

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

INSTITUT

DES SCIENCES DE LA NATURE

INSTITUT

DU DEVELOPPEMENT RURAL

BUREAU NATIONAL DES SOLS

(BUNASOLS)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : AGRONOMIE

Thème :

ETUDE DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES

INDURES ET LEUR APTITUDE A LA CULTURE DU MIL ,

DU SORGHO, DE L'ARACHIDE ET DU NIEBE

JUIN 1991

GUIRE ALASSANE

S O M M A I R E



Pages

AVANT-PROPOS

Liste des sigles-Figures et Tableaux

Résumé	1
Introduction	2

Première partie : Généralités

I. La Pédologie	5
II. Classe des sols à sesquioxydes de fer et de manganèse sous-classe des sols ferrugineux tropicaux	6
2.1. Caractères généraux des sols ferrugineux tropicaux	8
2.1.1. Ecologie	8
2.1.2. Localisation géomorphologique	9
2.1.3. Matériau originel et minéralogie	10
2.2. Pédogenèse des sols ferrugineux tropicaux	11
2.2.1. La ferruginisation	12
2.2.2. Le lessivage	16
2.2.3. L'induration	18

Deuxième partie : méthodologie

I. Zones d'Etude	23
II. Etude Bibliographique	23
III. Travaux de Terrain	25
3.1. Emplacement des profils	25
3.2. Description des profils	26
3.3. Echantillonnage	26
IV Phase des Travaux de Laboratoire	27
4.1. Traitement des échantillons	28
4.2. Analyses physico-chimiques	28
4.2.1 Détermination du taux de refus	28

	Pages
4.2.2. Analyse granulométrique.....	28
4.2.3. Détermination de la densité réelle, densité apparente et porosité totale.....	29
4.2.4. Détermination du potentiel capillaire (pF)	29
4.2.5. Détermination du P ^H (H ₂ O) , Kcl)	29
4.2.6. La conductivité électrique.....	30
4.2.7. Détermination du taux de carbone et de la matière organique : méthode WALKLEY. BLACK.....	30
4.2.8. Détermination des bases échangeables et de la C.E.C.....	30

Toisième partie : Résultats-Discussions

Chapitre I CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES DES SOLS

FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES INDURES :..... 31

I. Caractères des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés
selon les zones agroclimatiques du Burkina faso..... 31

1.1. Caractères des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés liés à l'environnement.....	
1.1.1. Climat et végétation.....	31
1.1.2. Géologie - Géomorphologie - hydrologie.....	35
1.2. Caractères morphologiques et physiques.....	36
1.3. Caractères chimiques.....	38
1.3.1. Capacité d'échange cationique : C.E.C.....	38
1.3.2. Somme des bases échangeables : S.....	38
1.3.3. Réaction du sol : le p ^H	39
1.3.4. Fertilité organique et minérale.....	40
1.3.5. Conclusion.....	40

II. Caractères des sols ferrugineux tropicaux lessivés
indurés de la toposéquence de GONSE Etude de cas dans
la zone soudano-sahélienne Centre Nord 42

2.1. Caractéristiques du sommet de la toposéquence : la butte cuirassée.....	42
---	----

2.2.	Caractères morphologiques des sols de la toposéquence	46
2.2.1.	Caractères morphologiques des horizons A.....	47
2.2.2.	Caractères morphologiques des horizons B.....	48
2.2.3.	Conclusion.....	49
2.3.	Caractères physiques des sols	50
2.3.1.	Le taux de refus	50
2.3.2.	La granulométrie.....	53
2.3.3.	Densité réelle, densité apparente et porosité totale	58
2.3.4.	La réserve en eau utile du sol	59
2.3.5.	Conclusion sur les données physiques.....	61
2.4.	Caractères chimiques des sols.....	63
2.4.1.	La matière organique.....	63
2.4.2.	L'azote.....	66
2.4.3.	Le phosphore.....	68
2.4.4.	Le potassium.....	70
2.4.5.	Le calcium	72
2.4.6.	Le magnésium	73
2.4.7.	Le complexe absorbant.....	74
2.4.8.	Le pH (eau).....	81
2.4.9.	La conductivité électrique.....	83
2.4.10.	Le fer libre, fer total ; $\frac{\text{fer libre}}{\text{fer total}}$	83
2.4.11.	Les équilibres cationiques	85
2.4.12.	Conclusions sur les données chimiques.....	88

Chapitre II UTILISATION DES SOLS FERRUGINEUX

TROPICAUX LESSIVES INDURES 91

I. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DES SPECULATIONS RETENUES 91

1.1.	Le sorgho	91
1.2.	Le mil.....	92
1.3.	L'arachide	92
1.4.	Le niébé	93

II.	<u>Evaluation de l'aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du sorgho, du mil, de l'arachide et du niébé</u>	98
2.1.	Qualités des terres	98
2.1.1.	Régime thermique	98
2.1.2.	Disponibilité en eau	98
2.1.3.	Disponibilité en oxygène	99
2.1.4.	Disponibilité en éléments nutritifs et capacité de rétention	99
2.1.5.	Conditions d'enracinement	99
2.1.6.	Risques d'inondation	99
2.1.7.	Salinité.....	100
2.1.8.	Risque de dégradation.....	100
2.2.	Cotation des qualités-classes d'aptitude	100
2.3.	Processus de compatibilité	101
2.4.	Aptitude globale	106
2.4.1.	Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du mil	106
2.4.2.	Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du sorgho.....	107
2.4.3.	Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du niébé.....	108
2.4.4.	Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture de l'arachide.....	109

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

1.	Caractères environnementaux et morphologiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés.....	111 ⁷
2.	Caractères physiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés	112
3.	Caractères chimiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés	113
4.	Classes d'aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du mil, sorgho arachide, et niébé.....	114
4.1.	Classe des sols modérément aptes : S_2	114
4.2.	Classe des sols modérément à marginalement aptes : S_2/S_3	115

4.3.	Classe des sols marginalement aptes à inaptes : S ₃ /N	115
4.4.	Classe des sols inaptes : N ₂	115
5.	Propositions d'aménagement des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés	116
5.1.	Aménagement des buttes cuirassées et des sols fer- rugineux tropicaux lessivés indurés à profondeur < 30 cm.	116
5.2.	Propositions concernant les contraintes physiques.	117
5.2.1.	Amélioration des conditions d'enracinement.....	117
5.2.2.	Amélioration de la disponibilité en eau.....	118
5.3.	Propositions concernant les contraintes chimiques..	120
5.3.1.	Fumure organique	120
5.3.2.	Fertilité minérale	121
-	BIBLIOGRAPHIE	
-	ANNEXES	

Au terme de ce stage effectué au BUNASOLS, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui nous ont encadré, et soutenu dans la réalisation du présent mémoire.

Aussi il nous est agréable de présenter nos sincères remerciements aux Camarades :

- THIOMBIANO L. notre maître de stage, qui n'a ménagé aucun effort pour assurer avec dévouement et sens de responsabilités notre formation et encadrement. Nous lui sommes particulièrement reconnaissant.

- ZOMBRE N.P. Enseignant à l'I.S.N - I.D.R. notre Directeur de mémoire, pour sa grande disponibilité et son attention particulière. En dépit de ses multiples tâches, il a assuré avec rigueur la correction de notre manuscrit et nous a prodigué d'importants conseils et recommandations.

- SOURABIE N, Directeur du BUNASOLS, pour nous avoir accepté dans son établissement.

- PARE T, chef du laboratoire et son Adjoint SAWADOGO M. pour leur constante disponibilité, leur précieuse collaboration technique et les facilités qu'ils nous ont offertes.

- BADO L, Directeur de la prospection pédologique, pour son dévouement à notre cause.

- PALLO F, qui a bien voulu nous fournir des documents indispensables à cette étude.

Nos remerciements vont également

- Au Camarade OUEDRAOGO F, chef du service Cartographie et ses agents pour leurs prestations de services.

- A tous les techniciens du laboratoire, tous les agents du service prospection pédologique et tout le personnel du BUNASOLS.

- A la Camarade Assita S. qui a assuré avec bienveillance la mise en forme de ce mémoire.

Enfin nous tenons à adresser notre profonde reconnaissance aux parents et amis pour leur soutien moral et matériel. Qu'ils en soient remerciés.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS



- A.A.S = Spectrophotomètre d'Absorption Atomique
A.F.E.S = Association Française pour l'étude du sol
BUNASOLS = Bureau National des Sols
C P C S = Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols
F.A.O = Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
ORSTOM = Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
ICRISAT = Institut International de Recherche sur les Cultures vivrières dans les zones semi-arides tropicales
M.A.E. = Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
M.C.T. = Ministère de la Coopération Française
M.E.T. = Ministère de l'Environnement et du Tourisme
S.F.T.L = Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés
1/m = Structure faiblement développée à massive
2 = Structure moyennement développée
ps = Polyédrique subangulaire
r = contrainte liée aux conditions d'enracinement
n = contrainte liée à la fertilité chimique
m = contrainte liée à la disponibilité en eau

LISTE DES TABLEAUX



N°

- 01 Pluviométrie (en mm) = (region de GONSE pendant 4 années)
- 02 Températures moyennes mensuelles de GONSE (1985 - 1987)
- 03 Principales caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés dans la zone sahélienne
- 04 Principales caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés dans la zone soudanienne
- 05 Principales caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés dans la zone Centre - Nord
- 06 Evolution de la teneur en éléments fins et du taux de refus avec la profondeur
- 07 Evolution de la réserve en eau utile
- 08 Evolution des teneurs en matières organiques, azote total et du rapport C/N dans les sols
- 09 Evolution des teneurs en N, P, K. avec la profondeur
- 10 Evolution de la réaction du sol
- 11 Evolution des bases échangeables avec la profondeur
- 12 Teneur en MOT ; N_T ; S ; C.E.C et du rapport S/T sur les 40 premiers cms
- 13 Teneur en Pass ; P_T ; K disp ; Fer libre ; Fer total et le rapport $\frac{\text{Fer libre}}{\text{Fer total}}$ sur les 40 premiers cms
- 14 Equilibre cationiques des profils
- 15 Principales caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés étudiés
- 16 Exigences de la culture du Sorgho
- 17 Exigences de la culture du Mil
- 18 Exigences de la culture de l'Arachide
- 19 Exigences de la culture du Niébé
- 20 Résultats du processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du Sorgho
- 21 Résultats du processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du Niébé
- 22 Résultats du processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du Mil
- 23 Résultats du processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture de l'Arachide.

L I S T E D E S F I G U R E S

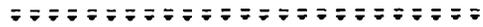


Figure	n° 1	Les sols du Burkina Faso
Figure	n° 2	Situation géographique de la zone d'étude
Figure	n° 3	Présentation des profils de la toposéquence de Gonsé
Figure	n° 4	Variation du taux de refus avec la profondeur
Figure	n° 5	Composition granulométrique des horizons superficiels
Figure	n° 6	Variation de la granulométrie avec la profondeur dans P _{VI}
Figure	n° 7	Variation de la granulométrie avec la profondeur dans P _V
Figure	n° 8	Variation des teneurs en matière organique avec la profondeur.
Figure	n° 9	Variation du P. assimilable avec la profondeur
Figure	n° 10	Variation du K disponible avec la profondeur
Figure	n° 11	Variation des teneurs du Ca.
Figure	n° 12	Variation de la teneur en argile et de la C.E.C. avec la profondeur des profils P _I et P _{III}
Figure	n° 13	Variation des teneurs en fer.

Résumé

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Burkina Faso ont été étudiés à la fois du point de vue de leurs propriétés physico-chimiques et des conditions écologiques leur donnant naissance.

Ces sols se forment en général à partir d'un matériau granitique ou colluvionnaire, au niveau d'unités géomorphologiques de pente faible à moyenne (Glacis, Versants, Plateaux, Plaines, etc..)

Ils se caractérisent essentiellement par une réserve hydrique faible à moyenne, de mauvaises conditions d'enracinement et une faible fertilité chimique : faible taux en matière organique et en éléments fertilisants majeurs (N.P.K.)

Ces sols présentent des risques de dégradation physique (érosion, encroûtement) en surface.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sont de profondeur variable en fonction du niveau d'apparition de l'induration qui peut être une carapace et/ou une cuirasse.

Ils présentent quatre principales classes d'aptitude pour la culture du mil, sorgho, arachide et niébé.

Les sols indurés à profondeur inférieure à 30 cms sont marginalement aptes à inaptes pour les spéculations envisagées ; ils peuvent toutefois être affectés à l'élevage, à la construction de bâtiments, routes, aéroports ; ils peuvent également être aménagés au niveau des buttes pour le tourisme (circuits touristiques).

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds sont modérément à marginalement aptes pour ces spéculations. Des aménagements appropriés sont indispensables pour l'optimisation de la production : apport de matière organique (compost, fumier), fertilisation chimique (engrais) en tenant compte des caractéristiques du complexe absorbant, dispositifs anti-érosifs (agroforesterie, diguettes en terre et/ou en pierres).

INTRODUCTION

L'Agriculture constitue la principale activité de plus de 90% de la population du Burkina Faso ; elle est caractérisée par :

- Une production agricole insuffisante pour les besoins alimentaires de la population croissante
- Une accélération de la dégradation de l'environnement du fait des pratiques culturales inadaptées.

Cette réalité requiert donc la connaissance des exigences des plantes d'une part et des caractéristiques des sols sur lesquels elles doivent être cultivées.

La connaissance des sols sont en effet à la base de toute planification de développement agricole et permet une agriculture scientifique et rationnelle. étant donné que les sols présentent des aptitudes différentes pour une spéculation donnée.

Cependant, bien que la pédologie en tant que science du sol, contribue au développement de l'agriculture, il ne serait pas inutile de rappeler que l'étude pédologique doit être un préalable à la construction de routes, de barrages, de terrains d'aviations, de bâtiments...

L'absence ou l'insuffisance d'études appropriées et approfondies sur les caractères morphologiques, physiques et chimiques des sols avant leur mise en valeur constitue très souvent au Burkina Faso une des contraintes majeures au développement d'une agriculture autosuffisante.

Ce qui du reste, engendre une rapide dégradation des terres et de l'environnement du fait des pratiques culturales inadaptées.

L'ORSTOM, depuis 1959 et plus récemment le BU.NA.SOLS. à partir de 1976 ont réalisé des études pédologiques à travers le pays à des échelles ne permettant très souvent que de simples inventaires de la répartition des sols dont la mise en valeur requiert d'autres études plus détaillées.



Ainsi seules des études à grandes échelles permettent une caractérisation précise et détaillée du sol tant en ce qui concerne ses caractères morphologiques que ses propriétés chimiques, physiques et son comportement vis à vis des types d'utilisation envisagés.

C'est dans ce contexte précis que se situe la présente étude dont le thème est "Etude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés et leur aptitude à la culture du mil, sorgho, arachide et niébé."

Par ailleurs, le choix de ce thème trouve sa justification dans les diverses raisons suivantes :

* Selon la FAO (1980), les sols ferrugineux tropicaux représentent plus de la moitié des sols du Burkina Faso. Ils sont en outre essentiellement présents dans le plateau Mossi, région à très forte densité démographique.

* Le sorgho et le mil constituent les principales cultures vivrières du pays et occupent environ 76% des superficies totales emblavées (M.A.E, 1983) , alors que l'arachide et le niébé sont très souvent en association avec ces céréales sur les sols ferrugineux tropicaux.

De nombreux travaux ont déjà été menés sur ces sols par des Pédologues et Agronomes dans le cadre de leur thèse et mémoire de fin de cycle. Ainsi nous pouvons citer :

- SOURABIE N, (1979) qui étudie l'influence de la canne à sucre sur les sols peu évolués, les sols hydromorphes et les sols ferrugineux de BEREGADOUGOU.

- PALLO F en 1982 effectue une étude comparative des caractères physico-chimiques et de la matière organique des sols ferrugineux tropicaux et des sols hydromorphes sous culture et vierges de la région de FADA NGOURMA.

- ZOMBRE N. P. en 1984 détermine les caractères de fertilité des vertisols, des sols salsodiques, des sols ferrugineux tropicaux et des sols peu évolués d'apport alluvial.

- THIOMBIANO L (1984) examine l'influence d'un reboisement en *Eucalyptus camaldulensis* sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés de GONSE.

- OUEDRAOGO O. en 1989 détermine l'aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions à la culture du mil et du sorgho.

Afin d'aboutir à une meilleure caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés et de déterminer leurs potentialités agricoles pour la culture du mil, sorgho, arachide et niébé, cette étude s'est articulée de la façon suivante :

* Une première partie consacrée aux généralités traite de la pédologie, des sols du Burkina Faso et des caractères généraux des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés.

* Une deuxième partie qui indique la démarche adoptée pour l'étude.

* Une troisième partie consacrée aux résultats, repertorie en fait les exigences des spéculations retenues, les caractères des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés et leur aptitude à la culture du mil, sorgho, arachide et niébé selon la méthode FAO d'évaluation des terres.

Enfin, une conclusion générale ainsi que des propositions d'aménagements pour une utilisation adéquate et optimale de ces sols est présentée.

P R E M I E R E P A R T I E

G E N E R A L I T E S



I La Pédologie

Vers la fin du XIX^e siècle naît le concept moderne de la science du sol avec DOCKUCHAIEV: La pédologie. Ce nouveau concept qui comble les lacunes de l'Agrologie définit le sol comme un milieu complexe et dynamique auquel une profondeur arbitraire ne peut être attribuée

Ainsi le sol naît et évolue sous l'action conjuguée du climat et de la végétation au dépens du matériau minéral.

Les phénomènes de formation et d'évolution des sols sont régis par des processus physico-chimiques (désagrégation physique et altération chimique) et biologiques.

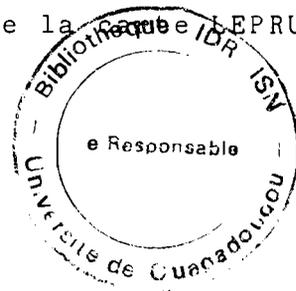
Le sol d'abord superficiel, s'approfondit progressivement avec différenciation progressive de strates successives : les horizons.

Ces différents processus donnent ainsi naissance à plusieurs types de sols, d'où la nécessité d'une classification pour ces derniers. Aussi plusieurs systèmes de classifications ont été élaborés en conformité avec les théories des différentes écoles ; cependant le présent travail n'abordera que la classification Française (CPCS, 1967) qui dénombre douze classes de sols. et la Légende FAO (1988) qui semble constituer le lien commun entre toutes les classifications au plan international.

Conformément à la classification Française et selon les travaux de l'ORSTOM (1967 à 1969), du BU.NA.SOLS. (1976 à 1989) neuf classes de sols sont présentes au Burkina Faso.

De nombreux travaux antérieurs (OUEDRAOGO O, 1989 ; KABORE E, 1989) ont déjà mentionné les différents caractères de ces sols ; aussi nous nous limiterons à leur présentation très sommaire avec leurs pourcentages respectifs estimés à partir de la Carte de LEPRUN (ATLAS JEUNE AFRIQUE) :

- Les sols Minéraux Bruts (3%)
- Les sols Peu Evolués (26%)
- Les Vertisols (6%)
- Les sols Brunifiés (6%)



- Les sols Sodiques (5%)
- Les sols Ferrallitiques (2%)
- Les sols Hydromorphes (13%)
- Les sols Isohumiques
- Les sols à Sesquioxydes de Fer et de Manganèse (39%)

Après cette sommaire présentation des sols du pays, les sols ferrugineux tropicaux feront l'objet d'une étude particulière et approfondie.

II Classe des sols à sesquioxydes de fer et de manganèse

Ils représentent environ 39% des sols du pays et constituent la majorité des sols répartis dans presque tout le pays.

Ces sols occupent cependant surtout le plateau Mossi, le Sud et l'Est.

On les localise sur les plateaux, versants, glacis et bourrelets de berge.

Selon la Légende FAO (1988), ces sols correspondent suivant les cas aux : Leptosols, Plinthosols, Luvisols, Lixisols, Acrisols et Alisols.

. Sous-classe des Sols Ferrugineux Tropicaux

Ces sols appartiennent à la classe des sols riches en sesquioxydes et hydrates métalliques individualisés en présence d'un humus bien évolué (Mul) dans des conditions de pédoclimat suffisamment chaud pendant la période où il est également humide (Aubert G., 1965 in BOULETR, 1968).

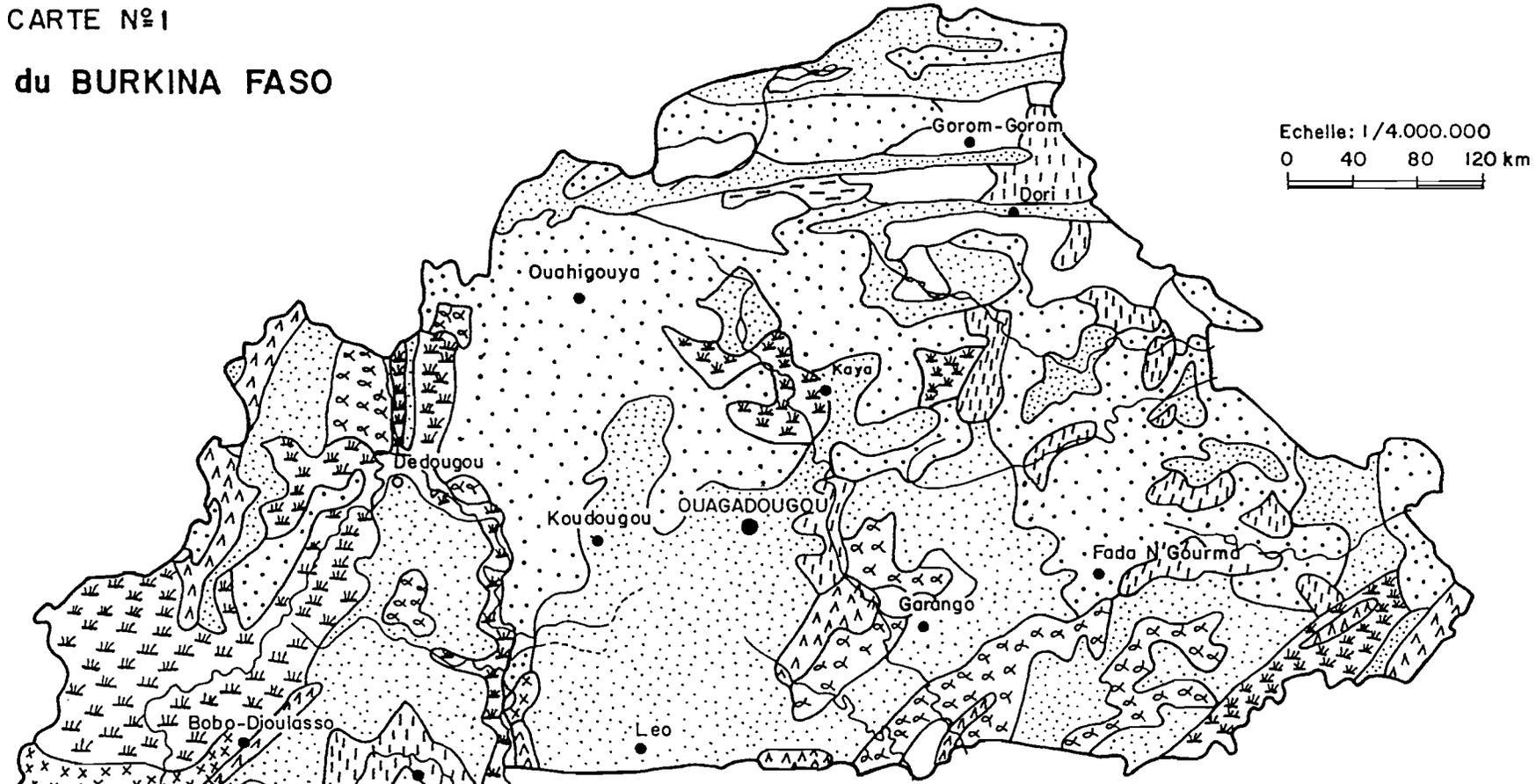
Généralement lessivés, les sols ferrugineux tropicaux caractérisent deux zones climatiques :

- La zone tropicale humide sans saison sèche marquée
- La zone tropicale à saison sèche plus ou moins marquée et présentent les traits communs suivants :

. L'altération des minéraux primaires y est plus poussée et plus profonde que sous climats tempérés.

CARTE N°1

Les Sols du BURKINA FASO



Echelle: 1/4.000.000
0 40 80 120 km

LEGENDE

-  Sols minéraux bruts: lithosols sur roches diverses et cuirasses.
-  Sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire
-  Vertisols sur alluvions ou matériau argileux.
-  Sols bruns eutrophes tropicaux sur matériau argileux
-  Sols ferrugineux tropicaux lessivés et lessivés sur matériau sableux, sablo-argileux ou argilo-sableux.
-  Sols ferrallitiques moyennement désaturés sur matériau sablo-argileux.
-  Sols hydromorphes minéraux à pseudogley sur matériau à texture variée.
-  Sols holomorphes à structure dégradée: Solonetz sur matériau argilo-sableux à sableux.

. La matière organique plus rapidement dégradée influe beaucoup moins sur la pédogenèse : la zone d'altération se trouvant en dehors de l'influence des matières organiques émanant de la surface.

Ces sols riches en sesquioxides de fer et parfois en oxydes de manganèse sont cependant dépourvus d'alumine libre.

Par ailleurs, le stade "ferrugineux pourrait également se définir selon le rapport $\text{Si O}_2 / \text{Al}_2 \text{O}_3$ (supérieur à 2) et un taux de saturation (S/T) supérieur à 50%.

Les sols ferrugineux tropicaux procèdent d'une forme d'évolution intermédiaire entre la fersiallitisatation et la ferrallitisation, avec toutefois une altération globale des minéraux plus poussée que celle conduisant aux sols fersiallitiques.

Ces sols de profils ABC ou A(B)C présentent au Burkina Faso les sous-groupes suivants :

* Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions qui se développent sur les colluvions sableux provenant des grès au Nord-Ouest, sur les matériaux kaoliniques au Centre et à l'Est, sur les altérations des roches granitiques au Sud-Ouest du pays (OUEDRAOGO O, 1989)

* Les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes à pseudogley fréquemment rencontrés à l'Ouest et au Sud le long des axes alluviaux importants et les bas glacis.

* Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés qui sont importants en région Meridionale et Occidentale (Plateau Mossi).

Selon la FAO (1980), ces sols particulièrement dominants dans la partie centrale (Plateau Mossi) et le Sud sont largement utilisés pour des spéculations diverses : Sorgho, Mil, Maïs, Niébé, etc...

2.1. Caractères Généraux des Sols Ferrugineux Tropicaux

2.1.1. Ecologie

Sur le plan écologique, ces sols apparaissant dans l'ensemble en climat sahélo-soudanien, soudanien et soudano-guinéen d'Auberville (1949) sont caractérisés par une pluviosité moyenne de 400 à

1200 mm/an et marqués par deux saisons (BOULET R, 1978) : une saison pluvieuse relativement courte (\leq 5 mois) et une saison sèche généralement plus longue.

Les formations végétales diverses rencontrées sur ces sols en fonction du climat sont caractérisées sur le plan spécifique par la présence d'une strate arborée à arbustive : Combretum glutinosum, Combretum nigricans, Butyrospermum paradoxum parkii Parkia biglobosa, Bombax costatum, Balanites aegyptiaca, Adansonia digitata, Acacia sp. Lannea microcarpa, Lannea acida, Detarium microcarpum, Tamarindus indica, Terminalia sp. Piliostigma reticulata, Diospiros mespiliformis, Guiera senegalensis.

Quant à la strate herbacée, elle regroupe fréquemment des Andropogonées (Andropogon gayanus), Pennisetum pedicellatum, Loude-tia togoensis.

La présence, la densité, de même que le développement de ces différentes composantes végétales restent fortement dépendants des propriétés des sols : propriétés physiques (profondeur effective, réserve en eau utile, etc...) et chimiques (richesse minérale et organique, pH, etc..).

Ainsi la végétation d'une zone donnée apparaît souvent comme un indicateur pédologique et un critère climatique. Ceci d'ailleurs pourrait justifier la "squelettique" végétation rencontrée par exemple sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Nord (OURSI) sous climat très sec ($P \leq$ 450 mm).

2.1.2. Localisation Géomorphologique

De couleur superficielle grise, gris-beige, brune à brun-pâle, les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés se localisent au niveau d'unités géomorphologiques variées de pente moyenne à faible.

Dans l'ensemble ces unités se situent en zone exondée: Buttes de relief résiduel, glacis, versants, plateaux, plaines ; sauf dans les cas de cuirasses de nappe que l'on rencontre au niveau des systèmes colluvio-alluvions.

2.1.3. Matériau Originel et Minéralogie

Les sols ferrugineux tropicaux sont formés à partir de complexe d'altération kaolinitique.

Sur le plan pédogénétique, ce complexe provient de roches variées mais appartenant pour l'essentiel à la famille des roches granitiques(acides) : granites indifférenciés ; granito-diorites ; granite - gneiss datant surtout de l'Antébirrimien ; des grès et des schistes.

Le matériau parental de ces sols peut être dans certains cas d'origine colluviale ou colluvio-alluviale.

Ces matériaux kaolinitiques plus ou moins remaniés sont issus du manteau d'altération ancien et leur stabilité fait qu'ils sont peu susceptibles de modifications minéralogiques sous le climat actuel (BOULET R, 1968).

Selon KALOGA (1966), la kaolinite est un minéral caractéristique d'un environnement acide.

L'altération s'effectuant sur roche acide, particulièrement sur granite à diorite aboutit à la transformation totale des minéraux en kaolinite avec individualisation et lessivage des hydroxydes de fer et de manganèse ; l'aluminium reste cependant lié à la silice résiduelle.

Cette kaolinite est incapable de se disperser à cause de la grande dimension de ses particules et/ou du peu de charges électriques négatives, alors neutralisées par les ions ferriques ; ainsi elle résiste relativement au phénomène de lessivage.

La kaolinite est une phyllite à deux couches : octaédrique et tétraédrique, symbolisée par le sigle $T_e - O_c$ ou 1/1.

De formule chimique $Si_2 O_5 Al_2 (OH)_4$ sa composition en molécules simples est la suivante : $Si O_2 = 46,5\%$; $Al_2 O_3 = 39,60\%$; $H_2O = 13,96\%$ (CHAMAYOU H ; LEGROS. J.P.. 1989).

Sa couche tétraédrique se trouve liée à celle octaédrique par la mise en commun des O^{2-} des sommets des tétraèdes.

La maille cristalline de la kaolinite est électriquement neutre et constituée par un feuillet d'une épaisseur de 7,15 Å en moyenne ; cette épaisseur représente en fait la distance entre la face supérieure d'un feuillet et celle du feuillet suivant.

D'autre part la rigidité des particules^{de} kaolinite s'expliquerait par l'apparition de liaisons hydrogènes entre ses feuillets.

Cette argile n'offrant aucune substitution Si^{4+} par Al^{3+} , ses charges négatives libres ne seront présentes qu'en bordure : ce qui justifie en partie la faible attraction des cations par cette argile.

La kaolinite, particulièrement riche en aluminium (1 Al pour 1 Si) présente des propriétés industrielles très importantes : confection de baignoires, éviers, lavabos, assiettes ; est utilisée en forte proportion dans la fabrication du papier afin d'y assurer une certaine opacité.

Outre la kaolinite, les sols ferrugineux tropicaux renferment d'autres minéraux argileux de type 2/1 (montmorillonite, illite, ...) susceptibles de migrer et de constituer l'horizon illuvial argillique Bt.

La capacité d'échange est beaucoup plus élevée au niveau de cet horizon en raison du lessivage préférentiel de ces argiles.

La Montmorillonite se formerait soit directement dans des conditions pédogénétiques particulières et serait donc dans ce cas, transitoire vers la kaolinite ; soit par néo-formation à la base des profils (PAQUET, 1970 in OUEDRAOGO O, 1989).

Selon ZOMBRE N.P (1984), l'Illite existe surtout dans les horizons superficiels. Elle proviendrait de minéraux de type 2/1 en évolution vers la kaolinite.

Cette sous-classe de sols connaît cependant une formation et une évolution assez particulières.

2.2. PEDOGENESE des Sols Ferrugineux Tropicaux

La formation et l'évolution de ces sols sont essentiellement caractérisées par les phénomènes suivants :

- La ferruginisation due à une précipitation des oxydes de fer et de manganèse

- Le lessivage lié au mouvement de l'eau allant du haut vers le bas sous l'effet de gravité, entraînant ainsi les éléments fins et les cations échangeables qui s'accumulent dans les horizons de profondeur

- L'induration qui peut se traduire par la présence d'une carapace ou d'une cuirasse rendant ainsi difficile la pénétration racinaire.

2.2.1. La Ferruginisation

Ce processus nécessite certaines conditions écologiques. La ferruginisation s'effectue sur toutes les roches mères silicatées primaires et sédimentaires, en climat tropical à saison humide mais à saison sèche marquée. Elle consiste essentiellement en la rubéfaction des oxydes de fer c'est à dire leur cristallisation sous formes d'oxydes ferriques ; lesquels selon la richesse en fer de la roche mère, les contrastes saisonniers et la topographie prendront une teinte variable rouge ou ocre.

Ce processus se caractérise, par ailleurs, par la formation d'argiles pauvres en silice (kaolinite), le lessivage des argiles minoritaires de type 2/1 (montmorillonite illite) et celui plus ou moins accentué des bases.

2.2.1.1. Etats du fer dans ces sols

Les sols ferrugineux tropicaux renferment des teneurs notables de fer sous diverses formes : soluble, complexée et cristalline.

2.2.1.1.1 La forme soluble du fer

Les oxydes et hydroxydes de fer libérés au cours de l'altération des minéraux primaires, notamment les ferromagnésiens (biotites, amphiboles, pyroxènes) sont généralement sous forme soluble en l'absence de matière organique complexante.

La solubilité et la mobilité de cette forme de fer dépendent étroitement des conditions d'oxydo-réduction du milieu.

En effet, en milieu réducteur, pauvre en oxygène, le fer prend la forme bivalente ou ferreuse $F_e O$. L'acidité favorise cette réduction.

Bien que le fer soit assimilable sous cette forme, ce milieu réducteur est toutefois défavorable à l'activité des microbes et des racines et l'excès de fer peut devenir toxique.

En outre, l'abondance des ions F_e^{2+} contribue à maintenir l'acidité du sol :

$$F_e^{2+} + 2H_2O \rightleftharpoons F_e(OH)_2 + 2H^+$$

Ce qui explique en partie que les sols marqués par un excès d'eau soient fréquemment de type acides.

2.2.1.1.2. La forme complexée du fer

Cette seconde forme est liée à des teneurs non négligeables en matière organique complexante généralement acide.

