMAGNESIQUES
- II LES SOLS SODIQUES ACIDES (et vertisols associés)
- III LES VERTISOLS HYPERMAGNESIENS

REFERENCE COMMUNE :

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.

I - BIBLIOGRAPHIE CONCERNANT LA FERTILITE DES VERTISOLS CALCIMAGNESIQUES

A - DOCUMENTS PRODUITS AU TITRE DE LA CONVENTION N°1

Etude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol et sur sol peu évolué d'apport et de ses conséquences sur l'évolution de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

SERIE 1 - INFORMATIONS GENERALES:

DENIS (B.) et al. 1980 - Cadre général de l'étude. Dispositifs expérimentaux. Modalités de présentation des résultats. Nouméa: ORSTOM, 39 p.

BONZON (B.), BOURGEOIS-DUCOURNEAU (A.), DENIS (B.) 1981 - Relations générales entre les caractéristiques étudiées. Intérêt et modalité de leur mise en évidence et de leur utilisation. Nouméa: ORSTOM, 34 p.

DENIS (B.), BONZON (B.) 1983 - Réflexion sur la tenue à suivre pour mettre en évidence l'action des facteurs contrôlés et représenter graphiquement les différences éventuellement observées. Nouméa: ORSTOM, 55 p.

SERIE 2 - EXPERIMENTATIONS SUR VERTISOLS:

DENIS (B.), BONZON (B.) 1983 - Niveau des principales caractéristiques physiques et chimiques du sol. Leur évolution au cours du premier cycle cultural. Nouméa: ORSTOM, 41 p.

DENIS (B.), BONZON (B.) 1983 - ANNEXE III1 - Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du premier cycle cultural. Nouméa: ORSTOM, 159 p.

DENIS (B.) 1985 - Etude de l'influence des facteurs chimiques contrôlés sur certaines caractéristiques au cours de ce deuxième cycle. Comparaison avec les niveaux du premier cycle. Tome 3 A, 39 p. Tome 3 B: tableaux et graphiques, 67 p. Nouméa: ORSTOM.

DENIS (B.), BONZON (B.) 1984 - ANNEXE III4 - Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du deuxième cycle cultural (premier cycle fertilisé). Nouméa: ORSTOM, 90p.

DENIS (B.), BONZON (B.) 1984 - ANNEXE III6 - Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes du début et de la fin du troisième cycle cultural. Nouméa: ORSTOM, 88 p.

DENIS (B.), BONZON (B.) 1985 - ANNEXE III8 - Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes du début et de la fin du quatrième cycle cultural. Nouméa: ORSTOM, 131 p.

B - AUTRES DOCUMENTS

FROMAGET (M.) et al. 1986 - Convention particulière Territoire-ORSTOM pour l'étude de la variabilité des vertisols non magnésiens. Description des deux sites expérimentaux retenus pour l'étude. Nouméa: ORSTOM, 20 p., 5 fotogr.

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 serre. Nouméa: ORSTOM, 46 p.

THOMANN (C.) 1987 (Mai) - 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 de Nouvelle Calédonie. Communication à la réunion du GEMOS de Montpellier.

II - BIBLIOGRAPHIE CONCERNANT LA FERTILITE DES SOLS SODIQUES ACIDES

A - DOCUMENTS PRODUITS AU TITRE DE LA CONVENTION N°2

Etude de l'effet des amendements calciques sur différents types de sols cultivables en Nouvelle Calédonie.

AVENANT 1: Année 1981

LATHAM (M.), BONZON (B.) 1981 - Recherches de sites expérimentaux pour mener des études sur les effets des amendements calciques en Nouvelle Calédonie. Enquête préliminaire. Nouméa: ORSTOM, 18 p.

BEAUDOU (A.G.), LATHAM (M.) 1981 - Les sols du champ d'expérimentation (M. BERTONI). Nouméa: ORSTOM, 34 p.

BEAUDOU (A.G.), LATHAM (M.) 1981 - L'évolution du pH des humites des sols sodiques acides après apport d'amendements calciques: essais en boîte de Pétri. Nouméa: ORSTOM, 3 p.

ANONYME 1981 - Résultats de fin de première année, note préliminaire. Nouméa: ORSTOM, 2 p.

AVENANT 2: Année 1982

BEAUDOU (A.G.), LE MARTRET (H.) 1982 - Inventaire des gîtes calcaires de Nouvelle Calédonie pour l'amendement des sols cultivables. Nouméa: ORSTOM, 8 p. + 1 carte.

MAZARD (P.), BONZON (B.), BEAUDOU (A.G.) 1982 - Résultats expérimentaux des cultures en serre sur sol sodique acide. Nouméa: ORSTOM, 90 p.

MAZARD (P.), BONZON (B.), BEAUDOU (A.G.) 1982 - Test d'homogénéité initial du champ expérimental. Nouméa: ORSTOM, 59p.

BONZON (B.), DENIS (B.) 1982 - Effets de différentes doses d'amendement calcique sur un sol sodique acide et des cultures de maïs, tournesol et haricot. Protocole expérimental. Nouméa: ORSTOM, 40 p.

