

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

ANTENNE SAHELIENNE

**CENTRE UNIVERSITAIRE POLYTECHNIQUE
DE BOBO- DIOULASSO**

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté et soutenu en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : EAUX ET FORETS

Thème

**Caractérisation des sols de la zone Est de la
province du Zoundwéogo par Télédétection et
Système d'Information Géographique (S.I.G).**

Juin 1997

NACOUлма Jean Didier

Table des matières

	Pages
Avant-propos	i
Remerciements	iii
Liste des abréviations	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vi
Liste des images	vii
Listes des cartes	vii
Résuméviii
Abstract	ix
Introduction générale	1
CHAPITRE 1/ GENERALITES SUR LA TELEDETECTION ET LES SIG	4
1/ LA TELEDETECTION	4
1-1/ Historique	4
1-2/ Définition et principes	5
1-2-1/ Définition	5
1-2-2/ Principes	5
1-3/ Acquisition des données de la télédétection	7
1-4/ Diversité des satellites	7
1-4-1/ Les spécificités de LANDSAT	8
1-4-2/ Conclusion	10
2/ LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)	10
2-1/ Définition	11
2-2/ Principes	11
2-3/ Composantes d'un SIG	12
2-4/ Principe de traitement des données dans IDRISI	13
3-/ CONCLUSION PARTIELLE	13
CHAPITRE 2/ PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	15
1/ SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE	15
2/ CLIMAT	17
2-1/ Pluviométrie	17
2-2/ La température	20
2-3/ L'humidité relative	20
2-4/ Evaporation	20

2-5/ Vents	22
3/ CADRE PHYSIQUE	22
3-1/ Géologie	22
3-2/ Géomorphologie	24
3-3/ Végétation	24
3-4/ Les sols	25
3-5/ Utilisation des terres	26
4/ CADRE SOCIO-ECONOMIQUE	27
4-1/ Population	27
4-2/ Activités socio-économiques	28
5/ CONCLUSION PARTIELLE	29
CHAPITRE 3/ METHODOLOGIE	30
1/ TRAVAUX PRELIMINAIRES	30
1-1/ Recherche cartographique	30
1-2/ La photo-interprétation sommaire	30
1-3/ Sortie de reconnaissance	31
2/ TRAVAUX DE TERRAIN	31
2-1/ Prospection pédologique	31
2-1-1/ Système de prospection	31
2-1-2/ Layonnage et placement des observations	31
2-1-3/ Les sondages à la tarière	32
2-2/ Ouverture des fosses	32
2-3/ Description des profils	33
2-4/ Echantillonnage	33
2-5/ Relevés de points GPS	34
3/ TRAVAUX DE LABORATOIRE	34
3-1/ le prétraitement des échantillons	34
3-2/ Les analyses effectuées	35
3-2-1/ Les analyses physiques	35
3-2-2/ Les analyses chimiques	36
4/ TRAITEMENTS DE L'IMAGE SATELLITAIRE	37
4-1/ Données satellitaires	37
4-2/ Les traitements numériques	38
4-2-1/ Les prétraitements	38
4-2-2/ Principes et objectifs des traitements	38
4-3/ Les principaux types de traitement numériques effectués	39
4-3-1/ Calcul de néo-canaux	39
4-3-2/ Le test de corrélation	40

4-3-3/ Les composantes principales (PC)	40
4-3-4/ Les compositions colorées	40
4-3-5/ Le stretch ou amélioration des contrastes	42
4-4/ La géoréférence	42
4-5/ Autres traitements effectués	43
4-5-1/ Critères d'interprétation	44
4-5-2/ Définition des parcelles test	44
5/ LES CLASSIFICATIONS	45
CHAPITRE 4/ EXPRESSION ET ANALYSE DES RESULTATS	47
1/ LA CARTE GEOMORPHOLOGIQUE	47
2/ LA CARTE MORPHOPEDOLOGIQUE	51
2-1/ Monographie des sols rencontrés dans la zone d'étude	51
2-1-1/ La classe des sols peu évolués	51
2-1-2/ La classe des sols à sesquioxydes de fer/de manganèse	52
2-1-3/ La classe des sols brunifiés	53
2-1-4/ La classe des vertisols	59
3/ EXPRESSION ET ANALYSES DES RESULTATS DES TRAITEMENTS NUMERIQUES	61
3-1/ Les coefficients de corrélation	61
3-2/ Les composantes principales	62
3-3/ Données de terrain et carte morphopédologique	63
3-4/ Statistiques des parcelles test	66
3-5/ Résultats de l'image d'Indice de Végétation (IV)	71
3-6/ Résultats de l'indice de brillance	73
3-7/ Résultats des classifications	75
3-7-1/ Résultats du Maximum Likelihood Classification	75
3-7-2/ Résultats du Parallelipiped Classification	75
3-7-3/ Résultats du Minimum Distance Classification	75
3-8/ Analyse des résultats des traitements	77
CONCLUSION GENERALE	80
BIBLIOGRAPHIE	82
ANNEXES	86
Annexe 1: Description détaillée et résultats analytiques des profils	86
Annexe 2: Observations de terrain	97
Annexe 3: Quelques toposéquences représentatifs	102
Annexe 4: Fiche de description de terrain	107
Annexe 5: Fiche de description de Profil Pédologique	108
Annexe 6: Normes d'interprétation des analyses chimique (ORSTOM)	109
Annexe 7: Carte des observations	110
Annexe 8: Image de situation des villages	111

AVANT-PROPOS

L'Université Agronomique de Wageningen (U.A.W), est une Université néerlandaise pour l'agriculture et l'environnement. Elle a concentré la recherche interdisciplinaire dans les tropiques dans un seul programme intitulé "**Utilisation des terres dans les Tropiques**".

A cet effet, elle a ouvert deux antennes, une antenne hispanophone pour les tropiques humides et une antenne francophone pour les tropiques sèches au Burkina Faso qui est "**l'Antenne Sahélienne**".

C'est au sein de **l'Antenne Sahélienne** que s'est déroulé notre stage de fin de cycle **I.D.R** (Institut du Développement Rural). Elle a été Créée en 1992 et collabore étroitement avec l'Université de Ouagadougou. Elle intervient particulièrement dans deux provinces: le Sanmatenga et le Zoundwéogo. Outre cette collaboration inter-universitaire, elle entretient des relations étroites avec plusieurs projets et instituts de recherche dont les plus importants sont: le Centre National des Semences Forestières (**C.N.S.F**), l'INstitut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (**IN.E.R.A**), le Programme d'Exécution du Développement Intégré de Kaya (**P.E.D.I/K**), le Projet de Développement Intégré du Zoundwéogo (**P.D.I/Z**).

Les principales activités de l'Antenne Sahélienne sont:

- la recherche stratégique;
- la formation et le stage du personnel scientifique, ainsi que des étudiants;
- les prestations de services scientifiques aux projets.

La problématique qui a contribué à la création de l' Antenne Sahélienne est la dégradation inquiétante de la zone sahéenne.

En effet, la croissance démographique accélérée, l'apparition de méthodes d'exploitation agricoles extensives ont entraîné une baisse de la fertilité des sols et des rendements agricoles.

L' Antenne Sahélienne se fixe pour objectifs:

* l'élaboration de méthodologies dans le but de déterminer le niveau de production; les types d'Aménagement, de Gestion et les conditions susceptibles de garantir aux communautés rurales du Sahel une exploitation et une gestion durables de leurs ressources Agro-sylvo-pastorales.

* de déterminer de quelle manière ces communautés rurales peuvent contribuer à la

régénérescence des zones fortement dégradées.

Pour atteindre ces objectifs, trois groupes disciplinaires ont été mis sur place: il s'agit du groupe biodynamique, du groupe humain et du groupe physique.

Compte tenu des objectifs de notre thème d'étude, l'essentiel de notre travail s'est déroulé au sein du **groupe physique** qui traite surtout de la question suivante: "**quelle utilisation durable des terres est-il possible et avec quel apport en technologies?**", avec de nombreux sous thèmes parmi lesquels les travaux de cartographie des sols et de la végétation, ainsi que sur l'évaluation des terres.

La télédétection, le SIG (Système d'Information Géographique), ainsi que des méthodes de mesures physiques et des modèles de simulation dynamiques constituent les principaux outils de recherche de ce groupe.

REMERCIEMENTS

Au terme de nos travaux, qu'il nous soit permis de présenter ici notre reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin, nous ont apporté leur soutien tant matériel que moral pour mener à bien ce présent mémoire. Nos remerciements vont tout particulièrement:

- Au Dr. Prosper N. ZOMBRE, notre directeur de mémoire auprès duquel nous avons bénéficié de beaucoup de conseils et de tout le confort moral dont nous avons tant besoin pour mener à bien ce présent travail.

- Au Dr. Michel A. MULDER, maître de stage pour la rigueur et la franchise avec laquelle il a assuré notre encadrement.

- A Mr. Lamine ZERBO, qui a supervisé nos travaux tout au long du stage et qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de ce mémoire. Sa sympathie et sa disponibilité quasi constante à notre égard en dépit de ses nombreuses occupations nous resteront toujours en mémoire. Ses conseils et critiques édifiantes ont été d'un apport inestimable.

Il nous est également agréable d'adresser nos vifs remerciements à la Directrice de l'Antenne Sahélienne Mme Maja SLINGERLAND, à Messieurs Paul KIEPE, Joop BEGEMANN, Dr. MANDO Abdoulaye, Moumini SAVADOGO, Arsène TIANHOUN, NEBIE Marie-Louise pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour notre travail tout au long du stage et à Mr. Adama BELEMVIRE auprès duquel nous avons bénéficié d'une formation dans le logiciel IDRISI et d'une contribution très inestimable lors du traitement des images; nous n'oublions pas surtout l'ensemble du personnel de l'Antenne Sahélienne pour sa franche collaboration.

Enfin, à tous les Enseignants de l'I.D.R., aux autorités du P.D.I/Z en particulier à Messieurs Arie JONGEJAN et Hans SCHOLKATER, à tous les habitants de Manga, particulièrement à Mr. Emile TIENDREBEOGO et sa famille, à mes parents et amis à Ouagadougou, nos co-stagiaires et tous ceux qui nous ont soutenu de quelque manière que ce soit lors de ce stage et dont les noms n'ont pu être cités, nous leur disons merci.

LISTE DES ABREVIATIONS

- ACP:** Analyses en Composantes Principales
- AS:** Antenne Sahélienne
- AVV:** Aménagement des vallées des Voltas
- BUNASOLS:** Bureau National des Sols du Burkina Faso
- CNSF:** Centre National des Semences forestières
- CPCS:** Commission Pédologique de Classification des Sols
- CP:** Composante Principale
- Dbase:** Données de base
- EOSAT:** Earth Observation Satellite Company
- ERTS:** Earth Resources Technology Satellite
- FAO:** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation
- GPS:** Global Positioning System
- GTZ:** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
- HR:** Humidité relative
- IB:** Indice de Brillance
- IDR:** Institut du Développement Rural
- IGB:** Institut Géographique du Burkina
- INERA:** INstitut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
- IR:** Infra Rouge
- IRAT:** Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures vivrières
- ISRIC:** International Soil Reference and Information Center
- IV:** Indice de Végétation
- LANDSAT:** Land Satellite
- MDC:** Minimum Distance Classification
- MLC:** Maximum Likelihood Classification
- MSS:** Multi Spectral Scanner
- NASA:** National Aeronautics and Space Administration
- ORSTOM:** Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en
Coopération
- PC:** Parallelipiped Classification

PDI/Z: Projet de Développement Intégré du Zoundwéogo

PEDI/K: Projet d'Exécution du Développement Intégré/ Kaya

RBV: Return Beam Vidicon

SIG: Système d'Information Géographique

SPA: Service Provincial d'Agriculture

TM: Thematic Mapper

UAW: Université Agronomique de Wageningen

UNESCO: Organisation des Nations Unies pour l'Education la Science et la Culture

UO: Université de Ouagadougou

UTM: Mercator Transverse Universelle

VD: Valeur Digitale

LISTES DES TABLEAUX

	Pages
Tableau n°1: Caractéristiques principales du satellite LANDSAT TM	9
Tableau n°2: Utilisation des terres dans la province du Zoundwéogo	26
Tableau n°3: Répartition des terres dans les deux départements de la zone d'étude . . .	27
Tableau n°4: Compositions colorées et attribution des couleurs	41
Tableau n°5: Résultats analytiques du profil F20	55
Tableau n°6: Résultats analytiques du profil F16	57
Tableau n°7: Résultats analytiques du profil F11	59
Tableau n°8: Résultats analytiques du profil F8	61
Tableau n°9: Coefficients de corrélation entre les canaux de Landsat TM	62
Tableau n°10: Principales composantes	62
Tableau n°11: Légende détaillée de l'image n°1	65

LISTE DES FIGURES

Figure n°1: Saisie et restitution de l'information par le satellite	6
Figure n°2: Spectre électromagnétique	6
Figure n°3: Composantes matérielles d'un SIG	12
Figure n°4: Evolution de la pluviométrie dans la zone d'étude (1977-1996)	18
Figure n°5: Pluviométrie à Manga/1996	19
Figure n°6: Pluviométrie à Gogo/1996	19
Figure n°7: Température et insolation dans la zone d'étude/1996	21
Figure n°8: Humidité Relative et Evaporation dans la zone d'étude	21
Figure n° 9: Signatures spectrales des thèmes retenus	67
Figure n°10: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des savanes arborées	68
Figure n°11: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des bas-fonds	68
Figure n°12: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des sols nus	69
Figure n°13: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des zones dégradées	69

LISTE DES IMAGES

Image n°1: Image de la morphopédologie	64
Image n°2: Image de l'Indice de Végétation	71
Image n°3: Image de l'Indice de Brillance	73
Image n°4: Image du Maximum Likelihood Classification	75
Image n°5: Image du Parallelipiped Classification	75
Image n°6: Image du Minimum Distance Classification	75
Image n°7: Image donnant la situation des villages	A7

LISTES DES CARTES

Carte n°1: Situation de la zone d'étude	16
Carte n°2: Carte géologique de la zone d'étude	23
Carte n°3: Carte géomorphologique	50
Carte n°4: Localisation des observations de terrain	A6

RESUME

La région Est de la province du Zoundwéogo a été caractérisée sur le plan morphopédologique par l'utilisation de la télédétection et le Système d'Information Géographique (SIG).

L'interprétation des photographies aériennes à l'échelle du 1/50.000 a permis de délimiter sept principales unités géomorphologiques que sont les plaines, les retenues d'eau, les bas-fonds, les bas-glacis, les moyens glacis, les buttes et affleurements cuirassés et les buttes et affleurements rocheux.