Le fer électropositif peut alors être combiné au complexe argilo-humique ; ses charges positives se fixant d'une part aux anions organiques (PO_4^-) par échange contre les ions OH^- et d'autre part sur les charges négatives de l'argile.

C'est surtout cette forme du fer qui donne à l'argile sa couleur brun-rouge à rouge, en climats tropicaux.

D'autre part, le fer à l'état ferreux ou ferrique peut s'associer à la silice ou aux matières organiques pour former des complexes pseudo-solubles, c'est à dire sous une forme colloïdale dispersée donc mobile.

Dans ce cas, les oxyhydroxydes de fer formant un revêtement pelliculaire à la surface des minéraux argileux (RICH et THOMAS, 1960 in BONNEAU M; SOUCHIER B, 1979) paraissent assurer un rôle très important de support d'adsorption et de ponts entre matière organique et argile.

Cette forme complexée domine surtout dans les sols de climats tempérés ou froids à cause naturellement de leur richesse en

matière organique de faible évolution.

C'est alors sous les formes soluble et complexée que le fer est mobile et capable de se déplacer dans le profil

Cependant dans certaines conditions, toutes ces deux formes peuvent précipiter et évoluer ainsi vers celle cristalline ; lesquelles conditions seraient l'oxygénation du milieu pour le fer soluble et une biodégradation des complexes pour le fer complexé, entraînant ainsi une libération et une précipitation du fer.

2.2.1.1.3. La forme cristalline du fer

Selon BONNEAU M et SOUCHIER B (1979) l'évolution rapide du fer vers cette forme caractérise la pédogenèse des climats chauds.

Ici, l'oxyde ferrique peut se cristalliser et former autour des grains de sable tantôt un simple film, tantôt un véritable ciment qui les réunit en concrétions ou même en bancs rocheux.

De nombreux travaux d'expérimentations et observations montrent que la cristallisation s'effectue en deux phases : la nucléation et la croissance cristalline.

La nucléation résulte de la condensation des polymères hydroxyles avec abaissement de la charge, donnant naissance à des microparticules (30Å à 50Å) de haut poids moléculaire : les nucléi qui sont la base structurale des oxydes et hydroxydes de fer. (MURPHY and al, in BONNEAU M, SOUCHIER B, 1979).

La croissance cristalline procède ainsi de la dissolution d'hydroxydes peu structurés nourrissant les nucléi.

Les mêmes auteurs montrent que d'un composé encore mal cristallisé la stilpnosidérite, la cristallisation du fer aboutira suivant les conditions du milieu à la goéthite (FeOOH) ou à l'hématite (Fe_2O_3).

. La goéthite c'est l'oxyde prédominant en milieux à pédoclimats peu contrastés voire humides et qui confère au sol une couleur variant du jaune au rouge orangé (généralement ocre).

Elle se forme à la suite de précipitation d'ions ferrique (F_e^{3+}) par élévation du pH.

La goéthite résulte d'une cristallisation lente en présence de matière organique complexante. Compatible avec les milieux acides, elle caractérise les altérations tropicales.

. L'hématite. Contrairement à la goéthite, elle provient d'une cristallisation plus rapide du fer dans des conditions généralement plus sèches.

De couleur rouge, elle est dominante dans les climats à saisons contrastées et chaudes et se présente en concrétions noires ou en poudre rouge foncée.

L'hématite se formerait soit par déshydratation de la goéthite en conditions très sèches, soit à partir du précipité d'hydrate ferrique : $F_e(OH)_3$ par vieillissement à pH neutre.

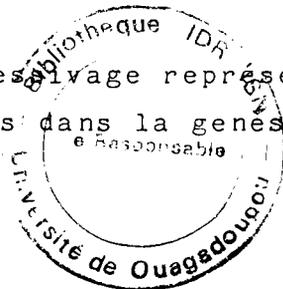
Cet oxyde dominant en milieu neutre dépourvu de matière organique complexante, pourrait à son tour se désolidariser de l'argile et donner de la goéthite par solubilisation : c'est la défermentation.

Tous ces oxydes de fer peuvent par la suite se présenter sous formes de taches ou sous forme d'éléments figurés : les graviers ferrugineux plus ou moins durcis.

Mais outre le fer, le manganèse également peut précipiter en donnant soit des taches ou des graviers noirs ou encore sous forme incluse dans les graviers ferrugineux d'où le terme de graviers ferro-manganifères.

Par ailleurs, l'apport de fer dans le profil peut aussi être l'oeuvre d'organismes vivants (animaux et végétaux) au cours de leur cycle biologique.

En plus de la ferruginisation, le lessivage représente également une des caractéristiques essentielles dans la genèse des sols ferrugineux tropicaux.



2.2.2. Le Lessivage

L'eau de gravité circulant dans les pores du sol est à l'origine des migrations qui sont le plus souvent descendantes.

Ces migrations affectent surtout les bases alcalines (K^+ , Na^+) et alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ; certains électrolytes (chlorures, sulfates, carbonates) ; les sesquioxides de fer, de manganèse, d'alumine ; l'humus ; l'argile ; la silice (GAUCHER, 1968 in BOULET R, 1968).

Selon leurs caractères, colloïdaux ou cristallins, trois processus d'entraînement regissent les migrations de ces substances dans le sol.

- La lixiviation ou migration des sels solubles intéresse essentiellement les cations les plus mobiles : alcalins et alcalino-terreux (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), favorisant ainsi les phénomènes de pertes par drainage profond.

- La chéluviation désignant la migration des complexes organo-métalliques surtout les cations lourds (Al^{3+} , Fe^{3+})

- Le lessivage qui est la migration des particules en suspension. Ce dernier processus caractérise les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Il désigne conventionnellement le processus d'entraînement mécanique des particules dispersées (argiles).

Dans ces sols, le lessivage entraîne les argiles minoritaires (Montmorillonite, Illite) vers les horizons inférieurs donnant ainsi naissance à un horizon argillique Bt ($t \rightarrow ton$ = argile en Allemand). Ce processus est fonction du milieu et du type d'argile.

2.2.2.1. Influence du milieu

Le lessivage des argiles dépend de l'acidité et de la pauvreté en cations du milieu.

En effet, en milieu décarbonaté plus ou moins décalcifié, la présence d'ions H^+ à la place des ions Ca^{2+} rend l'argile plus sensible à la dispersion donc au lessivage.

La matière organique soluble également favorise le lessivage en complexant les cations flocculants ou en formant autour des particules isolées d'argiles une enveloppe hydrophile constituant ainsi une barrière contre les cations flocculants.

Par contre l'abondance des ions Fe^{3+} et Al^{3+} , par le pont qu'ils établissent entre l'humus et l'argile représentent des agents flocculants énergiques, freinant ainsi le lessivage des argiles.

Les entrainements d'argiles sont à prédominance verticale en milieu filtrant et à topographie horizontale tandis qu'en milieu non filtrant et sur pente, les migrations sont surtout latérales.

2.2.2.2. Influence du type d'argile

Il semblerait que la taille des argiles de même que l'importance de leurs charges négatives jouent un rôle fondamental dans leurs entrainements. Ce processus serait ainsi d'autant plus facile que l'argile est plus petite et /ou possèderait d'autant plus de charges négatives (SOLTNER D, 1983).

Ainsi la Montmorillonite et l'Illite sont plus soumises au lessivage que la kaolinite qui est une particule de grande dimension et à charges négatives très peu nombreuses.

Toutes les argiles ainsi lessivées s'accumulent en un horizon d'accumulation argillique Bt.

L'amorce de cette accumulation semble due à un ralentissement de l'infiltration de l'eau suite au colmatage progressif des pores de l'horizon B. Cette accumulation peut en outre être due à une précipitation immédiate des argiles fines au contact d'horizons calcaires lors de leur migration.

Cet horizon illuvial Bt de plus en plus imperméable se formerait généralement en appauvrissant l'horizon éluvial sus-jacent en argiles.

Cependant, cet horizon Bt peut subir également des pertes d'argiles par entrainements en profondeur dans les eaux de drainage (toutefois limités) et plus fréquemment par éliminations latérales.

Le processus de lessivage est qualitativement mis en évidence par la présence d'argillanes au niveau de l'horizon Bt, quantitativement il se détermine par la variation en pourcentage de la teneur d'argile entre les horizons A et B.

Un autre phénomène caractérisant le sous-groupe de sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés est le processus d'induration.

2.2.3. L'Induration

Au sujet de l'induration de type ferrugineux, il faut rappeler que le terme "latérite" a été utilisé pour la première fois en 1807 par BUCHANAN pour décrire le matériel ferrugineux des sols en Inde.

Ce matériel assez mou pour se présenter en blocs, durcissait, aussitôt exposé à l'air, en plinthite consistante et pouvait alors servir de matériau de construction.

Ensuite NAZAROFF en 1931 (LEE.V.E and WOOD T.G, 1971) proposa que les spongieuses masses ferrugineuses rencontrées en Angola résulteraient du dépôt d'oxydes de fer dérivés de l'altération des minéraux et transportés par l'eau de percolation dans des galeries d'anciennes termitières.

Les termites auraient alors un rôle dans la formation de certaines latérites.

L'induration ferrugineuse est liée à l'évolution des sesquioxides principalement de fer, et éventuellement de manganèse et d'alumine.

Les horizons indurés contiennent pour la plupart 20 à 40% de silice combinée sous forme de kaolinite et sont de type B.

Le phénomène d'induration dépendrait plus d'un certain mode d'arrangement des constituants que de leurs teneurs en valeur absolue.

Ces horizons indurés présenteraient ainsi un plus haut degré de cristallinité et surtout une plus grande continuité de la phase cristalline (MAIGNIEN, R 1966).

Aussi toute condition pédogénétique permettant la ségrégation, la concentration et la cristallisation dans cet ordre, des sesquioxides en un assemblage continu peut assurer l'induration ; ce qui nécessiterait alors un milieu provoquant des mouvements du fer et/ou de l'alumine, au moins localement, favorisant le développement de la cristallinité et celui d'un certain degré de continuité de cette phase.

L'induration le plus souvent ne mettra alors en cause qu'une faible proportion de sesquioxydes.

Cependant, la kaolinite par sa propriété d'absorption et d'immobilisation du fer peut limiter l'induration.

Au niveau des sols ferrugineux tropicaux lessivés, ces indurations d'abord en simples concrétions évoluent par la suite en carapace ou en cuirasse ;

La carapace étant une induration modérée à masse concrétionnée pouvant encore se briser facilement au piochon, tandis que la cuirasse est une forte induration qui se brise difficilement au piochon.

Les cuirasses se rencontrent presque partout au Burkina Faso tantôt affleurantes en vastes dalles dénudées (les bowé), tantôt enfouies sous des recouvrements d'origines variées.

Le processus de cuirassement lié à une très forte accumulation de sesquioxydes libres qui cristallisent et durcissent sous l'action des températures élevées, est essentiellement dû aux oxydes de fer.

Le ciment ferrugineux des cuirasses se trouve ainsi sous forme de goéthite dans les cuirasses récentes ou au contraire d'hématite lorsqu'il s'agit de très vieilles cuirasses.

Selon DUCHAUFOR (1972), suivant la manière dont a lieu cette cimentation, la structure prend un aspect caractéristique :

* Les cuirasses pisolithiques résultant de la soudure de concrétions formées isolement dans le profil en milieu semi-hydromorphe, puis cimentées lors de la dessiccation d'ensemble de l'horizon.

* Les cuirasses scoriacées ou vacuolaires qui naissent de l'accumulation du fer dans l'ancien réseau de fissures d'un (B) polyédrique ou prismatique. Ce fer forme alors une trame durcie qui constitue la charpente de la cuirasse et isole les parties plus meubles qui seront ensuite partiellement éliminées par la circulation des eaux.

Egalement, la pétroplinthite issue du durcissement de la plinthite offre de telles structures.

Enfin, le processus de formation de ces cuirasses en détermine plusieurs types.

2.2.3.1. Le Cuirassement par enrichissement relatif ou d'Accumulation relative

Il est caractéristique des roches basiques riches en fer. Dans ce cas le fer s'immobilise rapidement dès qu'il est libéré par l'altération et s'accumule sur place par suite du départ des autres constituants (silice, bases,...).

Mais ce type de cuirassement constitue en fait une exception et nécessite des circonstances spéciales.

Ces cuirasses se forment dans les zones bien drainées et sans végétation dense protectrice, favorisant alors le durcissement par cristallisation des oxydes de fer.

2.2.3.2. Les Cuirasses d'Accumulation Absolue ou de "Nappes"

Elles sont les plus fréquentes et caractérisent les roches acides.

Le fer est mobilisé au niveau des arènes plastiques, milieu hydromorphe, favorisant le maintien à l'état ferreux. Ce fer est ensuite transporté à des distances plus ou moins grandes avant de précipiter et de se concentrer là où les conditions d'aération sont meilleures (toît de nappe, zone d'émergence, etc).

Ce phénomène généralement rapide et dû à des conditions topographiques particulières (Rupture de pente, Bords de Cuvettes) est extrêmement favorable à la formation de cuirasse.

Cependant il est à remarquer qu'une permanence de la nappe empêche le durcissement des oxydes de fer qui restent alors mous : c'est la plinthite.

Un abaissement durable de cette nappe assèchant le milieu entraînerait la mise en place, par durcissement de la plinthite, de la cuirasse dure.

Les cuirasses engendrées sont en général de type conglomératique, les conglomérats pouvant être des graviers ou cailloux quartziques ou ferrugineux.

2.2.3.3. Le Cuirassement généralisé

Leur formation résulte d'une évolution progressive d'horizons B chaque fois que la dessiccation de ces derniers due à l'abaissement de la nappe se combine avec l'érosion de la partie supérieure du profil.

Le fer dans ce cas évolue presque sur place en s'accumulant dans les réseaux de fissures mieux aérés et forme la trame ferrugineuse durcie qui constitue la charpente de la cuirasse (MAGNIEN. R, 1964).

La vitesse de formation de ces cuirasses est très variable suivant les conditions topographiques et de station.

En effet, elle est très lente sur les anciennes plateformes pénéplanisées où l'apport de fer jouant le rôle de ciment est peu abondant et progressif (SEGALEN, 1965 in DUCHAUFOR., 1972) et par contre très rapide dans les zones de piémont où existe une plinthite hydromorphe s'asséchant par abaissement de la nappe.

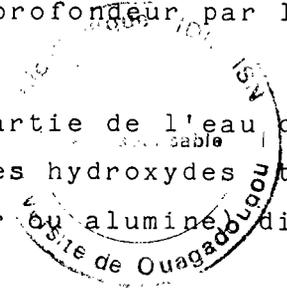
2.2.3.4. Conclusion

Le cuirassement est donc un phénomène particulier au domaine tropical ; très développé en Afrique Occidentale, Centrale et Australe ; on en trouve un peu au Brésil, en Inde et en Australie.

Il s'effectue à faible profondeur par lessivage, mais peut se former directement sur une roche saine sans altération préalable.

La cuirasse qui serait un matériau meuble cimenté par des oxydes de fer ou des hydroxydes d'alumine et parfois des oxydes de manganèse, se constituerait à faible profondeur par lessivage de haut en bas.

Ainsi en saison pluvieuse, une partie de l'eau d'infiltration percole et entraîne en profondeur des hydroxydes tandis qu'à la période sèche ces hydroxydes (fer ou alumine) dissouts précipitent par déshydratation.



Il y a alors dépôts en concrétions constituant les noyaux.

Les cuirasses affleurantes souvent observées sont donc anciennes et resulteraient du déblaiement de la couche supérieure meuble, par l'érosion.

Ces cuirasses affleurantes finissent par se désagréger mécaniquement (par exemple par thermoclastie). Leurs débris pouvant d'une part être entraînés par glissement, ruissellement vers les zones basses pour ensuite être recimentés par le fer et donner de nouvelles cuirasses à texture conglomératique ou gravillonnaire.

D'autre part, le fer de ces anciennes cuirasses peut aussi être entraîné en profondeur par percolation.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés ont en commun un horizon humifère peu épais, brun-gris, massif, sablo-limoneux à limon sableux, à nombreux pores fins et très fins.

Par contre le nombre d'horizon sous-jacents est largement tributaire du niveau d'apparition de l'induration ce qui donnera les subdivisions suivantes :

- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels dont la profondeur est limitée par la présence d'une carapace ou d'une cuirasse ferrugineuse à moins de 20 cm de la surface.

- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds qui sont relativement plus profonds que les précédents mais n'excédant pas 40 cm.

- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds. Deux à trois horizons précèdent le plus souvent l'induration. La profondeur est comprise entre 40 et 60 cm.

- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds. L'induration à ce niveau est au delà de 60 cm et trois à quatre horizons peuvent être au dessus de celle-ci.

DEUXIEME PARTIE

METHODOLOGIE



Méthodologie

Dans le but, de mieux cerner les différents aspects du thème de l'étude et aussi d'atteindre des objectifs intéressants, la démarche et les méthodes d'analyses suivantes ont été adoptées.

I - Zones d'Etude

L'étude dans un premier temps a porté sur les trois principales zones agroclimatiques du Burkina selon le découpage de l'ICRISAT :

- Zone Sahélienne
- Zone Soudanienne Centre-Nord
- Zone Soudannienne

Dans un second temps, nous avons effectué nos travaux de terrain dans la province d'Oubritenga en zone soudanienne Centre-Nord, parallèlement avec une équipe de vérification du BU.NA.SOLS.

Les profils ont été placés dans les villages de Gonsé, Loumbila et Boudtenga.

Le choix de cette zone s'explique d'une part par notre dépendance vis à vis des équipes de sortie du BU.NA.SOLS. et d'autre part par la forte représentativité des sols indurés et aussi la prédominance des spéculations retenues dans ces localités.

Cette démarche nous permet d'appréhender effectivement l'importance, l'évolution et les qualités des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés dans différentes conditions agroclimatiques et aussi d'établir une comparaison avec les résultats obtenus sur le terrain dans la province d'Oubritenga.

Soulignons que pour chacune de ces trois zones, une étude bibliographique a permis le recensement d'un certain nombre de sites susceptibles de "regorger" de façon significative ce type de sols.

II Etude bibliographique

Elle a constitué en fait l'étape préliminaire à tous les travaux. Cette étude a consisté en la consultation d'un certain nombre de documents fondamentaux de pédologie, de rapports

d'études pédologiques réalisées au Burkina Faso par le BU.NA.SOLS.

* Les documents fondamentaux relatifs à la pédologie en général.

. P. DUCHAUFOR T.1 et T.2

. D. SOLTNER T.1 et T.2

* Les documents relatifs à la description (Directives FAO) et à la classification (CPCS, 1967, RPF, Légende FAO (1988)) des sols.

* Quinze (15) rapports techniques du BU.NA.SOLS recensés sur la base de découpage de l'ICRISAT.

Ces documents nous ont permis de mieux cerner les différents aspects du thème, les divers courants scientifiques d'étude du sol et aussi de prendre connaissance des sols déjà observés au Burkina Faso.

Aussi par zone agroclimatique, nous avons élaboré un tableau synthétique récapitulatif, repertorisant les taux d'occupation de ces sols, de même que leurs principales caractéristiques physiques, morphologiques et chimiques.

Il faut cependant souligner à ce niveau que nous avons rencontré quelques difficultés se situant essentiellement à deux niveaux :

* La détermination, pour certains paramètres, d'une valeur moyenne véritablement représentative pour les sols de la zone considérée.

Dans ces cas nous avons préféré à la moyenne arithmétique de la somme des données, celle qui consiste à exclure les valeurs extrêmes pour ne considérer que celles qui se répètent le plus souvent.

* L'absence ou l'insuffisance de certaines informations au niveau des rapports consultés.

Aussi avons-nous eu, par moment recours, pour des compléments d'informations, aux fiches même de description des profils pédologiques utilisés sur le terrain

La seconde tranche de cette étude bibliographique a naturellement porté sur le second volet de notre thème. Il s'est donc agi de compiler certains documents agronomiques afin de déterminer les caractéristiques et surtout les exigences des spéculations retenues.

Ceci en vue d'établir un tableau récapitulatif des exigences édaphiques et climatiques pour chacune de ces spéculations.

III Travaux de Terrain

Les travaux de terrain ont été effectués dans la province d'Oubritenga, en Zone Soudanienne Centre-Nord.

Au départ nous, aurions voulu mener des études dans chacune des trois zones agroécologiques dont les caractères des sols ferrugineux lessivés indurés ont été obtenus par synthèse bibliographique mais compte tenu de certaines difficultés matérielles et financières et du programme de campagne peu fourni du BU.NA.SOLS, cela n'a pas été possible.

1. Emplacement des Profils

Le placement des profils s'est effectué selon la prospection dite "libre". Cette méthode de prospection consiste à effectuer des observations dans des unités identifiées par photo interprétation ou sur le terrain au moment de la prospection en se servant de la photo-identification, de toposéquences, de l'infrastructure, du réseau de drainage,...

Ainsi une toposéquence de six (6) profils a été retenue dans la zone de Gonsé. Elle comporte :

- deux profils P_I et P_{II} à Gonsé
- deux profils P_{III} et P_{IV} à Banongo
- deux profils P_V et P_{VI} à Boudtenga.

Les profils sont distants les uns des autres de 600 à 900 m. Une butte cuirassée a été observée et décrite à Boudtenga ; sommet de la toposéquence

2. Description des Profils

Elle a pour but de rassembler toutes les données observables et mesurables sur le terrain, permettant de mettre en évidence les caractéristiques d'un sol.

La description des profils a été effectuée à partir des directives FAO pour la description des sols et les couleurs ont été déterminées à l'aide du Code Munsell.

Toutes les données obtenues sont consignées sur une fiche (Annexe 1) . Le profil, préalablement subdivisé en horizons différents par la couleur, la texture, la structure, la charge graveleuse ; est ensuite décrit.

Les profils ouverts au BU.NA.SOLS ont une profondeur maximale de 120 cm.

3. Echantillonnage

Après la description des profils, suit le prélèvement des échantillons. Le prélèvement s'effectue par horizon dans le sens ascendant (bas vers le haut) afin d'éviter la pollution des horizons suivants.

L'échantillon afin d'être suffisamment représentatif de l'horizon doit être prélevé un peu partout au niveau de celui-ci.

Nous avons prélevé en vrac 1 à 2 kg de terre par horizon.

Ces échantillons ont été conservés dans des sachets en plastiques.

Le numéro du profil et l'épaisseur de l'horizon sont mentionnés sur le sachet.

Au total, sur les six profils, nous avons prélevé 18 échantillons.repartis comme suit :

- Profil P_I : 3 échantillons
- Profil P_{II} : 3 échantillons
- Profil P_{III} : 3 échantillons
- Profil P_{IV} : 1 échantillon
- Profil P_V : 4 échantillons
- Profil P_{VI} : 4 échantillons.

Tous ces échantillons sont ensuite transportés au laboratoire pour les analyses physico-chimiques.

IV) Phase des Travaux de Laboratoire

Le sol est un milieu complexe dont la caractérisation exige des données très variées (physiques, chimiques, géologiques, géographiques, géomorphologiques, biologiques, etc...).

Si au cours de la prospection, un certain nombre d'éléments d'appréciation peut être obtenu (géomorphologie, géographie), il reste cependant que bon nombre de données sont difficilement déterminables sur le terrain, notamment les données chimiques.

Ceci justifie qu'aux termes des études de terrain, on ait toujours recours au Laboratoire pour les analyses

Ces travaux seront alors fonction des objectifs poursuivis ; aussi les analyses peuvent couvrir un nombre plus ou moins grand de composantes physiques et chimiques.

4.1. Traitement des échantillons

Les échantillons prélevés et livrés au Laboratoire sont aussitôt vérifiés pour être inscrits dans un registre sous des numéros dits de Laboratoire.

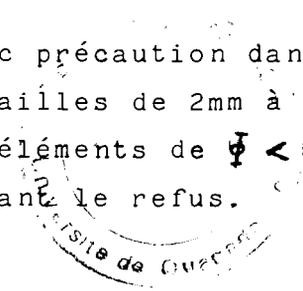
Dans ce registre doivent être mentionnés le nombre d'échantillons, leur provenance, leur date d'arrivée, les analyses physico-chimiques de même que le nom du demandeur.

Les échantillons sont alors étalés sur des plateaux numérotés en métal ou en matière plastique, les pierres y sont séparées, les gros agrégats de terre brisés, favorisant ainsi leur séchage. Les débris de matière organique distinctement reconnaissables sont également éliminés à cette étape.

Nous avons cependant légèrement modifié cette démarche en gardant des mottes de terre à structure initiale peu ou pas perturbée pour l'étude de la densité apparente, ou encore en maintenant les blocs et cailloux afin de déterminer le taux de refus.

Dès que le séchage est terminé, on procède à la séparation de la terre fine (< 2 mm) et des éléments supérieurs à 2 mm par désagrégation et tamisage.

Ainsi les échantillons sont broyés avec précaution dans un mortier en porcelaine et passés au tamis à mailles de 2mm à plusieurs reprises ; séparant ainsi la fraction fine (éléments de $\phi < 2$ mm) des éléments grossiers ($\phi > 2$ mm) constituant le refus.



Pour certaines analyses, une partie de la terre fine est de nouveau tamisée sur un tamis à mailles de 0,5 mm. Ensuite la terre fine passée à travers les tamis à mailles de 2mm et de 0,5 mm est distinctement versée dans des boîtes portant leurs numéros de Laboratoire.

2. Analyse physico-chimiques

Ces analyses constituent un complément indispensable à la caractérisation du sol, donc à une meilleure classification de ce dernier, en vue de son utilisation rationnelle et appropriée.

Les principes et méthodes d'analyses sont très largement décrits dans le document technique N° 3 du BU.NA.SOLS. (1987) et les travaux de OUEDRAOGO O (1989) ; aussi nous ne spécifierons que les buts et principes de celles-ci.

2.1. Détermination du Taux de Refus

Ce taux est le rapport entre le poids du refus et celui de l'échantillon en entier. Il est exprimé en % de la terre totale.

2.2. Analyse granulométrique

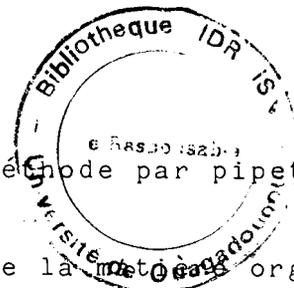
Elle vise la séparation des différentes fractions minérales du sol dont les particules sont inférieures ou égales à 2mm, de même que la détermination de leurs proportions relatives.

Notre détermination a porté sur les cinq fractions ainsi classés :

Argile : $\phi \leq 2 \mu$
Limon fin : $2 \mu < \phi \leq 20 \mu$
Limon grossier $20 \mu < \phi \leq 50 \mu$
Sable fin : $50 \mu < \phi \leq 200 \mu$
Sable grossier $200 \mu < \phi \leq 2000 \mu$

Cette détermination qui utilise la méthode par pipettage consiste en :

- la destruction ou l'inactivation de la matière organique et des ions calcium par le peroxyde ($H_2 O_2$) et l'hexamétaphosphate de sodium.



- au prélèvement lors de la sédimentation des particules très fines (argiles et limons)
- la séparation par tamisage des sables fins et grossiers.

2.3. Détermination de la densité réelle, densité apparente et Porosité totale

La densité réelle de la terre est la masse de matière séchée à l'étuve par unité de volume de terre exempte d'air. Elle s'exprime en g/cm^3 et se détermine par la mesure du volume des particules contenues dans un poids donné suivant le principe de la poussée d'Archimède.

La densité apparente est la masse de matière séchée à l'étuve par unité de volume de terre à l'état naturel et non broyée. Nous avons, pour cela, utilisé des mottes de terres et toujours selon le principe de la poussée d'Archimède.

La porosité totale s'obtient en faisant le quotient de la différence entre d_R et d_A par la d_R , en pour cent.

$$P.T = \frac{d_R - d_A}{d_R} \times 100$$

avec : P.T = Porosité Totale
 $d.R$ = densité réelle
 $d.A$ = densité apparente

2.4. Détermination du potentiel Capillaire (P^F)

Sa connaissance permet la détermination de la réserve en eau utile et aussi la fréquence d'irrigation.

En soumettant à une pression déterminée les échantillons préalablement saturés, on parvient à l'élimination progressive de l'excès d'eau jusqu'à l'établissement d'un équilibre entre la pression et la force de rétention de l'eau par le sol.

La détermination a porté sur les P^F 4,2 ; 3,0, et 2,5.

2.5. Détermination du p^H (H_{20} , K cl).

Cette détermination permet la mesure de l'acidité c'est à dire l'activité des ions H^+ d'une solution.

Le pH est déterminé électroniquement au moyen d'un pH-mètre à lecture directe en utilisant une électrode de verre et une électrode de référence.

2.6. La Conductivité électrique

C'est la conductivité spécifique à 25°C d'un extrait aqueux obtenu d'un mélange de sol et d'eau.

Elle renseigne sur la quantité totale des sels solubles dans les sols et est mesurée à l'aide d'un conductimètre.

2.7. Détermination du taux de carbone et de la matière organique : Méthode WALKLEY BLACK

Le carbone organique est oxydé par du bichromate de potassium ($K_2 Cr_2 O_7$) en milieu sulfurique.

La matière organique est constituée essentiellement de carbone, d'oxygène et d'hydrogène.

On estime à 58% le taux de carbone dans la matière organique, aussi le taux de cette dernière est déterminé en multipliant celui du carbone par le facteur $\frac{100}{58} = 1,724$.

2.8. Détermination des bases échangeables et de la C.E.C

L'extraction est faite avec une solution de Thiouré d'argent. La détermination est faite par spectrophotométrie d'absorption atomique (AAS).

Il y a cependant eu des difficultés quant à la détermination de ces paramètres, du fait que les résultats dépendent de plusieurs facteurs (perfection des appareils, qualité des produits, des préparations, etc..)

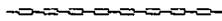
Aussi avons-nous^{eu} recours aux résultats de l'échantillon témoin afin d'introduire un facteur de correction permettant alors d'obtenir des résultats fiables.

La détermination des autres paramètres ayant déjà été largement décrite dans le document technique N° 3 du BU.NA.SOLS., les travaux de OUEDRAOGO O et KABORE E (1989), nous avons estimé inutile de les aborder une fois de plus dans le présent document.

T R O I S I E M E P A R T I E

R E S U L T A T S E T

D I S C U S S I O N S



Chapitre I : CARACTERISTIQUES Pédologiques des sols
Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés

I Caractères des sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés
selon les zones Agroclimatiques du Burkina Faso

Les données obtenues à partir de l'étude bibliographique (cf tableau N°3,4,5) permettent de dégager les caractéristiques principales des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés selon les différentes zones agroclimatiques du pays.

I.1. Caractères des sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés
Indurés liés à l'Environnement

1.1. Climat et Végétation

1.1.1. Climat

Ces zones se caractérisent par les climats soudano-guinéen (zone soudanienne), sahélo soudanien (Centre-Nord) et sahélien (sahel) d'Aubreville (1949).

Les précipitations moyennes annuelles, sous la dépendance du front intertropical (FIT) sont très variables du Sud au Nord.

En effet, elles sont en général au-dessus de 1000 mm dans la zone soudanienne, atteignant même dans certaines localités près de 1200 mm (Maro) ;

Mais dans le Centre-Nord cette pluviosité moyenne annuelle oscille autour de 800 mm pouvant même descendre parfois au-dessous de 600 mm (vallée du Sourou) ; alors qu'au Sahel elle se situe seulement entre 350 mm et 450 mm.

Cependant dans tout le pays, le maximum pluviométrique est enregistré au mois d'Août.

Aussi la saison sèche caractérisée par l'absence de précipitations est la plus longue dans les zones sahélienne et Centre Nord (7 à 9 mois).

Dans l'ensemble de ces zones, on note une uniformité du régime thermique se traduisant par des températures moyennes constantes et élevées tout au long de l'année.