ANONYME 1982 - Résultats de fin de seconde année. Note de synthèse. Nouméa: ORSTOM, 5 p.

AVENANT 3: Années 1982-1983

BONZON (B.) et al. 1986 - Effets de différentes doses de croûte calcaire sur sol sodique acide. Résultat des études expérimentales conduites en 1982. Nouméa: ORSTOM, 14 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Annexe 82-1. Documents annexes communs aux trois expérimentations au champ pour l'année 82. Nouméa: ORSTOM, 20 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Annexe 82-2. Protocole des études expérimentales en serre sur maïs, tournesol et haricot. Nouméa: ORSTOM, 3 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Annexe 82-3. Résultats expérimentaux obtenus au champ et en serre sur maïs (1982-1983). Nouméa: ORSTOM, 120 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Annexe 82-4. Résultats expérimentaux obtenus au champ et en serre sur tournesol (1982-1983). Nouméa: ORSTOM, 125 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Annexe 82-5. Résultats expérimentaux obtenus au champ et en serre sur haricot (1982-1983). Nouméa: ORSTOM, 90 p.

AVENANT 4: Années 1983-1984

BONZON (B.), DENIS (B.) 1984 - Influence de différentes doses de croûte calcaire sur des cultures de maïs, haricot et pomme de terre sur sol sodique acide. Résultats expérimentaux obtenus au champ en 1983. Nouméa: ORSTOM, 187 p.

BONZON (B.), DENIS (B.) 1984 - Même intitulé. Données complémentaires. Annexes 5 bis, 6 bis et 7 bis. Nouméa: ORSTOM, 69 p.

AVENANT 5: Années 1984-1985

BONZON (B.) et al. 1985 - Influence de différentes doses de croûte calcaire sur des cultures de maïs grain, maïs fourrage, et haricot sur sol sodique acide. Nouméa: ORSTOM,

Annexe 84-1. Temps de travaux, pluviométrie, irrigation, 8 p.

Annexe 84-2. Résultats des observations et des mesures, 120 p.

B - DOCUMENTS PRODUITS AU TITRE DE LA CONVENTION N°2 BIS

AVENANT 1: Année 1985

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence de différentes doses de croûte calcaire sur une culture de maïs grain sur sol sodique acide. Annexe 85-2. Temps de travaux, pluviométrie, irrigation. Nouméa: ORSTOM, 8 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Même intitulé. Annexe 85-2. Premiers résultats expérimentaux obtenus sur le cinquième cycle cultural. Nouméa: ORSTOM, 113 p.

II - BIBLIOGRAPHIE CONCERNANT LA FERTILITE DES VERTISOLS HYPERMAGNESIENS

A - DOCUMENTS PRODUITS AU TITRE DE LA CONVENTION N°2

Etude de l'effet des amendements calciques sur différents types de sols cultivables en Nouvelle Calédonie.

AVENANT 2: Années 1982-1983

MAZARD (P.), BONZON (B.), BEAUDOU (A.G.) 1982 - Statut minéral d'un maïs à mi-cycle sur vertisol magnésien. Enquête agrologique effectuée le 4 septembre 1981 sur la propriété MAGNIEN-PIERSON à La Tontouta. Nouméa: ORSTOM, 49 p.

MAZARD (P.), BONZON (B.), BEAUDOU (A.G.) 1982 - Effet d'un apport de chaux triticales cultivées sur un vertisol magnésien. Enquête agrologique effectuée le 11 septembre 1981 sur la propriété MAGNIEN-PIERSON à La Tontouta. Nouméa: ORSTOM, 35 p.

AVENANT 5: Années 1984-1985

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence de trois doses de chaux de deux amendements calciques différents sur une culture de maïs sur vertisol hypermagnésien. Nouméa: ORSTOM, Annexe 84-1. Protocole expérimental, 16 p.

Annexe 84-2. Temps de travaux, pluviométrie, irrigation, 9 p.

Annexe 84-3. Analyses statistiques effectuées sur les données de base et dérivées observées sur le premier cycle cultural. 304 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Recherches préliminaires sur les carences en éléments majeurs et mineurs du terrain retenu pour l'implantation du dispositif de base de l'étude des effets des amendements calciques sur vertisol hypermagnésien. Annexe. Résultats des observations et des mesures. Nouméa: ORSTOM, 32 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Recherches préliminaires sur le rééquilibrage du rapport magnésium / calcium du terrain retenu pour l'implantation du dispositif expérimental de base de l'étude des effets des amendements calciques sur vertisol hypermagnésien. Annexe. Résultats des observations et des mesures. Nouméa: ORSTOM, 45 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence de quatre doses de chaux de trois mélanges différents de croûte calcaire et de gypse sur une culture de maïs sur vertisol hypermagnésien. Annexe. Résultats des observations et des mesures. Nouméa: ORSTOM, 50 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence de trois doses de chaux de trois mélanges différents de croûte calcaire et de gypse sur une culture de maïs sur vertisol hypermagnésien. Annexe. Résultats des observations et des mesures. Nouméa: ORSTOM, 76 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Recherches préliminaires sur une éventuelle interaction entre fumure azotée et teneur en gypse de l'amendement calcique sur une culture de maïs sur vertisol hypermagnésien. Annexe. Résultats des observations et des mesures. Nouméa: ORSTOM, 54 p.