Le traitement numérique de l'image Thematic Mapper fournie par le satellite LANDSAT du 03 mars 1987 a été effectué suivant les méthodes de classifications dites supervisées que permet le logiciel IDRISI et couplé à la base de données (sols, analyses des sols, végétation, etc..) représentant les observations de terrain.

L'outil SIG a été utilisé pour étudier l'ensemble des caractéristiques du sol en étudiant la relation entre l'information spectrale et les données spécifiques du terrain. Il a permis à cet effet d'intégrer, d'analyser et de synthétiser ces données afin de les restituer sous la forme de cartes.

Au total, quatre classes de sols ont été identifiées que sont la classe des sols peu évolués, la classe des sols à sesquioxyde de fer et/ou de manganèse, la classe des sols brunifiés et la classe des vertisols.

Les résultats indiquent des difficultés de cartographie à grande échelle du sol avec des images TM et d'observations de terrain insuffisantes.

Cette étude de caractérisation des sols par télédétection a permis de mettre en évidence que certaines unités géomorphologiques comme les glacis, les buttes et affleurements rocheux ne sont pas facilement identifiables au moyen de l'outil satellitaire dans le milieu du Zoundwéogo.

Mots-clefs: Géomorphologie - IDRISI- LANDSAT TM - Morphopédologie - Photographies aériennes - SIG - Sols - Télédétection - Zoundwéogo.

ABSTRACT

The eastern region of Zoundweogo province has been characterized for morphopedologic level by using remote sensing data and Geographical Informations Systems (GIS).

Aerial photographs interpretation on the scale of 1/50.000 allowed to define seven main geomorphologic units as plains, barrages, valley bottom, middle glacis, low glacis, ironscrusted hill and gravely.

The digitalization of TM image giving by LANDSAT satellite from 03 /02/1987 has been processed by supervised classifications thanks to the software IDRISI, and linked to a database (soils, analyses of soils, vegetation, etc..) provided by field observations.

GIS tool has been used to identify soil characteristics by studying the relationship of spectral information with specific field data. It permitted to integrate, to analyse and to synthetize the data to realize a map composition.

Four classes of soils have been identified into the geomorphologic units.

The main results of our work showed that it is hardly possible to map on a large scale the soil with TM image and insufficient fields explorations.

This study of characterization of soils by using remote sensing proved that geomorphologic units like glacis, ironscrusted hill and gravely are not easy to be identified using satellite in Zoundweogo region.

Keys words: Aerial photographs - Geomorphologic - IDRISI - LANDSAT TM - Morphopedologic - Soils - Geographical Information System (GIS) - Remote sensing - Zoundweogo.

INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso est un pays Sahélien essentiellement agricole. L'exploitation des ressources naturelles est caractérisée dans la plupart de ses régions par des méthodes agricoles traditionnelles d'utilisation des terres et par des structures sociales correspondantes (**L. STROOSNIDJDER, 1993**).

La croissance démographique, l'insuffisance et l'irrégularité des pluies, les changements intervenus dans les systèmes de production agricole comme la modification des rotations et des pratiques agricoles ont entraîné dans certaines zones une diminution de la fertilité des sols et partant la baisse des rendements agricoles (**Antenne Sahélienne, 1993**).

La province du Zoundwéogo n'échappe pas à cette situation. Elle comprend en effet des zones d'accueil important de migrants et les courbes de migration vers l'extérieur ainsi que celles de l'exode rural amorcent depuis quelques temps une baisse sensible (**P.D.I/Z, 1996**).

La tendance est donc à l'augmentation rapide de la population malgré un taux de natalité et de fécondité relativement faible par rapport à la moyenne nationale.

En 1991, plus de 30% des producteurs du Zoundwéogo étaient équipés en traction asine ou bovine.

De plus, l'introduction de la traction animale a conduit au défrichement de vastes superficies, réduisant alors la durée ou les superficies des jachères qui existaient autrefois.

Selon **BAZIE G., 1995** la pratique de la fertilisation organique, les rotations avec légumineuses et l'utilisation des intrants chimiques restent modestes dans la province du Zoundwéogo.

Il résulte alors de cette forte emprise agricole, la baisse de la fertilité des sols et partant le risque d'une dégradation rapide des ressources naturelles.

D'où la nécessité de la mise en place d'une stratégie de gestion rationnelle des ressources naturelles par des aménagements appropriés à grande ou petite échelle.

Selon **L. ZERBO et L. THIOMBIANO, 1996**, la connaissance des sols, de leur répartition spatiale, de leur comportement et fonctionnement revêt une grande importance pour une gestion rationnelle des ressources naturelles.

Cependant, l'ampleur des problèmes qui se posent notamment dans l'estimation des superficies disponibles, les risques d'une dégradation et des problèmes de fertilité

commandent l'utilisation de nouvelles techniques de gestion (INERA et BUNASOLS, 1996).

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'utilisation de la télédétection pour l'investigation des milieux.

En effet, la vision synoptique, la répétitivité de l'observation et l'automatisation possible du traitement des données placent aujourd'hui la télédétection à la source d'espoirs certains fondés sur la nécessité d'obtenir des informations détaillées quantifiables, suffisamment précises et fiables sur les ressources naturelles.

Alors qu'autrefois, il fallait procéder à des travaux compliqués de récoltes de données sur le terrain et de cartographie, il est possible aujourd'hui, grâce aux moyens de la télédétection satellitaire de couvrir beaucoup plus rapidement de vastes territoires et de quantifier dans certaines conditions des paramètres spécifiques du milieu (GTZ: coopération allemande, 1991).

De même, le développement des bases de données et les possibilités de numérisation cartographique ont permis de mettre aujourd'hui à la disposition des chercheurs des outils d'analyse que constituent les Systèmes d'Informations Géographiques (S.I.G).

Ces systèmes ont pour but de fournir aux planificateurs et gestionnaires du milieu, les informations nécessaires à la prise de décision (BONN F., 1992).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude qui a pour thème:

"Caractérisation des sols de la zone Est de la province du Zoundwéogo par télédétection et S.I.G. (Système d'Information Géographique)".

*** Contexte de l'étude**

Dans le cadre du programme Gestion des Ressources Naturelles au Sahel, l'Antenne Sahélienne à la demande du P.D.I/Z a entrepris la réalisation d'une carte des sols et d'une carte des états de surface au 1/100.000 de la province du Zoundwéogo. La réalisation de ces cartes nécessitera des analyses physico-chimiques des sols et l'utilisation des techniques modernes de la télédétection, du SIG, de Dbase (Données de base) et de géostatistiques.

*** Objectifs spécifiques**

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la contribution à la réalisation de ces cartes. La présente étude concerne la cartographie de la zone Est de la province du Zoundwéogo par l'utilisation de l'information satellitaire (images Landsat) en combinaison avec des photographies aériennes et du SIG. Il consiste à effectuer un inventaire des ressources en sols dans le but final de mettre à la disposition des aménagistes ruraux un document de référence sur les sols de la zone, base essentielle de tout plan d'aménagement.

Il s'agit surtout de montrer comment avec l'image Landsat peut-on arriver à caractériser le sol et à discriminer certaines unités du paysage.

Le présent document comporte globalement quatre chapitres.

- Le premier chapitre traite des généralités sur les outils utilisés: la Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique,

- le deuxième chapitre a trait à la présentation de la zone d'étude.

- Le troisième chapitre décrit la méthodologie basée essentiellement sur la méthode de prospection pédologique appliquée, les méthodes d'analyses chimiques qui ont été employées dans le cadre de ce travail ainsi que les traitements des données satellitaires.

- Le dernier chapitre expose les résultats de la photo-interprétation, de quelques analyses chimiques des sols et de leurs interprétations, les résultats et analyses des résultats des différents traitements.

CHAPITRE 1/ GENERALITES SUR LA TELEDETECTION ET LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

1/ La TELEDETECTION

1-1/ Historique

La Télédétection dans ses premières applications en Afrique de l'Ouest, a été associée à des études globales du milieu.

Historiquement, elle a commencé par la prise de vue à partir de montgolfières (aérostats dont la sustentation est assurée par de l'air chauffé par un foyer situé sous le ballon). Des appareils photographiques ont ensuite été placés sous des avions pour des prises de vue aérienne.

Enfin, dans sa version la plus moderne, la télédétection s'est enrichie de scanners multispectraux portés par des satellites artificiels.

Une des premières études au début des années 1960 comprenait l'inventaire des ressources en eau, en sols et de la végétation dans les zones de savanes du Soudan (MOKADEM I. et NONGUIERMA A., 1989).

Depuis, les études d'environnement par télédétection se sont considérablement multipliées tant du point de vue quantitatif que qualitatif:

- cartographie d'occupation des sols;
- étude diachronique de la couverture végétale;
- évaluation des ressources forestières;
- suivi des feux de brousse;
- statistiques agricoles etc...

Nombreux sont aujourd'hui les projets d'investigation qui associent pleinement les techniques de la Télédétection dans les enquêtes préparatoires.

Les premières utilisations d'images satellitaires ont été celles de LANDSAT à la fin des années soixante-dix et se sont inscrites dans le cadre d'enquêtes préparatoires à l'aménagement du territoire ("Land Survey") menées à des échelles régionale ou nationale (E. LAMBIN, 1988).

1-2/ Définition et principes

1-2-1/ Définition

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images aéroportées, spatiales terrestres ou maritimes.

Elle a été définie de façon variée selon les auteurs. Nous donnerons ici celle de **GIRARD M.C. et GIRARD C.M. (1989)**, cité par **D. KING, A. BURRILL (1993)**, selon laquelle la télédétection est "l'ensemble des techniques qui permettent d'acquérir des informations à partir de l'espace (acquisitions aéroportées ou satellitaires), de les traiter et de les restituer sous forme d'images". La figure n°1 illustre la saisie et la restitution de l'information par le satellite.

1-2-2/ Principes

La télédétection repose fondamentalement sur le fait que tout objet dont la température est supérieure au "zéro absolu" (ce qui équivaut à -273°C) émet des radiations.

Elle utilise les propriétés physiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques, pour acquérir de l'information sur la nature de ces objets. Cette observation est portée vers le système d'observation à l'aide d'un rayonnement électromagnétique, comme la lumière qui est la manifestation visible de ce rayonnement. Le système d'observation reçoit ce rayonnement et le traduit en éléments compréhensibles par l'utilisateur comme des images ou des données chiffrées.

Le rayonnement émis ou réfléchi est reçu et mesuré par les "capteurs" qui sont portés en altitude par des "plates-formes". Les données numériques recueillies se présentent sous la forme d'une image définie par sa résolution spectrale et spatiale.

La résolution spatiale concerne la dimension de la plus petite partie discernable d'une image, c'est à dire le pixel.

Quant à la résolution spectrale, chaque image est caractérisée par un certain nombre de canaux, où chaque canal correspond à la portion du spectre électromagnétique dans laquelle se fait la mesure du rayonnement (confère figure n°2).

Selon le domaine du spectre couvert, la mesure correspondra à la radiation solaire réfléchie (ultra-violet, visible, proche infra-rouge);

-l'énergie émise par la terre (I.R. thermique).

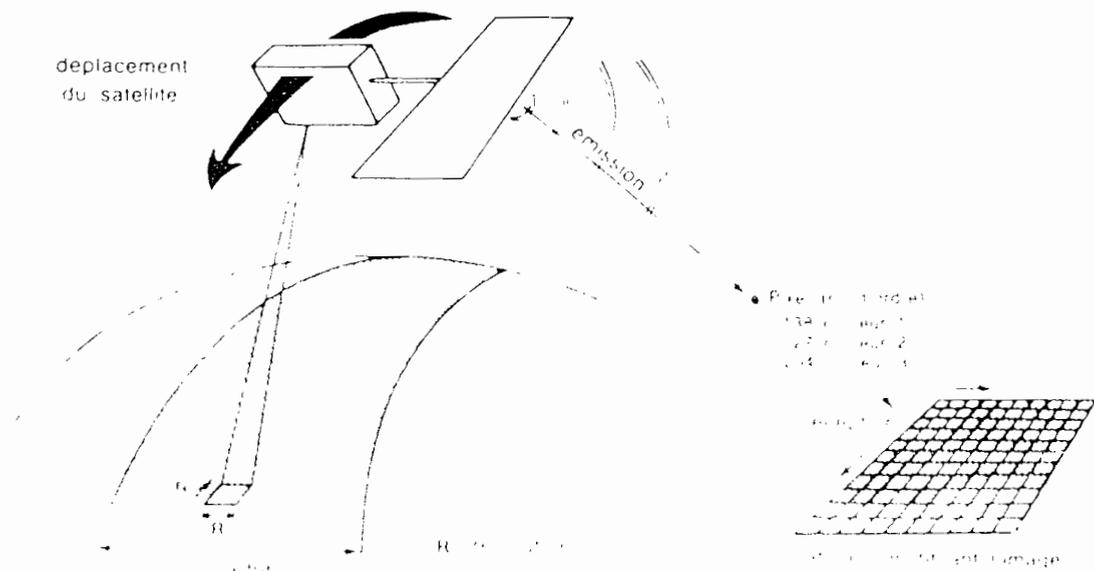


Figure n°1. Schéma de saisie et de restitution de l'information par le satellite (in BONNÉ, 1993)

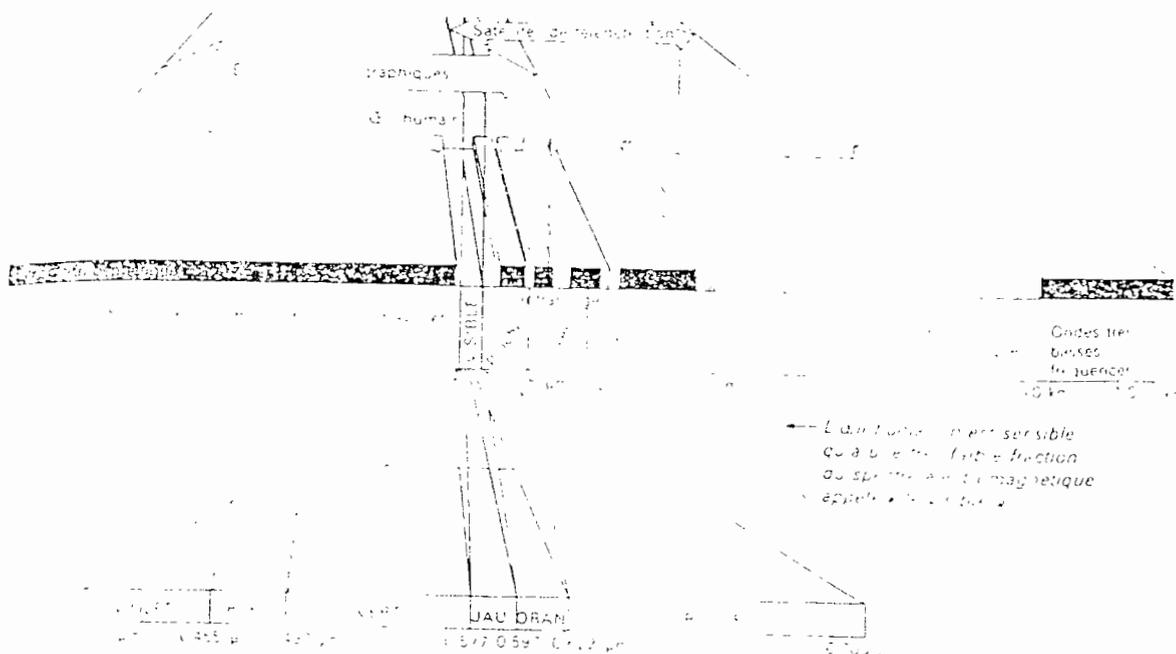


Figure n°2: Spectre électromagnétique (in ZONGO D., 1993)

1-3/ Acquisition des données de la télédétection

La télédétection utilise des capteurs transportés par des vecteurs tels que les ballons, les avions, les satellites.