TABLEAU N° 4

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES INDURES DANS LA ZONE SOUDANAIENNE

caractéristiques des sols	unités géomorphologiques	matériel originel-lithologie	milieu et processus de pédogenèse	disponibilité en eau (mm)	disponibilité en O ₂	condition d'enracinement, aisance de pénétration des racines	risque d'inondation	disponibilité en éléments nutritifs	complexe Absorbant	fertilité organique et Minerale	végétation									
unités pédologiques				permeabilité (mm)	Classe de drainage (FAO)	consistance (tan)	texture (gr ps)	durée (fréquence)	Ca ²⁺ meq/100g de sel	K ⁺ meq/100g de sel	S meq/100g de sel	CEC meq/100g de sel	S/T	MOT %	NT %	Pt pass ppm	KT ppm	kas ppm		
SFTL indurés superficiels	plateaux cuirassés	Alterites kaoliniques	Lessivage ferruginisation gravillonnage	15,5	Normal	10	1/m en élément f, moy et gr ps	50 occasionnel à court nul											Combretacées; Petarium m; Parkia biglobosa	
peu profonds	bas de pente raide glacis pentes cuirassées	grès schistodolomites granodiorites granito-gneissiques grès à yeux de quartz	Carapace=22% cuirassé=78%	49	Imparfait	20													Acacia sp; Butyrospermum p; Bombax e; Andropogonées	
SFTL indurés peu profonds	plateaux versants de raccords raides et polygéniques glacis	Granodiorites Alterites kaolitiques piores granito-gneissiques schistes; cuirasses indifférenciées; grès schisto-dolomitiques	Lessivage ferrugineux gravillonnage Induration Carapace=37% cuirasse=63%	15,5	Normal	25	1/m en élément f, moy et gr ps	SL, 25 LS LAS 50 nul	4,6	0,55	0,05	0,86	1,66	38	0,77	0,02	61	0,6	13	Combretacées; Butyrospermum p; Terminalia
profonds	plateaux glacis versant de raccords raides et polygéniques cônes de déjection	Alterites kaoliniques grès schistodolomitiques grès à yeux de quartz schistes; Diorite; granodiorites; granito-gneissiques	Lessivage ferruginisation gravillonnage Induration Carapace=46,6% cuirasse=53,4%	86	modéré	50	1/m à 2 en éléments f, moy et gr ps	LS SL en surf à sol LAS en pfon	4,9	0,6	0,03	0,92	1,95	35	0,58	0,03	74	0,56	13	Combretacées; parkia b; Terminalia sp; Acacia m; Gardenia sp; Petarium m
SFTL indurés profonds	plateaux versants Glacis	Granodiorites granito-gneissique; Alterites kaoliniques	Lessivage ferruginisation gravillonnage Induration Carapace=60% cuirasse=40%	105	Normal	60	1/m à 2 en éléments f, moy et gr ps	LLS 10 NUL SL à en surf 60 LAS	4,7	0,7	0,03	0,8	0,06	36	0,4	0,02	69	0,1	20,5	Butyrospermum parkia
		Grès schistodolomitiques grès à yeux de quartz diorites		132	modéré	2													Combretacées, Acacia sp; Gardenia sp; parkia b; Terminalia sp; Andropogonées	

TABLEAU N° 5

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES INDUREES DANS LA ZONE CENTRE-NORD

Caractéristiques des sols ; Unités ; pedologiques	Matériel Originel-lithologie ; Géomorphologiques ;	Milieu et processus de pedogenèse	Disponibilité en eau (mm)	Disponibilité en : Classe RE meuse de bi drainage FAO	Conditions d'enracinement ; Aisance de pénétration des racines ; Structure ; Texture ; tenuité ; re	Risque d'inondation ; Durée ; Acidité ; pH ; Fréquence	Disponibilité en éléments nutritifs ; Ca ; K ; S ; CEC ; S/T ; Mot ; Nt ; Pt ; pass ; Kt ; kass	Complexité Absorbant ; S ; CEC ; S/T ; Mot ; Nt ; Pt ; pass ; Kt ; kass	Fertilité et Minerale ; Mot ; Nt ; Pt ; pass ; Kt ; kass	Organique ; Pt ; pass ; Kt ; kass	Végétation
SFTL INDURES SUPERFICIEL	Relief résiduel. Glacis (plateaux sup, moy, inf) versants plateaux plaines inter-fluviales	Matériaux kaoliniques issus de granites, quartz, gneiss, migmatites et amphiboles granodiorites grés schistes, gravillons Alluvions etc	Lessivage ferruginisation concretionnement et gravillonnement Induration Carapace=375% Cuirasse=625%	Mod. Normal à Lim	7 friable à gros-sier ps	Nul	5,31,470,22,7,4,6,59	0,870,06	113,9	12,81	Combretacées; Bombax c; Balanites aegyptiaca; Butyrospermum p; pilosissima r; Adansonia d; Lananea m; parkia;
SFTL INDURES PEU PROFONDS	Glacis (inf, moy, et sup) versants Erodés plateaux plaines Relief Residuel	Granites granodiorites Roches volcanosédimentaires Carapace ou cuirasse ferrugineuse Alluvions et colluvions gneiss.	Activités biologiques gravillonnement Lessivage Induration Ferruginisation Carapace=43% CUIRASSE=57%	Mod. Normal à Rap	24 friable à peu ferme	Nul	5,40,8,0,11,8,2,8,52	0,710,04	74,0,7,11,8	37,42,314	Combretacées; Balanites a; Butyrospermum p; parkia b; Acacia sp; Tamarindus indica;
SFTL INDURES Moyenne-ment profonds	Glacis versant plateaux Relief Residuel Plaines Interfluviales	Matériaux kaoliniques issus de granites, quartz, migmatites, Amphibolés Colluvions-Alluvions; gneiss granodiorites	Activité Biologique ferruginisation Lessivage Induration Carapace=63% Cuirasse=37%	Mod. Normal à Rap	41 friable à peu ferme	Nul	5,71,580,02,353,75	0,02120	0,2,10,7,5	74,114	Combretacées; butyrospermum p; Bombax c; Lananea m; Anogeissus l; Balanites a;
SFTL INDURES PROFONDS	Glacis (inf, moy, sup) versants Erodés plateaux Relief residuel plaines Interfluviales	Matériaux kaoliniques issus de granites, granodiorites, gneiss, migmatites et Amphiboles. Matériaux gravillonnaires Colluvions-alluviales	Alteration kaoliniques issus de granites, granodiorites, gneiss, migmatites et amphiboles; Matériaux gravillonnaires Colluvions-alluviales	Mod. Normal à Rap	65 friable à peu ferme	Nul	5,31,5,0,02,2,3,2	0,410,0	56,0,1,14,6,8	70,74	Combretacées; butyrospermum p; Lananea m; Andropogon g; Tamarindus indica.

Partout, Décembre-Janvier présentent les températures les plus basses alors que les températures maximales s'observent en Mars-Avril.

Le Sahel présente les températures les plus élevées (46°C) et les plus basses (7°C) du pays.

En conclusion, il ressort que :

- Les zones Centre-Nord et sahélienne présentent une sécheresse sévère et une très brève période pluvieuse engendrant une pluviométrie annuelle dérisoire et progressivement décadente.

- La zone soudanienne est la plus arrosée et la moins soumise aux très fortes températures.

1.1.2. Végétation

A partir des tableaux récapitulatifs (Tableaux N°3,4,5) par zone, on constate que la végétation la plus basse et la moins dense se rencontre dans le Sahel à cause non seulement de l'épaisseur du sol mais surtout de la rigueur du climat.

La zone soudanienne, avec une savane arbustive et arborée dense à peu dense, un tapis herbacé à dominance d'Andropogonées, est la mieux fournie en espèces végétales.

Ainsi on peut conclure que la végétation, reflet des influences édaphiques et anthropiques dépend également du climat.

1.2 Géologie- Géomorphologie- Hydrologie

Ces sols apparaissent en général dans les trois zones sur des formations Birrimiennes et Antébirrimiennes à prédominance de granites, granito -dorites, granito-gneissiques, Schistes, grès et Amphiboles.

En plus, dans la zone sahélienne on peut les observer sur des sables éoliens.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés se localisent au niveau des reliefs, des Glacis, Plaines et Interfleuves. Dans les zones Soudanienne et Centre-Nord, on les rencontre également sur les versants et les plateaux.

Le réseau hydrographique assez dense à dense dans la zone soudanienne (Volta Noire, PONI..) est peu dense dans le Centre-Nord.

Ainsi l'accessibilité en saison pluvieuse est assez difficile dans la zone soudanienne.

I.2. Caractères Morphologiques et Physiques

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés se rencontrent sur les glacis dans le Sahel ; les glacis, les versants et les plateaux dans les zones soudanienne et Centre-Nord.

Ils ont pour matériau originel les granites, les grès, les schistes, les colluvions et sont caractérisés par les phénomènes de lessivage, de ferruginisation et d'induration.

Dans l'ensemble ces sols présentent trois types d'horizons : A, B, C.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés dans l'ensemble des zones ont un horizon de couleur brune à brun-grisâtre qui passe au rouge ou jaune-brunâtre en profondeur.

La consistance est ferme à friable pour ces sols.

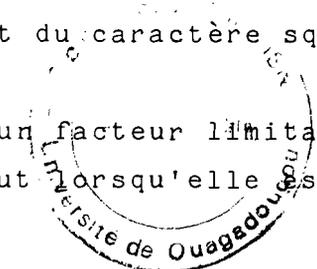
L'activité biologique est assez bien à bien développée et les racines assez nombreuses, sont fines, très fines et moyennes.

La profondeur d'apparition de la cuirasse ou carapace varie en fonction des zones.

En effet, l'induration dans la zone soudanienne semble s'effectuer plus en profondeur (\approx 10 cm pour les indurés superficiels) par rapport aux deux autres zones agroclimatiques (\approx 7cm).

Ceci pourrait se justifier en partie par l'exposition des zones soudanienne Centre-Nord (principalement la province du Yatenga) et sahélienne aux risques importants d'érosions ; facteurs de décapage des couches superficielles meubles. A cet effet, le G.E.R.E.S estime au Yatenga qu'il y a départ de 1 cm/an de terre à cause essentiellement des pratiques culturales et du caractère squelettique de la végétation protectrice.

Cette induration constitue très souvent un facteur limitant majeur à la mise en culture de ces sols surtout lorsqu'elle est superficielle ou peu profonde.



Le drainage normal dans le Centre-Nord est normal à modéré voire imparfait dans la zone soudanienne à cause vraisemblablement d'une pluviosité plus importante dans celle-ci.

Ce drainage ne semble cependant pas constituer une contrainte majeure pour les sols indurés du pays.

La réserve en eau utile estimée sur les 50 premiers cms semble, plus importante dans la zone Centre-Nord surtout dans la région de GAMPELA (58 à 177 mm) en partie à cause de la proximité des sols décrits d'un cours d'eau.

Cette réserve hydrique, faible à moyenne voire élevée dans les zones soudanienne et Centre-Nord est par contre faible à très faible dans la zone sahélienne à cause probablement de la pluviosité dérisoire, de la forte évaporation, de la texture beaucoup plus grossière des sols de cette zone.

Cette réserve en eau est dans l'ensemble très faible sur les sols indurés superficiels par rapport aux autres subdivisions de sols de ce groupe.

Les risques d'inondation nuls dans les zones sahélienne et Centre-Nord sont occasionnels et de courte durée dans la zone soudanienne.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Burkina ont une structure massive à faiblement développée en éléments fins moyens et grossiers, polyédriques subangulaires.

Toutefois, elle peut être moyennement développée au niveau des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds et profonds des zones soudanienne et Centre-Nord.

La texture est en général limono-sableuse ou sablo-limoneuse en surface à limono-argilo-sableuse en profondeur surtout au niveau des sols ferrugineux moyennement profonds et profonds.

Cette variation texturale avec la profondeur serait due au lessivage vertical et latéral des argiles et à l'érosion sélective de ces dernières en surface.

La charge graveleuse moyenne à élevée augmente avec la profondeur dans ces trois zones avec, cependant des taux plus importants dans la zone soudanienne (80 à 90%).

Elle peut par conséquent engendrer des difficultés quant à la pénétration racinaire ; mais peut favoriser, cependant une meilleure aération des sols.

I.3. Caractères chimiques

3.1. Capacité d'Echange Cationique : C.E.C.

Elle est très basse à moyenne dans les sols des trois zones avec toutefois une légère prédominance dans le Centre-Nord et le Sahel. BOYER J (1978) explique à cet effet que les sols constamment décapés par l'érosion (Cas du Sahel et du Centre-Nord) sont peu épais et de ce fait plus riches en bases provenant de la roche mère ; alors que ceux de la zone soudanienne mieux protégés sont plus profonds et donc bénéficient beaucoup moins des apports en bases de la roche-mère.

On pourrait également évoquer la minéralisation plus rapide de la matière organique dans le Centre-Nord et le Sahel (facteur climatique: saison sèche plus longue stimulant l'activité microbienne) restituant ainsi plus facilement et en quantité plus importante les bases aux sols.

Cette capacité d'échange augmente généralement avec la profondeur et est la plus faible dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels.

3.2. Somme des bases échangeables : S

En relation avec la C.E.C, elle est très basse dans la zone soudanienne et basse à moyenne dans le Centre-Nord et à Oursi (Sahel).

Elle croît également avec la profondeur.

Le taux de saturation est bas à très élevé (36% à 93%) dans la zone soudanienne et moyen à très élevé dans (52% à 93%) dans le Centre-Nord et le Sahel.

Les faibles teneurs de la C.E.C. et de la somme des bases échangeables des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, semblent dues à la nature kaolinitique de leur argile qui a alors un faible pouvoir de fixation des cations, au matériau parental et à leur faible teneur en matière organique.

3.3. Réaction du sol : le pH

Il est très fortement à faiblement acide (4,6 à 6,2) dans la zone soudanienne ; fortement acide à neutre (5,3 à 7,0) dans le Centre-Nord et très fortement acide à légèrement alcalin (4,2 à 7,7) au Sahel.

Ainsi la zone soudanienne semble la plus acide des trois zones à cause probablement de sa faible teneur en cations échangeables ($Mg^{2+} + Ca^{2+}$) par rapport aux deux autres zones.

Les valeurs du pH augmentent avec la profondeur.

3.4. Fertilité organique et minérale

3.4.1. Matière organique

La teneur en matière organique est basse (0,5% à 1,0%) à élevée (2,0% à 3,%) dans les zones soudanienne et Centre-Nord, basse à moyenne au Sahel.

Ces teneurs très faibles sur les sols indurés superficiels diminuent en général avec la profondeur.

La relative faiblesse du taux de matière organique au Sahel est en partie due à la végétation squelettique qui s'y développe et aussi à l'action plus importante de l'érosion ou encore à la minéralisation plus rapide de celle-ci dans cette zone.

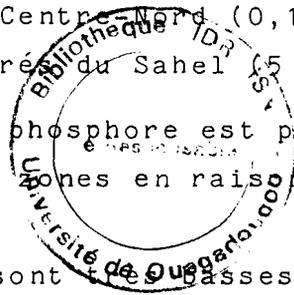
Le taux d'azote également diminue avec la profondeur ; il est bas à moyen dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés du pays.

3.4.2. Fertilité minérale

Les teneurs en phosphore assimilable très basses dans les zones soudanienne (0,1 à 4,2 ppm) et Centre-Nord (0,1 à 5 ppm) sont basses à moyennes dans les sols indurés du Sahel (5 à 20 ppm).

On pourrait alors penser que le phosphore est plus fortement retrogradé dans les deux premières zones en raison de leurs teneurs en argiles plus élevées.

Les valeurs en phosphore total sont basses à moyennes dans le Centre-Nord et la zone soudanienne et seulement basses à moyennes dans le sahel (190 à 230ppm).



Le potassium total est moyennement à très fortement représenté dans le Centre Nord, alors qu'il est beaucoup moins important dans les sols du Sahel et dans la zone soudanienne.

3.5. Conclusions

Les sols ferrugineux lessivés indurés se caractérisent dans l'ensemble par leur pauvreté relativement marquée en réserves minérales (principalement les bases échangeables, l'azote et le phosphore) et organiques.

Ces sols sont souvent caractérisés par une faible profondeur utile et un taux élevé de graviers ferrugineux. Cas des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels et peu profonds.

La structure est massive à faiblement développée en éléments grossiers, moyens, fins polyédriques subangulaires en surface et faiblement à moyennement développée en profondeur.

La texture est grossière en surface et assez fine en profondeur. La plus ou moins grande perméabilité de ces sols (en l'occurrence dans la zone Centre-Nord) peut avoir pour conséquence une perte notable de l'eau irriguée.

Par ailleurs, le phénomène d'érosion paraît plus accentué dans le Centre-Nord et le Sahel à cause de leur faible couverture végétale et des pratiques culturales, entraînant ainsi une dégradation beaucoup plus rapide de ces terres.

Ces sols sur matériau kaolinitique se caractérisent dans l'ensemble par le lessivage, la ferruginisation et l'induration.

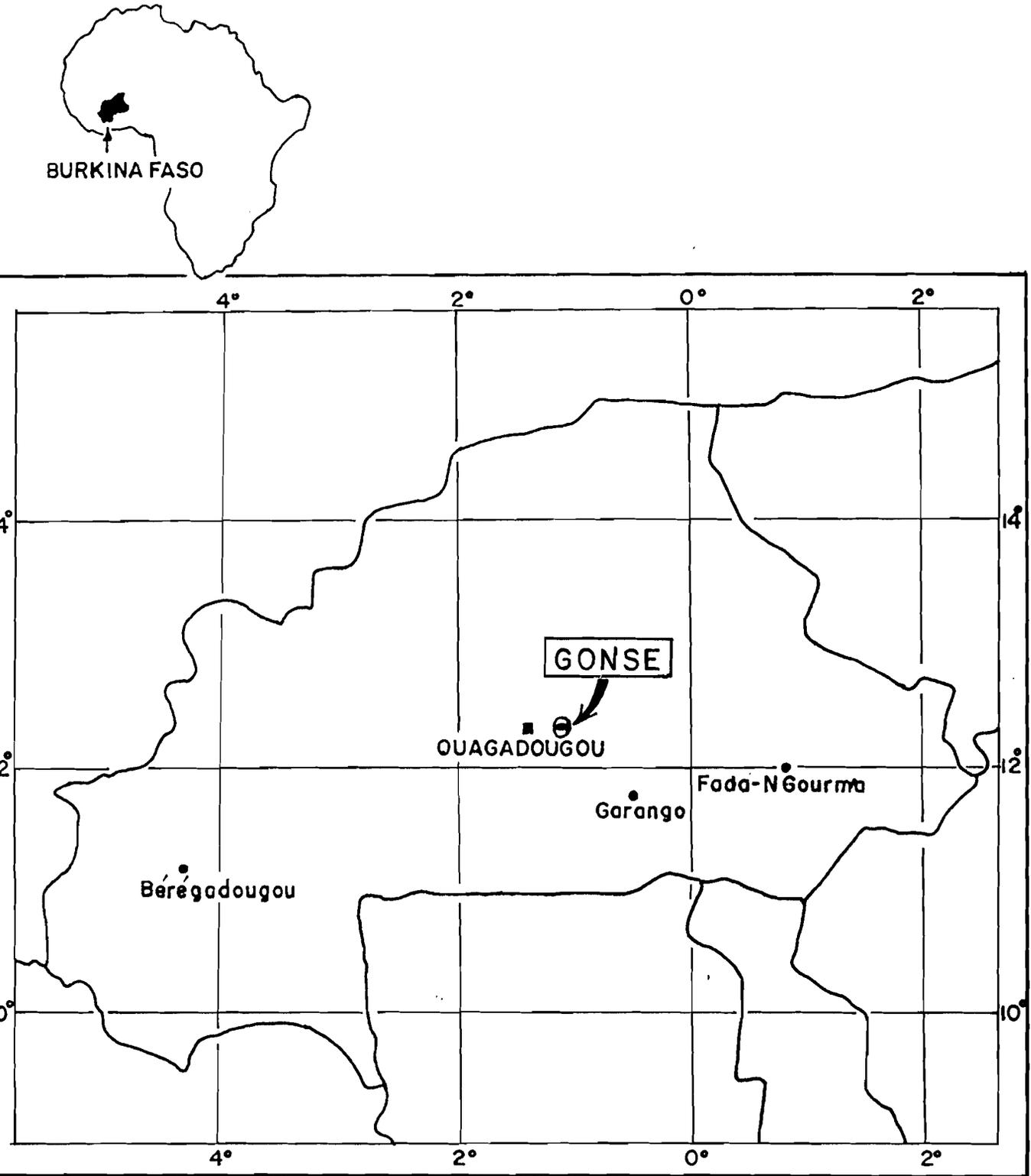
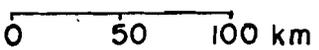


Figure N° 2

SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Echelle



II CARACTERES DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES
INDURES DE LA TOPOSEQUENCE DE GONSE :
ETUDE DE CAS DANS LA ZONE SOUDANO-SAHELIENNE CENTRE
NORD.

La toposéquence de sols décrits est dite toposéquence de Gonsé et se situe à environ 25 kms à l'Est de Ouagadougou. Elle est d'orientation E.ES - WNW. (fig n° 3).

II 1. Caractéristiques du sommet de la toposéquence:
la butte cuirassée

Afin de mieux comprendre l'organisation du paysage, il a paru nécessaire d'observer le "fonctionnement" du sommet de la toposéquence, caractérisé par une butte cuirassée tabulaire (table ou enclume cuirassée).

Cette butte présente deux parties :

- Une partie dont la cuirasse est désagrégée, constituée de nombreux graviers ferrugineux et quelques cailloux et s'étendant sur environ 114 m de long.

- La seconde partie dont la cuirasse est en état de désagrégation peu marquée, elle est constituée d'énormes blocs de cuirasse et s'étendant sur 80 m de long avec une largeur maximale de 24 m.

Il est possible de penser qu'initialement cette butte mesurait approximativement 200 m de long sur 30 m de large.

L'épaisseur de certains blocs de cuirasse atteint 8,5 m et protège le manteau d'altération kaolinitique.

Cette butte cuirassée comme d'ailleurs l'ensemble des buttes présentes dans la zone semble être du quaternaire et appartient au moyen glaciaire.

La butte, avec des blocs de cuirasse, de formes pisolthiques ou vésiculaires, se caractérise essentiellement par une végétation arbustive à dominance de Guiera senegalensis, Combretum micranthum et quelques herbacées.

T A B L E A U N°01 : Pluviométrie (en mm) : (Region de GONSE pendant 4 années)

Années Mois	1985	1986	1987	1988	Moyenne/ 4 ans
Janvier	-	-	-	-	-
Février	-	-	-	-	-
Mars	-	-	-	-	-
Avril	-	-	-	86,2	21,55
Mai	-	-	12,3	56,65	17,23
Juin	73,5	96,6	192,0	133,67	123,9
Juillet	174,6	186,7	139,5	137,87	159,66
Août	194,8	222,8	180,3	226,77	206,16
Septembre	174,1	171,5	88,35	94,02	131,99
Octobre	16,4	16,65	13,65	24,27	17,74
Novembre	-	1,3	-	-	0,32
Décembre	-	-	-	-	-
Total	633,4	695,55	626,1	759,45	678,55

T A B L E A U N° 02 : Températures moyennes mensuelles de GONSE
(1985-1987)

Mois Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1985	26,1	26,7	32,0	32,6	32,6	30,0	26,4	26,6	26,8	29,3	28,2	23,7
1986	23,4	28,8	30,8	33,9	31,9	29,1	26,6	26,3	26,3	29,2	27,3	23,5
1987	26,1	28,6	30,4	32,7	33,8	29,6	28,4	28,2	28,4	29,1	28,9	25,2

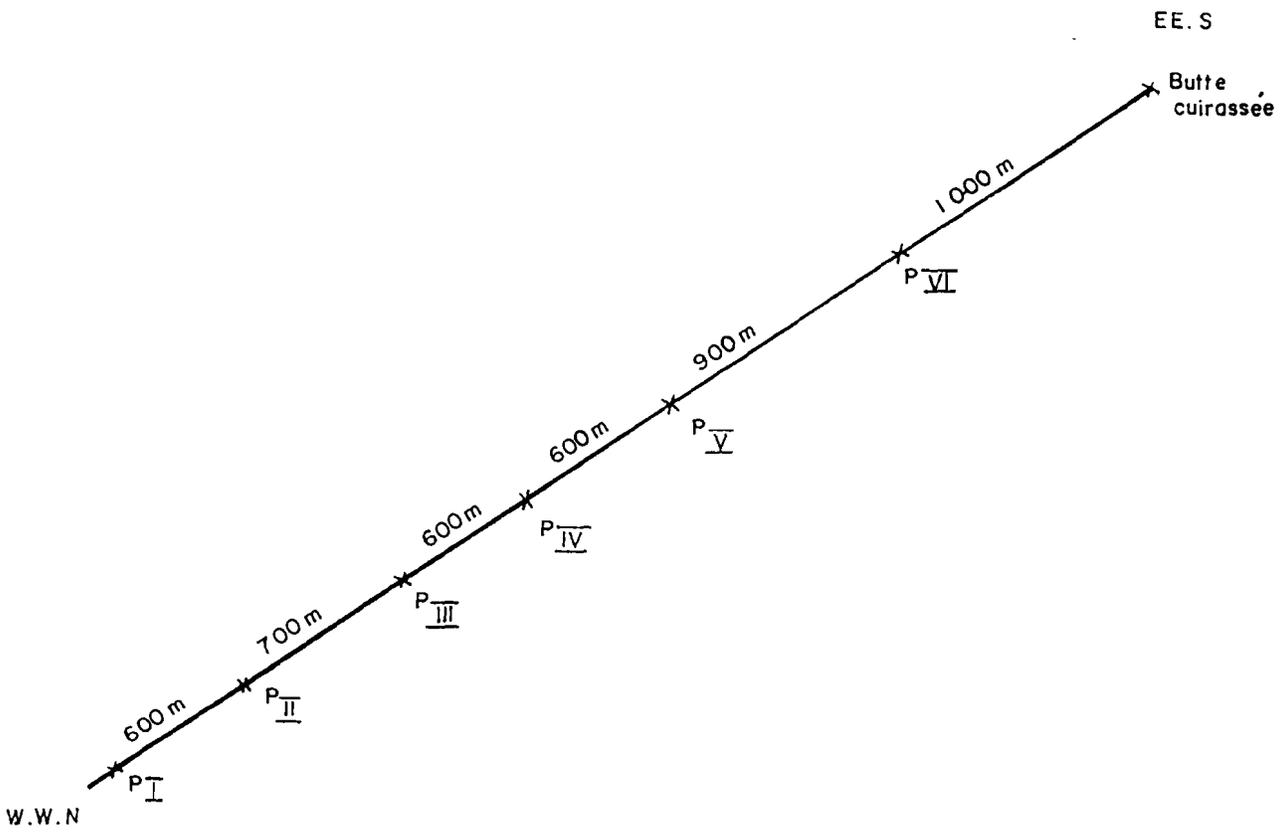


Fig N°:3

PRESENTATION DES PROFILS DE LA TOPOSEQUENCE DE GONSE

Cette végétation est très dégradée du fait de la xéricité du milieu, de la coupe du bois et des feux de brousse.

Autant de facteurs qui concourent à une ^{faible} protection de la butte, ce qui l'expose aux différentes formes d'érosion ; entraînant ainsi le démantèlement et la désagrégation mécanique progressifs des blocs de cuirasse, suivie de l'altération chimique par action de l'eau ou biochimique (action des Lichens, Algues).

L'action biochimique de ces végétaux semble du reste, vérifiée par la présence des taches noirâtres parfois rencontrées sur les blocs de cuirasse.

Le processus de démantèlement, de désagrégation accompagné de l'altération des blocs et dalles de cuirasse conduisent à de nombreux graviers ferrugineux ou quartziques et au recul du front de la butte.

La partie supérieure de cette butte soumise à un ensoleillement plus intense présente une coloration rouge-brique indiquant la prédominance d'oxydes ferriques (hématite) tandis que les parties inférieures plus riches en hydroxydes ferriques (goéthite) ont une couleur ocre à jaune.

Les produits de l'altération progressive de cette butte (graviers et terre fine) sont ensuite transportés par l'eau et le vent.

Les éléments les plus grossiers se retrouvant au pied de la butte tandis que les éléments les plus fins sont entraînés vers les zones les plus basses : gradient de dépôt en fonction de la pente et de la compétence de l'eau.

Ces différents dépôts colluviaux jouent un rôle dans l'enrichissement en graviers, en argiles et en fer au niveau des sols de la toposéquence de Gonsé ; ils peuvent dans certains cas être recimentés par le fer et donner ^{naissance} à de nouvelles cuirasses à texture conglomératique, pisolithique...

II. 2. Caractères morphologiques des sols de la toposéquence

Ce sont des sols dont la profondeur est généralement limitée par la présence d'une carapace ou cuirasse, avec des horizons bien différenciés de type A,B.

Aussi le niveau d'apparition de la couche indurée a permis d'obtenir quatre subdivisions de sols ferrugineux lessivés indurés.

Tous les profils étudiés se situent au niveau du glacis avec des pentes faibles (1 à 2%)

Le matériau parental est constitué principalement de colluvions provenant des nombreuses buttes cuirassées environnantes telle celle décrite précédemment.

Le drainage, normal dans la plupart des profils est normal à modéré dans le profil P_{II}.

L'érosion intervenant en tant que processus de destruction de la ressource en terre, est très souvent en nappe et parfois en rigoles dans ces sols.

L'activité biologique assez bien développée à bien développée diminue en général en profondeur.

Les racines sont nombreuses et assez grosses à moyennes en surface et ont tendance à diminuer aussi bien en taille qu'en nombre avec la profondeur. Cet enracinement traduit une bonne capacité des sols à supporter la végétation.

Egalement la relative bonne activité biologique pourrait suggérer une bonne aération dans ces sols.

L'induration dans les profils est faible à moyenne.

2.1. Caractères morphologiques des horizons A

Les horizons de surface sont de couleur brune, brun-pâle à brun jaunâtre clair à l'état sec (10 YR 5/3 ; 6/4) et brun jaunâtre sombre à brun-grisâtre (10 YR 4/4) à l'état humide.

Ces horizons peuvent atteindre 23 cm de profondeur : cas du profil P_I.

La structure est faiblement développée en éléments moyens grossiers fins polyédriques subangulaires ; la texture est limono-sableuse à sablo-limoneuse et la consistance peu dure.

Les pores sont nombreux, fins, moyens, très fins et larges. On y observe quelquefois des taches.

La transition avec l'horizon sous-jacent est graduelle à distincte mais peut être abrupte irrégulière lorsqu'il repose directement sur la couche indurée : cas du profil P_{IV} = sol ferrugineux tropical lessivé induré superficiel.

2.2. Caractères morphologiques des horizons B.

A l'état sec, la couleur de ces horizons varie du brun très pâle au jaune-brunâtre (10 YR 7/4 ; 6/6 ; 8/6).

Elle devient brun-jaunâtre sombre à jaunâtre (10YR 4/6 ; 8/6) à l'état humide.

Ces horizons peuvent atteindre 100 cm d'épaisseur.

La texture est argilo-limoneuse à limono-argilo-sableuse ; ce qui entraîne une structure massive à faiblement développée en éléments moyens, fins très fins, polyédriques subangulaires.

L'activité biologique accuse une légère baisse d'intensité ; de même que la taille et le nombre des pores et racines.

C'est à ce niveau qu'apparaît le plus souvent l'induration qui peut être selon les cas une carapace ou une cuirasse.

L'horizon d'altération C n'a pas été atteint en raison de la profondeur des profils creusés (\leq 120 cm).

Cependant dans la zone de Gampela cet horizon est présent à une profondeur d'environ 6 mètres (Toposéquence de Gampela)

2.3. CONCLUSION

En résumé, ces sols se caractérisent par la présence d'horizons se différenciant par leur couleur, leur épaisseur, leur structure, leur texture et aussi par leur taux de refus.

- L'horizon A, généralement peu épais ne contient que très peu d'éléments grossiers, exceptés les cas d'apports excessifs. Sa texture plus grossière crée une meilleure aération et favorise le développement de l'activité biologique.

- L'horizon B, beaucoup plus épais est marqué par les phénomènes de lessivage (illuviation) et de ferruginisation entraînant une texture plus fine, une élévation du taux de refus et la cimentation de l'horizon en carapace ou en cuirasse.

Il est moins aéré et connaît un faible développement de l'activité biologique.

- L'horizon d'altération C, situé à des profondeurs parfois supérieures à plusieurs mètres est caractérisé par la présence d'altérites.

II. 3. Caractères Physiques des sols

3.1. Le Taux de refus

C'est le taux d'éléments grossiers de dimension supérieure à 2 mm. Le mode d'altération de la roche mère, la pente, la géomorphologie du milieu de même que la nature du matériau parental influent énormément sur la nature, l'importance des éléments grossiers.

Selon leurs dimensions, on pourrait les catégoriser comme suit :

- Les graviers : $0,2 \text{ cm} \leq \phi \leq 7,5 \text{ cm}$.
- Les cailloux : $7,5 \text{ cm} \leq \phi \leq 25 \text{ cm}$
- Les blocs : $\phi > 25 \text{ cm}$.

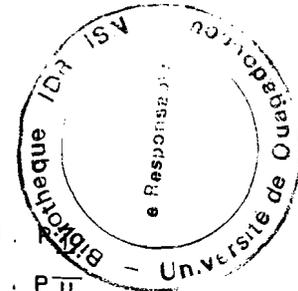
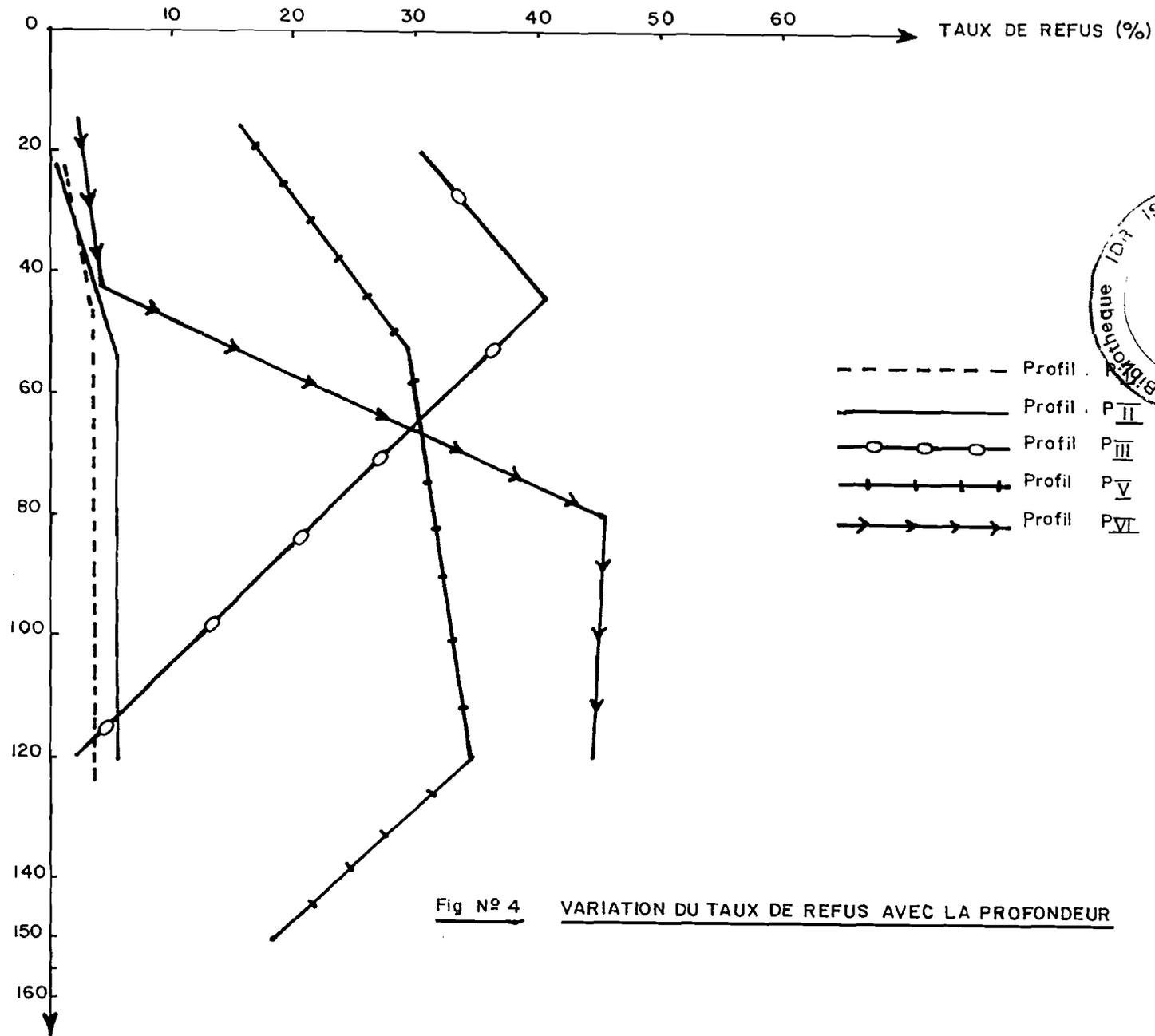
Cette fraction grossière sera donc de nature diversifiée selon les sols et les horizons considérés.

Les éléments grossiers peuvent être formés sur place par précipitation des oxydes et hydroxydes de fer et/ou de manganèse : ce sont les concrétions ferrugineuses, ferro-manganifères; ou être l'objet d'un apport extérieur (allochtone) par le ruissellement : c'est le cas des gravillons.