B - DOCUMENTS PRODUITS AU TITRE DE LA CONVENTION N°2 BIS

AVENANT 1: Année 1985

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence de trois doses de chaux de deux amendements calciques différents trois mélanges différents sur une culture de maïs sur vertisol hypermagnésien. Nouméa: ORSTOM

Annexe 85-1. Temps de travaux, pluviométrie, irrigation, 8 p.

Annexe 85-2. Premiers résultats expérimentaux obtenus sur le second cycle cultural, 150 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Comparaison de la sensibilité au déséquilibre calco-magnésien de six hybrides doubles de maïs. Nouméa: ORSTOM.

- Etude expérimentale conduite en serre sur vases de végétation, 44 p.

- Protocole, 7 p.

- Annexe. Paramètres observés, analyses de variace, corrélations résiduelles, 86 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence du soufre sur la croissance et les immobilisations minérales de l'hybride double de maïs XL 82 cultivé sur le vertisol hypermagnésien de référence de la vallée de la Tamoia. Nouméa: ORSTOM

- Etude expérimentale en serre, 16 p.

- Protocole de l'étude expérimentale en serre, 4 p.

- Annexe. Analyses de variance des paramètres observés, 100 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - Influence de la fumure potassique sur la croissance et les immobilisations minérales du maïs cultivé sur vertisol hypermagnésien. Nouméa: ORSTOM

- Etude expérimentale en serre, 24 p.

- Protocole de l'étude expérimentale en serre, 6 p.

- Annexe. Analyses de variance des données expérimentales en serre, 78 p.

AVENANT 2: Année 1986

BONZON (B.) et al. 1986 - Mise en évidence d'éventuelles carences en oligo-éléments sur les parcelles du champ expérimental sur vertisol hypermagnésien de la vallée de la Tamoia après deux cycles de culture de maïs. Protocoles expérimentaux des essais en serre. Nouméa: ORSTOM, 10 p.

HUELVAN (Y.) et al. 1986 - Etudes expérimentales en serre sur vertisol déjà amendé. Influence sur la croissance et le développement du maïs de doses complémentaires de gypse et de l'absence d'oligoéléments dans les fumures minérales. Nouméa: ORSTOM, Tome 1, 70 p., Tome 2 : Annexes, 231 p.

C - DOCUMENTS DE SYNTHESE

BONZON (B.) et al. 1986 - DOCUMENTS DE SYNTHESE CONCERNANT DEUX TYPES DE SOL

Effet des amendements calciques sur un sol sodique acide et sur un vertisol hypermagnésien. Résultat des études expérimentales conduites en 1984. Nouméa: ORSTOM, 87 p.

BONZON (B.) et al. 1986 - DOCUMENTS DE SYNTHESE CONCERNANT DEUX TYPES DE SOL

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.

LES EDITIONS DE L'ORSTOM

L'ORSTOM est aussi un éditeur de livres et de productions audiovisuelles auquel vous pouvez passer commande. Trois catalogues permettent de s'informer sur ces publications.

. Commandes de livres et de cartes :

ORSTOM, Service de la diffusion, 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy, France. (*Règlement à l'ordre des Publications de l'ORSTOM, CCP : 22.272.21 V Paris*).

. Achats ou prêts de productions audiovisuelles :

ORSTOM, Unité de l'audiovisuel, 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy, France. (*Règlement à l'ordre des Publications de l'ORSTOM, CCP : 22.272.21 V Paris*).

Les catalogues de l'ORSTOM

Si vous désirez recevoir les catalogues des livres, des productions audiovisuelles ou des cartes de l'ORSTOM, retournez ce bulletin à ORSTOM-DIVA, 213 rue La Fayette, 75480 PARIS Cédex 10.

M., Mme

Organisme :

.....

Fonctions :

Adresse de l'organisme :

.....

Souhaite recevoir : Le catalogue des livres ☐
Le catalogue audiovisuel ☐
Le catalogue des cartes ☐

EDITIONS DE L'ORSTOM

-oOo-

ORSTOM is also publishing books and audio-visual works you can place orders with it. Three free catalogs allow you to make inquiries about these published works.

. Books and maps orders

ORSTOM, Service de la Diffusion, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France (*Orders to be paid by postal transfer or banker's draft to the order of Service Publications ORSTOM, CCP 22.272.21 Y Paris*).

. Purchases of audio-visual works

ORSTOM, Unité de l'Audiovisuel, 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy, France (*Settlements as for books*).

ORSTOM CATALOGS.

If you want receive books, audio-visual works or maps catalogs, please send back this form to : ORSTOM-DIVA, 213, rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10, France

Mr, Mrs,

Institution :

.....

Positions :

Institution address :

Should like to receive : books catalog ☐

Audio-visual catalog ☐

Maps catalog ☐