Ces capteurs sont de deux types:

-les capteurs actifs: les radars. Ils émettent un rayonnement qui est interprété par retour. Bien que peu utilisés pour l'instant, ils sont intéressants surtout pour les zones tropicales car leurs rayonnements sont peu perturbés par le couvert nuageux.

-les capteurs passifs : ceux-ci enregistrent l'énergie électromagnétique émise, diffusée ou réfléchi par les objets soit sous forme analogique (photographie aérienne), soit sous forme numérique (image satellitaire).

Pour les satellites, les capteurs sont des radiomètres ou analyseurs qui permettent une mesure quantitative du rayonnement. Un dispositif optique leur permet d'analyser la terre ligne par ligne et point par point et disperser l'image ponctuelle selon un certain nombre de canaux spectraux (**ZONGO D., 1993**).

La taille de la fenêtre spectrale correspondant à un canal détermine la résolution spectrale tandis que la dimension des points au sol analysés définit la résolution spatiale d'un radiomètre.

En pratique, la taille du pixel qui est la plus petite unité de surface au sol perceptible par un radiomètre donné et qui est assimilé à un point sur l'image, est un critère courant d'appréciation de la résolution spatiale pour l'utilisateur.

Dans chaque canal, la quantité de lumière réfléchi pour un objet est appelée réflectance et dépend de plusieurs facteurs dont:

- la structure moléculaire et atomique de l'objet;
- la nature de la surface ;
- la température.

1-4/ Diversité des satellites

De nombreux satellites fonctionnant à peu près sur le même principe mais munis de capteurs différents, sont de nos jours utilisés à des fins militaires et/ou civiles. On les utilise couramment en effet en Agriculture, Ecologie, Sylviculture...

On distingue principalement:

- les satellites météorologiques tels NOAA...
- les satellites d'observation de la terre comprenant les séries LANDSAT et SPOT.

En ce qui concerne cette présente étude, il a été utilisée une image "**Thematic Mapper**", fournie par le satellite LANDSAT, seule image disponible à l'Antenne Sahélienne et couvrant toute la province du Zoundwéogo.

1-4-1/ Les spécificités de LANDSAT

A l'origine administré par la NASA (National Aeronautics and Space Administration), le programme américain de télédétection spatiale Landsat est exploité depuis 1978 par une entreprise privée américaine EOSAT (Earth Observation Satellite Company) et vise à offrir des données de télédétection de façon continue, pour l'inventaire et la surveillance des ressources terrestres. Le programme LANDSAT (**Land Satellite**), originellement appelé ERTS (Earth Resources Technology Satellite), débutait effectivement en juillet 1972 avec le lancement, à une altitude d'environ 900 kilomètres, du premier satellite de la série. Celui-ci emportait à son bord un scanner mécanique MSS (Multi-spectral Scanner) comportant quatre bandes spectrales dans le visible et le proche infra-rouge et trois caméras RBV (Return Beam Vidicon) opérant dans le visible et le proche infra-rouge avec résolution voisine de celle du MSS.

A partir de 1985 on laissa tomber les caméras RBV pour les remplacer par un nouveau scanner à plus haute limite de résolution, le TM (**Thematic Mapper**).

*** Caractéristiques du LANDSAT TM**

Le satellite LANDSAT ayant à bord le capteur TM à une orbite héliosynchrone qui lui permet de passer périodiquement tous les 16 jours et à une heure fixe au-dessus de la même zone.

Les principales caractéristiques du satellite Landsat sont synthétisées dans le tableau de la page suivante.

Tableau n°1: Caractéristiques principales du satellite LANDSAT TM

Altitude...705 km. Cycle.....16jours.
Couverture...185*185 km. Résolution spatiale...30m.

Bande	Portion du spectre du capteur Thematic Mapper
TM1	0.45-0.52 μm . Etude de l'eau, discrimination des sols et des plans d'eau. Domaine du bleu.
TM2	0.52-0.60 μm . Mesure du pic de réflectance dans le vert.
TM3	0.63-0.69 μm . Mesure de l'absorption du rayonnement par la chlorophylle, différenciation des végétaux. Domaine du rouge.
TM4	0.76-0.90 μm . Proche infra-rouge, détermination de la biomasse.
TM5	1.55-1.75 μm . Infra-rouge moyen, indicateur de la teneur en eau des végétaux et de l'humidité du sol. Différenciation des nuages et de la neige.
TM6	10.4-12.5 μm . Infra-rouge thermique, évaluation du stress hydrique de la végétation et de l'humidité des sols. Elaboration de la carte thermique.
TM7	2.08-2.35 μm . Infra-rouge moyen, différenciation des types rocheux et la cartographie hydrothermique.

Source: SCANVIC J.Y., 1983

* Caractéristiques détaillées des bandes du TM

Bande TM1. C'est la bande de la zone spectrale bleue, le rouge et le vert sont absorbés. On peut considérer que les régions de cuirasse ou les sols recouverts de graviers, de végétation ont des valeurs basses (noire et bleue) puisque leurs couleurs sont absorbées. Selon **Michel MULDER**, 1992 le fer serait caractérisé par l'absorption dans les bandes 1 et 2 du TM. Pour les retenues d'eau, la réflectance est pratiquement nulle (noire sur l'image). La végétation verte située alors dans les bas-fonds ainsi que les zones de cuirasse ou avec des recouvrements de graviers ont des valeurs digitales moyennes (violet et rouge). Les régions avec des sols nus sableux reflètent beaucoup et pour cela la valeur digitale est élevée (jaune et verte).

Bande TM2. La bande 2 du TM correspond à la zone spectrale verte (le bleu et le rouge

sont absorbés). La différence n'est pas très significative avec celle du TM1, puisque par exemple la cuirasse peut être détectée. Cette bande permet donc de détecter aussi les sols nus ou ferrugineux (MULDERS M., 1992).

Bande 3. La bande 3 du TM correspond à la zone spectrale rouge (le bleu et le vert sont donc absorbés). Dans ce cas, on peut penser que les cuirasses rouges ont des réflectances élevées. Mais les cuirasses en effet très sombres donnent des valeurs digitales basses.

La bande 4 du TM est indicative spécialement pour la végétation. Les surfaces nues sableuses ont une réflectance élevée. La végétation verte et dense surtout au niveau des bas-fonds, donnent des valeurs digitales moyennes.

La bande 5 du TM est utilisée pour estimer l'humidité au niveau de la surface terrestre. L'image datant du mois de mars, à cette période l'humidité est faible. Les régions des bas-fonds sont visibles. Les cuirasses ont des valeurs digitales basses et les sols nus des valeurs élevées. Cette image permet de discriminer les différents types de paysage.

La Bande 6 du TM est une bande thermique.

La bande 7 ne diffère pas énormément de la bande 5 du TM. Cette bande est très utile pour faire des limites des différents types de sols.

1-4-2/ conclusion

Nous venons de montrer les possibilités qu'offrent le satellite Landsat TM à travers le tableau ci-dessus. Ces caractéristiques seront utilisées plus haut dans le traitement des images.

Cet aperçu sommaire des possibilités du satellite et des caractéristiques des bandes du TM donne aussi et surtout une idée de leur utilité dans l'étude d'un certain nombre de thèmes parmi lesquels, on peut citer la végétation, les sols et l'eau.

2/ LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (S.I.G.)

Les SIG regroupent les techniques et les méthodes d'acquisitions d'informations spatialement référencées, leur codage et leur organisation en banque de données ainsi que les divers traitements et procédures destinés à les adapter à leur utilisation.

2-1/ Définition

Selon **BURROUGH, 1985** cité par **KHOUMA M. et al., 1996**, un système d'information géographique est "un ensemble puissant d'outils permettant de saisir, de stocker, d'extraire, de transformer et d'afficher les données spatiales tirées de la réalité, pour un ensemble d'usages déterminés".

Le SIG appelé aussi système d'information à références spatiales ou encore système d'information géocodée est un système conçu pour saisir les données concernant une région donnée, les actualiser, les exploiter et procéder à leur représentation graphique. Ces données peuvent porter sur la végétation, le potentiel agricole, les besoins de reboisement, les risques d'érosion des sols, la nature des sols, etc.

Ce système permet en outre d'effectuer des analyses dans le temps et dans l'espace afin de combiner les données et restituer ces données géographiques dans le but d'extraire de nouvelles informations.

En exemple, les données concernant l'utilisation actuelle des surfaces d'une région (images satellites), le relief (données digitalisées à partir de cartes du terrain) et la répartition des précipitations (données interpolées à partir de tableaux de mesures pluviométriques) sont combinées les unes aux autres. Les corrélations établies permettent de tirer de nouvelles informations.

Cela permet par exemple, soit de dresser une carte des débits saisonniers moyens en fonction de la pluviosité, de la direction d'écoulement et de la capacité de rétention de l'eau du couvert végétal; soit d'établir une carte des risques d'érosion en fonction du couvert végétal, du ruissellement superficiel et de la pente des terrains (**GTZ/Coopération technique allemande, 1991**).

L'originalité du SIG par rapport à un système de gestion de base des données réside dans sa capacité à comparer des entités différentes sur la base de leur occurrence géographique commune (**KHOUMA M. et al., 1996**).

Appliqué à la cartographie de sols, il a permis de progresser surtout dans la collecte, la gestion, et la restitution des données.

2-2/ Principes

Le système est basé sur le principe de l'analyse spatiale, c'est à dire la comparaison des entités à travers leur définition géographique. Cette analyse spatiale s'effectue par des

opérations mathématiques qui exploitent les propriétés topologiques des données géographiques. Il suppose donc la constitution d'une base de données ou attributs liées aux éléments géographiques (qui peuvent être des points, des lignes ou des surfaces pleines) et l'adoption d'un système de coordonnées précis. Ces attributs peuvent être qualitatifs ou quantitatifs, mais définis dans un tableau compatible avec le programme SIG.

De plus en plus, les applications de la télédétection se font dans le cadre des SIG qui permettent de combiner les données de la télédétection à toute une gamme d'informations diverses.

2-3/ Composantes d'un SIG

Un SIG comprend un ou deux écrans, une table à digitaliser dont le rôle est de transformer un document analogique en un document numérique. L'emploi d'un scanner peut être un substitut à la digitalisation. Pour les sorties, une imprimante ou une table traçante sont d'un usage courant (confère figure n°3).

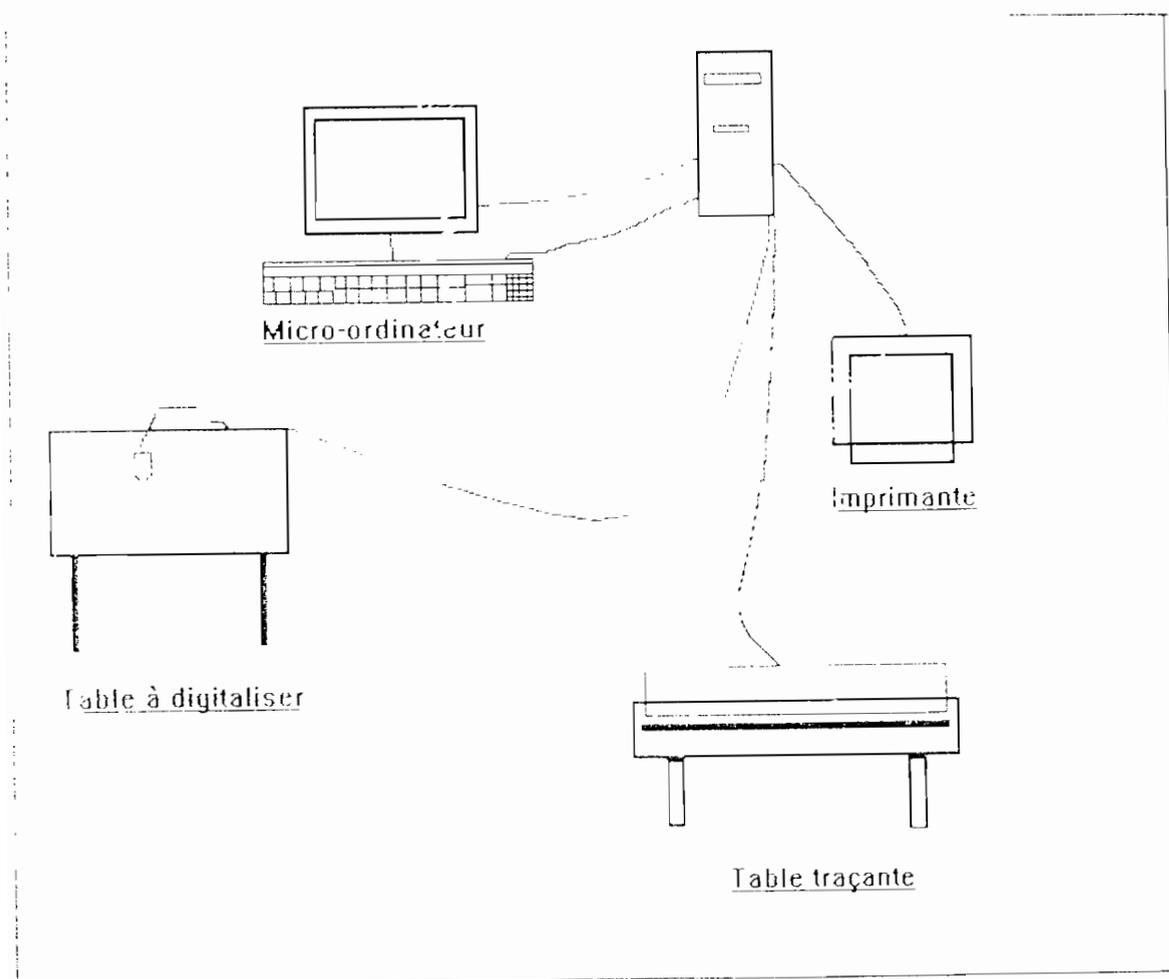


Figure 3. Composantes matérielles d'un SIG

En ce qui concerne les logiciels, un SIG intègre souvent de nombreux programmes qui constituent le système. Il y a plusieurs logiciels et programmes tels que IDRISI, ILWIS, PC ARC/INFO, DIDACTIM, etc., mais il faut souligner qu'il a été utilisé le logiciel **IDRISI** dans le cadre de ce travail.