Ce taux souvent très faible en surface (P_1 et P_{II}) croit toujours avec la profondeur. En effet, par exemple dans le profil P_{VI} , il passe de 0% en surface à 46% en profondeur.

Cette augmentation notable du taux de refus avec la profondeur, s'explique en partie par la dynamique de la ferruginisation qui consiste en une ségrégation et une concentration des oxydes et hydroxydes de fer dans les horizons inférieurs. Nous avons en effet, dans les généralités (Ière partie) mis en évidence le rôle prédominant du fer dans la formation des concrétions ferrugineuses.

Par ailleurs, des graviers de quartz et de feldspaths sont parfois observés dans les profils, notamment dans le profil P_{III} . Ceux-ci pourraient provenir d'une altération différentielle les épargnant.



T A B L E A U N° 06 : Evolution de la teneur en éléments fins et du taux de refus avec la profondeur.

N° Profil	Profondeur cm	Argiles	Limons (2- 50,µ) %	Sables (50-200,µ) %	Taux de refus % 2 mm
P _I	0 - 23	5,25	26,59	68,16	-
	23 - 46	19,50	27,37	53,12	-
	46 - 123	31,00	26,60	42,40	3,5
P _{II}	0 - 22	22,25	27,81	49,94	-
	22 - 54	33,50	26,53	39,97	-
	54 - 120	33,00	28,00	39,00	5,30
P _{III}	0 - 20	4,00	23,70	72,30	30,3
	20 - 44	15,00	22,43	62,57	40,6
	44 - 120	40,00	25,44	34,56	1,9
P _{IV}	0 - 20	8,50	34,95	56,55	25,90
P _V	0 - 16	3,50	23,67	72,83	15,50
	16 - 53	9,25	20,40	70,35	29,60
	53 - 120	15,5	23,53	59,97	34,40
	120 - 150	23,25	24,33	52,42	18,40
P _{VI}	0 - 15	26,00	42,09	31,91	-
	15 -43	34,50	31,83	33,67	-
	43 -80	47,75	27,80	24,45	45,70
	80 - 120	42,75	30,48	26,76	44,40

Le taux de refus augmente la porosité du sol et évite l'effet de tassement, il constitue cependant à des proportions élevées une contrainte à la pénétration racinaire.

3.2. Granulométrie

L'analyse granulométrique porte sur la terre fine ($\phi < 2\text{mm}$) Cette terre fine se compose des cinq (5) classes granulométriques suivantes, permettant par la suite de définir la texture du matériau :

- Les sables grossiers : $200\mu \leq \phi \leq 2\text{mm}$
- Les sables fins : $50\mu \leq \phi \leq 200\mu$
- Les limons grossiers : $20\mu \leq \phi \leq 50\mu$
- Les limons fins : $2\mu \leq \phi \leq 20\mu$
- Les argiles : $\phi \leq 2\mu$

Cette analyse nous révèle que tous les profils ferrugineux indurés présentent au niveau superficiel de très importantes teneurs en sables (57 % dans P_{IV} à 73 % dans P_V) notamment en sables fins (23 % à 42 %).

La détermination du rapport sable fin/sable grossier (SF/SG) montre une augmentation de ce dernier avec la profondeur reflétant ainsi fidèlement la fragmentation des minéraux primaires sous l'effet conjugué de l'altération et des contraintes internes. Cependant on note une diminution de ce rapport en surface traduisant une prédominance de la fraction sable grossier à ce niveau. Cette diminution superficielle du rapport SF/SG pourrait être liée au tri par l'érosion entraînant plus aisément les sables fins. (ROOSE, E, 1981).

La teneur en limons des horizons superficiels des profils varie de 24% (dans P_{III}) à 42 % (P_{VI}) alors que les argiles représentent en surface seulement 3,5 % (cas de P_V) à 26 % (cas de P_{VI}).

L'évolution ultérieure de ces différentes fractions se caractérise par une baisse progressive dans les horizons sous-jacents des taux de sables (cas de P_{III} où l'on passe de 72 % en surface à 35 % dans le 3e horizon) couplée à une augmentation notable des taux en argile (P_{VI} : on passe de 26 % en surface à 47,75%).

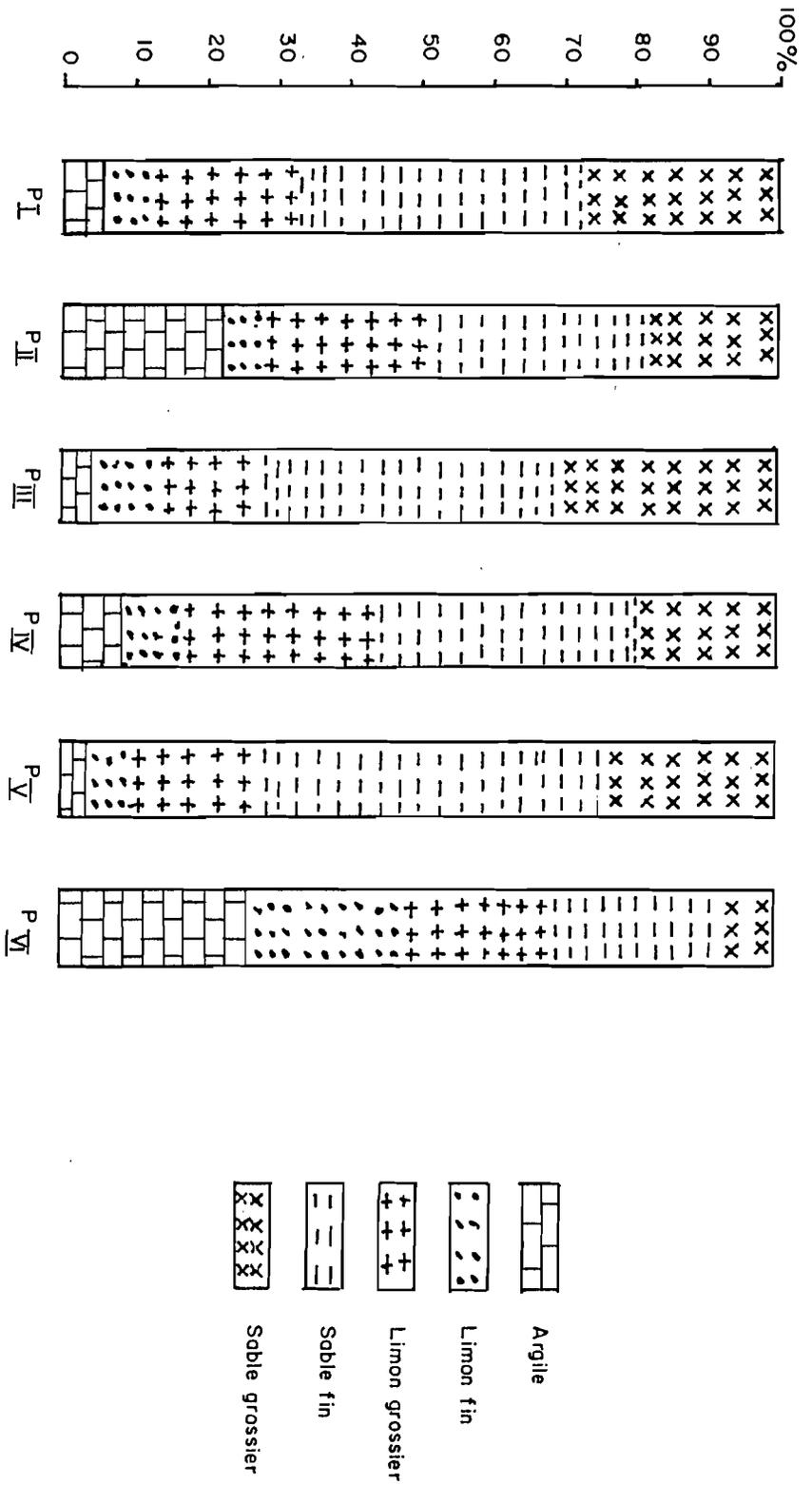


Fig N° 5

COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DES HORIZONS SUPERFICIELS (1ers horizons)

Les taux de limons demeurent pratiquement constants dans tout le profil.

Les faibles teneurs d'argiles ainsi observées en surface proviendraient essentiellement de l'action conjuguée du lessivage de ces particules très fines et de l'érosion en nappe de type sélective.

Ce départ préférentiel des argiles des horizons superficiels favorise l'accumulation relative des sables, lesquels sont assez lourds pour résister plus ou moins énergiquement aux phénomènes de lessivage et de ruissellement.

L'enrichissement en particules sableuses des horizons superficiels pourraient également provenir des apports par colluvionnement à partir des buttes cuirassées alors que leur relative faiblesse en profondeur pourrait en partie, être liée à la nature de la roche mère et surtout à l'altération poussée des minéraux primaires dans le domaine ferrugineux.

Par ailleurs, certains auteurs ont suggéré une hypothèse géochimique pour expliquer les faibles teneurs d'argiles en surface. Ils évoquent en effet la destruction de la kaolinite (argile dominante dans ces sols), en milieu acide au contact de l'humus pour justifier l'appauvrissement en argiles.

Selon SOURABIE N, 1979, la mise en culture des sols, conduit à l'appauvrissement en argiles des horizons superficiels : le taux d'argile passerait de 9% (sous jachère) à 3% dès la première année de culture ; ceci parce que la culture en remontant les argiles les expose davantage à l'érosion sélective.

Ce constat semble justifier les très faibles teneurs d'argiles en surface des profils P_I (5,25%) ; P_{III} (4,00%) et P_V (3,5%) se situant tous dans des champs.

Cependant deux profils (P_{II} et P_{VI}) se singularisent par des taux d'argiles assez élevés depuis la surface.

Ce phénomène pourrait s'expliquer d'une part (cas de P_{II}) par l'intense activité biologique des termites qui remonteraient depuis les profondeurs, d'importantes quantités d'éléments fins de type argileux ; d'autre part (P_{VI}) par la protection des

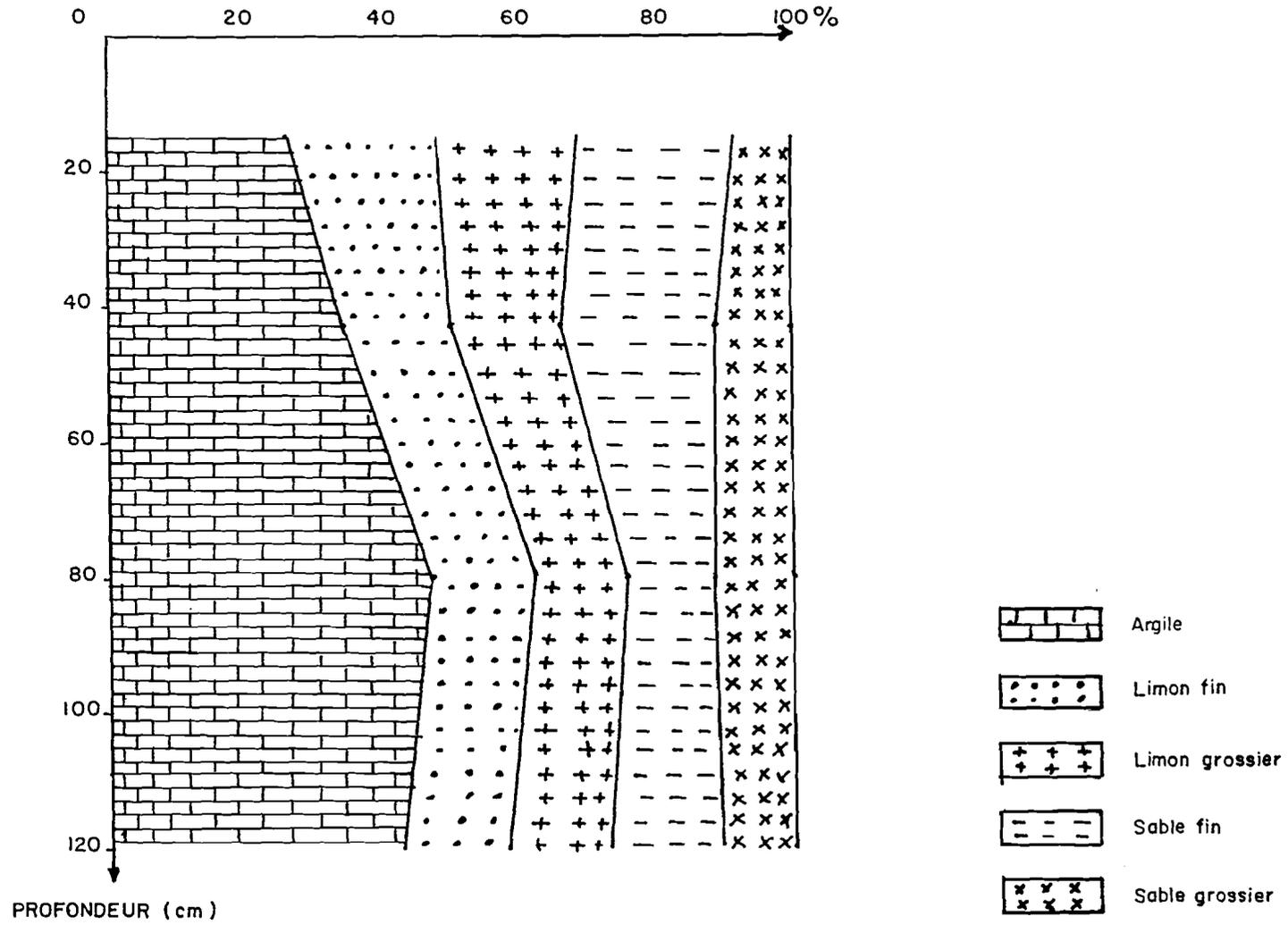


Fig N° 6 VARIATION DE LA GRANULOMETRIE AVEC LA PROFONDEUR DANS LE PROFIL P VI

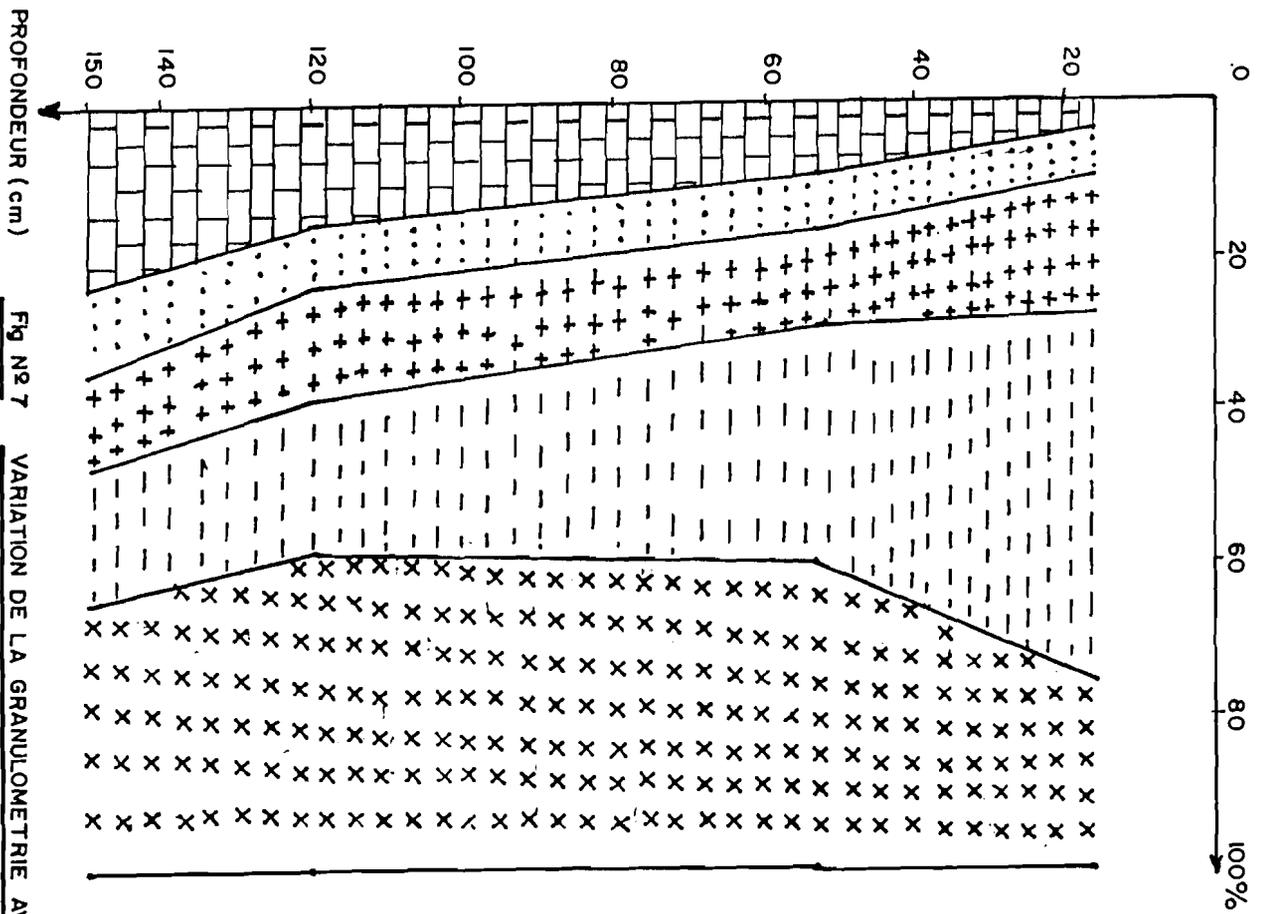
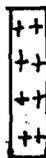
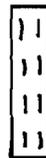
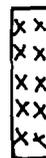


Fig N° 7

VARIATION DE LA GRANULOMETRIE AVEC LA PROFONDEUR DANS

P.V.

-  Argille
-  Limon fin
-  Limon grossier
-  Sable fin
-  Sable grossier

Eucalyptus contre les processus de lessivage excessif et d'érosion sélective par ruissellement pouvant entraîner les particules argileuses.

Ainsi dans l'ensemble, les horizons superficiels des sols de la toposéquence présentent une texture sablo-limoneuse ou limono-sableuse, excepté P_{II} et P_{VI} où elle^{est} limono-argilo-sableuse.

Les fortes teneurs en sables fins et celles relativement importantes des limons, généralement observées, engendrent souvent le développement d'une pellicule de battance diminuant ainsi l'infiltration des eaux.

Nous avons, à partir de l'indice d'encroûtement de surface, évalué le risque de dégradation physique des profils.

I_e = Indice d'encroûtement (FAO, 1980) = $\frac{1,5 Lf + 0,75 Lg}{A + (10 \times Mo)}$
avec Lf = Limon fin (< 20 μ) %
Lg = limon grossier (20-50 μ) %
A = Argile %
MO = matière organique %.

Le risque de dégradation physique est faible (car I_e < 1,5) pour les profils : P_{II}, P_{IV}, P_V et P_{VI} ; mais moyen (1,5 < I_e < 2,5) pour P_I et P_{III}.

On constate que ce risque est d'autant plus important (élevé) que les teneurs en argiles et en matière organique de l'horizon superficiel sont plus basses.

Ce phénomène s'observe alors sur les sols indurés dénudés et donc mieux exposés à l'érosion sélective des argiles et de la matière organique : cas de P_I et P_{III}.

A cet effet, ROOSE E en 1971 estimait que la présence d'une pellicule d'encroûtement pouvait provoquer la perte de 65-70% des précipitations par ruissellement entraînant ainsi la terre fine et la matière organique.

Ces résultats font ressortir par ailleurs l'importance de la jachère et des plantations pour la protection des sols contre l'encroûtement.

3.3. Densité réelle, densité apparente et porosité totale

La valeur de la densité apparente des profils oscille entre 1,3 et 1,7 donc est sensiblement proche de celle rencontrée dans la littérature (1,7).

La densité réelle des profils varie de 2,5 à 2,7 ce qui du reste semble concorder avec les résultats de GAUCHER, 1968 (in GUIRA T. 1988).

D'une façon générale, ces densités varient peu avec la profondeur des profils.

La porosité totale exprime le pourcentage volumique des espaces occupés par l'air et l'eau dans le sol.

Elle est surtout constituée de pores très fins, fins, moyens, et parfois des pores larges.

Cette porosité calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{Porosité totale} = \frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$$

varie de 37, 04% à 48% dans les profils étudiés.

Les variations de cette porosité semblent dépendre étroitement du degré de développement de la structure des sols (faible à massive) et de l'activité biologique.

Les profils présentent ainsi dans l'ensemble une porosité favorable à une bonne aération des sols et une infiltration des eaux excepté les cas d'encroûtement en surface parfois observés
(P_I P_{III})

3.4. La réserve en eau utile du sol

Elle est liée aux caractéristiques des sols.

La détermination de ce paramètre a été effectuée à partir de trois constantes hydriques :

- $p^F_{2,5}$ considéré comme la capacité au champ
- $p^F_{3,0}$ l'humidité correspondante à la capacité de rétention en eau du sol.
- $p^F_{4,2}$: capacité au point de flétrissement.

La réserve en eau du sol est obtenue à partir de la formule suivante :

$$R.Umm = \frac{(p^F_{2,5} - p^F_{4,2}) \times D.A \times Y}{100}$$

D.A = densité apparente

Y = épaisseur du sol considéré en mm.

T. A B L E A U N° 07 : Evolution de la réserve en eau utile

N° Profil	Profondeur (cm)	Texture	Densité Apparente g/cm ³	Densité Réelle	Porosité Totale	R. Réserve en eau utile (mm)
P _I	50	SL à LS	1,65	2,7	37,04	86,75
P _{II}	50	LAS	1,5	2,6	42,31	100,88
P _{III}	50	SL à LS	1,6	2,6	38,46	75
P _{IV}	20	LS	1,5	2,6	42,31	77,25
P _V	50	SL	1,6	2,6	38,46	75,52
P _{VI}	50	LA	1,3	2,5	48	138,88

SL = Sablo - limoneux

LS = Limono - sableux

LA = Limono - argileux

LAS = Limono - argilo - sableux

Cette réserve en eau a été estimée sur 50 cm.

Ainsi les résultats obtenus et consignés dans le tableau N° 7 montrent :

- une teneur plus grande d'eau utile (138,88mm) dans l'horizon superficiel du profil N° P_{VI}, sous Eucalyptus comparativement aux autres profils.

- une diminution assez brutale de la quantité d'eau utile avec la profondeur dans ce profil P_{VI} : la R.U. passe de 138,88 mm en surface à 108,08 mm dans l'horizon immédiatement sous-jacent.

- une augmentation de cette réserve avec la profondeur dans l'ensemble des autres profils en corrélation positive avec les teneurs en argiles jusqu'à l'induration : cas de P_I où elle passe de 87 mm à 102 mm en profondeur.

Aussi, on pourrait penser que l'Eucalyptus permet une augmentation de la teneur en eau dans les horizons superficiels mais entraîne plutôt une chute de celle-ci en profondeur ; résultats analogues à ceux de THIOMBIANO L. 1984.

Par contre dans les autres profils cette teneur croît en profondeur avec l'élévation des taux d'argiles qui possèdent une forte capacité de rétention en eau.

3.5. Conclusions sur les données physiques

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés présentent des taux d'éléments grossiers faibles à moyens (0% à 30%) en surface, augmentant notablement avec la profondeur (46%).

Ces éléments grossiers proviennent des processus de ferruginisation et/ou des apports allochtones.

Leur texture est limono-sableuse à sablo-limoneuse en surface entraînant ainsi parfois des phénomènes d'encroûtement ou de battance.

Cette texture, par suite du lessivage des argiles devient beaucoup plus fine en profondeur créant ainsi par moments une discontinuité texturale préjudiciable à l'enracinement.

La texture de surface par les fortes teneurs de sables fins et de limons explique les phénomènes d'encroûtement, ou de battance parfois rencontrés dans les profils.

La porosité totale dans l'ensemble est favorable à une bonne aération des sols et une infiltration des eaux, exceptés les cas d'encroûtement ou de battance parfois rencontrés en surface.

La réserve en eau, moyenne (5 - 10%) à élevée (10 - 15%) dans les profils, augmente avec la profondeur en corrélation positive avec les teneurs en argiles.

Les résultats obtenus font ressortir l'importance de la végétation sur le comportement des sols.

En effet l'encroûtement de surface semble très faible dans la plantation d'Eucalyptus (P_{VI}) et la jachère, alors que sur terrain dénudé (par la culture par exemple) il est assez remarquable.

Il en est de même pour la réserve en eau utile qui est la plus importante dans les zones sous forte végétation.

II. 4 Caractères chimiques des sols

L'interprétation des données chimiques a été effectuée selon les normes BU.NA.SOLS. et porte principalement sur les 40 premiers cms du sol compte tenu des types d'utilisation des terres envisagés.

4.1. La matière organique

Les sols analysés présentent, sur les 40 premiers cms des teneurs moyennes (1,04% à 1,63%) en matière organique.

La tendance générale est à la diminution progressive des teneurs avec la profondeur c'est le cas du profil P_{VI} où l'on passe de 2,17%[▲] matière organique en surface à 0,99% dans le 4e horizon.

Le taux exceptionnellement élevé de matière organique observé dans l'horizon superficiel de ce profil P_{VI} s'expliquerait par la nature de la végétation.

En effet, ce profil étant situé dans une plantation d'Eucalyptus camaldulensis, les nombreuses feuilles, écorces et rameaux contiennent des substances (lignine, tanins) très difficilement décomposables et minéralisables par les micro-organismes du sol.

Cependant contrairement à l'évolution d'ensemble des teneurs de matière organique, deux profils P_{II} et P_{III} se caractérisent par une élévation des teneurs en matière organique avec la profondeur. Ainsi dans P_{II} on passe de 1,28% en surface à 1,43% en profondeur et dans P_{III}, on passe de 1,06% à 1,54%.

On pourrait expliquer cette évolution dans P_{III} situé dans un champ de mil donc sur terrain nu, par l'érosion sélective diminuant le taux de matière organique en surface ; pour P_{II}, l'augmentation relative de la teneur en profondeur s'expliquerait en partie par l'intense activité biologique (présence de termites) qui y est développée et aussi par les nombreuses racines mortes qui s'y rencontrent.

Dans l'ensemble, le taux de carbone varie de 0,49% à 1,26% et diminue en général avec la profondeur.

Les teneurs moyennes de matière organique de ces profils dépendraient donc :

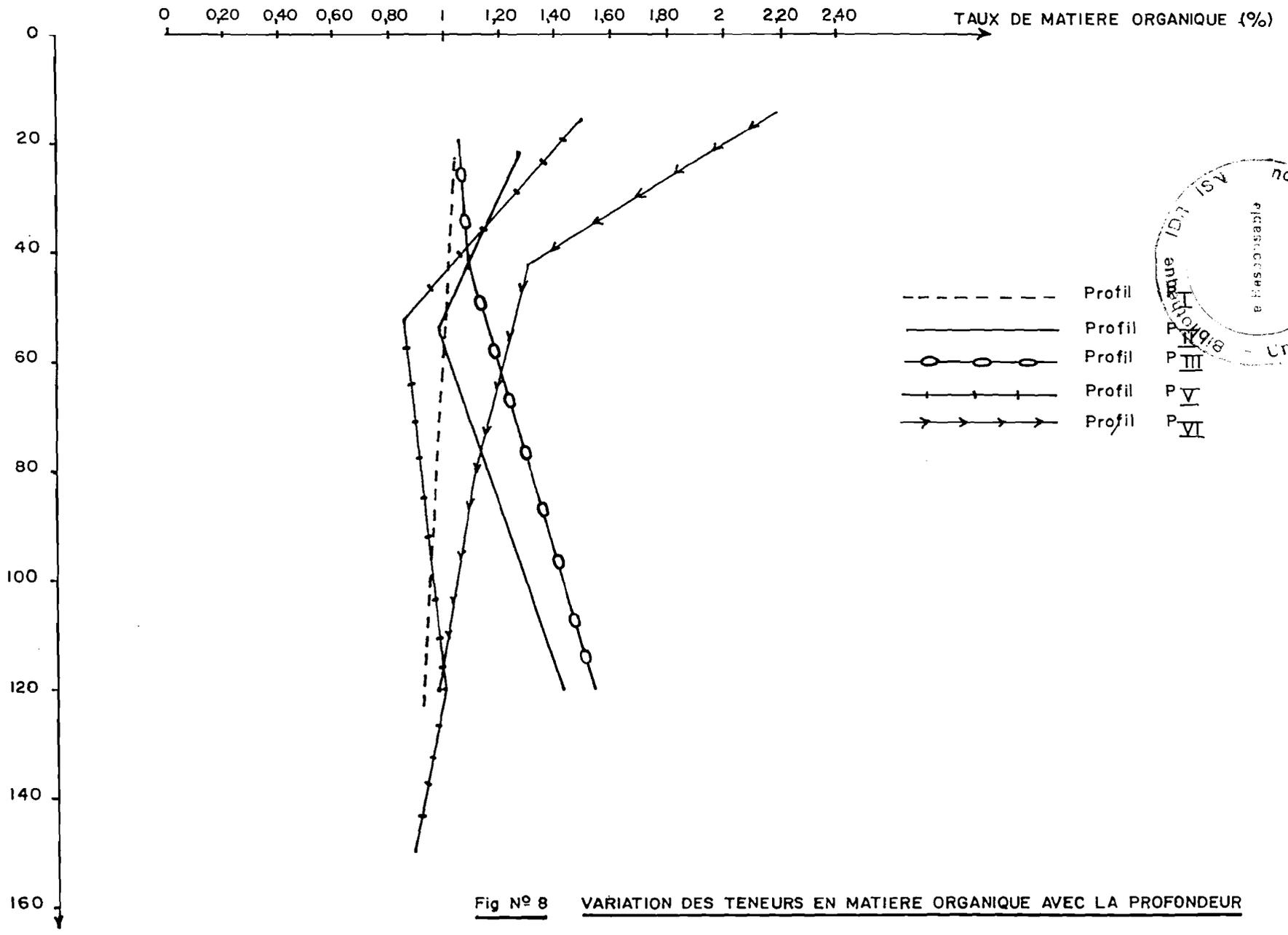


Fig N° 8 VARIATION DES TENEURS EN MATIERE ORGANIQUE AVEC LA PROFONDEUR

PROFONDEUR (cm)

T A B L E A U N° 08 : Evolution des teneurs en matière organique, Azote total et du rapport C/N dans les sols

N° Profil	Profondeur cm	M O T %	N _T %	C/N
P _I	0 - 23	1,05	0,039	15,64
	23 - 46	1,02	0,047	12,55
	46 - 123	0,94	0,073	7,40
P _{II}	0 - 22	1,28	0,103	7,19
	22 - 54	0,99	0,069	8,41
	54 - 120	1,43	0,070	11,86
P _{III}	0 - 20	1,06	0,06	10,17
	20 - 44	1,10	0,09	7,10
	44 - 120	1,54	0,109	8,17
P _{IV}	0 - 20	1,43	0,061	13,61
P _V	0 - 16	1,50	0,047	14,25
	16 - 53	0,85	0,055	8,91
	53 - 120	1,01	0,060	9,67
	120 - 150	0,88	0,028	18,21
P _{VI}	0 - 15	2,17	0,149	8,46
	15 - 43	1,30	0,101	7,46
	43 - 80	1,13	0,122	5,33
	80 - 120	0,99	0,096	6,04

- du climat (températures élevées) qui stimule l'activité microbienne et donc la minéralisation.

- de la végétation, source essentielle de la matière organique.

- de l'activité biologique

- de la position topographique, favorable au ruissellement et donc à l'érosion sélective de la matière organique, appauvrissant ainsi les sols.

Cependant les données des profils P_{II} et P_{III} nous permettent de conclure au rôle positif des termites et des racines en profondeur dans l'augmentation du taux de matière organique et de carbone dans ces sols.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés ont des teneurs basses à moyennes en matière organique, ce qui influence négativement la structure, la capacité de fixation des éléments nutritifs ; en somme une bonne nutrition minérale des plantes.

4.2. L'azote

Les teneurs en azote des sols analysés sur les 40 premiers cms sont basses (0,02 % - 0,06%) pour P_I et P_V ; moyennes (0,06 - 0,10%) pour P_{II}, P_{III} à élevées pour P_{VI} (0,12%).

Ces teneurs dépendent comme la matière organique de l'activité biologique (cas de P_{II}) et de l'abondance de matière végétale comme le témoigne le taux élevé en surface dans P_{VI} (0,15%). Elles ont également tendance à augmenter dans les niveaux médians (cas de P_I où l'on passe de 0,039% en surface à 0,047% dans l'horizon sous-jacent) pour ensuite s'abaisser en profondeur.

La détermination des rapports C/N permet d'obtenir des informations sur la nature de la litière, le degré de développement de l'activité micro-organique.

Ainsi les rapports C/N voisins de 10 pour l'ensemble des profils témoignent d'une matière organique bien décomposée donc bien minéralisée ce qui implique une assez bonne activité biologique.

T A B L E A U N° 09 : Evolution des teneurs en N,P,K, avec la profondeur

N° Profil	Profondeur cm	P. Total ppm	P. ass ppm	K. Total ppm	K. dispo ppm	N %
P _I	0 - 23	74	3,63	600	57,30	0,039
	23 - 46	72	1,25	895	35,90	0,047
	46 - 123	77	0,77	1168	17,50	0,073
P _{II}	0 - 22	202	4,78	1981	529	0,103
	22 - 54	132	3,90	2110	511	0,069
	54 - 120	125	7,91	2128	435	0,070
P _{III}	0 - 20	73	2,10	420	49,9	0,060
	20 - 44	100	1,47	521	22,9	0,09
	44 - 120	91	0,45	796	38,9	0,109
P _{IV}	0 - 20	119	9,25	829	114,7	0,061
P _V	0 - 16	60	4,40	508	56,90	0,047
	16 - 53	65	2,36	663	16,00	0,055
	53 - 120	60	2,55	779	16,70	0,060
	120 - 150	21	1,98	1027	17,40	0,028
P _{VI}	0 - 15	186	4,21	911	72,2	0,149
	15 - 43	103	2,42	834	29,3	0,101
	43 - 80	117	7,08	1023	46,70	0,122
	80 - 120	117	1,28	887	59,30	0,096

Lorsque ces valeurs sont inférieures à 10 comme c'est le cas dans le profil P_{III}, alors les réserves en matière organique sont faibles parce que les sols subissent une minéralisation importante.

Il semblerait que la fertilité d'un sol croît toujours dans certaines limites avec le taux de matière organique et d'azote total.

4.3. Le phosphore

Il est en réserve dans le sol sous forme de phosphate de calcium, de fer et d'alumine ; ainsi que sous des formes organiques (CHAMAYOU H ; LEGROS J.P. 1989).

Son passage dans la solution du sol se ferait alors par dissolution.

Le phosphore dérive principalement de la décomposition des roches. L'acidité du milieu augmenterait leur stabilité tandis que la présence de calcium la diminue.

Très abondant dans les organes jeunes des plantes et semences, il joue un double rôle de véhicule et moteur dans la photosynthèse. Il a également un rôle important dans le développement des plantes en influençant directement le développement du système racinaire et la formation des graines.

Cependant la carence en phosphore est une des plus graves et des plus fréquentes entraves à l'intensification de la production de céréales sur les sols (DABIN, 1979 in GUIRAUT, 1988).

Les profils étudiés présentent des teneurs en phosphore assimilable très faibles (< 5ppm).

Ce résultat est conforme à ceux de DABIN 1967 in Zombré 1984 sur sols ferrugineux tropicaux.

Les teneurs en phosphore total y sont très basses (< 100ppm) pour P_I : 73 ppm ; P_{III} : 87 ppm et P_V 63 ppm ; à basses (100-200 ppm) pour P_{II} = 171 ppm ; P_{IV} = 119 ppm et P_{VI} = 134.

On constate en outre, une variation régressive du taux de phosphore assimilable avec la profondeur dans les profils: cas de P_V ou l'on passe de 4,4 ppm en surface à 1,98 ppm dans le dernier horizon.

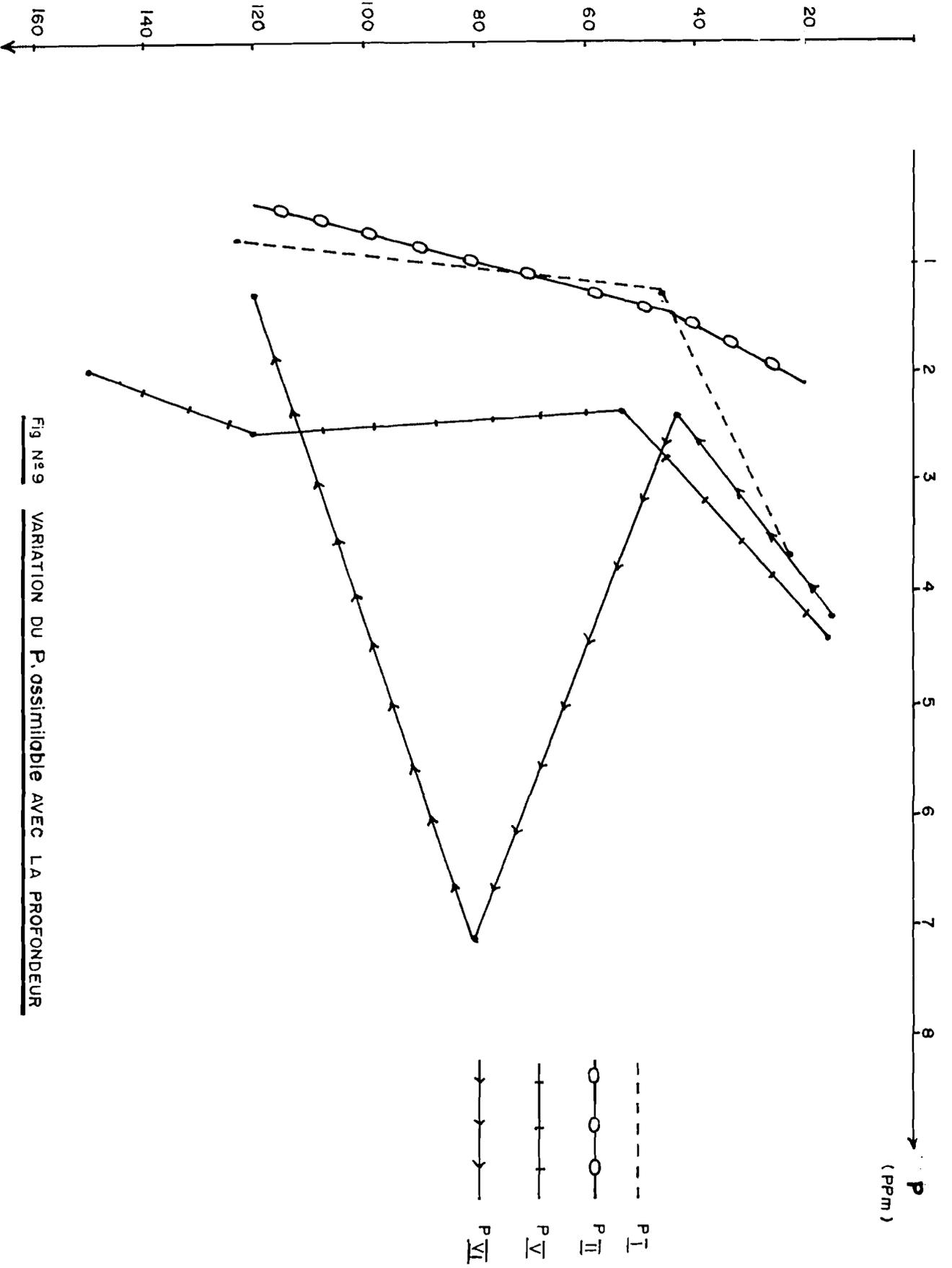


Fig N°9 VARIATION DU P. ASSIMILABLE AVEC LA PROFONDEUR

Ces variations avec la profondeur, semblent en corrélation positive avec le taux de matière organique, la teneur et le type d'argile et aussi le pH.

En effet, l'acidité augmentant la solubilité de cet élément, les relatives importantes quantités de calcium rencontrées dans les horizons de profondeur auront donc tendance à insolubiliser davantage le phosphore donc à le rendre inassimilable par les plantes.

L'augmentation des oxydes et hydroxydes de fer et d'alumine en liaison avec le taux croissant de kaolinite en profondeur, favorise la complexation du phosphore par ces derniers contribuant ainsi à l'inaccessibilité du phosphore par les végétaux.

Enfin la matière organique, en plus du phosphore organique qu'elle apporte au sol, peut complexer à travers l'humus, les oxydes et hydroxydes d'alumine et de fer, empêchant par conséquent l'insolubilisation du phosphore.

La pauvreté manifeste en phosphore total des profils pourrait se justifier par la nature granitique (pauvre en phosphore) des roches-mères.

On pourrait également évoquer les équilibrés

$\frac{P_{205}}{P_{205}}$ assimilables

$\frac{P_{205}}{P_{205}}$ Total

inférieurs à 5% dans les profils étudiés pour

confirmer la quasi-pauvreté de ces derniers en phosphore assimilable.

4.4. Le potassium

Les profils de sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés (P_I , P_{III} , P_{IV} , P_V et P_{VI}) présentent des teneurs basses (25-50 ppm) à moyennes (100-200 ppm) en potassium disponible.

Seul le profil P_{II} est très riche (> 200 ppm) en potassium disponible.

Les teneurs en potassium total sont basses (< 100 ppm) pour P_I , P_{II} , P_{IV} , P_V , P_{VI} à élevées (2000-4000 ppm) pour P_{II} .

Pendant que les teneurs en potassium disponible décroissent avec la profondeur, celles en potassium total semblent plutôt augmenter avec la profondeur.

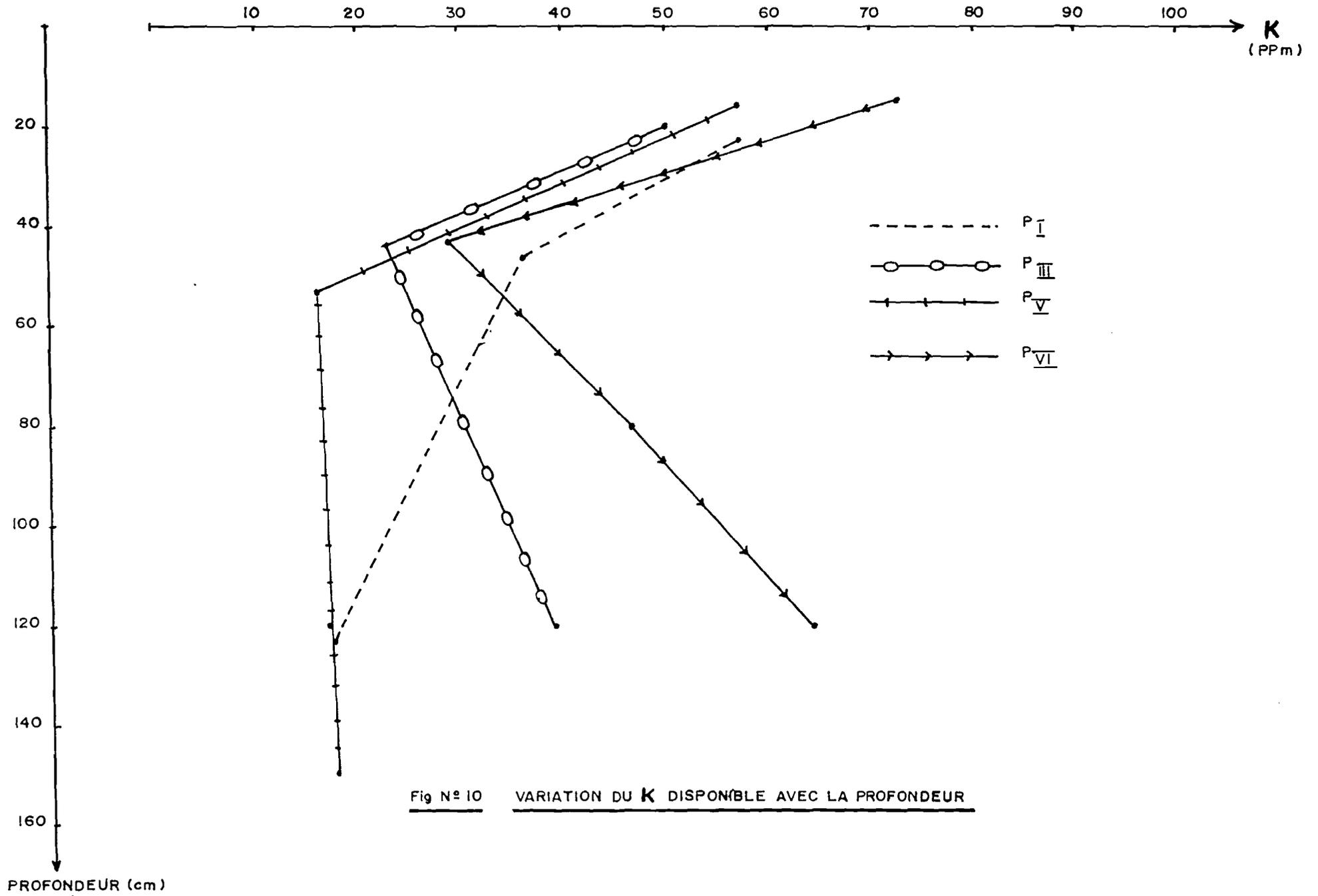


Fig N° 10 VARIATION DU K DISPONIBLE AVEC LA PROFONDEUR

Ceci pourrait être dû au phénomène de retrogradation plus important des argiles en profondeur rendant ainsi le potassium moins assimilable.

Les résultats du profil P_{II} peuvent suggérer un rôle important des termites dans l'approvisionnement du sol en potassium.

4.5. Le Calcium

Le sol étant issu d'un matériau originel, il paraît alors logique que le calcium du sol dérive principalement des minéraux primaires de la roche-mère, malgré les éliminations et pertes intenses au cours de la pédogenèse.

Il provient aussi de la minéralisation de la matière organique et des apports atmosphériques par intervention de la pluie.

Cependant MEYER et DUPRIEZ (1954) estiment que cette dernière forme n'est qu'une simple restitution des cations calciques se trouvant dans la couche superficielle des sols et dans les cendres végétales.

Bien d'autres facteurs comme l'intensité des précipitations et du drainage, l'âge et la profondeur du sol, l'activité biologique (termites) et surtout l'érosion influencent énormément les teneurs en calcium des sols (BOYER J, 1978).

Le rôle essentiel de cet élément consisterait à la neutralisation de l'acidité développée par certains acides organiques.

Cependant son absence ou carence peuvent engendrer :

- une diminution de la croissance par inhibition de la division cellulaire

- une diminution de l'absorption des cations monovalents (Na^+ , K^+) et parallèlement une augmentation nocive des cations divalents (Mg^{2+} , Cu , Al) pouvant induire chez l'arachide la maladie des "gousses vides" (WATSON, 1964 et BOYER J 1978).

Son excès dans le sol également entrainerait des chloroses par insolubilisation du fer.

Les profils étudiés montrent une augmentation des teneurs en calcium disponible avec la profondeur ; cas de P_I : 414 ppm en surface et 412 ppm dans le dernier horizon; P_{II} on passe de 709 ppm à 765 ppm dans le troisième horizon.

Le phénomène de lixiviation des cations calciques pourrait être la cause essentielle de cette évolution croissante du calcium disponible avec la profondeur.

Cependant au niveau du profil P_{VI} situé dans la plantation d'Eucalyptus, c'est plutôt l'horizon superficiel qui a la teneur de calcium disponible la plus élevée soit 1136 ppm contre 701 ppm pour le quatrième horizon.

A ce sujet, SAUVAGEOT A et KNOGKART C (1980) in THIOMBIANO L, 1984, ont montré que les écorces et feuilles d'Eucalyptus camaldulensis seraient très riches en ions calcium, ce qui justifie l'importance relative en surface dans ce profil.

Les faibles teneurs en calcium des profils étudiés seraient également dues à la nature acide (granite), donc pauvre en calcium de leurs matériaux parentaux.

Ces faibles teneurs semblent par ailleurs couplées avec des p^H relativement acides, en témoigne les taux élevés de calcium (709 - 765ppm) dans le profil P_{II} où le p^H est moyennement à fortement basique (8,4 - 8,6). En effet, le calcium étant un cation basique, sa teneur relativement faible favoriserait l'acidité.

Les faibles teneurs en calcium des profils seraient préjudiciables quant à la formation d'agrégats argilo-humiques, donc à la capacité d'échange cationique du sol, affectant ainsi la fertilité physique et chimique des sols.

4.6. Le Magnésium

Cet élément aurait pratiquement les mêmes origines que le calcium, c'est à dire dérivant essentiellement de l'altération des minéraux.

La teneur de magnésium disponible dans ces sols augmente avec la profondeur : cas de P_{III}: 47 ppm en surface à 107 ppm en profondeur ; en raison essentiellement de sa lixiviation par l'eau de percolation.

Sa prédominance dans l'horizon superficiel du profil P_{VI} (215 ppm contre 191 ppm dans le 3e horizon) serait due à l'apport par les Eucalyptus et peut-être aussi aux dépôts en surface par colluvionnement.

4.7. Le complexe absorbant

Le complexe argilo-humique a la propriété de retenir autour de ses molécules un essaim de cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , et accessoirement NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+}).

Ces cations sont dits échangeables car ils peuvent faire l'objet de substitutions avec les cations de la solution du sol. Le complexe absorbant se caractérise par la somme des bases échangeables (S), la capacité d'échange cationique (T) et le taux de saturation (S/T).

4.7.1. La somme des bases échangeables

(S en meq/ 100g de sol)

C'est la quantité totale de cations métalliques fixés par le sol au moment de l'analyse.

L'ordre optimal décroissant des teneurs en cations échangeables dans les profils, est le suivant : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . En effet tous les profils montrent une prédominance du calcium et du magnésium dans le complexe absorbant.

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} représentent dans l'ensemble environ 90 à 95% des bases échangeables, alors que le K^+ et le Na^+ accusent des teneurs très réduites dans la plupart des horizons.

La somme des bases échangeables est basse (1-6 meq/100 g) pour P_I , P_{III} , P_{IV} et P_V ; à moyenne (6-11 meq/100g) pour P_{II} et P_{VI} .

Sa relative importance pour les deux derniers profils (P_{II} et P_{VI}) pourraient être due à l'activité des termites dans la remontée du calcium, pour P_{II} et à l'apport calcique des écorces d'Eucalyptus pour P_{VI} .

On pourrait également joindre à ces raisons, les fortes teneurs d'argiles dans ces profils favorisant ainsi une meilleure fixation des cations.

On constate dans tous les profils une augmentation des teneurs en bases échangeables avec la profondeur en corrélation positive avec les teneurs en argiles. C'est le cas de P_{III} où S passe de 2,24 meq/100 g en surface à 4,06 meq/100 g dans le 3ème horizon.

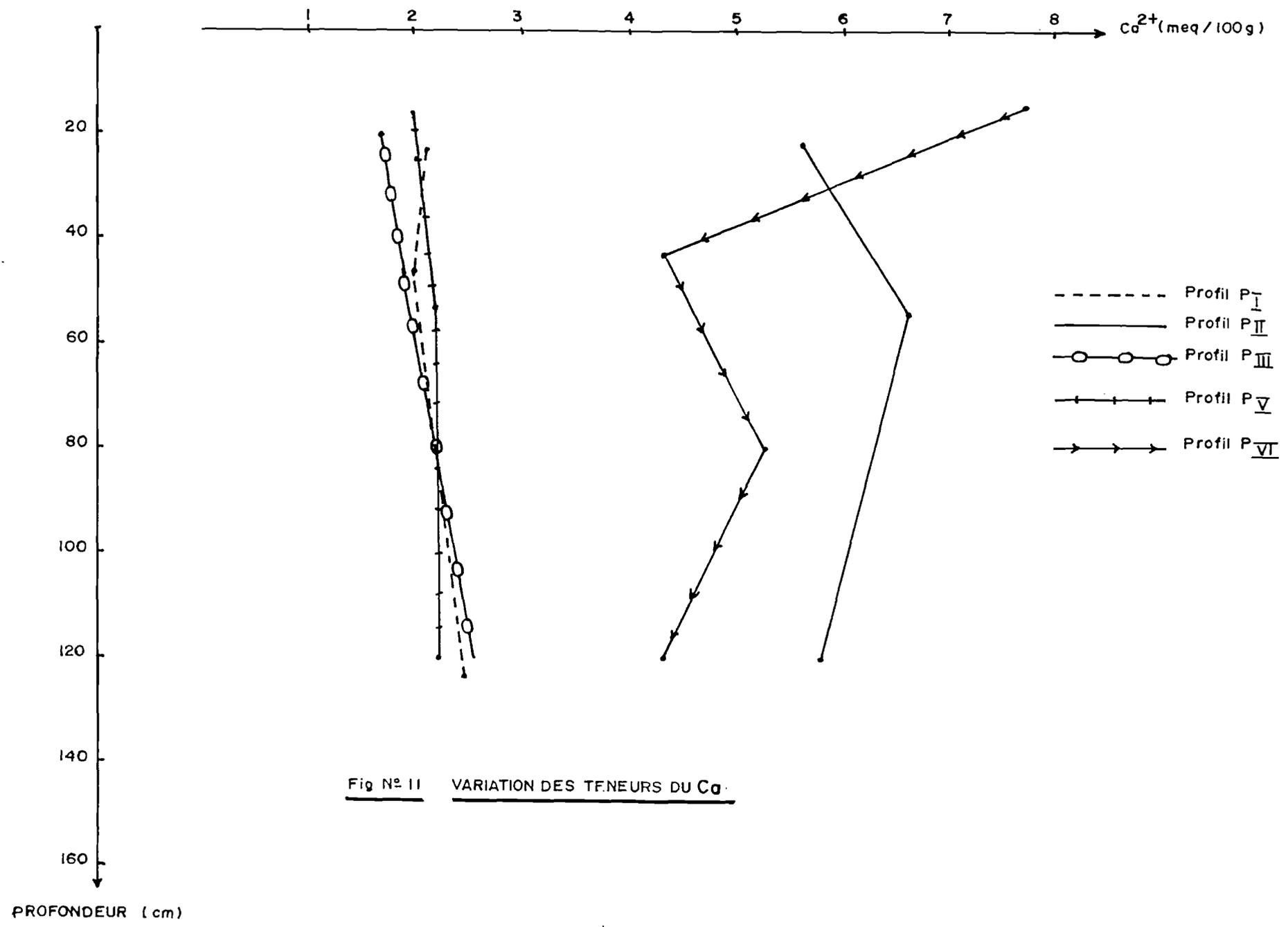


Fig N° II VARIATION DES TENEURS DU Ca

PROFONDEUR (cm)

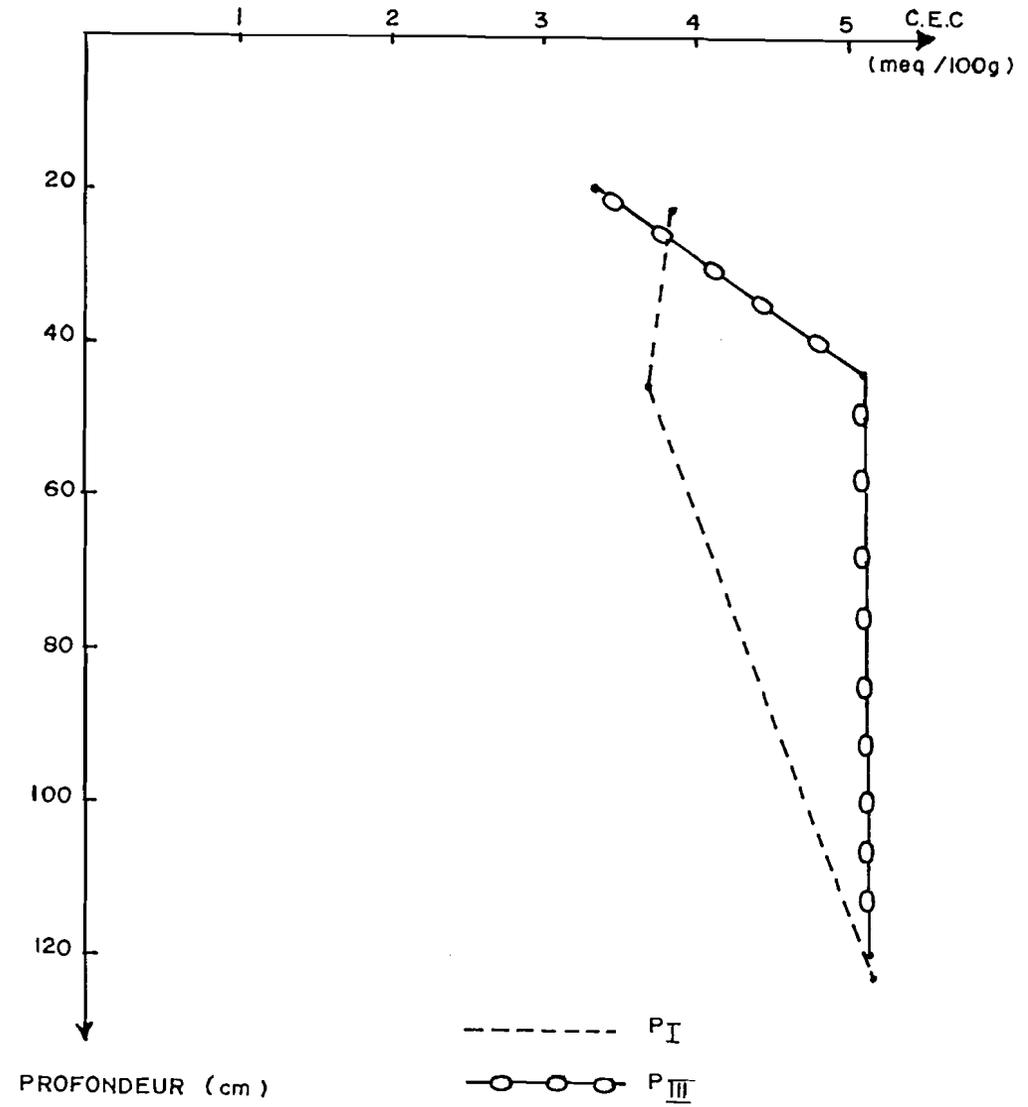
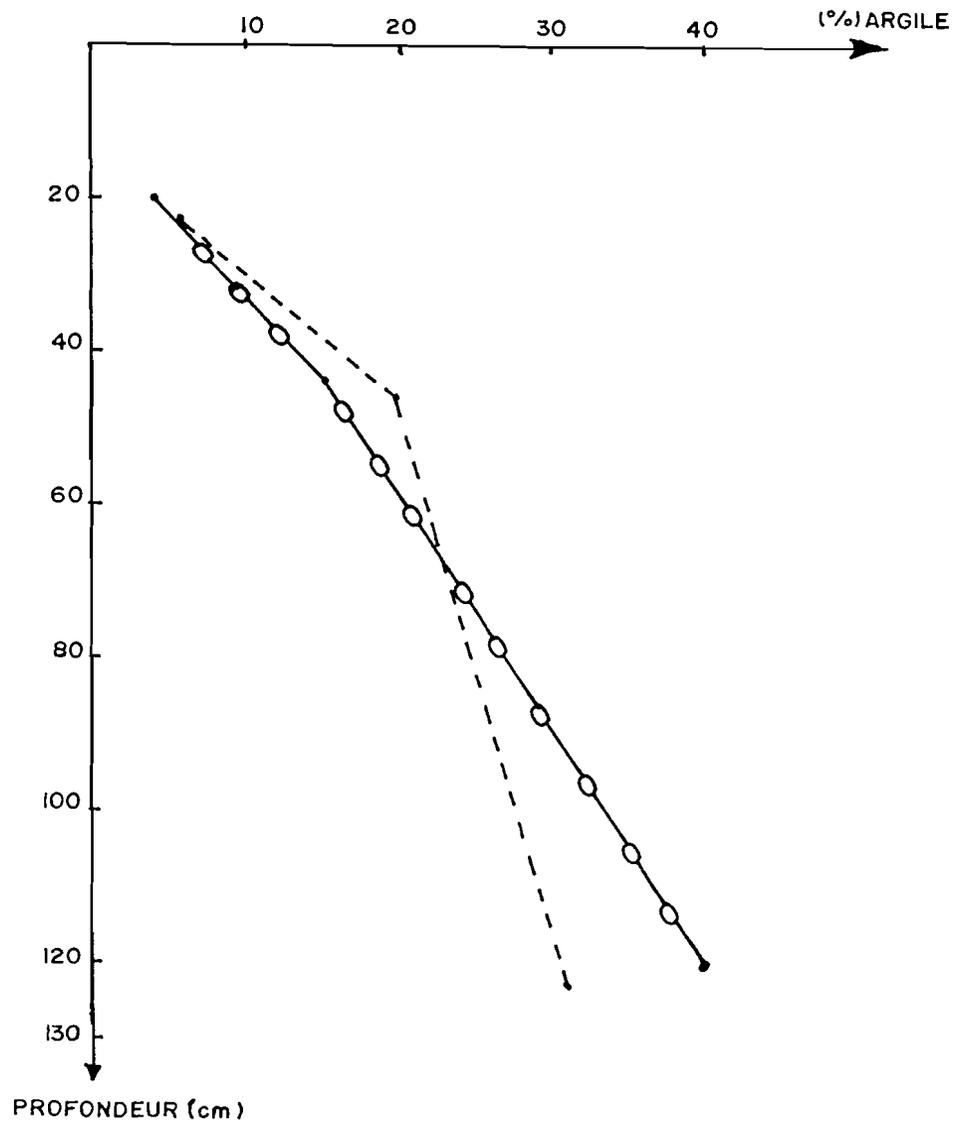


Fig N° 12 VARIATION DE LA TENEUR EN ARGILE ET DE LA C.E.C AVEC LA PROFONDEUR DES PROFILS P_I ET P_{III}

T A B L E A U N° 11 : Evolution des bases échangeables avec la profondeur

N° Profil	Profondeur cm	Ca méq/ 100g	Mg méq/100g	K méq/100g	Na méq/100g	S méq/100g	T méq/100g	S/T %
P _I	0 - 23	2,10	0,82	0,05	0,02	2,99	3,85	77,66
	23 - 46	2,01	1,10	0,02	0,04	3,17	3,71	85,44
	46 - 123	2,45	1,18	0,02	0,04	3,69	5,18	71,13
P _{II}	0 - 22	5,61	2,41	0,42	0,16	8,60	9,87	87,13
	22- 54	6,59	2,73	0,40	0,38	10,10	9,70	104
	54 -120	5,75	2,54	0,39	0,48	9,16	9,54	96,02
P _{III}	0 - 20	1,71	0,46	0,04	0,03	2,24	3,33	67,27
	20- 44	1,88	0,60	0,02	0,02	2,52	5,09	49,5
	44 - 120	2,79	1,20	0,04	0,03	4,06	5,15	75,63
P _{IV}	0 - 20	3,59	0,81	0,09	0,05	4,44	5,87	75,63
P _V	0 - 16	1,98	0,48	0,04	0,06	2,48	3,75	66,13
	16 - 53	2,18	0,67	0,03	0,02	2,90	6,5	44,61
	53 -120	2,22	0,74	0,04	0,01	3,01	3,98	75,63
	120 - 150	2,31	1,11	0,03	0,07	3,52	5,78	60,90
P _{VI}	0 - 15	7,71	1,98	0,06	-	9,75	10,69	91,21
	15 -43	4,30	1,81	0,04	0,037	6,19	7,84	78,95
	43 - 80	5,24	2,10	0,04	0,03	7,41	8,69	85,27
	80 - 120	4,28	1,73	0,07	0,03	6,11	7,68	79,56

Cette évolution de S avec la profondeur serait due à la forte lixiviation des cations de la surface vers les horizons sous-jacents et aussi à une meilleure capacité de fixation du complexe argilo-humique en profondeur, du fait d'une plus grande proportion d'argiles.

Cependant, la forte teneur de S en surface dans P_{VI} est probablement due comme précédemment souligné (cf calcium disponible) à l'apport calcique des Eucalyptus.

4.7.2. Capacité totale d'échange cationique

(T en meq/100 g de sol).

Elle exprime la quantité maximale de cations que le sol peut fixer.

La capacité d'échange est très basse (5 meq/100 g de sol) dans les profils P_I (3,79 meq/100 g) ; P_{III} (4,21 meq/100 g), à basse (5-10 meq/100 g) dans P_{II} (9,79 meq/100 g) P_{IV} (5,87 meq/100g), P_V 5,4 meq/100 g) et P_{VI} (8,91 meq/100 g de sol).

Ces faibles valeurs de T sont dues à la nature kaolinitique des argiles (qui a une faible capacité d'échange 5 à 15 meq/100 g) et de la rapide minéralisation de la matière organique dans ces sols.

On constate une augmentation de T avec la profondeur en rapport avec celle des teneurs en argiles.

Cependant, dans certains profils (P_{VI} , P_{II} et P_V) on note une évolution en "dents de scie" de cette teneur avec la profondeur, due probablement aux différentes variations du taux de matière organique dans ces profils.

En effet, d'après BOULET R. (1978) les deux composantes susceptibles de retenir les ions de façon notable sont l'argile et la matière organique (surtout humifiée).

Dans le cas particulier de P_V , on note une diminution importante de T (6,5 à 3,98 meq/100 g de terre) du 2e au 3e horizon.

On pourrait évoquer la présence d'un autre type d'argile à plus grande capacité d'échange au niveau du second horizon.

T A B L E A U N° 12 : Teneur en M.O.T ; N_T ; S . C.E.C et du rapport S/T sur les 40 premiers cms.

N° Profil	Profondeur cm	M.O.T %	N _T %	S méq/ 100g	C.E.C méq/100g	S/T %
P _I	40	1,04	0,042	3,067	3,79	81
P _{II}	40	1,15	0,088	9,28	9,79	95
P _{III}	40	1,08	0,075	2,38	4,21	57
P _{IV}	20	1,43	0,063	4,44	5,87	75,63
P _V	40	1,11	0,052	2,73	5,4	51
P _{VI}	40	1,63	0,119	7,53	8,91	85

M.O.T = Matière Organique Totale ;

N_T = Azote Total

S = Somme des bases échangeables

C.E.C. = T = Capacité Totale d'Echange Cationique.

T A B L E A U N° 13 : Teneurs en Pass, P_T , K disp, K_T , Fer libre, Fer total
 et le rapport $\frac{\text{Fer libre}}{\text{Fer total}}$ sur les 40 premiers cms.

N° Profil	Profondeur cm	Pass ppm	P_T ppm	Kdisp ppm	K_T ppm	Fer total %	Fer libre %	$\frac{\text{Fer libre}}{\text{Fer total}}$ %
P_I	40	2,62	73,15	48,21	725,38	0,59	1,1	54
P_{II}	40	4,38	170,5	520,9	2039	0,90	2,35	38
P_{III}	40	1,79	86,5	36,4	470,5	1,56	2,33	67
P_{VI}	20	9,25	119	114,7	829	0,719	1,40	51,36
P_V	40	3,18	63	32,36	601	1,21	1,65	73
P_{VI}	40	3,10	134,13	45,39	862,88	1,82	3,17	57

Pass = Phosphore assimilable ;

P_T = Phosphore Total ;

Kdisp = Potassium disponible ;

K_T = Potassium Total.

A cet egard, une étude minéralogique réalisée par ZOMBRE N.P (1984) sur les sols ferrugineux tropicaux de GARANGO a montré l'existence de smectites dans certains horizons de profondeur.

4.7.3. Le taux de saturation

La saturation en bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) est influencée par la perméabilité, l'excès d'eau et la position sur la pente et représente donc un indice de lessivage.

Dans l'ensemble, le taux de saturation est moyen pour P_{III} (57%), P_V (51%) élevé pour P_{IV} (76%) à très élevé pour P_I (81%), P_{II} (95%) et P_{VI} (85%)..

4.8. Le pH (eau)

Les profils étudiés présentent des pH faiblement acide à neutre (P_I : 6,1 à 7,1 ; P_{III} : 6,7 à 6,9 ; P_{IV} = 6,8 ; P_V = 6,5 à 6,8 ; P_{VI} = 6,2 à 6,8) et moyennement à fortement alcalin (P_{II} = 8,4 à 8,6).

Le pH légèrement acide de la plupart des profils est dû probablement à leur relative pauvreté en ions alcalins (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+).

En effet, le profil P_{II} assez riche en calcium et magnésium est caractérisé par un pH moyennement à fortement alcalin.

Cependant on observe un paradoxe au niveau ^{du} pH acide du profil P_{VI} qui possède d'importantes quantités d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} et qui par conséquent devrait tendre vers l'alcalinité.

On pourrait évoquer, pour expliquer ce phénomène la plantation d'Eucalyptus qui libère par ses feuilles, racines et écorces des substances (tanins, phénols) fortement acidifiantes.

En outre, on constate dans tous les profils une tendance du pH à l'élévation avec la profondeur.

Le phénomène de lixiviation qui selon THOMPSON M, 1957 in OUEDRAOGO O, 1989, s'effectue préférentiellement comme suit : $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$, pourrait expliquer cette élévation du pH.