L'intérêt de ce SIG est qu'il permet de gérer et de stocker l'information apportée par les images facilitant ainsi le croisement et l'exploitation d'autres informations thématiques. Il offre surtout de nombreuses possibilités surtout en ce qui concerne le traitement des images télédéteçtées.

2-4/ Principe de traitement des données numériques dans le SIG IDRISI

D'une manière générale, les données numériques se répartissent en 3 catégories: une information par point, une information linéaire, et une information de surface.

A cet effet, deux modes de stockage et de traitement des données numériques existent: le vectoriel et le raster. L'élément principal en mode vectoriel est la paire de coordonnées (X, Y) qui définit la localisation et les caractéristiques spatiales des éléments. Ce schéma permet un stockage efficace de l'information.

Dans un fichier mémoire, chaque information est reprise sous forme de pixel décrivant les propriétés d'une petite zone au sol; ce qui facilite l'usage notamment lors de combinaisons multiples de ces données.

Le SIG IDRISI possède outre un système d'analyse spatiale, un système de gestion des attributs liés aux éléments géographiques (points, lignes, polygones). Ces attributs peuvent être qualitatifs que quantitatifs et sont souvent structurés sous forme de tableau dont les lignes constituent les enregistrements et les colonnes les champs.

Ces systèmes de gestion des attributs offrent en plus la possibilité de procéder à certains calculs statistiques et de créer de nouvelles relations.

3-/ CONCLUSION PARTIELLE

La télédétection satellitaire présente donc des avantages: elle est **synoptique**, c'est à dire qu'elle embrasse en même temps un vaste territoire et fournit dans ce cas un très grand nombre de données quantitatives numérisées traitables en un temps très court).

Selon E. LAMBIN, 1988 les données de la télédétection interviennent en tant qu'une des sources d'information en ce qui concerne l'occupation du sol, le couvert végétal, les

zones de dégradation, etc. En outre, ces données offrent surtout de grandes possibilités d'information et d'analyse pour la gestion des ressources naturelles.

Dans le domaine de la cartographie pédologique, la télédétection a toutefois la particularité d'être l'une des rares techniques fournissant des informations avec une large résolution spatiale (**KING D.** et **BURRILL A.**, 1993). Elle offre surtout la possibilité de recueillir des informations dans le domaine spectral où l'oeil n'est pas sensible.

Aussi, le développement des Systèmes d'Informations Géographiques qui sont des bases de données cartographiques ayant pour objectif de fournir une aide à la décision de localisation ou d'aménagement de l'espace, ont permis l'ouverture de nouvelles perspectives aux banques et bases de données des sols.

En effet, il est possible de réaliser une combinaison géographique (données SIG) des images de la télédétection avec la base "sols", d'analyser ces données et de les restituer sous la forme de cartes. D'une manière générale, le développement des concepts de SIG ont permis l'élaboration de bases de données de sols plus précises et plus exhaustives que les cartes pédologiques présentées de façon conventionnelle.

Dans une telle perspective, les données de télédétection associées à l'exploitation d'un SIG représentent une part importante des données de base utilisées pour analyser les couvertures pédologiques. Elles peuvent servir directement dans la mesure des caractéristiques des sols nus ou indirectement dans l'identification des variables de l'environnement liées aux caractéristiques des sols: principalement la végétation et la morphologie du terrain.

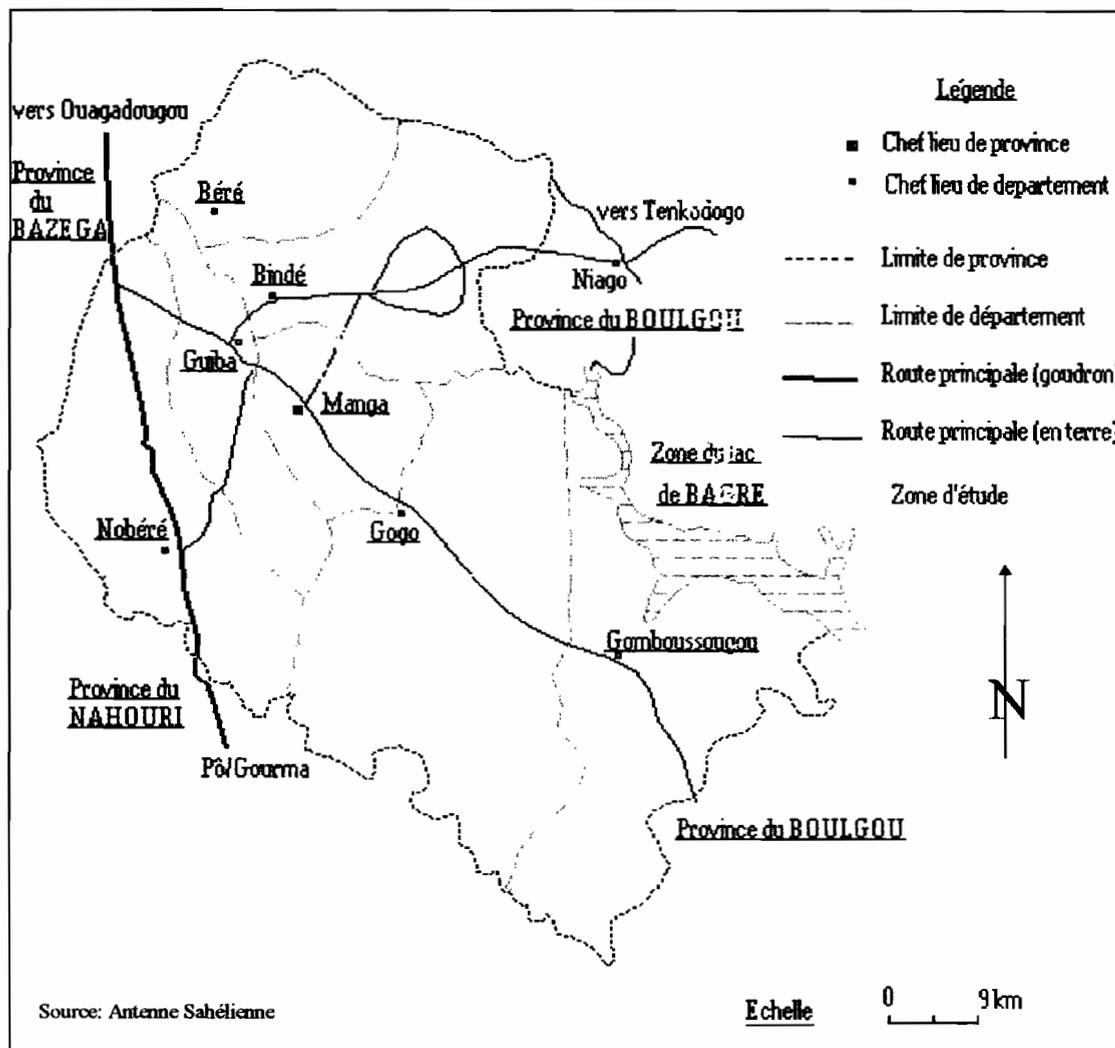
De nombreuses études ont à cet effet recherché les liens existant entre les caractéristiques des surfaces des sols nus mesurées sur le terrain et le signal reçu par les capteurs à différentes longueurs d'onde parmi lesquelles celle de **ESCADAFAL et al.**, 1988.

CHAPITRE 2/ PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1/ SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE

Cette étude a été menée dans la région Est de la Province du Zoundwéogo qui est située dans la partie Centre-Sud du Burkina Faso et limitée par les provinces du Bazèga, du Boulgou et du Nahouri. Le chef lieu de la province est Manga situé environ à 100 km de Ouagadougou. Les coordonnées géographiques sont de latitude Nord $11^{\circ}40'$ et de longitude Ouest $01^{\circ}04'$. La province couvre une superficie de 3453 km^2 répartie en 7 départements (Béré, Bindé, Guiba, Gogo, Gomboussougou, Manga et Nobéré).

La zone d'étude se situe à cheval entre les départements de Manga et de Gogo (confère carte n°1) respectivement de 212 km^2 , comprenant 17 villages et de 922 km^2 de superficie comprenant 23 villages. Elle couvre environ 36445 ha.



Carte n° 1: Situation de la zone d'étude

2/ CLIMAT

Selon **GUINKO.S et al., 1992** le climat de la province du Zoundwéogo est de type nord-soudanien caractérisé par une alternance de saison sèche d'octobre à avril (6 à 7 mois) et une saison pluvieuse étalée de mai à septembre (5 à 6 mois).

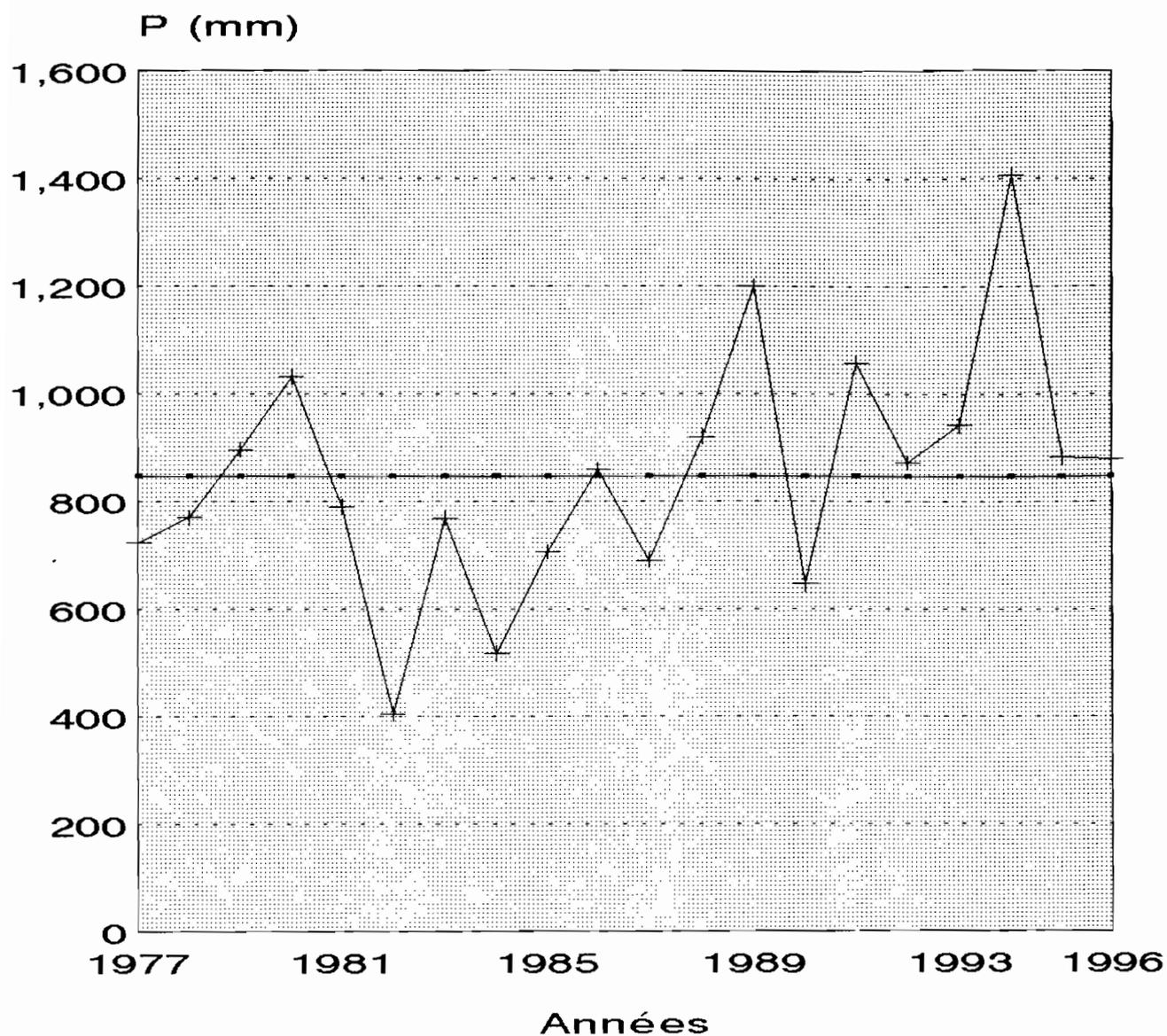
2-1/ Pluviométrie

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès de la station météorologique de Manga. D'une manière générale, on observe une pluviométrie à tendance excédentaire dans la zone avec toutefois des pointes d'années déficitaires.

Ainsi, sur la figure n°4, on note 11 années excédentaires contre seulement 9 années déficitaires. Les averses sont de courtes durées. Le mois d'août est généralement le mois le plus pluvieux. Le nombre de jours de pluie par année varie selon les relevés enregistrés de 50 à 60 jours. La pluviométrie moyenne annuelle est de 848,8 mm.

Considérant l'ensemble des observations, on remarque des irrégularités inter-annuelle et annuelle de la pluviométrie de la zone.

Les figures n°5 et n°6 présentent les relevés pluviométriques au cours de l'année 1996 respectivement dans le département de Manga et dans celui de Gogo.