On pense également que la texture de plus en plus fine des sols en profondeur (prédominance d'argiles d'où meilleure fixation des cations alcalins) serait en corrélation positive avec cette augmentation du pH.

T A B L E A U N° 10 : Evolution de la réaction du sol

N° Profil	Profondeur cm	p ^H eau	p ^H Kcl	Conductivité électrique mm ho/cm
P _I	0 - 23	7,1	6,0	0,03
	23 - 46	7,0	5,4	0,02
	46 - 123	6,1	4,7	0,02
P _{II}	0 - 22	8,4	7,7	0,31
	22 - 54	8,6	7,8	0,40
	54 - 120	8,6	7,7	0,47
P _{III}	0 - 20	6,8	5,5	0,02
	20 - 44	6,9	5,6	0,01
	44 - 120	6,7	5,6	0,02
P _{IV}	0 - 20	6,8	5,6	0,04
P _V	0 - 16	6,6	5,2	0,03
	16 - 53	6,5	4,8	0,02
	53 - 120	6,8	5,3	0,02
	120 - 150	6,6	4,8	0,020
P _{VI}	0 - 15	6,6	5,4	0,07
	15 - 43	6,6	5,0	0,01
	43 - 80	6,5	5,0	0,02
	80 - 120	6,2	4,7	0,02

La légère acidité des profils surtout en surface pourrait être lié à la perte en bases échangeables par suite du lessivage et de l'exportation des résidus de récoltes.

4.9. La conductivité électrique

Elle évalue indirectement la concentration saline qui traduit elle-même la pression osmotique régnant dans les sols.

La conductivité électrique a consisté essentiellement en la détermination de la concentration des sels de sodium dans les sols.

Les profils étudiés présentent une gamme de conductivité variant de 0,01 mmho/cm à 0,47 mmho/cm.

Ces faibles valeurs varient avec la profondeur en corrélation positive avec celles du rapport $\text{Na}^+/\text{C.E.C.}$

4.10. Le fer libre, fer total ,

$$\frac{\text{Fer libre}}{\text{Fer total}}$$

De nombreux auteurs ont étudié ces composés qui sont présents en quantité importante dans les sols ferrugineux tropicaux LAMOUREUX (1968) et SEGALIN (1969, 1971) in ZOMBRE (1984) attribuent la couleur des sols à sesquioxides à la présence de composés ferriques : goéthite pour les sols ocres, hématite pour les sols rouges VIZIER (1971) désigne également le fer comme un indicateur d'hydromorphie.

Les oxydes de fer résultent principalement de l'altération des minéraux ferro-magnésiens à biotite, amphiboles, pyroxènes (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

Les taux de fer libre et de fer total augmentent avec la profondeur dans les profils P_I , P_{II} , P_{III} et P_V ; avec toutefois une baisse notable en fer libre dans le dernier horizon de P_{III} .

Cette augmentation des teneurs avec la profondeur peut suggérer une migration du fer de la surface vers les horizons inférieurs ou une influence minéralogique (liée à la teneur en argile).

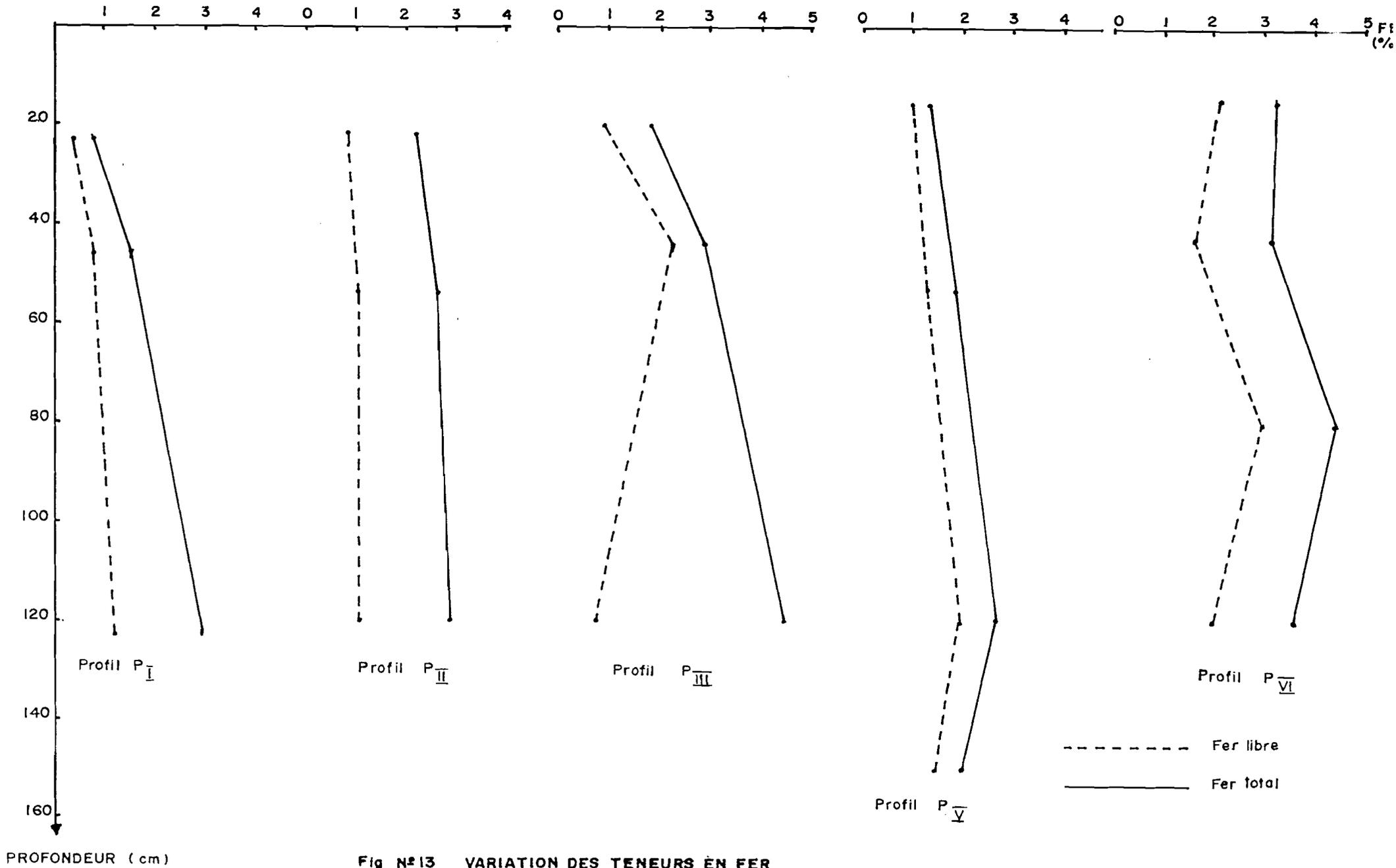


Fig N°13 VARIATION DES TENEURS EN FER

La chute notable du taux de fer libre dans P_{III} (2,2% dans le 2e horizon à 0,67% dans le 3e) pourrait être en liaison avec le fort pourcentage (1,54%) de matière organique dans ce troisième horizon, contribuant alors à une forte complexation du fer et empêchant sa précipitation en milieu aéré.

Par contre dans le profil P_{VI}, c'est la couche superficielle qui semble la mieux pourvue en fer (2,12% de fer libre en surface contre 1,99% dans le dernier horizon).

Ce profil situé immédiatement à l'aval d'une butte cuirassée aurait certainement été enrichi en fer par les apports, suite au démantèlement et à l'altération de cette dernière.

Les rapports fer libre/fer total sont élevés (51% à 73%) sur les profils ferrugineux lessivés indurés (P_I, P_{III}, P_{IV}, P_V et P_{VI}) ce qui traduit une immobilisation du fer libéré dans ces profils, engendrant très souvent les structures plus ou moins concrétionnées ou totalement indurées (carapace, cuirasse).

Ainsi, la faible immobilisation du fer dans le profil P_{II} où ce rapport est de 38%, expliquerait son faible taux de refus et l'absence d'induration.

4.11. Les équilibres cationiques

La présence dans un sol de bases échangeables n'est pas suffisante pour assurer une alimentation correcte des plantes ; il faut en plus qu'il y ait un équilibre entre les divers cations.

En effet, par exemple, l'excès d'un ion peut être nuisible à l'absorption d'un autre ion par les plantes : c'est le phénomène d'antagonisme des ions.

Aussi l'équilibre Ca/Mg est non seulement nécessaire au bon fonctionnement du métabolisme végétal ; mais également, il semble que la prédominance du magnésium sur le calcium conduit à des structures grossières..

Les profils analysés présentent des valeurs de Ca/Mg variant de 2,71 à 5,75, ce qui du reste semble acceptable, car ce rapport pourrait varier sans inconvénient de 1 à 10 ou même plus.

L'équilibre Mg/K qui s'accroît avec la profondeur pour la plupart des profils est généralement supérieur ou sensiblement égal à 3. Il traduit ainsi une bonne assimilabilité de ces cations.

Cependant au niveau du profil P_{II}, on note un léger déséquilibre entre ces deux ions (0,4 à 0,55) traduisant alors des difficultés d'assimilation de ces derniers.

On estime que le rapport Ca + Mg/K est convenable lorsqu'il est compris entre 15 (valeur moyenne) et 35 ; ainsi les profils P_I, P_{III}, P_V, P_{VI}, ayant des valeurs de Ca + Mg/K comprises dans cette fourchette, présentent par conséquent un bon équilibre Ca + Mg/K

Les profils P_{II} (1,74 à 2,31) et P_{IV} (4,80) ont donc des valeurs nettement en dessous des normes requises, témoignant ainsi d'un déséquilibre du rapport Ca + Mg/K.

En outre, dans l'ensemble des profils étudiés, ce rapport croît avec la profondeur.

Les valeurs de P₂O₅ assimilable sont bonnes lorsque l'équilibre P₂O₅ assimilable est compris entre 5 % et 10% ; ainsi seul le profil

P₂O₅ total

P_{IV} dont le rapport vaut 8% indique une assez bonne disponibilité en phosphore assimilable. Tous les autres profils, seraient pauvres en phosphore disponible car ce rapport est inférieur à 5%.

./.

T A B L E A U N° 14 : Equilibres cationiques des profils

N° Profil	Profondeur cm	Ca / Mg	Mg / K	$\frac{Ca + Mg}{K}$
P _I	0 - 23	4,45	1,23	7,71
	23 - 46	2,99	3,19	19,95
	46 - 123	3,43	6,86	13,68
P _{II}	0 - 22	3,32	0,40	1,74
	22 - 54	2,71	0,55	2,03
	54 - 120	3,21	0,55	2,31
P _{III}	0 - 20	5,61	0,98	6,45
	20 - 44	4,71	2,99	17,04
	44 - 120	4,21	2,75	14,33
P _{IV}	0 - 20	5,12	0,78	4,80
P _V	0 - 16	4,27	1,11	5,83
	16 - 53	5,75	3,27	22,1
	53 - 120	4,19	1,29	23,03
	120 - 150	3,08	3,15	27,93
P _{VI}	0 - 15	5,28	2,98	18,71
	15 - 43	3,98	6,73	33,53
	43 - 80	4,02	4,08	20,49
	80 - 120	3,49	3,38	15,21

4.12. Conclusions sur les données chimiques

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés étudiés ont des pH avoisinant la neutralité (6,1 à 7,1) exception faite du profil P_{II} où le pH est moyennement à fortement alcalin (8,4 à 8,6).

Les valeurs du pH, du fait de la lixiviation des cations, présentent une tendance à l'augmentation avec la profondeur dans tous les profils.

La conductivité électrique est très faible (0,01 à 0,47 mmho/cm) indiquant la non présence de risque de salinité dans ces sols.

Les profils étudiés présentent des teneurs faibles à moyennes (1,04% à 1,63%) en matière organique ; ces teneurs décroissent avec la profondeur et ne permettent pas une bonne structure ; aussi la capacité de fixation des éléments nutritifs est affectée.

Le taux d'azote dans ces sols présente les mêmes caractéristiques que la matière organique.

Réflétant généralement la composition chimique de leur matériau parental, les profils ont des teneurs en éléments fertilisants majeurs (Ca, Mg, Na, K, P) très basses à basses.

Certains éléments (Ca, Mg, Na) présentent toutefois des teneurs plus élevées en profondeur du fait du phénomène de lixiviation.

Cependant les cations potassiques et phosphoriques disponibles diminuent avec la profondeur, à cause probablement de leur (éventuelle) rétrogradation par les argiles et les oxydes de fer, ce qui réduit leur disponibilité dans ces sols.

Les équilibres cationiques semblent assez favorables dans l'ensemble des profils ferrugineux lessivés indurés, excepté le rap-

port $\frac{P_2 O_5 \text{ assimilable}}{P_2 O_5 \text{ total}}$

très faible en général (< 5%), qui induit une pauvreté en phosphore disponible dans ces sols.

Le taux de fer dans ces sols est élevé et croît avec la profondeur expliquant la ferruginisation et l'induration dans ces derniers.



Les rapports fer libre/fer total sont élevés (51 à 73%) dans ces profils témoignant d'une forte immobilisation du fer.

La somme des bases échangeables est basse à moyenne, et croît avec la profondeur en corrélation positive avec les teneurs en argiles.

La capacité d'échange cationique dans ces sols est très basse (3,79 à 4,21 meq/100 g) à basse (5,4 à 9,79 meq/100 g) à cause de la nature kaolinitique des argiles et de la rapide minéralisation de la matière organique.

Les taux de saturation sont moyen (51% à 57%), élevé (76% à très élevé (81% à 95%).

TABEAU N°15 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES INDURES ETUDIES.

Qualités des sols	disponibilité en eau	disponibilité en oxygène	disponibilité en éléments nutritifs	Complexe Absorbant	pertilité	Organique et minerale	conditions d'enracinement	Risques d'inondation	Risque de dégradation	végétation											
Unités	FACTEUR	réserve en eau	Classe de drainage (FAO)	Acti- di- Ca ²⁺ K ⁺ meq/100g	S CEC S/T meq/100g	MOT Nt pt ppm	passé kt dis pro. f- fonder	Aisance de pénétration racinaire	fréquence	Erosion											
pédologique	que	mm/50cm		ph	100g	100g	ppm	effec- tive (cm)	consi- stance (à sed)	structure	tex- ture	charge grav. g/100g	durée								
profil PI				7,72	0,05	2,99	3,77	0,94	0,972	0,776	0,0175	123	DURE	1/m en ele- ments moy- f, polyédri- ques suban- gulaires.	SL;LS	3,5	NULLE	moyenne	Butyrospermum parado- xum, parkii; parkia bi- biglobosa		
gonse	86,75	4		à	à	à	à	à	à	à	à	à							forte	Piliostigma reticulata, Guiera senegalensis.	
profil P II				8,45	0,39	8,6	9,48	10,9	0,06	125	3,9	19	120	DURE	1/m en ele- ments gr, moy, f	LAS	5,3	NULLE	faible	Tamarindus indica, Balanites aegyptiaca	
gonse	100,88	4/3		à	à	à	à	à	à	à	à	à								à	Diospyros mespilifor- mis, Butyrospermum parkii
profil P III				6,7	0,02	2,24	3,34	95	1,10	0,06	73	0,49	44	PEU	faiblement développée	SL;LS	1,9	NULLE	Moyenne	Acacia albida, Balani- tes aegyptiaca; buty- rosperrum parkii, scle- rocarya birrea	
Banongo	75	4		à	à	à	à	à	à	à	à	à								à	Tamarindus indica
profil P IV				6,8	0,09	4,4	5,87	7,56	3,1	0,05	119	9,25	20	DURE	faiblement développée en élément gr, moy, ps	LS	25,9	NULLE	Moyenne	piliostigma reticulata, Diospyros mespilifor- mis, Butyrospermum parkii	
Banongo	77,52	4		à	à	à	à	à	à	à	à	à									
profil P V				6,5	0,03	2,4	3,75	4,6	0,85	0,02	21	1,98	150	peu dure	1/m en éléments moyens, gr f, ps	SL	15,5	NULLE	Moyenne	Butyrospermum parkii, Acacia albida; acacia seyal; Lannea micro- carpa; piliostigma re- ticulata	
Boudtanga	75,52	4		à	à	à	à	à	à	à	à	à									
profil P VI				6,2	0,04	6,11	7,6	8,78	0,99	0,09	103	1,28	43	DURE	1/m en éléments moyens gr, f, polyédri- ques suban- gulaires	LA	91,9	NULLE	faible	Eucalyptus camaldulen- sis, Butyrospermum parkii; piliostigma reticulata, Azadirachta indica	
Boudtanga	138,88	4		à	à	à	à	à	à	à	à	à									

qlq = quelque

L E G E N D E

P_I = S F T L induré profond

P_{II} = Sol Brun Eutrophe modal

P_{III} = S F T L induré moyennement profond

P_{IV} = S F T L induré superficiel

P_V = S F T L à tâches et concrétions

P_{VI} = S F T L indurés moyennement profond

CHAP II : UTILISATION DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX
LESSIVES INDURES

I CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DES
SPECULATIONS RETENUES

1) Le sorgho : sorghum bicolor, sorghum vulgare

Le sorgho est surtout cultivé pour son grain qui est utilisé pour l'alimentation de l'homme.

De nombreuses variétés africaines de sorgho sont photosensibles et sont dites "à jours courts".

La température optimale pour cette plante est d'environ 30°C, et un grand nombre de variétés locales s'adaptent étroitement au climat.

Le sorgho tolère des conditions chaudes et sèches et peut également être cultivé dans des régions à pluviosité élevée dans lesquelles des inondations temporaires peuvent avoir lieu. Ses besoins en eau sont toutefois très inférieurs à ceux du maïs.

Son aire de culture se situerait alors entre les isohyètes 440 mm et 1375 mm/an.

La période critique pour l'alimentation hydrique du sorgho se situe de la fin du tallage à la fin de la floraison.

Sur le plan pédologique, cette céréale est cultivée sur des types de sols assez variés, généralement plus argileux que ceux réservés au mil.

Son système de racines fasciculées lui permet de mieux s'adapter aux sols.

La forte sensibilité du sorgho aux excès d'humidité justifie sa préférence pour les sols bien drainés, à pH compris entre 5 et 8,5 de texture moyenne à fine.

Cependant le sorgho est très sensible à la carence en fer du sol.

2) Le mil : Pennisetum typhoides

C'est une culture alimentaire de grande importance dans les zones soudano-sahéliennes et subdésertiques d'Afrique.

Le mil est donc une graminée des zones chaudes.

Pendant son cycle végétatif qui est court, les températures optimales se situent entre 30 et 35°C.

Son aire de culture aurait pour limites les isohyètes 275-1100 mm/an (200 mm suffisent parfois) ce qui signifie qu'il est plus sensible à l'inondation que le sorgho.

Sa tolérance à la sécheresse est toutefois fonction de la variété considérée.

Par ailleurs, le mil, moins exigeant que le sorgho, s'adapte aux sols relativement pauvres et bien drainés et présente également une tolérance modérée à la salinité.

3) L'arachide : Arachis hypogea

Cette oléagineuse, cultivée pour ses graines servant surtout de matière première pour l'extraction d'huile, nécessite de fortes chaleurs, avec un minimum absolu se situant entre 14°-15°C et une température optimale de 28°C.

Pour des températures inférieures à 10°C, la croissance de la plante est arrêtée et à 0,5°C elle meurt.

Elle supporte en outre une pluviométrie oscillant entre 400 et 1200 mm/an.

Sur le plan édaphique, il serait important que la texture et la structure concourent à réaliser :

- Un bon drainage et de bonnes conditions d'aération du sol.

. Une pénétration facile des gynéphores dans le sol

. Un arrachage aisé à la récolte.

Les sols légers conviennent donc bien à l'arachide.

Le pH doit être compris entre 6,5 et 7,5 mais peut toutefois varier entre 4,5 et 8.

Enfin l'arachide serait moyennement sensible à la salinité et très sensible à la carence en calcium.

4) Le niébé : Vigna unguiculata

Cette légumineuse est cultivée sous plusieurs conditions climatiques avec tolérance des conditions chaudes et sèches (soudano-sahéliennes).

Elle est résistante à la sécheresse avec une pluviosité de 500-800 mm et des températures moyennes de 25°-28°C pendant le cycle végétatif.

Les températures basses allongent jusqu'à 140-150 jours le cycle des variétés insensibles à la photopériode.

Sur le plan édaphique, le niébé préfère les sols bien drainés et acides, de texture limono-sableuse à limono-argileuse avec un pH compris entre 6 et 7.

Il est cependant très sensible à l'inondation. Est généralement cultivé en association avec le mil ou le sorgho.

Les tableaux suivants sur les exigences des spéculations retenues au plan agricole ont été obtenus à partir des documents "l'état de connaissance sur les exigences des principales cultures au Burkina Faso ; BU.NA.SOLS., 1988" et "MEMENTO de l'agronome, 1984".

Il a cependant été tenu compte de certaines données "liées" à l'expérience et à la bibliographie.

T A B L E A U N° 16 : Exigences de la culture du Sorgho

Qualité des Terres	Facteurs diagnostiques		Très Apte S ₁	Moyennement Apte S ₂	Marginalement Apte S ₃	Inapte N
Regime Thermique	Température moyenne pendant la période de croissance (°c)		25 - 30	20 - 25 30 - 32	15 - 20 32 - 35	15 35
Disponibilité en eau	Période de croissance (jrs)	Var hative	110	90 - 110	80 - 90	80
		Var moyenne	140	110 - 140	100 - 110	100
		Var tardive	170	140 - 170	130 - 140	130
	Précipitation annuelle (mm)	Var hative	500	400 - 500	300 - 400	300
		Var moyenne	650	550 - 650	450 - 550	450
		Var tardive	800	700 - 800	600 - 700	600
Disponibilité en O ₂	Drainage interne (classes F . A . O)		3 et 4	2	1 et 5	0 et 6
Disponibilité en éléments nutritifs	(Fertilité initiale) Somme des bases échangeables (méq/100g)		(élevée) 10 - 15	(assez élevée à moyenne) 5 - 10	(assez basse à basse) 2 - 5	2
Capacité de rétention en E.N.	Bases totales échangeables (méq/100g)		10 - 25	5 - 10	5	-
Conditions d'enracinement	Profondeur effective (cm)		100	60 - 100	30 - 60	30
	Consistance (classes F . A . O)		Meuble à peu dure	dure	très dure	Extrêmement dure
	Texture		LAS-AS (M à F)	SL-LS = M à G et F&TF	Sableuse = TF et G	TG
	Structure		2 et 3	1	0	-
	Charge graveleuse		15	15 - 50	50 - 90	90
	Acidité (P _H)		6 - 7,5	5,5 - 6 7,5 - 8	5 - 5,5 8 - 8,5	5 8,5
Disponibilité en eau	Reserve en eau utile (mm)		150	100 - 150	50 - 100	50
Salinité	Conductivité électrique (mm ho/cm)		0 - 4	4 - 8	8 - 12	12
Regime d'inondation	Fréquence / Durée (classe)		Nulle	Exceptionnelle courte	Regulière courte	Regulière longue
Risque d'érosion	Risque d'érosion hydrique (classes)		Nul ou faible	modéré	élevé	Très élevé
	Risque d'érosion eolienne (classes)		Nul ou faible	modéré	élevé	Très élevé

T A B L E A U N° 17 : Exigences de la culture du Mil

Qualité des Terres	Facteurs diagnostiques		Très Apte S ₁	Moyennement Apte S ₂	Marginalement Apte S ₃	Inapte N
Régime Thermique	Température moyenne pendant la période de croissance (°C)		25 - 30	30 - 35 22 - 25	35 - 39 9 - 22	39 9
Disponibilité en eau	Période de croissance (jrs)	Var hative	90	60 - 90	50 - 60	50
		Var moyenne	120	90 - 120	80 - 90	80
		Var tardive	150	120 - 150	110 - 120	110
	Précipitation annuelle (mm)	Var hative	400	300 - 400	200 - 300	200
		Var moyenne	550	450 - 550	350 - 450	350
		Var tardive	700	600 - 700	500 - 600	500
Disponibilité en O ₂	Drainage interne (classes F.A.O.)		4 et 5	3 et 6	2	0 et 1
Disponibilité en élément	(Fertilité initiale) Somme des bases échangeables (méq/100g)		élevée à assez élevée 10 - 15	moyenne à assez basse 5 - 10	basse 2 - 5	2
Capacité de rétention en E.N.	Bases totales échangeables (méq/100g)		10 - 25	5 - 10	5	-
Conditions d'enracinement	Profondeur effective (cm)		100	60 - 100	30 - 60	30
	Aisance de pénétration des racines	Consistance (classes)	Meuble à peu dure	dure	Très dure	Extrêmement dure
		Texture (classes)	M (LS SL)	M à G et M à F LA, SA	T.G Argileuse ; AS	TF
		Structure (classes)	2 et 3	1	0	-
		Charge graveleuse (%)	15	15 - 50	50 - 90	90
Acidité (P _H)			6 - 7	5,5 - 6 7 - 7,5	5 - 5,5 7,5 - 8	5 8
Disponibilité en eau	Réserve en eau utile (mm)		125	75 - 125	25 - 75	25
Salinité	Conductivité électrique (mm ho/cm)		0 - 4	4 - 6	6 - 8	8
Régime d'inondation	Fréquence / Durée (classe)		Nulle	Exceptionnelle courte	occasionnelle courte	Régulière courte
Risque d'érosion	Risque d'érosion hydrique (classes)		Nul ou faible	modéré	élevé	Très élevé
	Risque d'érosion éolienne (classes)		Nul ou faible	modéré	élevé	Très élevé

T A B L E A U N° 18 : Exigences de la culture de l'Arachide

Qualité des Terres	Facteurs diagnostiques		Très Apte S ₁	Moyennement Apte S ₂	Marginalement Apte S ₃	Inapte N
Regime Thermique	Température moyenne pendant la période de croissance (°C)		25 - 30	20 - 25 30 - 33	15 - 20 33 - 35	15 35
Disponibilité en eau	Période de croissance (jrs)	Var hative	110	90 - 110	80 - 90	80
		Var moyenne	140	120 - 140	110 - 120	110
		Var tardive	-	-	-	-
	Précipitation annuelle (mm)	Var hative	600	500 - 600	400 - 500	400
		Var moyenne	700	600 - 700	500 - 600	500
		Var tardive	-	-	-	-
Reserve en eau utile (mm)		150	100 - 150	50 - 100	50	
Disponibilité en O ₂	Drainage interne (classe)		4	3 et 5	2 et 6	0 et 1
Disponibilité en éléments Nutritifs	Somme des bases échangeables (méq/100g) (Fertilité initiale) (classe)		Elevée à assez élevée	Moyenne à assez basse	Basse	-
	Acidité (P ^H)		6,5 - 7,5	5,5 - 6,5 7,5 - 7,8	4,6 - 5,5 7,8 - 8	4,6 8
Capacité de rétention en E.N	Bases totales échangeables (méq/100g)		10	5 - 10	2 - 5	2
Conditions d'enracinement	Profondeur effective (cm)		100	60 - 100	30 - 60	30
	Aisance de pénétration des racines	Consistance (classes)	Meuble	Friable	Dure	Très dure
		Texture (classes)	M	M à F. G.	TG - F	TF
		Structure (classe)				
Charge graveleuse (%)		10	10 - 30	30 - 50	50	
Salinité	Conductivité électrique (mm ho/cm)		0 - 3	3 - 4	4 - 5	5
Regime d'inondation	Fréquence / Durée (classes)		Nulle	Exceptionnelle courte	occasionnelle courte	Regulière courte
Risque d'érosion	Risque d'érosion hydrique (classes)		Nul ou faible	modéré	élevé	Très élevé
	Risque d'érosion éolienne (classes)		Nul ou faible	modéré	élevé	Très élevé

T A B L E A U N° 19 : Exigences de la culture du Niébé

Qualités des Terres	Facteurs diagnostiques		Très Apte S ₁	Moyennement Apte S ₂	Marginalement Apte S ₃	Inapte N
Régime Thermique	Température moyenne de la période de croissance (°C)		25 - 30	15 - 25 30 - 35	10 - 15 35 - 40	10 40
Disponibilité en eau	Période de croissance (jrs)	Var hative	110	80 - 110	70 - 80	70
		Var moyenne	140	110 - 140	100 - 110	100
		Var tardive	180	140 - 180	130 - 140	130
	Précipitation annuelle (mm)	Var hative	500	400 - 500	300 - 400	300
		Var moyenne	600	500 - 600	400 - 500	400
		Var tardive	-	-	-	-
	Reserve en eau utile (mm)		125	75 - 125	25 - 75	25
Disponibilité en O ₂	Drainage interne (classes F.A.O.)		4	3 et 5	2 et 6	0 et 1
Disponibilité en éléments Nutritifs	Somme des bases échangeables (méq/100g) (Fertilité initiale)		Élevée à assez élevée	Moyenne	Assez basse à basse	Très basse
	Acidité (p ^H)		6 - 7	5 - 6 7 - 7,5	4,5 - 5 7,5 - 8	4,5 8
Capacité de rétention en éléments Nutritifs	Bases totales échangeables CEC (méq/100g)		10	5 - 10	2 - 5	2
Conditions d'enracinement	Profondeur effective (cm)		100	60 - 100	30 - 60	30
	Aisance de pénétration racinaire	Consistance (classes)	Meuble à peu dure	dure	Très dure	Extrêmement dure
		Texture (classes)	M	G. F.	T.G	TF
		Structure (classes)				
		Charge graveleuse (%)	15	15 - 50	50 - 90	90
Salinité	Conductivité électrique (mm ho/cm)		-	-	-	-
Régime d'inondation	Fréquence / Durée (classe)		Nulle	Exceptionnelle courte	Occasionnelle courte	Régulière courte
Risque d'érosion	Risque d'érosion hydrique (classes)		Nul ou faible	modéré	élevée	Très élevée
	Risque d'érosion éolienne (classes)		Nul ou faible	modéré	élevée	Très élevée

II EVALUATION DE L'APTITUDE DES SOLS FERRUGINEUX
TROPICAUX LESSIVES POUR LA CULTURE DU SORGHO, DU
MIL DE L'ARACHIDE ET DU NIEBE

L'évaluation peut se définir comme étant la détermination des potentialités des sols, du relief, du climat, de la végétation et de l'hydrologie pour diverses catégories principales d'utilisations.

Elle a pour objet de juger du comportement de la terre lorsqu'on l'utilise à certaines fins.

La procédure d'évaluation consiste par un processus de compatibilité à un appariement entre les exigences des cultures et les qualités de terres retenues. L'évaluation effectuée est de type physique et s'effectue dans le cadre du système amélioré (agriculture pluviale).

2.1. Qualité des terres

La qualité d'une terre regroupe un ensemble de facteurs qui agissent différemment sur son aptitude à un certain mode d'utilisation.

La méthode FAO d'évaluation des terres a sélectionné plusieurs qualités des terres jugées pertinentes pour l'agriculture pluviale, cependant, pour les spéculations envisagées, nous avons estimé les qualités suivantes comme déterminantes.

2.1.1. Regime thermique

Cette qualité permet d'apprécier l'influence de la température sur la croissance du mil, du sorgho, du niébé et de l'arachide.

Aussi, la température moyenne pendant la période de croissance végétative constitue le facteur diagnostique considéré.

2.1.2. Disponibilité en eau

Les facteurs diagnostiques déterminant cette qualité sont :

- La réserve en eau utile du sol

- La pluviométrie

Cette qualité est donc dépendante du climat, du sol et de l'hydrologie.

2.1.3. Disponibilité en oxygène

Elle met en évidence les risques d'asphyxie racinaire dans ces sols.

La caractérisation retenue pour l'appréciation de cette qualité est la classe de drainage.

Le drainage est l'évacuation, l'écoulement naturel de l'eau soumise à la gravité dans le sol.

2.1.4. Disponibilité en éléments nutritifs et capacité de rétention

Elle exprime la fertilité initiale du sol c'est à dire sa capacité à pourvoir en éléments nutritifs les spéculations.

Les facteurs diagnostiques retenus pour son appréciation sont :

- La classe de fertilité estimée à partir de la somme des bases (S) et de la réaction du sol (pH)
- La capacité d'échange cationique, permettant d'évaluer les quantités maximales d'engrais à apporter en évitant des pertes par lessivage.

2.1.5. Conditions d'enracinement

Elles sont déterminées à partir des caractéristiques suivantes :

- * La profondeur effective du sol, c'est à dire sa profondeur jusqu'à l'horizon induré ou graveleux.
- * L'aisance de pénétration racinaire, conditionnée par la consistance, la texture et la structure du sol.
- * La charge graveleuse exprimant le taux et le niveau d'apparition des éléments grossiers.

2.1.6. Risque d'inondation

Il se rapporte aux effets défavorables d'une lame d'eau plus ou moins épaisse, stagnante ou en mouvement au dessus de la surface du sol.

Cette qualité est appréciée à partir de la position topographique, de la durée (jours) et fréquence (probabilité) de l'inondation.

2.1.7. Salinité

Elle est caractérisée par la conductivité électrique du sol (C E en mmho/cm).

2.1.8. Risque de dégradation

L'évaluation a porté sur la dégradation physique. Elle est estimée à partir des facteurs suivants :

- * La topographie : plus la pente est grande, plus les risques de dégradation sont importants.
- * La texture dont le rôle dans cette dégradation dépend des proportions relatives de chaque élément granulométrique. Ainsi la prédominance des sables et limons favorise les phénomènes de dégradation par leur sensibilité à l'érosion et à la battance.
- * La structure, qui lorsqu'elle est faiblement développée accentue les risques d'érosion.
- * La végétation qui atténue généralement les risques de dégradation (par son couvert)

Aussi cette qualité a été évaluée à partir de l'indice d'encroûtement : $\frac{1,5 Lf + 0,75 Lg}{A + (10 \times MO)}$

Ainsi les risques de dégradation permettent de définir par la suite, les pratiques culturales les mieux adaptées et les dispositifs anti-érosifs indispensables.

2.2. Cotation des qualités - classes d'aptitude

A chaque qualité du sol, une cotation d'aptitude est déterminée en la comparant aux exigences pertinentes de chaque spéculatation.

Aussi, des classes d'aptitude sont déterminées en fonction des degrés de limitation relative aux contraintes liées aux caractéristiques et qualités des terres.

Nous avons retenu cinq (5) classes d'aptitude :

* Classe S_1 : "Aptitude élevée" : les sols de cette classe ne présentent pas de limitation sérieuse, ou alors seulement des limitations mineures sans incidence sensible sur la production ou les avantages.

Aussi la levée de ces contraintes mineures n'exige pas l'accroissement des intrants au delà d'un niveau acceptable.