+ Moyenne des 20 ans
 + Hauteur d'eau en mm

Source: Données SPA/Zoundwéogo
Figure n°: Evolution de la pluviométrie dans la zone d'étude (1977-1996)

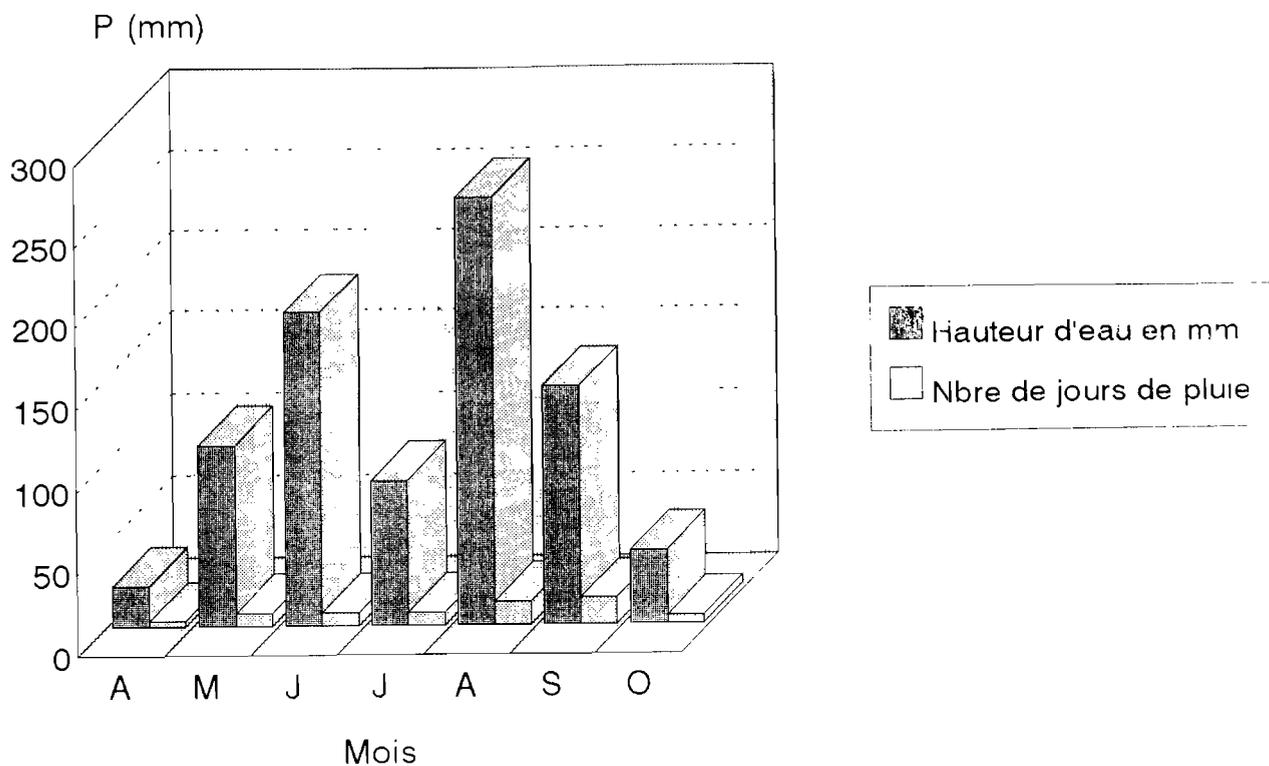
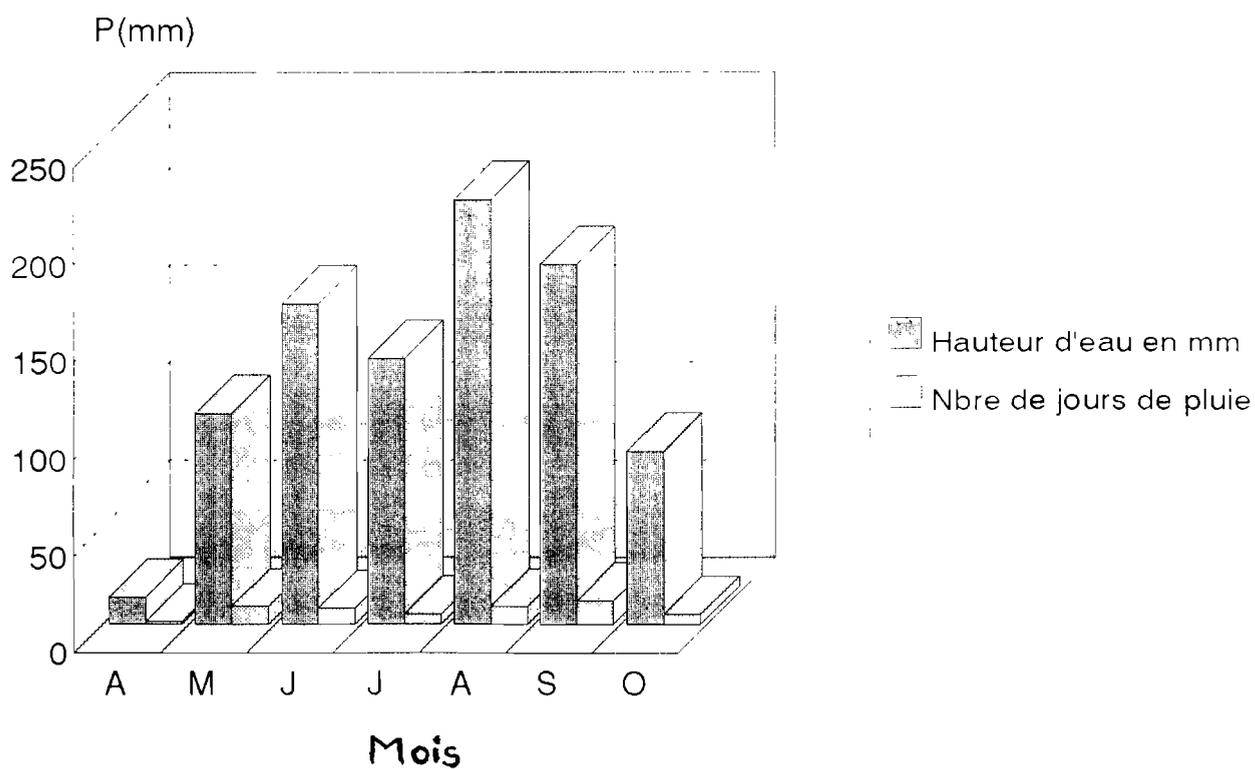


Figure n°5: Pluviométrie à Manga, 1996



Source : Données du S.P.A (Service Provincial d'Agriculture du Zoundwéogo, 1996)
 Figure n°6: Pluviométrie à Gogo, 1996

2-2/ La température

La température moyenne mensuelle varie au cours de l'année avec des extrêmes en janvier et décembre (23°C) et en avril (31°C).

*** Durée d'insolation**

Les plus courtes durées d'insolation s'observent en Juillet, Août qui correspondent à la saison pluvieuse (6.8 à 7.3 h/j), tandis que les valeurs maximales s'observent en novembre (9.3 h/j). La durée d'insolation dont se déduit l'énergie globale rayonnée est un paramètre intéressant pour l'activité photosynthétique des plantes chlorophylliennes. C'est aussi un paramètre important pour l'estimation de l'évaporation et de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP).

La figure n°7 présentée ci-dessous, résume les données de la température et de l'insolation dans la zone au cours de la période de 1996.

2-3/ L'humidité relative

Elle est assez fluctuante au cours de l'année. Ses valeurs les plus faibles sont enregistrées en Janvier et Février ($\leq 15\%$) correspondant à la période pendant laquelle souffle l'harmattan.

En revanche, les plus fortes valeurs sont enregistrées en Août (75%) correspondant à la période de couvert de la région par la mousson. D'une manière générale, on enregistre entre les mois de Mai et de Septembre les humidités relatives les plus élevées.

2-4/ Evaporation

Elle connaît d'assez importantes fluctuations dans l'année. Au mois de Mars, elle est maximale (255,6 mm), et au mois d'Avril qui est le plus chaud, l'évaporation moyenne subit une baisse (222.5 mm), tandis qu'elle est inférieure à 100 mm en Août qui est généralement le mois le plus pluvieux.

Aux mois de Mai et d'Octobre, les valeurs de l'évaporation et de celles de l'humidité relative (HR) sont égales.

On constate aussi que plus l'humidité relative augmente, plus l'évaporation diminue et réciproquement (confère figure n°8).

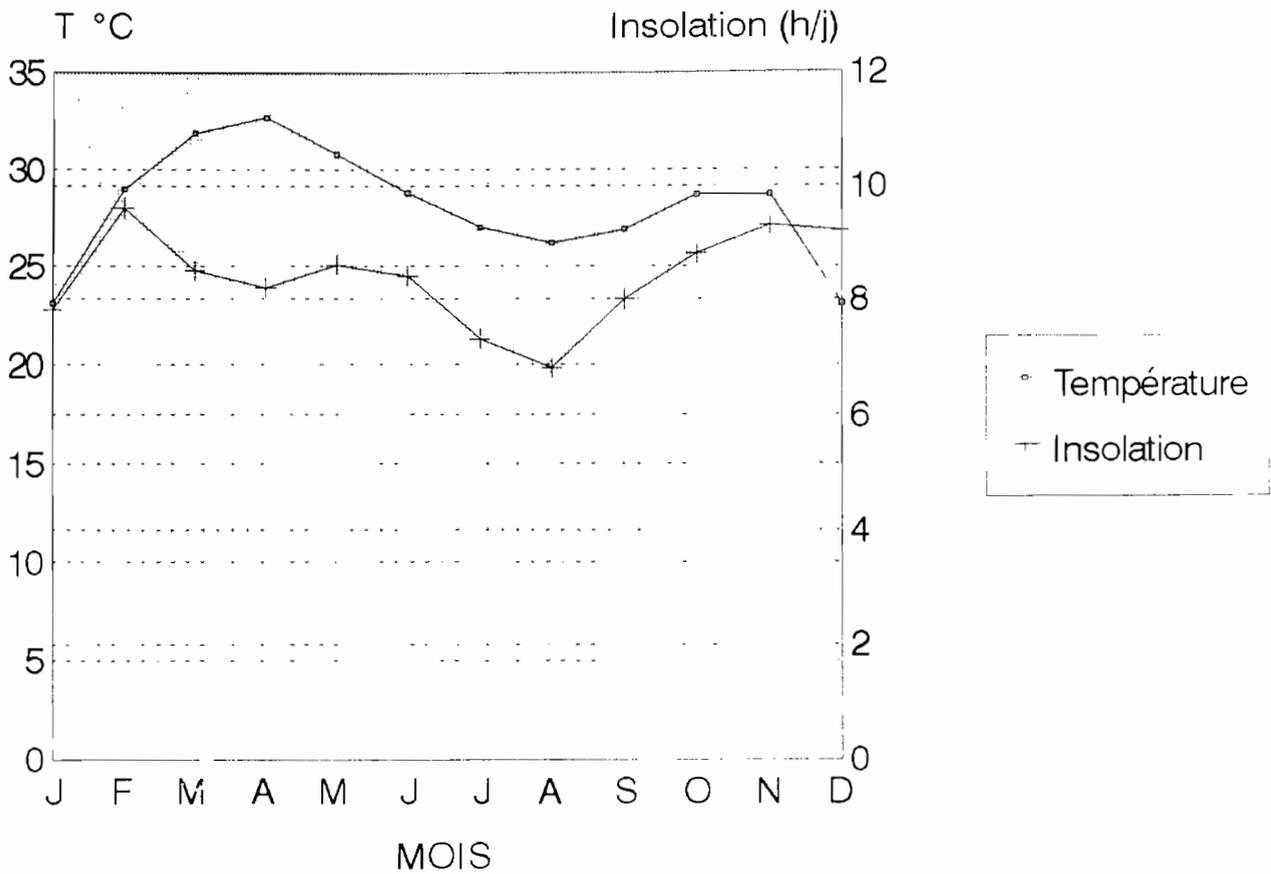


Figure n°7: Température et insolation dans la zone d'étude

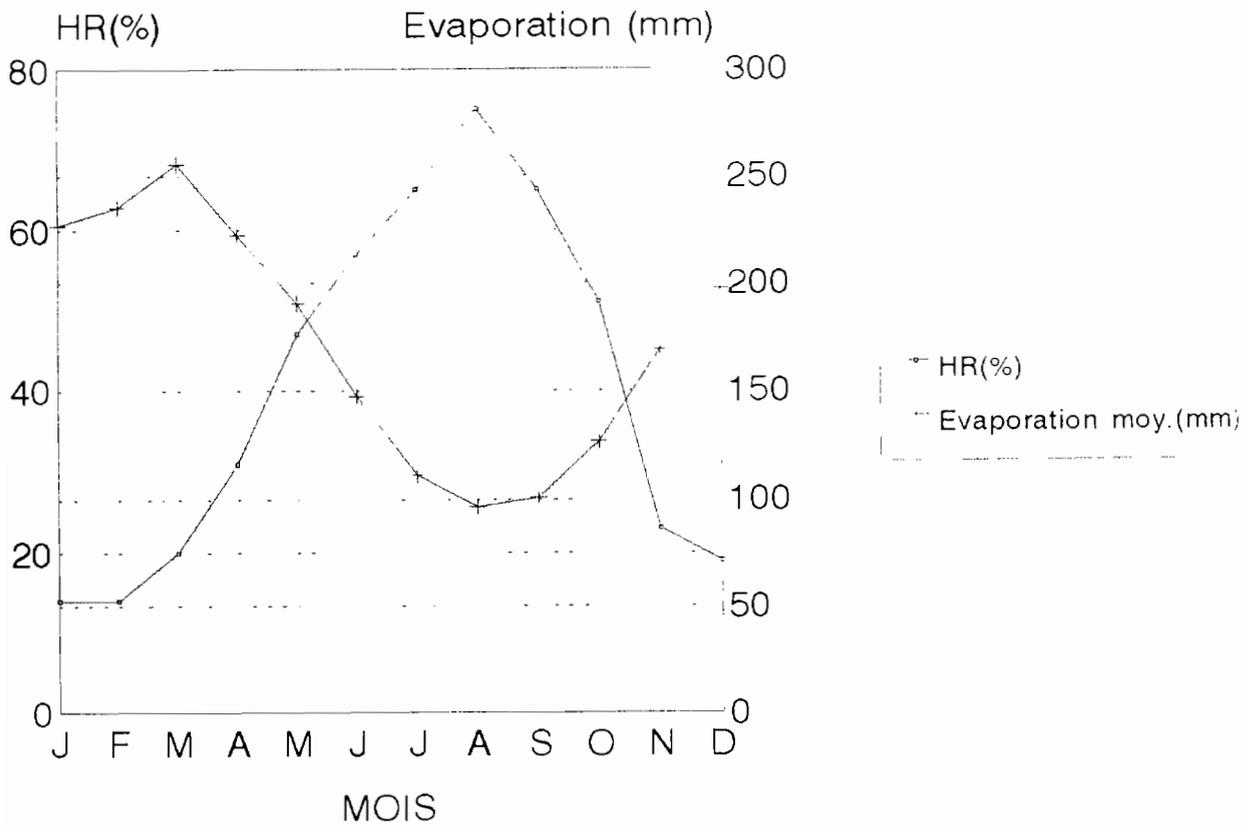


Figure n°8: Evaporation et humidité relative dans la zone d'étude
Source: P.D.I.Z, 1996

2-5/ Vents

Deux types de vents dominants s'alternent et déterminent les saisons:

- L'harmattan, vent continental sec souffle de novembre à février. Les températures moyennes de cette période sont relativement faibles soit 28°C. L'atmosphère est quelque fois chargé de poussière.