* Classe S_2 : "Aptitude moyenne" : ces sols sont aptes pour les spéculations envisagées mais présentent cependant un ensemble de limitations moyennement sérieuses qu'il faudrait lever par des ^{pratiques} culturales appropriées et des amendements organiques et minéraux.

Elle procure donc des rendements globaux intéressants mais sensiblement inférieurs à ceux de S_1 .

* Classe S_3 : "Aptitude marginale" elle présente des limitations sévères affectant sérieusement les rendements. Ces contraintes n'empêchent cependant pas la culture des spéculations retenues, de façon absolue, quand bien même les profits ne sont que marginalement justifiés.

* Classe N "Inapte". : les sols de cette classe présentent des limitations très sévères, parfois surmontables avec le temps (N_1 inaptitude actuelle) ou alors permanentes (N_2 inaptitude permanente).

Ces contraintes sont sérieuses au point d'interdire toute possibilité de réussite de telle ou telle culture

2.3. Processus de compatibilité

Il s'agit de déterminer les aptitudes partielles des sols à partir de la comparaison de leurs qualités avec les exigences pertinentes de la culture du mil, du sorgho, du niébé et de l'arachide.

Les résultats de ce processus de compatibilité sont consignés dans les tableaux n° 20, 21, 22, et 23.

T A B L E A U N°20 : Resultats de processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du Sorgho (Variété moyenne = 140 jrs)

Qualité des Terres	Regime Thermique			Disponibilité en eau			Disponibilité en O ₂	Disponibilité et capacité de rétention en élément Nutritifs			Conditions d'enracinement					Risque d'inondation	Risque de dégradation	Salinité	Aptitude global du sol					
	Facteurs diagnostiques	Température moyenne			R.U.	Pluviométrie annuelle			Classes de Drainage	Classes de fertilité			C.E.C	Profondeur effective	Aisance de pénétration des racines									
		VH	VM	VT		VH		VM		VT	(S)	p ^H								Consistance (à sec)	Structure	Texture	Charge graveleuse	Résultats
Unités de sols																								
Profil N°P _I GONSE		S ₁		S ₃		S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₁	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₁	S ₁	S ₂ /S ₃ n, m	
Profil N°P _{II} GONSE		S ₁		S ₂ /S ₃		S ₁		S ₁	S ₂	S ₃ /N	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₁	S ₂	S ₁	S ₁	S ₁	S ₂ /S ₃ m	
Profil N°P _{III} BANONGO		S ₁		S ₃		S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₃	S ₁ /S ₂	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₁	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ n, r, m	
Profil N°P _{IV} BANONGO		S ₁		S ₃		S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₂ /S ₃	N	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	N	S ₁	S ₂ /S ₁	S ₁	S ₂	N _{2r}	
Profil N°P _V BOUDTENGA		S ₁		S ₃		S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₁ /S ₂	S ₂ /S ₃	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₁	S ₁ /S ₂	S ₁	S ₂	S ₂ /S ₃ m, n	
Profil N°P _{VI} BOUDTENGA		S ₁		S ₂		S ₁		S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₃	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₃	S ₂	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₁ /S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ r	

T A B L E A U N° 21 : Résultats du processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés
pour la culture du Niébé (Variété moyenne = 140 jrs)

Qualité des terres	Regime Thermique			Disponibilité en eau			Disponibilité en O ₂	Disponibilité et capacité de rétention en éléments nutritifs			Conditions d'enracinement					Risque d'inondation	Risque de dégradation	Salinité	Aptitude globale du sol	
	Facteurs diagnostiques			R.U	Pluviométrie annuelle			Classes de Drainage	Classes de fertilité		C E C	Profondeur effective	Aisance de pénétration des racines				Position topographique ; fréquence durée	Erosion indice d'encroûtement	Conductivité électrique	
	VH	VM	VT		VH	VM	VT		(S)	P ^H			Consistance (à sec)	Structure	Texture	Charge graveleuse				
Unités de sols																				
Profil N°P _I GONSE		S ₁		S ₂	S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₁	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₁	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ n, r
Profil N°P _{II} GONSE		S ₁		S ₂	S ₁		S ₁ /S ₂	S ₂	N	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₃	S ₁ /S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ r
Profil N°P _{III} BANONGO		S ₁		S ₂ /S ₃	S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃ /S ₂	S ₃	S ₁ /S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ n, m
Profil N°P _{IV} BANONGO		S ₁		S ₂	S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₂ /S ₃	N	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₃ /N	S ₁	S ₂	S ₁	S ₃ /N r, n
Profil N°P _V BOUDTENGA		S ₁		S ₂ /S ₃	S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₁	S ₂	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ n, m
Profil N°P _{VI} BOUDTENGA		S ₁		S ₁	S ₁		S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₃	S ₃ /S ₂	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₁	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂ r

T A B L E A U N°22 : Resultats du processus de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés
indurés pour la culture du Mil (Variété moyenne = 120 jrs)

Qualité des Terres	Regime Thermique			Disponibilité en eau			Disponibi- lité en Ω			Disponibilité et capacité de re- tention en élé- ment Nutritifs					Conditions d'enracinement					Risque d'inonda- tion	Risque de dégra- dation	Salinité	Aptitude global du sol
	Facteurs diagnosti- ques			Température moyenne			Pluviométrie annuelle			Classes de fer- tilité			Profon- deur effective	Aisance de pénétration des racines					Position topogra- phique, fréquence	Erosion indice d'encrou- tement	Conduc- tivité électri- que		
	Unités de Sols	VH	VM	VT	R.U	VH	VM	VT	Classes de Drainage	(S)	p ^H	C.E.C		Consis- tance (à sec)	Struc- ture	Texture	Charge grave- leuse	Resul- tats					
Profil N°P _I GONSE		S ₁		S ₂		S ₂		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₁	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₁ /S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₁ /S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ m		
Profil N°P _{II} GONSE		S ₁		S ₂		S ₁		S ₁ / S ₂	S ₂	N	S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₁	S ₁	S ₂ /S ₃ r		
Profil N°P _{III} BANONGO		S ₁		S ₂ /S ₃		S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₃	S ₁ /S ₂	S ₂	S ₁ /S ₂	S ₂	S ₂	S ₁	S ₁ / S ₂	S ₁	S ₂ /S ₃ n, m		
Profil N°P _{IV} BANONGO		S ₁		S ₂		S ₁		S ₁	S ₃		S ₂ /S ₃	N	S ₂	S ₂	S ₂	S ₂	S ₃ /N	S ₁	S ₁ / S ₂	S ₁	S ₃ /N r, n		
Profil N°P _V BOUDTENGA		S ₁		S ₂ /S ₃		S ₁		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃ /S ₂	S ₁	S ₁	S ₂ /S ₃	S ₁ /S ₂	S ₂	S ₁ /S ₂	S ₁	S ₁ / S ₂	S ₁	S ₂ / S ₃ n, m		
Profil N°P _{VI} BOUDTENGA		S ₁		S ₁		S ₁		S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₃	S ₃ /S ₂	S ₂ /S ₃	S ₂ /S ₃	S ₂	S ₂ /S ₃	S ₁	S ₁	S ₁	S ₂ /S ₃ r		

T A B L E A U N° 23 : Resultats de compatibilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture de l'Arachide (Variété moyenne = 140 jrs)

Qualité des terres	Regime Thermique			Disponibilité en eau			Disponibilité en O ₂	Disponibilité et capacité de rétention en éléments Nutritifs		Conditions d'enracinement					Risque d'inondation	Risque de dégradation	Salinité	Aptitude globale du sol		
	Facteurs diagnostiques			Pluviométrie annuelle			Classes de Drainage	Classes de fer-		Profondeur effective	Aisance de pénétration des racines				Position topographique fréquence	Erosion indice d'encroûtement	Conductivité électrique			
	Température moyenne	R.U.		VH	VM	VT		(S)	pH		C.E.C	Consistance (à sec)	Structure	Texture					Charge graveleuse	Resultats
Unités de Sols	VH	VM	VT	VH	VM	VT														
Profil N°P _I GONSE		S ₁		S ₃	S ₂		S ₁	S ₃	S _{1/2}	S ₃	S ₁	S ₃	S _{2/S3}	S _{1/S2}	S ₁	S _{2/S3}	S ₁	S ₂	S ₁	S _{2 / S3} n, r, m
Profil N°P _{II} GONSE		S ₁		S _{2/S3}	S ₂		S _{1 / S2}	S ₂	N	S ₂	S ₁	S _{3/N}	S _{2/S3}	S _{3/N}	S ₁	S _{3/N}	S ₁	S ₁	S ₁	S _{3/N} r, m
Profil N°P _{III} BANONGO		S ₁		S ₃	S ₂		S ₁	S ₃	S ₁	S ₃	S ₃	S _{2/S3}	S _{3/S2}	S ₂	S ₃	S _{2/S3}	S ₁	S ₂	S ₁	S _{2/S3} n, m, n
Profil N°P _{IV} BANONGO		S ₁		S ₃	S ₂		S ₁	S ₃	S ₁	S _{2/S3}	N	S ₃	S ₂	S ₂	S ₂	S _{3/N}	S ₁	S ₂	S ₁	S _{3/N} r, m, n
Profil N°P _V BOUJTENGA		S ₁		S ₃	S ₂		S ₁	S ₃	S ₁	S _{3/S2}	S ₁	S ₂	S _{2/S3}	S _{2/S1}	S _{2/S3}	S _{2/S3}	S ₁	S ₂	S ₁	S _{2 / S3} m, n, r
Profil N°P _{VI} BOUJTENGA		S ₁		S ₂	S ₂		S ₁	S ₂	S _{2/S1}	S ₂	S ₃	S _{3/N}	S _{2/S3}	S ₃	S ₃	S ₃	S ₁	S ₂	S ₁	S _{2 / S3} r

2.4. Aptitude globale

L'aptitude finale est la combinaison des aptitudes partielles ; Aussi sa détermination prendra en compte non seulement des facteurs limitants objectifs, mais également des considérations subjectives basées sur la connaissance de l'écologie de la zone et des connaissances pratiques sur les spéculations.

Cette aptitude permet d'estimer plus ou moins la rentabilité des sols pour les spéculations envisagées, facilitant ainsi leur affectation au type d'utilisation approprié.

2.4.1. Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du mil

Le processus de compatibilité regroupe ces sols principalement en deux classes d'aptitude pour la culture du mil.

2.4.1.1. La classe des sols moyennement à marginalement aptes S_2 / S_3 n,m,r

Elle regroupe la majorité des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés : c'est le cas des profils : P_I , P_{II} , P_{III} , P_V , P_{VI} .
limitants

Les principaux facteurs/majeurs à une mise en valeur optimum pour la culture du mil, portent sur les qualités suivantes :

- La disponibilité en éléments nutritifs : la somme des bases échangeables faible à moyenne
- La capacité de rétention en éléments nutritifs faible à moyenne
- Les conditions d'enracinement, notamment la consistance qui est très souvent peu ferme à ferme ; la structure faiblement développée à tendance massive, la brusque variation texturale entre les horizons superficiels (sablo-limoneux à limono-sableux) et ceux sous-jacents à tendance argileuse.

Ces sols sont en outre, parfois déficients en réserve d'eau utile (cas de P_V , P_{III}) ou de faible profondeur effective à cause de l'induration peu profonde.

2.4.1.2. Classe des sols marginalement aptes à inaptes
S₃/N

Cette classe est représentée par le profil P_{IV} et l'ensemble des sols ferrugineux lessivés indurés superficiels et parfois peu profonds du pays.

Les contraintes majeures de ces sols résident dans :

- Leur fertilité chimique faible (somme des bases et capacité d'échange cationique faibles).

- C'est surtout leur profondeur effective (< 20 cm) et aussi l'aisance de pénétration des racines qui constituent des contraintes très sévères.

En effet, l'apparition de l'induration à une très faible profondeur associée à une structure faiblement développée à tendance massive, une texture fortement contrastée constituent très souvent des limitations sévères plus ou moins difficiles à lever.

2.4.2. Aptitude des sols ferrugineux tropicaux
lessivés indurés pour la culture du sorgho

Le processus de compatibilité révèle, pour cette spéculation, deux principales classes d'aptitude :

2.4.2.1. Classe des sols modérément à marginalement
aptes S₂/S₃

C'est le cas de la plupart des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés étudiés (P_I, P_{II}, P_{III}, P_V, P_{VI}).

Les contraintes majeures sont :

. Les conditions d'enracinement sont défavorables à cause essentiellement de leur structure massive à faiblement développée et de leur texture fortement contrastée.

. La disponibilité en éléments nutritifs faible

. La capacité de retention en éléments nutritifs faible à moyenne.

2.4.2.2. Classe des sols inaptes N_{2r}

Outre leur pauvreté manifeste en éléments nutritifs (S et C.E.C faibles), leur disponibilité en eau faible (réserve utile insuffisante) ; ces sols présentent essentiellement une contrainte très sévère qui est leur profondeur effective très faible : c'est le cas de P_{IV} où la cuirasse apparaît seulement à 20 cm de profondeur.

Cette dernière contrainte est pratiquement impossible à lever vu la nature (très dure) et le niveau d'apparition de l'induration, ce qui constitue ainsi une inaptitude permanente de ces sols pour la culture du sorgho.

2.4.3. Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du niébé

Au niveau de ces sols, on distingue principalement trois classes d'aptitude pour cette spéculation.

2.4.3.1. Classe des sols modérément aptes S₂

Ces sols présentent alors des limitations peu sévères et dont la levée permet toujours des rendements acceptables et permanents. Cette classe est représentée essentiellement par les profils P_{II} et P_{VI}.

Les contraintes majeures qui les caractérisent sont les conditions d'enracinement avec une structure faiblement développée à tendance massive, un contraste textural entre les horizons de surface (légers) et ceux sous-jacents (plus lourds car argileux), une consistance peu ferme à ferme une faible profondeur effective (cas de P_{VI}) ; et leur fertilité chimique moyenne.

2.4.3.2. Classe des sols modérément à marginalement aptes : S₂/S₃

Dans cette classe, les contraintes sont plus sévères et peuvent entamer considérablement la rentabilité de ces sols en niébé. C'est le cas des profils P_I, P_{III} et P_V. Les contraintes sont :

- La faible disponibilité en eau car la R.U est insuffisante
- La disponibilité en éléments nutritifs qui est faible
- La capacité de rétention en éléments nutritifs faible à moyenne.
- La structure faiblement développée à massive.

2.4.3.3. Classe des sols marginalement aptes à inaptes

Cette classe renferme le profil P_{IV} : sol ferrugineux tropical lessivé induré superficiel.

La limitation principale demeure la profondeur utile très faible. A cela il faut associer la disponibilité et capacité de rétention en éléments nutritifs faibles à très faibles

La charge graveleuse également assez importante dès la surface (26%) freine la pénétration racinaire.

Ces contraintes semblent permanentes et impliquent alors la proscription de toute utilisation agricole conséquente sur ces sols. Les rendements seraient dérisoires par rapport aux coûts des investissements.

2.4.4. Aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture de l'arachide

Deux principales classes d'aptitude caractérisent ces sols pour la culture de l'arachide.

2.4.4.1. Classe des sols modérément à marginalement aptes : S_2/S_3

Elle regroupe dans le cadre de l'étude les profils P_I , P_{III} , P_V et P_{VI} .

Dans cette classe, les contraintes majeures sont la fertilité chimique (S et C.E.C) faible et aussi les mauvaises conditions d'enracinement. En effet la structure de tendance massive, de même que la discontinuité texturale entre les horizons de surface et ceux sous-jacents sont défavorables à un bon enracinement

de l'arachide dans ces sols ; il en est de même pour la charge graveleuse qui est relativement importante depuis la surface (cas de P_{III} et P_V).

2.4.4.2. Classe des sols marginalement aptes à inaptés

$S_3/N_{r,n,m}$.

Les profils P_{II} et P_{IV} font partie de cette classe dont les contraintes très sévères sont :

- La fertilité chimique (S et C.E.C) faible, surtout dans le cas de P_{IV} .

- La disponibilité en eau, faible : réserve en eau utile insuffisante.

. Les mauvaises conditions d'enracinement causées par la profondeur effective très faible et la relative importante charge graveleuse (cas de P_{IV}) ; la consistance très ferme et la texture très fine en profondeur pour P_{II} .

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a eu essentiellement pour objectif la caractérisation physique et chimique des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Burkina Faso.

Ceci dans le but de déterminer leurs aptitudes pour les principales cultures vivrières (mil, sorgho,) et pour l'arachide, le niébé.

Enfin au terme de cette évaluation, par processus de compatibilité entre qualités intrinsèques de ces sols et exigences des cultures, des propositions d'aménagements quant à leur exploitation rationnelle ont été faites.

Il convient alors ici de récapituler les principaux résultats obtenus.

1. Caractères Environnementaux et Morphologiques des sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés se rencontrent dans tout le pays, surtout sur le plateau Mossi, sous les climats soudano-guinéen, sahelo-soudanien et sahélien d'Aubreville (1949).

Ils portent généralement des formations végétales allant de la savane arbustive à arborée à dominance de Butyrospermum paradoxum parkii, Parkia biglobosa, Acacia sp ; Tamarindus indica Guiera senegalensis, Balanites aegyptiaca, Diospyros mespiliformis et une strate herbacée dominée par Andropogon gayanus, Pennisetum pedicelatum, Loudetia togensis, etc...

Ces sols se localisent au niveau des reliefs résiduels, des glacis des plaines, des plateaux et des versants.

Ils ont pour matériau originel les roches granitiques, les schistes, les grès, les colluvions et se caractérisent par les phénomènes de lessivage de ferruginisation et d'induration.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés ont généralement une profondeur limitée par une induration faible à moyenne voire dure à très dure.

Le contexte écologique y stimule l'activité biologique et la minéralisation de la matière organique.

On distingue dans ces sols deux horizons bien différenciés de type A et B.

L'horizon humifère A, de surface, est de couleur brune à brun-jaunâtre ; l'horizon B, plus épais est jaune-brunâtre à rouge. Alors que l'horizon C est très difficilement atteint ($> 5m$).

Le drainage est normal à modéré au niveau de ces sols ; l'érosion en nappe, en rigoles, en ravines est en général d'intensité variable selon la position topographique de ces sols.

2. Caractères Physiques des sols Ferrugineux tropicaux Lessivés Indurés

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés présentent une charge graveleuse faible à moyenne en surface (cas d'apports ou d'altération sélective du matériau) augmentant notablement avec la profondeur en raison du processus de ferruginisation.

La texture légère en surface (sablo-limoneuse à limono-sableuse) peut engendrer des phénomènes d'encroûtement du fait du taux de limons ; elle contraste avec celle plus argileuse des horizons sous-jacents.

Cette variation texturale est en partie due à l'érosion sélective des argiles en surface et à leur lessivage dans les horizons inférieurs.

La réserve en eau utile est très souvent affectée par cette texture de surface entravant ainsi la nutrition hydrique des plantes.

La structure des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés est faiblement développée à massive pouvant toutefois être moyennement développée en éléments grossiers, moyens et fins polyédriques subangulaires au niveau des sols moyennement profonds et profonds.

La consistance est friable à ferme ; les risques d'inondation nuls sont parfois occasionnels et de courte durée.

La porosité totale dans ces sols confère une bonne aération et une meilleure infiltration des eaux en l'absence d'encroûtement de surface.

Au total, sur le plan physique ces sols se caractérisent par une réserve en eau utile faible, de mauvaises conditions d'enracinement et des risques de dégradation physique (battance, encroûtement) en surface.

3. Caractères chimiques

Ces sols présentent des pH fortement à légèrement acides (4,2 à 6,8) dans l'ensemble, ou avoisinant la neutralité (7,0 à 7,1) surtout dans les cas d'action des termites.

Ces valeurs du pH, du fait de la lixiviation des cations alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) augmentent avec la profondeur.

Les risques de salinité sont pratiquement inexistantes dans ces sols comme l'exprime leur très faible conductivité électrique (0,01 à 0,47 mmho/cm).

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés présentent des teneurs en matière organique faibles à moyennes (1,04% à 1,63%) à cause essentiellement de la végétation squelettique et de sa minéralisation rapide.

En outre ces teneurs décroissantes avec la profondeur sont en partie responsables de la structure (faiblement développée), de la réserve hydrique ainsi que de la capacité de fixation des éléments nutritifs faible dans ces sols.

Cependant on constate que ces taux de matière organique sont relativement plus importants dans les plantations et sur les jachères qu'au niveau des sols sous culture, des sols dénudés.

Par ailleurs, ces sols reflétant généralement la composition chimique de leur matériau parental sont caractérisés par des teneurs en éléments fertilisants majeurs (Ca, Mg, P) très faibles à faibles, dans le cas des teneurs en potassium disponible (32 à 115 ppm), elles sont faibles à élevées. Les phénomènes de lixiviation entraînent toutefois une augmentation des teneurs en Ca^{2+} et Mg^{2+} .



avec la profondeur, contrairement aux taux de cations potassiques et phosphoriques qui du fait d'une éventuelle complexation ou retrogradation (par les argiles, les oxydes de fer et les hydroxydes d'alumine) diminuent avec la profondeur.

Aussi la somme des bases échangeables basse à moyenne (2,38 à 9,28 meq/100 g de terre) augmente avec la profondeur en corrélation positive avec les teneurs en argiles.

La capacité totale d'échange cationique dans ces sols est très basse à basse (3,79 à 9,79 meq/100g de terre) à cause de la nature kaolinitique (faible pouvoir de fixation en cations) des argiles et de la minéralisation rapide de la matière organique.

Les taux de saturation sont par conséquent moyens (51 à 57%) à très élevés (> 80%).

Ces sols présentent généralement des taux de fer élevés croissants avec la profondeur et expliquant ainsi les phénomènes de ferrugination et d'induration qui y sont observés.

Leurs rapports fer libre/fer total élevés (51% à 73%) témoignent d'une forte immobilisation du fer.

En somme, les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés ont une fertilité chimique faible.

4. Classes d'aptitude des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés pour la culture du mil, sorgho, arachide et niébé

Le processus de compatibilité dégage quatre principales classes d'aptitude pour les spéculations retenues.

4.1. Classe des sols modérément aptes : S₂

Dans le cas des sols étudiés, seuls les profils P_{II} et P_{VI} sont modérément aptes pour la culture du niébé.

Ceci traduit alors le rôle bénéfique d'une bonne activité biologique (présence de termites) et des plantations dans l'amélioration des qualités du sol.

La contrainte majeure pour ces sols étant leurs conditions d'enracinement.

4.2. Classe des sols modérément à marginalement aptes S_2/S_3

Elle regroupe essentiellement les sols moyennement profonds et profonds et concerne toutes les spéculations. Les contraintes qui les caractérisent sont assez sévères Ce sont :

* Les conditions d'enracinement dues à leur charge graveleuse élevée, leur structure faiblement développée à massive et le contraste textural entre les horizons de surface et ceux sous-jacents

* Leur fertilité chimique faible (S et C.E.C faibles)

* Leur réserve en eau utile insuffisante.

4.3. Classe des sols marginalement aptes à inaptes : S_3/N

C'est surtout le cas des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels et peu profonds.

En plus des contraintes ci-dessus citées, la forte charge graveleuse et surtout la très faible profondeur d'apparition de l'induration (≤ 30 cm) freinent énormément la pénétration racinaire.

Aussi ces contraintes sont beaucoup plus difficiles à lever.

4.4. Classe des sols inaptes : N_2

Elle concerne exclusivement les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels (cas de P_{IV}) et est relative à la culture du sorgho.

La contrainte majeure pratiquement impossible à lever est la nature très dure et la très faible profondeur (≤ 20 cm) d'apparition de la cuirasse.

Au terme de cette évaluation, il est apparu opportun de faire quelques suggestions quant à l'affectation des terres pour une meilleure exploitation des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés et préconiser des mesures d'aménagements visant à l'accroissement de la productivité de ces sols.

5. Propositions d'aménagement des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Burkina Faso présentent à des degrés divers des contraintes pour la production agricole du mil, sorgho, arachide et niébé.

Ces contraintes d'ordre chimique, physique, biologique et environnemental, favorisent ou même accélèrent leur dégradation dès leur mise en valeur.

Aussi est-il nécessaire pour la conservation de ces sols et l'optimisation des rendements, de prévoir les aménagements et amendements adéquats.

Cependant le soucis du maintien de l'équilibre écologique de la zone doit être constant afin d'adopter les méthodes les plus appropriées pour l'augmentation de la productivité tout en conservant le milieu.

5.1 Aménagement des buttes cuirassées et des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés à profondeur < 30 cm

Les buttes cuirassées sont inaptes pour l'agriculture, la foresterie et l'élevage.

Relativement fragiles d'un point de vue éco-pédologique, ces buttes doivent être mises en défens et protégées contre les feux de brousse, la coupe de bois.

Aussi pour freiner l'érosion par ruissellement le long des pentes, néfaste pour les sols en aval, il serait judicieux d'installer et d'entretenir entre autres une végétation arborescente importante (Bosquets) au niveau des buttes ; de disposer des diguettes enherbées et ou des cordons pierreux au bas des pentes.

Ces buttes pourront ainsi être aménagées comme sites touristiques dans le cadre de circuits touristiques. Elles offrent en effet d'intéressantes vues panoramiques.

Quant aux sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels ou peu profonds, outre leur pauvreté minérale et organique se caractérisent surtout ^{par} une très faible profondeur effective (présence d'induration).

Ceci constitue une contrainte très sévère pratiquement impossible à lever, les rendant ainsi inaptes pour la culture des spéculations envisagées.

Ces sols pourront alors être utilisés dans le cadre d'un élevage intensif avec contrôle des effectifs compte tenu du fait qu'ils permettent l'installation d'infrastructures (parcs, enclos).

Ils peuvent servir de pistes à bétail. Les constructions à vocation d'habitats (immeubles), les infrastructures routières, les terrains d'aéroport peuvent également y être aménagés de façon avantageuse.

On pense également que les stations d'essence devraient être installées sur ces sols en raison de leur relative imperméabilité aux produits liquides compte tenu de la présence d'une induration (cuirasse ou carapace).

Cependant dans les régions à très forte densité démographique où le problème de terre arable se pose avec acuité (cas du Yatenga) on peut envisager un apport de terre à texture fine sur ces sols ou encore y appliquer la technique du "Zai" suivi d'un eppiérage et d'un dispositif anti-érosif.

Ceci afin de les mettre en valeur pour la culture du mil notamment.

5.2. Propositions concernant les contraintes physiques

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés étudiés sont caractérisés par des conditions d'enracinement défavorables, une réserve en eau utile insuffisante.

Ils sont exposés aux risques de dégradation par encroûtement ce qui entraîne leur appauvrissement par ruissellement, freine la pénétration racinaire et la germination.

Il convient alors de prévoir des aménagements tendant à l'amélioration ou à la levée de ces contraintes.

5.2.1. Amélioration des conditions d'enracinement

Dans ces sols comportant une cuirasse, une carapace ou une charge graveleuse importante à faible profondeur, l'eppiérage s'avère nécessaire en plus du sous-solage.

Il est en effet important, pour faciliter le travail du sol et aussi la pénétration racinaire des plantes, de diminuer le taux d'éléments grossiers des horizons de surface.

La structure faiblement développée à massive de ces sols doit être améliorée par le travail du sol. Néanmoins il est à proscrire tous travaux émiettant la couche superficielle du sol, la transformant en une poussière facilement entraînable par le vent.

Les labours du sol en profondeur provoquent des modifications de structure et porosité, qualitatives et quantitatives qui influent directement sur l'enracinement des végétaux.

En effet, l'amélioration des rendements des cultures annuelles par la pratique du labour est généralement reconnue dans la zone de savanes au sud du Sahara (CHARREAU et NICOU, 1971 in PIERI, 1989).

L'amélioration de cette stabilité structurale exige de freiner ou d'atténuer les risques de dégradation et d'érosion.

Aussi les techniques suivantes peuvent être envisagées :

- * L'installation de cordons pierreux en fonction des courbes de niveau.

- * La formation de diguettes enherbées ou en terre

- * L'épandage de tiges, résidus de récolte

- * L'apport de fumure organique par enfouissage avec labour perpendiculaire à la zone de pente. Cet apport de matière organique tout en protégeant le sol contre les pluies intenses, facteurs d'encroûtement et de battance, intervient dans l'amélioration de la structure par la formation d'agrégats argilo-humiques.

Enfin, le travail du sol devra éviter de créer des semelles de labour et le tassement des horizons de profondeur, d'où la nécessité d'aménagements fonciers légers.

5.2.2. Amélioration de la disponibilité en eau

La quantité d'eau utilisable par les plantes au niveau de ces sols peut être augmentée par l'utilisation de différentes techniques. Ces techniques devront permettre d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol, de créer des conditions texturales et structurales pour son

maintien dans le sol et son accessibilité pour les plantes.

Pour ces sols assez sableux (de texture grossière) en surface, l'application régulière de fumier pourrait améliorer l'alimentation hydrique des cultures en freinant l'infiltration excessive et rapide de l'eau.

L'apport de terre de texture fine à moyenne en surface, le labour profond et le sous-solage permettent d'améliorer la disponibilité en eau de ces sols.

Il faut en outre prévoir des procédés réduisant les pertes d'eau du sol par évaporation.

A ce sujet on pourrait préconiser le mulching qui consiste à couvrir le sol de pailles, de résidus culturaux ; l'utilisation des variétés de mil, sorgho, à forte couverture végétale du sol.

Pour lutter contre le ruissellement entraînant une diminution importante de l'eau disponible on peut installer des diguettes enherbées ou en terre parallèlement aux courbes de niveau.

La méthode "Zaï " utilisée au Yatenga permet également d'améliorer la disponibilité en eau pour les spéculations comme le mil, le sorgho.

En outre, pour une meilleure couverture de ces sols, on pourrait envisager l'agro-foresterie par des cultures en couloirs par exemple.

Il s'agit de bandes parallèles de végétation à faible écartement faites d'essences à croissance rapide avec un feuillage abondant et riche en azote. Ces essences doivent également supporter l'exploitation périodique par l'élégation, l'émondage, l'étalement et la coupe en taillis, et être adaptées aux conditions locales. Ces espèces peuvent par exemple être : Acacia albida (Faidherbia albida), Parkia biglobosa , Prosopis juliflora, Cassia siamea , Eucalyptus camaldulensis.

Ces arbres constituent par ailleurs des brise-vents et des haies vives efficaces dans la lutte contre l'érosion (éolienne et hydrique).

Les diguettes anti-érosives (en terres ou filtrantes) évoquées freinent donc le ruissellement de l'eau et favorisent son infiltration.

Cependant l'installation de ces dernières devra tenir compte de la pente du terrain et surtout du type de sols.

Ainsi sur les sols indurés superficiels, à assez bonne perméabilité les diguettes en terre, à très forte capacité de rétention d'eau de ruissellement, pourront engendrer un engorgement excessif d'eau d'infiltration.

Par contre les diguettes filtrantes (en pierres) capables d'éliminer l'excédent d'eau semblent plus adaptées sur ces sols.

Cependant sur les sols à induration plus profonde et bien perméable les diguettes en terre, sans risques d'asphyxie des racines par engorgement, peuvent être envisagées comme moyens de lutte antiérosive.

5.3. Propositions concernant les contraintes chimiques

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés se caractérisent par leur pauvreté en éléments fertilisants et leur faible capacité de rétention en cations échangeables, accentuée par les phénomènes de pertes par lixiviation, drainage latéral, complexation et agradation.

Aussi la fertilité chimique de ces sols s'effectuera essentiellement par une fumure organo-minérale.

5.3.1. Fumure organique

Cette fumure peut-être apportée à des doses de 2 à 5 t/ha/an dans le cadre du système amélioré d'utilisation des terres (PIERI C, 1989, SEDOGO et al 1989) par :

* L'enfouissage des mauvaises herbes, des tiges lors du labour.

* L'épandage de compost, fumier de bétail. Dans le cadre de l'association agriculture-élevage en milieu paysan, cet apport peut se faire par le séjour de troupeaux dans les champs pendant la saison sèche.

* L'épandage de sous-produits industriels, comme la mélasse de canne à sucre en tenant toutefois compte des risques d'acidification de celle-ci.

Il s'avère en outre nécessaire d'éviter au maximum les feux de brousse qui entraînent une minéralisation rapide de cette matière organique exposant ainsi les sols à l'érosion et à l'appauvrissement en minéraux fertilisants.

Enfin, de nombreux auteurs dont PALLO. F (1982) ont souligné l'importance des engrais verts et des jachères dans la restauration et le maintien de la matière organique.

5.3.2. Fertilité minérale

Elle doit être effectuée en tenant compte autant que possible de la C.E.C des sols ; afin d'éviter les pertes par lessivage des excès d'engrais et l'acidification future de ces derniers.

Aussi doit-elle être effectuée en liaison avec la fumure organique pour être efficiente.

Des apports d'engrais sont alors nécessaires pour restituer aux sols les éléments nutritifs prélevés par les plantes au cours de leur croissance ou perdus par lessivage, lixiviation, volatilisation et érosion.

Aussi préconisons-nous d'abord une fumure de fond à base essentiellement des éléments fertilisants majeurs P et K.

Cette fumure consiste à faire des avances aux sols avant leur mise en culture par enfouissage des éléments dans la couche arable exploitable par les racines.

Ensuite il est conseillé une fumure de couverture qui est un complément à celle de fond et qui sera apportée en pleine végétation.

Elle contient surtout de l'azote (N).

Egalement compte tenu des pertes éventuelles de ces éléments fertilisants par drainage et lixiviation ou par réactions biochimiques (volatilisation, dénitrification), il serait judicieux d'opter pour une fumure fractionnée. Elle consiste en fait à apporter les engrais en plusieurs fois au cours de la croissance

végétative et seulement au moment où la plante en a le plus besoin.

Dans le cas des sols étudiés, pauvres ou carencés en N, P et K, les engrais utilisés seront par conséquent : de type NPK (engrais, coton), Urée, phosphates naturels.

Au niveau des sols modifiés par l'activité des termites, il faudra prendre la précaution supplémentaire d'abaisser le pH néfaste pour la culture du mil, sorgho, arachide et niébé.

Enfin la détermination des doses d'engrais devra tenir compte des phénomènes de complexation et d'agradation éventuels, donc d'insolubilisation de certains éléments fertilisants (P et K) par les hydroxydes d'alumine, les oxydes de fer et les argiles.

L'assolement des cultures, de même que l'association des cultures céréalières (sorgho, mil) et des légumineuses (arachide, niébé) doivent être encouragés.

Ils permettent en effet :

- * de pallier la dégradation des rendements consécutive à la monoculture
- * une meilleure exploitation des superficies cultivables
- * ils constituent enfin des moyens de lutte phytosanitaire.