- La mousson souffle à partir du mois de mai et est un facteur catalyseur de la pluviométrie.

3/ CADRE PHYSIQUE

3-1/ Géologie

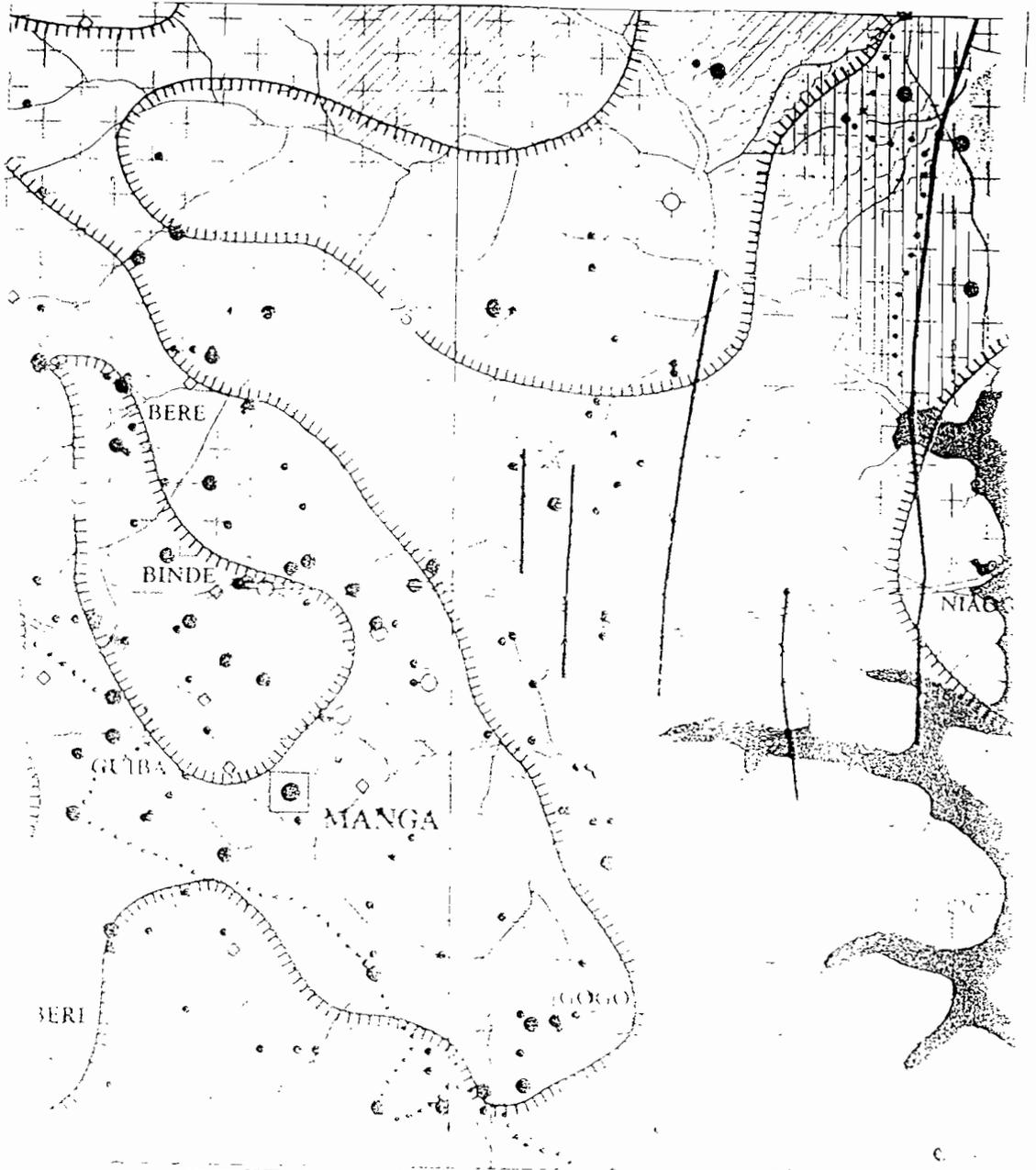
La Province du Zoundwéogo repose sur un plateau central dominé par des cuirasses ferrugineuses dont la configuration est une pente longue et faible descendante au Sud-Ouest et au Nord-Est pour constituer la vallée du Nazinon et celle du Nakambé. Ce relief relativement plat est interrompu çà et là par quelques alignements granitiques et quelques collines dont les plus importantes se trouvent dans le département de Gomboussougou **(HOTTIN et OUEDRAOGO, 1975.)**

Du point de vue géologique (confère carte n°2), la Province est composée principalement de formations birrimiennes et antébirrimiennes qui sont les deux grandes unités lithostratigraphiques.

- Les formations antébirrimiennes sont représentées essentiellement par les granites anciens, les migmatites et les granites syntectoniques.

- Les formations volcano-sédimentaires du birrimien qui apparaissent en bande orientée Nord-Est à Sud-Est sont essentiellement constituées de schistes **(BONNARD, 1967; TRINQUARD, 1971; MULDER, 1996).**

CARTE N°2: CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE



LEGENDE

GEOLOGIE

PRECAMBRIEN C (BIRRIEN)

-  Granites post-tectoniques
-  Granites syn-à-tardi tectoniques
-  Schistes
-  Roches vertes

PRECAMBRIEN D (ANTE-BIRRIEN)

-  Migmatites, Gneiss
-  Migmatites, Granites indifférenciés

 Faille

Carte extraite de la carte hydrogéologique
Feuille Tenkodogo NC-30-NE/IGB

Source: **HOTTIN G. et OUEDRAOGO F.** (1975)
échelle: 1/360.000

3-2/ Géomorphologie

D'une manière générale, la région étudiée est une pénéplaine le plus souvent d'une platitude monotone avec des pentes de l'ordre de 1 à 2% aboutissant à des thalwegs (KALOGA B., 1966). Les principales unités géomorphologiques rencontrées dans la zone d'étude sont les bas-fonds, les moyens- glacis, le bas-glacis et les buttes cuirassées ou rocheuses. Au niveau des bas-fonds, on note souvent des affleurements granitiques, tandis qu'au niveau des moyen-glacis, il y a souvent des affleurements latéritiques, granitiques (les blocs granitiques atteignent souvent 4m de haut) et souvent de cuirasses ferrugineuses.

Il faut souligner que le département de Gogo situé du côté Sud-Est de la zone est une succession de vallées et de monts de faibles hauteurs. Il s'agit de mini bassins versants du bassin versant du Nakambé, maintenant lac de Bagré, situé au Nord-Est. La zone est drainée par de nombreux cours d'eau saisonniers comme le Gué, le Gopinga qui se jette dans le Koulipélé qui est lui même affluent du Nakambé. En dehors du barrage avec plaines aménagées de Manga, il y a quelques reliques de mares et quelques retenues d'eau construites sur les affluents du Nakambé et du Nazinon à l'Ouest.

3-3/ Végétation

Selon le découpage des territoires phytogéographiques du Burkina Faso (GUINKO S., 1984), la végétation du Zoundwéogo est du domaine soudanien septentrional constituée par des essences de la savane arborée avec plusieurs strates très hétérogènes. C'est une mosaïque de formations primaires (forêts claires, savanes) et de formations secondaires de végétation (savanes boisées, arborées et arbustives).

Dans le Nord-Ouest des bassins de Bindé et de Kazanga correspondant à la ligne de crête, la cuirasse latéritique affleure ne permettant que le développement d'un faible tapis herbacé et d'arbustes rabougris d'où le nom de végétation de bowal.

La zone située approximativement à l'Ouest de la ligne Kaïbo-Manga-Gogo pratiquement inclut dans notre zone d'étude comprend une savane arborée très classique. C'est une savane parc anthropique à *Butyrospermum paradoxum* et *Parkia biglobosa* assez clairsemée mais un peu plus dense en s'approchant des thalwegs. Le tapis herbacé est discontinu, dense par endroit. Tout ceci est lié surtout à la densité de la population très forte dans ces zones et où la végétation y subit une dégradation considérable due aux feux de brousse saisonniers et à l'exploitation agricole. La végétation présente ainsi l'allure de

paysages champêtres dominés par des essences protégées. Dans certains endroits où il n'existe aucune culture, le tapis herbacé est particulièrement abondant et peut dépasser largement 2m de hauteur. Il s'agit généralement d'une steppe herbeuse dense à *Andropogon gayanus* et *Andropogon pseudapricus*.

On rencontre également des buissons sacrés sous forme d'îlots de forêts denses sèches, de forêts claires dans le parc national KABORE Tambi et des forêts galeries le long des cours d'eau du Nakambé et du Nazinon.

Les forêts occupent une superficie de 350km² soit 10% de la superficie provinciale. L'attraction de la savane arborée et arbustive pour les éleveurs a fini par exercer une forte pression sur les ressources pastorales de la province.

Aujourd'hui, l'effort est mis sur la restauration de la végétation. C'est pourquoi on note un peu partout au niveau des villages de la province des aires de reboisement comprenant principalement les espèces comme *Eucalyptus camaldulensis* et *Azadirachta indica*.

3-4/ Les sols

La pédologie de la région se caractérise par des types de sols qui épousent grosso-modo la géomorphologie décrite plus haut.

Selon les travaux de **R. BOULET, 1968** les sols de la province du Zoundwéogo se présentent comme suit:

- Au Nord-Ouest et au Sud de la Province, on a des sols ferrugineux tropicaux remaniés sur matériaux sableux et argilo-sableux en profondeur.

- Au Centre-Nord et au Nord de la Province, on rencontre des sols minéraux bruts avec par endroits des affleurements de roches (granite, granite à pegmatite) ou de cuirasse. Ils comportent des recouvrements en surface de type gravillonnaire; sableux, sablo-argileux et/ou argileux.

- Au Centre-Sud, ce sont les vertisols sur alluvions ou sur matériaux argileux gonflant qui dominant et sont en relation avec certaines roches. On y rencontre également des solonetz dispersés à travers toute la province et des sols peu évolués hydromorphes sur matériau caillouteux (parfois gravillonnaire) dérivés de pegmatite.

Certains de ces sols sont cultivés sans interruption depuis plusieurs années et sans restitution d'éléments fertilisants, ce qui provoque une dégradation des sols. Cette dégradation est accentuée en certains endroits par le relief et les conditions climatiques avec

des saisons de pluies à averses intenses qui ne permettent pas la reconstitution pédologique.

Du point de vue valeur agronomique, les vertisols plus ou moins dégradés, sols profonds et compacts et les sols bien drainés représentent les terres cultivables. Les vertisols sont potentiellement riches mais d'exploitation difficile. Leurs fentes de retrait en saison sèche leur confèrent une perméabilité énorme en début d'hivernage puis une imperméabilité quasi totale par la suite car leur drainage interne est presque nul. Ce très mauvais drainage parfois même en surface oblige certains paysans à les éviter.

A côté de ceux-ci, on peut citer certains lithosols le plus souvent couverts de sols plus ou moins épais et les sols d'arènes granitiques issus d'altérations anciennes de granite d'origine kaolinitique.

3-5/ Utilisation des terres

L'Utilisation des terres se présente comme l'indique le tableau ci-dessous.

Tableau n°2: Utilisation des terres dans la province du Zoundwéogo

Répartition des terres	Km ²	%
Surface potentielle en culture pluviale	976	28,2
Surface potentielle en cultures irriguées et bas-fonds aménageables	26	0,8
Surface totale cultivable	1002	29
Surface de parcours	1850	54
Forêts	350	10
Autres	251	7
Surface totale de la province	3453	100

Source : P.D.I/Z, 1993

Ce tableau montre que seuls 29% des terres ont la possibilité d'être emblavées en cultures vivrières et industrielles. Parmi celles-ci, la superficie potentielle en cultures

irriguées ne représente que 0,8% et les parcours couvrent plus de la moitié de la superficie de la province (54%). Le tableau suivant donne la répartition des terres dans les deux départements de la zone d'étude (répartition par ha).

Tableau n°3: Répartition des terres dans les deux départements de la zone d'étude.

	Savanes	Forêts	Jachères	Champs	total
Gogo	14000 ha	5010 ha	11440 ha	13710 ha	44160 ha
Manga	-	-	1410 ha	540 ha	1950 ha

Source: GUINKO S. et DILEMA S., 1992

On peut retenir de ce tableau que dans le département de Gogo comme dans celui de Manga, les superficies cultivées représentent plus de 30% de la superficie totale. Cependant, dans le département de Gogo les jachères représentent de vastes superficies avoisinant les superficies cultivées. On remarque que les superficies des jachères dépassent celles mises en culture dans celui de Manga.

4/ CADRE SOCIO-ECONOMIQUE

4-1/ Population

Dans les deux départements de la zone d'étude, du point de vue peuplement, on distingue d'une part les populations autochtones composées de Mossi (70%) et de Bissa (25%) et d'autre part les migrants, nouveaux venus Mossi et Peuhl (5%). L'arrivée des migrants Peuhl et Mossi fait suite à la pression des effets de sécheresse périodiques qui ont marqué le pays.

En 1990, dans le département de Gogo, on dénombrait 23.305 habitants soit une densité de 25 habitants par km² contre 37.296 habitants soit une densité de 176 habitants par km² pour celui de Manga (P.D.I/Z, 1993).

Aujourd'hui, en tenant compte du taux moyen d'accroissement moyen de 2,7%, cette

population peut être estimée à 28.083 habitants respectivement pour le département de Gogo et 44.942 habitants pour celui de Manga. La répartition par sexe est la même et est de 48% pour les hommes et 52% pour les femmes.

4-2/ Activités socio-économiques

D'une manière générale, la population de la province du Zoundwéogo vit essentiellement de l'agriculture qui reste la principale activité.

En effet, la quasi totalité de la population (90%) est constituée d'agriculteurs. L'élevage reste l'activité des peuhls (8%). Les agriculteurs élèvent les petits ruminants (moutons, chèvres) et les porcs. Cette activité qui était marginale commence à prendre de l'ampleur chez les agriculteurs: certains ont constitué en effet en quelques années un cheptel de bovins assez appréciable.

Il faut noter aussi que l'agriculture est de type céréalière et tournée vers la recherche de l'autosuffisance alimentaire. Les céréales occupent près de 88% des superficies cultivables tandis que les cultures de rente n'occupent que 12% de ces superficies. Le mil (54%) et le sorgho (32%) constituent les cultures principales (BAZIE G., 1995).

La pratique de la fertilisation organique, les rotations avec légumineuses et l'utilisation des intrants chimiques restent modestes dans la province du Zoundwéogo.

La riziculture (culture de riz pluvial) est pratiquée dans la plaine rizicole de Manga (57 ha), dans certains bas-fonds et dans certaines dépressions. Le maraîchage est pratiqué surtout en saison sèche dans le périmètre maraîcher de Manga (12 ha) depuis 1986.

On y dénombre quelques artisans de profession. Cependant, la majorité des agriculteurs s'adonnent à l'artisanat pendant la saison sèche: fabrication de nattes en paille pour les toitures de case, de paniers, de mortiers, de canaris et de manches pour les instruments aratoires.

5/ CONCLUSION PARTIELLE

En résumé, le milieu naturel se caractérise principalement par les traits suivants:

- le substratum géologique comporte deux grands ensembles qui sont les formations birrimiennes et les formations granitiques antébirrimiennes.

- les unités géomorphologiques rencontrées sont essentiellement les glacis (bas et moyens), les buttes à affleurement de cuirasses ou de roches et les bas-fonds.

Les pentes dans la région sont relativement faibles, de l'ordre de 1 à 2%.

- les affluents du Nakambé et du Nazinon constituent le réseau hydrographique de la zone d'étude.

- le climat est de type Soudanien marqué par une longue saison sèche et une courte saison des pluies.

- la végétation est essentiellement dominée par des essences de la savane arborée, arbustive avec plusieurs strates très hétérogènes et des galeries forestières le long des cours d'eau ci-dessus cités.

- les sols rencontrés sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les lithosols, les sols peu évolués d'apport, les sols hydromorphes et les vertisols.

Du point de vue répartition des terres, dans la province du Zoundwéogo, seules 29% des terres sont cultivables, alors que les surfaces de parcours représentent plus de la moitié (54%) de la superficie de la province.

CHAPITRE 3/ METHODOLOGIE

La méthodologie générale a consisté à l'utilisation combinée des données de terrain, des images satellitaires LANDSAT Thematic Mapper, des photographies aériennes et du SIG.

1/ TRAVAUX PRELIMINAIRES

1-1/ Recherche cartographique

Elle a consisté en la collecte de documents de base pertinents fournissant un maximum d'informations cartographiques concernant la zone d'étude et aussi ayant trait au thème étudié. Ceux-ci ont permis d'orienter la prospection et préparer éventuellement le travail de cartographie. Parmi ces documents de base, les documents suivants ont été consultés:

- Cartes topographiques édition IGB, janvier 1987.
 - * feuille Tenkodogo 3a et 3b et Pô 4b.
- Cartes géologiques HOTTIN (G.), OUEDRAOGO (F.), 1975 et TRINQUARD (R.), 1971.
- Les photographies aériennes au 1/50.000 fournies par l'IGB.

1-2/ La photo-interprétation sommaire

Vingt photographies aériennes (n°2169, 2170, 2171, 2173, 2175, 2196, 2197, 2198, 2146, 2147, 2194, 2195, 2144, 2145, 2146, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152) à l'échelle 1/50.000 ont été interprétées selon les techniques habituelles.

Il s'agit de photos provenant du vol IGB n° 94135B de novembre 1994 qui a couvert toute la province du Zoundwéogo. Il faut préciser aussi qu'une triangulation a été réalisée avant l'interprétation cela afin de corriger les déformations.

*** Cartographie provisoire**

Il a été utilisé le stéréoscope à miroir pour la photo-interprétation. Les unités géomorphologiques ont été délimitées sur la base des caractéristiques suivantes:

- nature du relief;
- rupture des pentes au niveau des glacis;
- nature et intensité des phénomènes morfo-dynamiques (érosion, ruissellement..).

A l'issue de cette photo-interprétation, il a été élaborée une carte géomorphologique provisoire à partir des différentes unités identifiées.

1-3/ Sortie de reconnaissance et de vérification des unités géomorphologiques

Une mission de reconnaissance a été effectuée sur le terrain. Elle a permis une prise de contact avec la zone d'étude. L'objectif était de mieux connaître l'organisation du paysage à étudier, la répartition des sols, de la végétation et surtout les limites réelles de la zone d'étude.

Cette mission a permis en outre de vérifier et de corriger les limites des unités géomorphologiques en confrontant la réalité sur le terrain et celle observée à partir de la carte de base établie à l'issue de la photo-interprétation.

Cette carte géomorphologique finale a servi de document cartographique de base pour les travaux de prospection pédologique et dans l'établissement de la carte morphopédologique ainsi que d'autres cartes sous forme d'image.

2/ TRAVAUX DE TERRAIN

2-1/ Prospection pédologique

2-1-1/ Système de prospection

Deux méthodes de prospection sont souvent utilisées pour les études pédologiques (BUNASOLS, 1989):

- la prospection par quadrillage systématique et la prospection dite "libre" ("free survey"). Toutefois d'autres méthodes de prospection par exemple par toposéquences peuvent être appliquées lorsque certaines conditions sont remplies.

Pour la présente étude, nous avons appliqué la "*méthode de prospection toposéquentielle*".

2-1-2/ Layonnage et placement des observations

Le layonnage est une opération qui consiste en l'ouverture des layons à travers la zone à étudier. Les layons sont matérialisés sur la carte de base (carte géomorphologique) par des lignes suivant l'approche des toposéquences. La toposéquence est la succession régulière d'unités pédologiques suivant la topographie ou le relief d'une région donnée.

Cette technique consiste en pratique à tracer la ligne de transect de telle sorte qu'elle passe par le maximum d'unités géomorphologiques.

Les observations sont placées depuis le point le plus haut jusqu'au point le plus bas

et à des distances variables en fonction de la complexité du terrain.

Les observations sont placées aussi sur les unités géomorphologiques définies au cours de la photo-interprétation préliminaire sur le terrain au moment de la prospection en se servant de la photo-identification.

Au total, près de 450 observations ont été effectuées. La photo-identification a consisté au repère des différents points saillants sur le terrain à partir des photos aériennes en vue de pouvoir se situer pendant le placement des observations. Ces méthodes confèrent une grande efficacité à l'étude et une très grande précision lors des emplacements des fosses pédologiques. La méthode des toposéquences donne le plus de chance d'ouvrir des profils représentatifs de la zone d'étude, la méthode de la photo-identification reste utile pour les petites et moyennes échelles (BUNASOLS, 1989).

2-1-3/ Les sondages à la tarière

Pour les travaux de terrain, des sondages à la tarière ont été réalisés.

Deux types de tarière ont été utilisés pour ces sondages. Il s'agit de la tarière "Edelman" et de la tarière "Riverside" de diamètres variables et de longueur 125 cm.

Les résultats sont consignés sur des fiches de description (confère annexe). Ces descriptions portent notamment sur la forme du paysage, la topographie du lieu de sondage, la végétation, les caractéristiques du sol et la description proprement dite du sol.

En général, pour des études aux échelles du 1/50.000 la densité standard est de 0,16 observation par ha (MAIGNIEN, 1969), soit 16 observations par km². En ce qui concerne nos travaux, sur le terrain les observations ont été placées sur les unités géomorphologiques délimitées par la photo-interprétation. Ces unités sont identifiées sur la carte et sur le terrain et les observations sont placées à chaque fois que des changements apparaissent (nature du sol, topographie du lieu, etc.). En pratique, ces observations ont varié de 2 à 3 par unité géomorphologique.

2-2/ Ouverture des fosses

Le critère d'ouverture des fosses porte sur les types de sols rencontrés lors des sondages effectués. En général, pour des sondages à l'échelle du 1/50.000, l'on préconise une (01) fosse par km².

Les fosses ont été ouvertes aussi en tenant compte des unités géomorphologiques.

Au total, 22 fosses réparties sur l'ensemble de la zone d'étude ont été ouvertes.

2-3/ Description des profils

Elle consiste à la détermination des caractères morphologiques de chaque profil. Cette description a été faite selon les directives FAO (légende révisée, 1994) pour la description des sols, leurs textures déterminées à partir du triangle de texture USDA et leur couleur à partir du code Munsell (revised edition, 1994).

Les caractères morphologiques à décrire sont indiqués dans des fiches de descriptions.

La description commence par la subdivision du profil en horizons qui sont des couches superposées du sol, différentes les unes des autres par la couleur, la texture, la structure etc..

Cette dernière est faite en observant les caractères morphologiques du profil et en les comparant à ceux des sols types décrits par la (CPCS, 1967) et leur correspondance suivant la légende FAO, 1988. Cette classification sur le terrain n'est pas définitive, elle peut subir des modifications après les analyses physiques et chimiques.

2-4/ Echantillonnage

Après la description des profils, on procède au prélèvement des échantillons. C'est une opération fondamentale car les résultats des analyses en dépendent.

Au total, 38 échantillons issus de 6 profils ont été prélevés, 26 ont été analysés. En général, on prélève les échantillons dans un ensemble de profils représentant 10% du total des observations. Les 26 échantillons analysés ont été considérés représentatifs des unités pédologiques rencontrées. Les échantillons ont été transmis au laboratoire du BUNASOLS pour être analysés afin d'obtenir des données complémentaires pour la caractérisation des sols étudiés. Les analyses classiques suivantes ont été réalisées: granulométrie 5 fractions; carbone; matière organique; azote total; pH_{eau} ; pH_{KCl} ; phosphore total; phosphore total et assimilable; potassium total; potassium disponible; bases échangeables; C.E.C.; acidité d'échange.

2-5/ Relevés de points GPS

Une des grandes préoccupations en télédétection est la relocalisation d'un point de terrain sur l'image. En effet, il est très difficile, sinon impossible de situer avec exactitude des points de terrain sur l'image satellitaire (BELEMVIRE A., 1993). De nos jours pour la relocalisation des points de terrain sur l'image, il est fait appel au GPS (Système global de positionnement). Le GPS qui a été utilisé dans le cadre de cette étude est le "**Pathinder Basic**" de Trimble Navigation.

*** Description du GPS**

C'est un localisateur par satellite appelé navigateur satellite. Avec trois satellites en configuration, il détermine sa position en longitude et latitude ou en coordonnées **UTM (Mercator Transverse Universelle)**. Avec quatre satellites, il fournit en plus l'altitude. Sa précision est de 2 à 5m (Trimble Navigation, 1990).

Les zones de mesure devant être relocalisées sur l'image, il a été effectué chaque fois cinq enregistrements par observation pour réduire l'erreur du GPS. La valeur moyenne de ces enregistrements a été calculée et utilisée pour définir les coordonnées du point de sondage. Cela permettra de positionner les zones d'observations (sondages) sur l'image.

Plusieurs points de calage correspondant à des détails topographiques identifiables, sans ambiguïté à la fois sur l'image et sur le terrain ont été levés aussi grâce à ce récepteur de positionnement. Ils ont servi à cet effet à mettre l'image dans le référentiel **UTM**.

3/ LES TRAVAUX DE LABORATOIRE

Les travaux de laboratoire sont nécessaires pour une classification définitive des sols décrits pendant la phase de terrain.

Les analyses des échantillons de sol ont été effectuées dans le laboratoire du BUNASOLS. Les techniques d'analyses sont celles exposées dans le **document technique n°3 du BUNASOLS: "Méthodes d'analyses physique et chimique des sols, eaux et plantes, 1987"**.

3-1/ le prétraitement des échantillons

*** L'enregistrement**

Avant de procéder à tout traitement il est indispensable de procéder à l'enregistrement des échantillons. Après avoir effectué quelques vérifications (contenu, bordereau

d'expédition, etc.), il est donné un numéro dit de laboratoire. La date d'arrivée, le/ou les types d'analyses à effectuer sont également enregistrés.

*** Le séchage**

Après avoir enregistré les échantillons, ils sont placés dans des bacs en polyéthylène pour séchage. L'on évitera l'exposition des échantillons en plein air qui favoriserait les contaminations par la poussière. Le séchage se fait dans une salle prévue à cet effet. Le respect strict des numéros d'ordre et d'enregistrement est la première règle à respecter.

*** Le broyage**

Les échantillons séchés sont ensuite pilés dans des mortiers en porcelaine en évitant de broyer les éléments grossiers (graviers, concrétions, etc.). Le broyage est passé ensuite sur un tamis dont les mailles ont 2mm de diamètre. Les éléments qui ne sont pas arrivés à passer à travers ces mailles constituent le refus.

Cette fraction inférieure à 2mm est de nouveau soumise à un tamisage cette fois-ci avec un tamis de maille de diamètre égale à 0,5mm. On obtient encore deux fractions: une fraction dont le diamètre des particules est compris entre 2mm et 0,5mm qui servira pour les analyses physiques, une deuxième fraction dont le diamètre des particules est inférieure à 0,5mm qui servira elle aux analyses chimiques.

3-2/ Les analyses effectuées

3-2-1/ Les analyses physiques

*** Granulométrie**

La granulométrie vise à la séparation des différentes fractions minérales du sol dont les particules sont inférieures ou égales à 2mm et à la détermination de leurs proportions (BUNASOLS, 1987)

La séparation des particules peut intéresser les 5 fractions ou simplement 3 fractions. La granulométrie effectuée dans notre cas est celui des 5 fractions (argile, limon fin et grossier, sable fin et grossier). La méthode utilisée est celle à la **pipette Robinson**.

3-2-2/ Les analyses chimiques

Le carbone et la matière organique (MO)

Il s'agit du carbone organique exprimé en élément, en pour cent ou en pour mille (g/100g ou g/kg de terre fine séchée à l'air), **BAIZE D., 1988**

La méthode employée est celle de **Walkley-Black**.

Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique totale, il est utilisé le coefficient multiplicateur 1,72.

Les bases échangeables et la C.E.C.(capacité d'échange cationique).

Le principe de la détermination des cations est basé sur leur déplacement par un autre cation. C'est pourquoi on parle de cations échangeables. Il s'agit des cations Ca^{2+} Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

On appelle capacité d'échange (ou capacité d'échange cationique = **CEC**) d'un horizon ou d'un échantillon, la quantité totale de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant, à un pH donné (**BAIZE D, 1988**).

La capacité d'échange cationique souvent notée (**T**) s'exprime en milli-équivalent par 100g de terre. En plus de la capacité d'échange cationique, des bases échangeables (**S**), il y a le rapport **S/T** exprimé en pourcentage. Ce taux de saturation du complexe adsorbant par les cations est un précieux indicateur pédologique et agronomique quant à la "richesse" chimique du milieu (**BAIZE, 1988**), laquelle détermine l'activité biologique, la qualité de la structure, les réserves en éléments fertilisants, etc...