B I B L I O G R A P H I E



- A.F.E.S. 1990 Référentiel Pédologique Français
- BACYE.B. 1988 Etude des entrainements argileux dans les sols drainés de petite camergue D.A.A. - Montpellier
- BONNEAU M. 1979 Pédologie T₂ constituants et propriétés du sol .
SOUCHIER.B Ed. Masson-459 p
- BOULET. R. 1968 Etude Pédologique de la Haute-Volta Region Centre-Nord - Rapport ORSTOM-DAKAR-331 p
- BOULET R 1978 Toposéquences des sols tropicaux en Haute Volta. Equilibre et déséquilibre pédoclimatique. Mémoire ORSTOM.N° 85 - 272 P
- BOYER J 1978 Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides.
Doc; tech n° 35 ORSTOM-PARIS-173 P
- BU.NA.SOLS. 1979 Etude de la forêt classée de Maro Rapport technique N° 16 Echelle 1/20.000e
- BU.NA.SOLS. 1979 Etude morpho-pédologique de la vallée du Poni.
Rapport Technique n° 50 Echelle 1/500.000 et 1/20.000
- BU.NA.SOLS. 1979 Etude pédologique de reconnaissance du secteur de Séguénéga .
Rapport technique n° 10
- BU.NA.SOLS 1983 Etude Pédologique de la zone de marnage autour du barrage hydroelectrique de la Kompienga. ORD de l'Est Echelle 1/20.000 Rapport technique n° 41
- BU.NA.SOLS. 1983 Etude Pédologique du périmètre PAPEM de Diapaga ORD de l'Est. Echelle 1/20.000e Rapport technique n° 31
- BU.NA.SOLS. 1984 Etude pédologique de la forêt classée de Toumousseni Province de la Comoé Rapport technique n° 42 Echelle : 1/20.000e

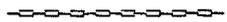
BU.NA.SOLS.	1985	Etude pédologique de la forêt classée de Dinderesso. Province du Houet Echelle 1/20.000 Rapport technique n° 43
BU.NA.SOLS.	1985	Etude morpho-pédologique de la zone A.V.V. de Fara-Poura Echelle 1/20.000e Rapport technique n° 44
BU.NA.SOLS.	1986	Etude morpho-pédologique de la région de Niéna-Dionkelé : province du Kéné Dougou Rapport technique n° 48
BU.NA.SOLS.	1987	Etude pédologique de la forêt classée de Nakabé Province du Sanmatenga Rapport technique n° 55
BU.NA.SOLS.	1987	Méthodes d'analyses physiques et chimiques des sols, eaux et plantes Documentations techniques n° 3
BU.NA.SOLS.	1988	Etude pédologique de la zone d'aménagement de la vallée du Sourou. Rapport technique n° 58
BU.NA.SOLS.	1988	Etude pédologique de la station expérimentale de Gampela. Rapport technique n° 59
BU.NA.SOLS	1988	L'Etat de connaissance sur les exigences des principales cultures au BURKINA FASO. Rapport de communication
BU.NA.SOLS.	1989	Méthodes de prospection pédologique Documentations techniques n° 5
BU.NA.SOLS.	1989	Etude pédologique de la région Nord de la Mare d'Oursi Rapport technique n° 63
BU.NA.SOLS.	1989	Etude morpho-pédologique de la province du Kouritenga. Rapport technique n° 65
BU.NA.SOLS.	1989	Etude morpho-pédologique de la province du Boulgou Rapport technique n° 66
BU.NA.SOLS.	1990	Etude pédologique de la forêt classée de Gonsé. Rapport technique n° 70
BU.NA.SOLS.	1990	Planification régionale -CRPA Centre-Nord Reconnaissance pédologique et évaluation des terres. Rapport technique n° 72
BU.NA.SOLS.	1990	Aménagement des sols pour l'amélioration de la production agricole : contraintes et solutions. Communication à la Xe réunion du sous comité Ouest et Centre Africain de corrélation des sols et d'évaluation des terres.

BU.NA.SOLS.	1990	Manuel pour l'évaluation des terres Documentations techniques n° 6
CHAMAYOU.H LEGROS.J	1989	Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol science du sol ACCT. PARIS
CILSS	1990	Le Sahel en lutte contre la désér- tification
C P C S	1967	Classification Française des sols Edition 1967,87 P
DELVIGNE J	1965	Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mémoire ORSTOM-DUNOD-PARIS-177 P
DUCHAUFOR P	1972	Processus de formation des sols CNRS
DUCHAUFOR P	1977	Pédologie T ₁ Pédogenèse et classi- fication Ed Masson-Paris-477 P
FAO	1977	Directives pour la description des sols 2e édition Rome
FAO	1986	Amélioration et production du maïs du sorgho et du mil vol 1 Principes généraux
FAO	1989	Légende de la carte mondiale des sols-échelle 1/5.000.000e
GASTON B and al	1986	Les modèles cuirassés du BURKINA FASO Afrique Occidentale. Revue de Géo- logie dynamique et de géographie. vol 27 Fasc 3-4 P 213-224
GUINKO S	1984	Végétation de la Haute-Volta Thèse de Docteur es Université de Bordeaux III
GUIRA T	1988	Intensification de la culture du sorgho en sols ferrugineux. Etude des effets induits des tech- niques culturales sur la fertilité des sols. Mémoire de fin d'Etude IDR Univ.Ouaga
HENIN S and al	1969	Le profil cultural l'etat physique du sol et ses conséquences agrono- miques. Editions Masson-Cie.

KABORE.E.	1989	Caractères de deux sous-groupes de sols brunifiés de quelques zones du BURKINA FASO et leur aptitude à la culture du maïs et du coton. Mémoire de fin d'étude IDR.INIV Ouaga.
KALOGA.B.	1976	Contribution à l'étude du cuirassement : relations entre gravillons ferrugineux et leurs matériaux d'emballage. cah. ORSTOM, ser.Pédologie,XIV,4 - : 299-319
KALOGA.B.	1987	Le manteau kaolinitique des plaines du Centre-Sud de la Haute-Volta. Dynamique et relation avec le manteau smectique. ORSTOM. Etudes et thèses.
LEE.V.E.WOOD T.G	1971	Termites and soils AC.Press.
LEPRUN J.ROUBAULT M.	1972	Les cuirasses ferrugineuses autochtones et modelé des bas reliefs des pays cristallins de Haute-Volta Orientale ORSTOM C.R. Acad-science-PARIS.
MAE	1983	Rapport annuel
MAIGNIEN.R.	1966	Induration des horizons des sols ferrallitiques-cahiers ORSTOM.
MAIGNIEN.R.	1969	Manuel de prospection pédologique ORSTOM
M.C.F.	1984	Memento de l'Agronome 3è édition collections techniques rurales en Afrique.
M.E.T.	1987	Manuel d'agroforesterie
MICHAEL.F.T.	1974	Tropical geomorphology. A study of weathering and Land form development in warm climates.
MUNSELL.	1973	Munsell soil color chart
ORSTOM	1974	"30 années de pédologie"
ORSTOM	1980	Evolution actuelle d'une carapace ferrugineuse en forêt de ci-teaux (Val-de-Saône).

OUEDRAOGO.O	1989	Etude des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et leur aptitude à la culture du mil et du sorgho. Memoire ISN-IDR-Univ-Ouaga.
PALLO.F	1982	Comparaison des caractères physico-chimiques de la matière organique de trois pédons cultivés et vierges, situé entre FADA N'GOURMA et PIEGA. Thèse de Doctorat 3e cycle Université AIX-Marseille III.
PIERI.C.	1989	Fertilité des terres de savanes C.F-CIRAD-PARIS
ROOSE.E.	1981	Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. ORSTOM-thèse de Doctorat es-sciences.
SOLTNER.D.	1986	Les bases de la production végétale T _I : le sol collections sciences et techniques agricoles 12e édition.
SOLTNER D	1987	Les bases de la production végétale T _{II} le climat collections sciences et techniques agricoles 12e édition
SOURABIE N	1979	Influence de la culture de canne à sucre sur les sols de Bérégadougou. Cas particulier des facteurs de fertilité liés à la matière organique. Thèse Doctorat 3e cycle Univ-Aix Marseille III
THIOMBIANO.L	1984	Première approche de l'influence du reboisement en Eucalyptus camaldulensis sur les sols de Gonsé (Haute-Volta). Thèse de Docteur 3e cycle Université Aix-Marseille III
THOMAN.N.C	1977	Etude de la ferrallitisation par la technique des cinétiques de dilution isotonique (application au cas du fer). ORSTOM.
ZOMBRE N.P.	1984	Les sols développés sur roches à complexe d'altération montmorillonitique et kaolinitique dans le Centre-Sud de la Haute-Volta (caractère-fertilité) Thèse 3e cycle Université-6 Aix-Marseille III.

- 0 - A N N E X E S - 0 -



Date de description : 13/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : sol ferrugineux tropicaux lessivé. induré profond
- Légende F.A.O (1988) :

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Gonsé
- Végétation et/ou utilisation : champ de sorgho sous savane à *Butyrospermum parkii*, *Parkia biglobosa*, *Piliostigma reticulata*, *Guiera senegalensis*
- Position physiographique :
- Topographie environnante : quasi-plat
- Micro topographie :
- Pente : 1%
- Roche-mère/Matériau parental : colluvions
- Etat hydrique : Profil sec
- Drainage : Normal
- Nappe :
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion : en nappe
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-23 cm : Brun pâle (10 YR 6/3) à sec, brun jaunâtre (10YR5/4) à humide. Texture limono-sableuse, structure faiblement développée en éléments moyens, fins polyédriques subangulaires. Quelques graviers ferrugineux et de quartz-consistance dure.

Nombreux pores moyens, fins, assez nombreuses racines fines, très fines moyennes, activité biologique assez bien développée, transition distincte.

3-46 cm : Brun très pâle (10YR7/4) à sec, brun jaunâtre (10YR5/6) à humide 10% de taches jaunes (10YR 8/6). Texture argilo-limoneuse, structure massive à faiblement développée en éléments moyens, fins, polyédriques subangulaires 5-10% concrétions ferrugineuses et graviers de quartz. Consistance dure. Nombreux pores moyens, fins, grossiers, nombreuses racines grossières, fines, moyennes très fines.

Activité biologique assez bien distincte. Transition graduelle.

5-123 cm : Jaunâtre (10YR8/6) à sec, jaune brunâtre (10YR 6/6) à humide. Taches blanches (10YR 8/2) Texture argileuse, structure massive 20% de concrétions ferrugineuses. Consistance dure. Nombreux pores moyens, grossiers, fins, induration/cimentation faible, peu nombreuses racines moyennes, fines, très fines. Activité biologique très faiblement développée.

3 cm+ Carapace ferrugineuse à induration moyenne.



N° ECHANTILLONS		68	69	70		
PROFONDEUR (cm)		0-23	23-46	46-123		
ANALYSE	TEXTURE	SL	LS	LAS		
	TAUX DE REFUS (2 mm) %	-	-	3,5		
GRANULO- METRIQUE	Argile (2 μ) %	5.25	19.50	31.00		
	Limons (2 - 50 μ) %	26.59	27.37	26.60		
	Sables (50 - 2000 μ) %	68.16	53.12	42.40		
CONSTANTES HYDRIQUES	pF 2,5	14.42	18.17	24.41		
	pF 3,0	8.33	12.32	13.35		
	pF 4,2	4.16	7.40	10.82		
	Eau utile (R.U) / 50 cm	86.75	101.93			
MATIERES ORGANIQUES	Matière organique totale %	1.05	1.02	0.94		
	Carbone total %	0.61	0.59	0.54		
	Azote total %	0.039	0.047	0.073		
	C/N	15.64	12.55	7.40		
DENSITE	Densité réelle	2.7	2.7	2.6		
	Densité apparente	1.7	1.6	1.5		
	Porosité totale $\frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$	37.04	40.74	42.31		
POTASSIUM	Potassium disponible ppm K	57.30	35.90	17.50		
	Potassium total ppm K	600	895	1168		
PHOSPHORE	Phosphore assimilable ppm P	3.63	1.25	0.77		
	Phosphore total ppm P	74	72	77		
BASES ECHANGEABLES méq/100 gram- mes de terre fine	Calcium (Ca ⁺⁺)	2.10	2.01	2.45		
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	0.82	1.10	1.18		
	Potassium (K ⁺)	0.05	0.02	0.02		
	Sodium (Na ⁺)	0.02	0.04	0.04		
	Sommes des bases (S)	2.99	3.17	3.69		
	Capacité totale d'échange (T)	3.85	3.71	5.18		
	Taux de saturation (S/T)	77.66	85.44	71.24		
REACTION DU SOL	pH eau	7.1	7.0	6.1		
	pH KCl	6.0	5.4	4.7		
	Conductivité électrique mmho/cm	0.03	0.02	0.02		
FER	Fer libre	0.404	0.832	1.175		
	Fer total	0.80	1.50	2.85		
	Fer libre/fer total %	50.5	55.47	41.23		

PROFIL N° II

Date de description : 11/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : Sol brun Eutrophe modal
- Légende F.A.O (1988) :

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Gonsé
- Végétation et/ou utilisation : Savane arborée claire à Tamarindus indica, Balanites aegyptiaca, Diospyros mespiliformis, Butyrospermum parkii, Piliostigma reticulata, Combretacées, .
- Position physiographique :
- Topographie environnante : Quasi-plat
- Micro topographie :
- Pente :
- Roche-mère /Matériau parental : Termitogène
- Etat hydrique : Profil sec
- Drainage : Normal à modéré
- Nappe :
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion : Rigoles et nappes
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

22cm Jaune brunâtre (10YR 6/6) à sec, brun jaunâtre à humide. Texture argilo-limoneuse 2-5% de graviers ferrugineux et de quartz. Structure faiblement développée en éléments grossiers, moyens, fins, polyédriques subangulaires. Consistance dure. Nombreux pores moyens, fins, grossiers. Nombreuses racines moyennes fines, grossières. Activité biologique bien développée. Transition graduelle.

4cm Jaune brunâtre (10YR 6/6) à sec et à humide. Texture argileuse-structure massive à faiblement développée en éléments moyens, grossiers, fins polyédriques subangulaires. Quelques graviers ferrugineux. Consistance très dure. Nombreux pores très larges, moyens, fins. Peu nombreuses racines fines. Activité biologique très bien développée. Transition distincte irrégulière.

20cm Jaune (10YR 7/8) à sec, jaune brunâtre (10YR 6/6) à humide 5% de taches. Texture argileuse, structure massive 5 % graviers ferrugineux. Consistance très dure. Nombreux pores fins, moyens, larges. Peu nombreuses racines très fines. Activité biologique assez bien développée.

N° ECHANTILLONS		71	72	73		
PROFONDEUR (cm)		0-22	22-54	54-120		
ANALYSE	TEXTURE	LAS	LAS	LAS		
	TAUX DE REFUS (2 mm) %	-	-	5.3		
GRANULO- METRIQUE	Argile (2 μ) %	22.25	33.50	33.00		
	Limons (2 - 50 μ) %	27.81	26.53	28.00		
	Sables (50 - 2000 μ) %	49.94	39.97	39.00		
CONSTANTES HYDRIQUES	pF 2,5	22.29	26.01	25.95		
	pF 3,0	12.47	17.76	17.25		
	pF 4,2	8.58	11.89	12.56		
	Eau utile (R.U) / 50 cm	100.88	100.43			
MATIERES ORGANQUES	Matière organique totale %	1.28	0.99	1.43		
	Carbone total %	0.74	0.58	0.83		
	Azote total %	0.103	0.069	0.070		
	C/N	7.19	8.41	11.86		
DENSITE	Densité réelle	2.6	2.5	2.6		
	Densité apparente	1.5	1.4	1.5		
	Porosité totale $\frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$	42.31	44	42.31		
POTASSIUM	Potassium disponible ppm K	529	511	435		
	Potassium total ppm K	1981	2110	2128		
PHOSPHORE	Phosphore assimilable ppm P	4.78	3.90	7.91		
	Phosphore total ppm P	202	132	125		
BASES ECHANGEABLES méq/100 gram- mes de terre fine	Calcium (Ca ⁺⁺)	5.61	6.59	5.75		
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	2.41	2.73	2.54		
	Potassium (K ⁺)	0.42	0.40	0.39		
	Sodium (Na ⁺)	0.16	0.38	0.48		
	Sommes des bases (S)	8.60	10.10	9.16		
	Capacité totale d'échange (T)	9.87	9.70	9.54		
	Taux de saturation (S/T)	87.13	104	96.02		
REACTION DU SOL	pH eau	8.4	8.6	8.6		
	pH KCl	7.7	7.8	7.7		
	Conductivité électrique mmho/cm	0.31	0.40	0.47		
FER	fer libre	0.794	1.040	1.032		
	Fer total	2.15	2.59	2.77		
	Fer libre/fer total %	36.93	40.15	37.26		

PROFIL N° III

Date de description : 11/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : Sol ferrugineux tropical léssivé moyennement profond
- Légende F.A.O (1988) :

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : BANONGO
- Végétation et/ou utilisation : Champ de mil sous savane arborée claire à Acacia albida, Balinites aegyptiaca, Butyrospermum parkii Sclérocarya birrea, Tamarindus indica, Diospyros
- Position physiographique : mespiliformis combretacées.
- Topographie environnante : quasi-plat
- Micro topographie :
- Pente :
- Roche-mère :
- Etat hydrique : Profil sec
- Drainage : Normal
- Nappe : En nappe
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion :
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0cm Légèrement brun jaunâtre (10YR 6/4) à sec, brun jaunâtre (10YR 5/4) à humide. Texture sablo-limoneuse ; structure faiblement développée en élément grossiers, moyens, polyédriques subangulaires. 60-70% de concrétions ferrugineuses et de graviers de quartz. Consistance peu dure. Nombreux pores fins, moyens, larges. Nombreuses racines très fines, fines. Activité biologique faiblement développée. Transition distincte.

1cm Brun très pâle (10YR 7/4) à sec, jaune brunâtre (10YR 6/6) à humide. Texture limono-argileuse. Structure faiblement développée en éléments moyens polyédriques subangulaires 50-60% de concrétions ferrugineuses. Consistance peu dure. Nombreux pores fins, moyens, grossiers. Peu nombreuses racines fines. Activité biologique faiblement développée. Transition graduelle irrégulière.

20cm Carapace ferrugineuse à induration moyenne de couleur jaune rougeâtre (5YR 6/6 à sec, rouge jaunâtre (5YR 5/6) . Taches jaunes (10YR 8/6).

N° ECHANTILLONS		74	75	76		
PROFONDEUR (cm)		0-20	20-44	44-120		
ANALYSE	TEXTURE	SL	LS	LAS		
	TAUX DE REFUS (2 mm) %	30.3	40.6	1.9		
GRANULO-	Argile (2 μ) %	4.00	15.00	40.00		
	Limons (2 - 50 μ) %	23.70	22.43	25.44		
METRIQUE	Sables (50 - 2000 μ) %	72.30	62.57	34.56		
CONSTANTES	pF 2,5	15.89	16.50	30.10		
	pF 3,0	7.20	12.07	26.21		
HYDRIQUES	pF 4,2	4.20	8.19	15.72		
	Eau utile (R.U) / 50 cm	75.00	93.47			
MATIERES	Matière organique totale %	1.06	1.10	1.54		
	Carbone total %	0.61	0.64	0.89		
ORGANIQUES	Azote total %	0.06	0.09	0.109		
	C/N	10.17	7.10	8.17		
DENSITE	Densité réelle	2.6	2.7	2.5		
	Densité apparente	1.6	1.4	1.3		
	Porosité totale $\frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$	38.46	48.15	48		
POTASSIUM	Potassium disponible ppm K	49.9	22.9	38.9		
	Potassium total ppm K	420	521	796		
PHOSPHORE	Phosphore assimilable ppm P	2.10	1.47	0.45		
	Phosphore total ppm P	73	100	91		
BASES ECHANGEABLES méq/100 gram- mes de terre fine	Calcium (Ca ⁺⁺)	1.71	1.88	2.79		
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	0.46	0.60	1.20		
	Potassium (K ⁺)	0.04	0.02	0.04		
	Sodium (Na ⁺)	0.03	0.02	0.03		
	Sommes des bases (S)	2.24	2.52	4.06		
	Capacité totale d'échange (T)	3.33	5.09	5.15		
	Taux de saturation (S/T)	67.27	49.5	78.83		
REACTION DU SOL	pH eau	6.8	6.9	6.7		
	pH KCl	5.5	5.6	5.6		
	Conductivité électrique mmho/cm	0.02	0.01	0.02		
FER	Fer libre	0.915	2.200	0.671		
	Fer total	1.79	2.86	4.42		
	Fer libre/fer total %	51	76.92	15.18		

PROFIL N° IV

Date de description : 11/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : Sol ferrugineux lessivé induré superficiel
- Légende F.A.O (1988) : Leptosol eutrique phase pétro ferrique

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : 3 km de GONSE
- Végétation et/ou utilisation : Savane arbustive claire à *Piliostigma Diospyros mespiliformis*, *Butyrospermum*, *Ziziphus m.*, *Guiera senegalensis*
- Position physiographique :
- Topographie environnante : quasi plate
- Micro topographie :
- Pente : 1%
- Roche-mère /Matériau parental : Colluvions
- Etat hydrique : Profil sec
- Drainage : Normal
- Nappe :
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion : en nappe
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

Brun (10YR 5/3) à sec, brun grisâtre très sombre à humide. Quelques taches brunes très pâles (10YR 7/3). Texture limono-argileuse. Structure faiblement développée en éléments grossiers, moyens, très grossiers, polyédriques subangulaires. 30-40% de concrétions ferrugineuses, consistance dure. Nombreux pores larges, moyens. Nombreuses racines grossières, moyennes, fines. Activité biologique moyennement développée. Transition abrupte irrégulière.

+ Cuirasse ferrugineuse de couleur rouge brique et rouge ocre. Cimentation/Induration forte.

tion-
es : Présence de blocs de cuirasses aux alentours.

N° ECHANTILLONS		77			
PROFONDEUR (cm)		0-20			
ANALYSE GRANULO- METRIQUE	TEXTURE	LS			
	TAUX DE REFUS (2 mm) %	25.9			
	Argile (2 μ) %	8.5			
	Limons (2 - 50 μ) %	34.95			
	Sables (50 - 2000 μ) %	56.55			
CONSTANTES HYDRIQUES	pF 2,5	15.82			
	pF 3,0	8.57			
	pF 4,2	5.52			
	Eau utile (R.U) / 50 cm	77.25			
MATIERES ORGANIQUES	Matière organique totale %	1.43			
	Carbone total %	0.83			
	Azote total %	0.061			
	C/N	13.61			
DENSITE	Densité réelle	2.6			
	Densité apparente	1.5			
	Porosité totale $\frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$	42.31			
POTASSIUM	Potassium disponible ppm K	114.7			
	Potassium total ppm K	829			
PHOSPHORE	Phosphore assimilable ppm P	9.25			
	Phosphore total ppm P	119			
BASES ECHANGEABLES méq/100 gram- mes de terre fine	Calcium (Ca ⁺⁺)	3.59			
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	0.81			
	Potassium (K ⁺)	0.09			
	Sodium (Na ⁺)	0.05			
	Sommes des bases (S)	4.44			
	Capacité totale d'échange (T)	5.87			
	Taux de saturation (S/T)	75.63			
REACTION DU SOL	pH eau	6.8			
	pH KCl	5.6			
	Conductivité électrique mmho/cm	0.04			
FER	Fer libre	0.719			
	Fer total	1.40			
	Fer libre/Fer total %	51.36			

Date de description : 12/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : Sol ferrugineux lessivé à taches et concrétions
- Légende F.A.O (1988) :

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : 1 km de BOUDTENGA
- Végétation et/ou utilisation : Champ de mil sous savane arborée claire à *Butyrospermum parkii*, *Acacia albida*, *Acacia seyal*, *Lannea microcarpa*, *Piliostigma*, *Diospyros m*, *Guiera*.
- Position physiographique : *senegalensis*
- Topographie environnante : Quasi - plat
- Micro topographie :
- Pente : 1%
- Roche-mère/Matériau parental : Colluvions
- Etat hydrique : Profil sec
- Drainage : Normal
- Nappe :
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion : en nappe
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

- 6cm : Brun jaunâtre clair (10YR 6/4) à sec, brun jaunâtre sombre (10YR 4/4) à humide. Texture limono-sableuse, structure massive à faiblement développée en éléments grossiers, moyens fins, polyédriques subangulaires. 10-15% de gravillons ferrugineux-consistance peu dure-nombreux pores moyens, grossiers, fins. Nombreuses racines fines, très fines, moyennes. Activité biologique assez bien développée. Transition distincte.
- 53cm Jaune brunâtre (10YR 5/6) à sec. Brun jaunâtre sombre (10YR 4/6) à humide. Texture limono-argilo-sableuse. Structure faiblement développée en éléments grossiers, moyens, fins polyédriques subangulaires. 30-40% de gravillons ferrugineux. Consistance peu dure. Nombreux pores moyens, larges, fins, grossiers. Nombreuses racines moyennes, grossières, fines très fines. Activité biologique bien développée. Transition graduelle.
- 20cm Jaune (10YR 8/6) à sec. Jaune brunâtre (10YR 6/6) à humide. Texture limono-argilo-sableuse- structure faiblement développée en éléments moyens fins, polyédriques subangulaires. 90-95% gravillons ferrugineux et de quartz. Consistance peu dure. Très nombreux pores moyens fins. Peu nombreuses racines moyennes, fines très fines. Activité biologique rare. Transition distincte.
- 150cm Brun très pâle (10YR 8/4) à sec. Jaune (10YR 7/6) à humide. 30-40% de taches brunes très pâle (10YR 8/3) à sec, jaunes rougeâtre (7,5YR 7/6) à humide. Texture argilo-limoneuse. Structure massive 40-50% de gravillons ferrugineux et de quartz. Consistance dure. Nombreux pores moyens, larges, fins. Racines rares, fines. Activité biologique très faiblement développée.

additionnelles : Quelques cailloux de cuirasse.

N° ECHANTILLONS		78	79	80	81
PROFONDEUR (cm)		0-16	16-53	53-120	120-150
ANALYSE GRANULO- METRIQUE	TEXTURE	SL	SL	LS	LAS
	TAUX DE REFUS (2 mm) %	15.5	29.6	34.4	18.4
	Argile (2 <i>Al</i>) %	3.5	9.25	15.5	23.25
	Limons (2 - 50 <i>Al</i>) %	23.67	20.40	23.53	24.33
	Sables (50 - 2000 <i>Al</i>) %	72.83	70.35	59.97	52.42
CONSTANTES HYDRIQUES	pF 2,5	12.89	14.47	15.68	22.33
	pF 3,0	5.84	6.39	8.72	14.96
	pF 4,2	3.56	4.51	6.42	8.78
	Eau utile (R.U) / 50 cm	75.52	78.71		
MATIERES ORGANIQUES	Matière organique totale %	1.50	0.85	1.01	0.88
	Carbone total %	0.67	0.49	0.58	0.51
	Azote total %	0.047	0.055	0.060	0.028
	C/N	14.25	8.91	9.67	18.21
DENSITE	Densité réelle	2.6	2.6	2.7	2.6
	Densité apparente	1.6	1.5	1.7	1.6
	Porosité totale $\frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$	38.46	42.31	37.04	38.46
POTASSIUM	Potassium disponible ppm K	56.90	16.00	16.70	17.40
	Potassium total ppm K	508	663	779	1027
PHOSPHORE	Phosphore assimilable ppm P	4.40	2.56	2.55	1.98
	Phosphore total ppm P	60	65	60	21
BASES ECHANGEABLES méq/100 gram- mes de terre fine	Calcium (Ca ⁺⁺)	1.98	2.18	2.22	2.31
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	0.48	0.67	0.74	1.11
	Potassium (K ⁺)	0.04	0.03	0.04	0.03
	Sodium (Na ⁺)	0.06	0.02	0.01	0.07
	Sommes des bases (S)	2.48	2.90	3.01	3.52
	Capacité totale d'échange (T)	3.75	6.5	3.98	5.78
	Taux de saturation (S/T)	66.13	44.61	75.63	60.90
REACTION DU SOL	pH eau	6.6	6.5	6.8	6.6
	pH KCl	5.2	4.8	5.3	4.8
	Conductivité électrique mmho/cm	0.03	0.02	0.02	0.02
FER	Fer libre	1.014	1.336	1.935	1.393
	Fer total	1.34	1.86	2.64	1.94
	Fer libre/fer total %	75.67	71.83	73.30	71.80

PROFIL N° VI

Date de description : 12/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : Sol: ferrugineux induré moyennement profond
- Légende F.A.O (1988) :

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : BOUDTENGA
- Végétation et/ou utilisation : Plantation d'Eucalyptus Camaldulensis sous savane à Butyrospermum parkii, piliostigma, Azadirachta indica, Guiera senegalensis, Andropogon
- Position physiographique :
- Topographie environnante : quasi- plat
- Micro topographie :
- Pente : 1 à 2%
- Roche-mère / Matériau parental : Colluvions
- Etat hydrique :
- Drainage : Normal
- Nappe :
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion : en Nappe
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

- 15cm Brun pâle (10YR 6/3) à sec. Brun sombre (10YR 4/3) à humide. Quelques taches grises claires (10YR 7/2). Texture limono-argileuse, quelques gravillons ferrugineux- structure faiblement développée en éléments moyens grossiers, fins polyédriques subangulaires. Consistance très dure- nombreux pores moyens larges, fins. Activité biologique bien développée. Transition graduelle.
- 43cm Brun très pâle (10YR 7/4) à sec. Brun jaunâtre (10YR 5/4] à humide. Texture argilo-limo neuse, structure massive à faiblement développée en éléments moyens, fins polyédriques subangulaires. Quelques gravillons ferrugineux. Consistance dure. Nombreux pores moyens, fins. Très nombreuses racines moyennes, fines, très fines. Activité biologique peu développée. Transition distincte irrégulière.
- 80cm Carapace ferrugineuse. Structure massive, induration moyenne. Peu nombreuses racines très fines, fines. Activité biologique très faiblement développée. Transition graduelle.
- 120cm Concrétions ferrugineuses 90% de concrétions ferrugineuses, quartziques et ferromangani- fères. Consistance dure. Nombreux pores moyens, fins, peu nombreuses racines moyennes, fines, très fines. Activité biologique absente.

N° ECHANTILLONS		82	83	84	85
PROFONDEUR (cm)		0-15	15-43	43.80	80-120
ANALYSE	TEXTURE	LA	LA	A	A
	TAUX DE REFUS (2 mm) %	-	-	45.7	44.4
GRANULO- METRIQUE	Argile (2 μ) %	26.00	34.50	47.75	42.75
	Limons (2 - 50 μ) %	42.09	31.83	27.80	30.48
	Sables (50 - 2000 μ) %	31.91	33.67	24.45	26.76
CONSTANTES HYDRIQUES	pF 2,5	39.90	28.03	33.77	25.90
	pF 3,0	21.79	18.04	22.87	23.76
HYDRIQUES	pF 4,2	15.12	13.13	18.33	16.89
	Eau utile (R.U) / 50 cm	138.88	108.08		
MATIERES ORGANIKES	Matière organique totale %	2.17	1.30	1.13	0.99
	Carbone total %	1.26	0.75	0.65	0.58
	Azote total %	0.149	0.101	0.122	0.096
	C/N	8.46	7.46	5.33	6.04
DENSITE	Densité réelle	2.5	2.6	2.6	2.5
	Densité apparente	1.3	1.5	1.4	1.3
	Porosité totale $\frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$	48	42.31	46.15	48
POTASSIUM	Potassium disponible ppm K	72.2	29.3	46.70	59.30
	Potassium total ppm K	911	834	1023	887
PHOSPHORE	Phosphore assimilable ppm P	4.21	2.42	7.08	1.28
	Phosphore total ppm P	186	103	117	117
BASES ECHANGEABLES méq/100 gram- mes de terre fine	Calcium (Ca ⁺⁺)	7.71	4.30	5.24	4.28
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	1.98	1.81	2.10	1.73
	Potassium (K ⁺)	0.06	0.04	0.04	0.07
	Sodium (Na ⁺)	-	0.037	0.03	0.03
	Sommes des bases (S)	9.75	6.19	7.41	6.11
	Capacité totale d'échange (T)	10.69	7.84	8.69	7.68
	Taux de saturation (S/T)	91.21	78.95	85.27	79.56
REACTION DU SOL	pH eau	6.6	6.6	6.5	6.2
	pH KCl	5.4	5.0	5.0	4.7
	Conductivité électrique mmho/cm	0.07	0.01	0.02	0.02
FER	Fer libre	2119	1.648	2.963	1.993
	Fer total	3.22	3.14	4.37	3.55
	Fer libre/Fer total %	65.81	52.48	67.80	56.14

PROFIL N° VII

Date de description : 12/02/91

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- C.P.C.S. (1967) : SOLONETZ
- Légende F.A.O (1988) :

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Village Loubila
- Végétation et/ou utilisation : Champ de mil sous savane arborée à Acacia albida, Acacia nilotica, Acacia seyal
- Position physiographique :
- Topographie environnante : quasi-plat
- Micro topographie :
- Pente : 1%
- Roche-mère/Matériau parental : Roche verte
- Etat hydrique : Profil sec
- Drainage : Modéré
- Nappe :
- Cailloux et affleurements rocheux :
- Erosion : en nappe
- Influence humaine :

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

- 8cm Brun (10YR 5/3) à sec, brun sombre (10YR 4/3) à humide 20% de taches blanches (10YR 8/2). Texture limono-argileuse. Structure faiblement à moyennement développée en éléments grossiers, moyens polyédriques subangulaires. 20% de gravillons ferrugineux. Consistance très dure. Nombreux pores larges moyens, fins. Peu nombreuses racines fines, très fines. Activité biologique faiblement développée. Transition graduelle.
- 8cm Olive (5Y 5/4) à sec- olive (5Y 5/3) à humide. Texture argilo-sableuse- structure moyennement développée en éléments moyens, grossiers polyédriques subangulaires- 20% de gravillons ferrugineux et quartziques. Consistance très dure. Nombreux pores fins, très fins, moyens, larges. Très peu nombreuses racines fines. Activité biologique faiblement développée. Transition graduelle.
- 90cm Jaune pâle (5YR 7/3) à sec. Olive pâle (5YR 6/3) à humide. Taches jaunâtres. Texture argileuse. Structure faiblement développée 5-10% de graviers ferrugineux et quartziques. Consistance très dure. Nombreux pores fins, larges, très large, moyens. Très peu nombreuses racines très fines. Activité biologique faiblement développée. Transition distincte ondulée.
- 120cm 90% d'altérites de roche verte. Activité biologique faiblement développée. Transition abrupte.

cm + Roche mère

es additionnelles : Affleurements et Amas de roches granitiques.