La méthode utilisée est celle par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Le calcium et le magnésium disponible

L'évaluation du calcium et du magnésium disponible dans le sol se fait après leur extraction avec une solution de NaCl 0,5N. Le calcium et le magnésium solubles et échangeables sont remplacés par les ions sodium Na^+ de la solution d'extraction.

La détermination se fait à partir du filtrat obtenu à l'A.A.S.

Le pH eau et pH KCl, suspension à 1:5

L'expression "**pH d'un sol**" n'a pas d'autre signification physico-chimique que la mesure de l'acidité, c'est à dire l'activité des ions H^+ d'une solution à l'équilibre avec un échantillon de sol mis en suspension (suspension 1:5) dans l'eau (ou le KCl) dans un rapport

définit sol/solution.

La détermination du pH a concerné donc dans le cas présent, le pH eau ou acidité actuelle et le pH KCl ou acidité potentielle du sol.

Le phosphore assimilable: la méthode utilisée est celle de BRAY n°1

Le phosphore est extrait avec une solution mixte de fluorure d'ammonium 0,03M et d'acide chlorhydrique 0,025M. Cette solution permet l'extraction du phosphore acido-soluble, une grande fraction du phosphore lié au calcium, une partie du phosphore lié à l'aluminium et au fer. Le phosphore ainsi extrait est passé au spectrophotomètre à 720 nm en utilisant le molybdate d'ammonium.

Le potassium disponible

L'extraction du potassium dans le sol se fait généralement avec 0,1N de HCl et 0,4N d'acide oxalique ($H_2C_2O_4$).

Le K est déterminé au photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiations émises par les atomes de potassium avec celles des solutions standards.

Azote total et phosphore total minéralisation avec l'acide sulfurique-sélénium-salicylique, détermination à l'auto-analyseur.

Potassium total

C'est le même procédé que celui utilisé pour déterminer l'azote et le phosphore total, mais dans le cas présent, le potassium est déterminé à l'aide du photomètre à flamme.

Acidité d'échange ($Al^{3+} + H^+$)

L'ion H^+ est déplacé par une solution normale d'acétate d'ammonium ou de chlorure de potassium. L'aluminium est dosé par titration avec l'acide sulfurique en présence de fluorure de sodium comme indicateur.

4/ TRAITEMENTS DE L'IMAGE SATELLITAIRE

4-1/ Données satellitaires

La zone d'étude est couverte par une image Landsat TM du 03 mars 1987. Cette image n'est pas de très bonne qualité radiométrique. Acquisée en saison sèche, l'emprise de la végétation est minimale. La savane herbacée est sèche et rare, les arbres maintiennent une activité chlorophyllienne décelable sur les images satellitaires. A cette période aussi les

cultures n'existent pas et les surfaces des sols sont homogènes (sols nus, etc..) et cette homogénéité des surfaces est un critère important dans les hypothèses de comparaison.

Nous avons utilisé comme précédemment indiqué une image de la série Landsat, seule image disponible au niveau de l'Antenne Sahélienne.

4-2/ Les traitements numériques

Le matériel utilisé pour ces traitements est un ordinateur muni d'une console, d'un clavier, d'une souris et une imprimante à jet d'encre est reliée à l'unité centrale.

Sur l'ordinateur est installé le logiciel IDRISI servant à la réalisation de la composition colorée, le choix des classes, la création de polygones d'entraînement et le traitement statistique. Il y a eu auparavant extraction de la partie de l'image comportant la zone d'étude et la constitution d'une base de données géoréférencées.

4-2-1/ Les prétraitements

Avant d'utiliser les données pour le traitement, il est important de souligner que les images de télédétection issues de radiomètres sont le plus souvent entachées de défauts inhérents à la chaîne de prise de vue (OUEDRAOGO D.D., 1996). Alors, ces données subissent des prétraitements.

L'objectif des prétraitements est de parvenir à corriger ces défauts afin de rendre les images directement utilisables. D'une manière générale, les corrections se rapportent à la radiométrie et à la géométrie des pixels.

Mais, il faut souligner que ces corrections font l'objet de prétraitements par les sociétés qui gèrent les satellites et distribuent leurs données (*Landsat pour Landsat*). Les images sont fournies généralement à l'utilisateur prêtes à être traitées. Ces traitements n'ont donc pas été réalisés dans le cadre de ce travail.

4-2-2/ Principes et objectifs des traitements

La phase de traitement est une phase des travaux très importante. Elle consiste à délimiter les unités physiographiques compatibles avec l'échelle de la carte, où un mode d'interprétation différent doit être appliqué, car selon le milieu environnant la même image peut correspondre à des sols différents et inversement deux sols identiques peuvent présenter des images différentes.

Les traitements utilisés dans le cadre de ce travail sont principalement basés sur l'information spectrale. L'objectif est de parvenir à identifier et à regrouper de façon thématique, les points élémentaires (pixels) de l'image sur leur valeur radiométrique. Cela se fait généralement aux moyens "d'outils" statistiques appropriés. Il existe plusieurs logiciels de traitement, pour notre travail nous avons utilisé le logiciel IDRISI. Il s'agit d'un SIG à système raster comprenant plusieurs programmes regroupés en modules présentés sous forme de menus. Parmi ces modules, l'on distingue:

- Un module de gestion de données spatiales avec les programmes d'échantillonnage, de fusion et modification de taille des images, de conversion - raster-polygone.

- Un module d'analyse géographique permettant l'interrogation de la base de données (superposition),

- un module d'analyse statistique pour les traitements statistiques;

- un module de traitements d'images permettant la classification des pixels, l'élaboration d'une composante colorée, l'analyse en composantes principales, etc...

Un module de digitalisation (programme TOSCA); ce programme nous a servi dans la numérisation des cartes.

4-3/ Les principaux types de traitement numériques effectués

4-3-1/ Calcul de néo-canaux

Il s'agit de ratio ou de combinaisons linéaires de canaux.

Ces canaux sont calculés pour voir les contrastes qu'ils montrent en composition colorée. La composition colorée visualisée à l'écran et dont les contrastes favoriseraient une meilleure analyse de l'image sera retenue.

- L'indice de brillance (I.B).

Il renseigne sur l'état de brillance du sol. Plus les sols sont secs et clairs, plus l'indice est élevé. L'eau présente la plus basse valeur de l'IB. Cet indice est calculé à partir des réponses spectrales dans les deux canaux: le canal TM2 mesurant le pic de réflectance dans le vert et le TM4, proche infra-rouge.

$$IB = (R^2 + PIR^2)/2 \text{ ou } (TM2^2 + TM4^2)/2$$

- L'indice de végétation (I.V)

Il traduit la densité et l'activité chlorophyllienne de la végétation au moment de l'acquisition de l'image. L'IV est calculé à partir du programme ANALYSIS/OVERLAY à partir de deux bandes suivant la formule:

IV = $\frac{PIR-R}{PIR+R}$ ou $\frac{TM4-TM2}{TM4+TM2}$

La visualisation de l'image d'IV se fait en utilisant dans le logiciel les propriétés de l'NDVI (Indice de Végétation Normalisé), pour mettre en relief l'aspect de la végétation. Il prend des valeurs comprises entre -1 et +1. Sur l'écran sont codés de 0 à 255, IDRISI utilise alors la relation $\frac{TM4*255}{TM4+TM2}$.

Il a été utilisé l'indice de végétation aussi pour vérifier l'influence de la couverture végétale dans la radiométrie globale des sols.

Ces deux néo-canaux (IB et IV) sont intéressants à considérer pour la caractérisation de la végétation car les valeurs spectrales intègrent la réponse des sols et de la végétation: une étude fine permettrait de différencier sol et végétation à partir de ces indices. Dans le cas des confusions spectrales, l'utilisation de ces canaux dérivés pourra éventuellement aider à mieux classer les thèmes retenus.

4-3-2/ Le test de corrélation

On pourrait penser qu'une composition colorée obtenue à partir des canaux portant des informations assez différentes (plus faibles coefficients de corrélation) sera plus illustrative qu'une autre obtenue par la combinaison de canaux portant des informations semblables (coefficients de corrélation élevés).

Le programme PCA inclut dans le logiciel IDRISI a permis de calculer les différents coefficients de corrélation et les composantes principales.

4-3-3/ Les composantes principales (PC)

Leur détermination repose sur une technique mathématique: celui des axes principaux qui consiste à définir à partir d'une combinaison linéaire des variables de départ supposés liées (les canaux bruts), autant d'axes que de variables.

L'analyse en composantes principales (ACP) s'avère intéressante car elle peut faire apparaître une synthèse d'information.

4-3-4/ Les compositions colorées

Ce sont des documents issus de la combinaison de trois bandes spectrales restituées chacune avec une couleur primaire.

Le procédé consiste en pratique à affecter les trois couleurs fondamentales (vert, bleu

et rouge) à trois canaux du satellite, on aura par exemple une composition 354 correspondant à la superposition des trois bandes (354) de Landsat. La couleur d'un pixel en composition colorée est donc la résultante de ces fausses couleurs.

Ce procédé permet de retenir la meilleure composition colorée intéressante pour le thème d'étude. Dans IDRISI, le programme COMPOSIT permet de réaliser ces différentes compositions.

Il faut souligner ici que toutes les bandes du TM ont été utilisées pour réaliser les compositions afin de retenir la composante intéressante en tenant surtout compte du thème d'étude, excepté le TM6 qui correspond à une bande thermique.

Le tableau ci-dessous retient quelques compositions réalisées et les couleurs affectées aux canaux de base.

Tableau n°4: Compositions colorées et attribution des couleurs

Compositions colorées réalisées	Attribution des couleurs
127	TM1: bleu
	TM2: rouge
	TM3: vert
123	TM1: bleu
	TM2: rouge
	TM3: vert
354	TM3: bleu
	TM5: vert
	TM4: rouge
TM1CP1CP2	TM1: bleu
	CP2: vert
	CP1: rouge
357	TM3: bleu
	TM7 : vert
	TM5: rouge

Une composition colorée utilisant aussi les images d'IV et d'IB avec d'autres bandes présente beaucoup de confusion.

La composition colorée utilisant les bandes 1, 2 et 3 après visualisation à l'écran semble bien détailler les différentes entités du paysage; nous l'avons donc retenue dans la suite des traitements.

4-3-5/ Le stretch ou amélioration des contrastes

Le stretch est le traitement permettant d'améliorer les contrastes au niveau de l'image composite. Il consiste à étaler la dynamique d'une image de façon à utiliser toute la gamme de sensibilité en brillance et nuance du matériel de visualisation. Ceci est possible lors des traitements numériques avec les logiciels de traitement d'image.

En effet, selon les contrastes désirés, IDRISI permet par un programme d'améliorer la qualité de l'image dont on dispose. Les bandes de l'image donnent des valeurs digitales entre 0 et 255. Avec un stretching il est possible d'utiliser toutes les valeurs digitales entre 0 et 255. Avec cette option, toutes les couleurs de l'ordinateur sont utilisées de façon optimale.

Le stretching a permis d'améliorer les contrastes de la composition 123 retenue.

La composition retenue ayant subi le stretching contient toujours des imperfections. C'est ainsi que d'autres méthodes de traitement de l'image ont été possibles et ont été également appliquées.

Il s'agit du traitement par le filtrage qui a été réalisé selon une méthode texturale qui procède par transformation locale de la valeur radiométrique de chaque pixel en fonction des pixels voisins. Deux procédés de filtrage ont été réalisés, le filtrage par rapport à la moyenne et le filtrage par rapport à la médiane. Ces deux procédés ont été réalisés conjointement et ont permis de lisser l'image retenue pour la classification supervisée par atténuation des contrastes entre pixels voisins.

Par la suite, les classifications (MLC, MDC, PC) et les images d'IV et d'IB ont été lissées afin d'éliminer leur aspect ponctué, ce qui donne des images plus lisibles et plus synthétiques, qui se rapprochent de l'aspect des cartes thématiques classiques.

4-4/ La géoréférence

Afin de croiser et de superposer les données numériques, il est nécessaire de les géoréférencer dans un système de projection cartographique unique.

D'une manière générale, l'utilisation des données cartographiques, qu'elles soient

satellites ou exogènes par le système de traitements d'images et d'informations géographiques passe par leur mise en conformité géométrique avec le système de référence cartographique de la zone ou du pays concerné. Pour notre zone d'étude, ce système de référence correspond à l'UTM zone 30n.

En ce qui concerne la géoréférence proprement dite, plusieurs points de contrôle (barrage, bas-fonds, routes, etc..) communs à l'image Landsat et à la carte géomorphologique de base établie à partir de la photo-interprétation et ayant servi aux travaux de prospection sur le terrain ont été identifiés. Ces points, répartis de manière assez homogène sur l'ensemble de la zone d'étude ont été utilisés pour établir une certaine correspondance afin de pouvoir superposer la carte géomorphologique digitalisée avec l'extrait de l'image de la zone d'étude.

Dans IDRISI comme mentionné plus haut, il existe une possibilité de correction géométrique grâce à un module de géoréférence à partir de deux options.

La première option Data Entry/Edit, consiste comme son nom l'indique à éditer, c'est à dire à établir une certaine correspondance entre les coordonnées des points (m) de la carte digitalisée correspondant exactement aux points sur l'image satellite (coordonnées UTM).

La deuxième option Reformat/RESAMPLE effectue une analyse statistique et permet d'évaluer l'erreur commise pour la dite correspondance. Cette erreur traduit l'écart existant entre les points identifiés sur la carte et correspondant aux points sur l'image. Le résultat de la superposition est très acceptable si l'erreur est inférieure à 10m. On obtient dans ce cas, une superposition plus ou moins exacte des deux cartes.

La qualité de l'image n'étant pas très bonne, ainsi que la période de prise de vue des photos aériennes et de celle des images ainsi que leur échelle ne coïncidant pas, il a été très difficile hormis la retenue d'eau, quelques bas-fonds et leurs intersections avec les routes, d'identifier des points semblables entre les prises de vue et l'image. Il nous a été possible néanmoins d'en arriver à une superposition avec un décalage de 14m.

4-5/ Autres traitements effectués

L'objectif de ces traitements est de pouvoir grâce aux références cartographiques et aux données de sondage du sol, décrire quelques zones. Il s'agit de rechercher les éléments perceptibles sur l'image qui sont étroitement associés à un sol déterminé (identifiants) et qui

permettent la reconnaissance de certains éléments.

Les images sont analysées en réalisant un classement systématique des densités optiques de la photographie afin de préparer et de rendre plus objective l'interprétation.

4-5-1/ Critères d'interprétation

Les critères de détermination ne sont pas les mêmes que ceux employés pour la photo-interprétation.

L'image satellitaire reposant sur les réponses spectrales des entités au sol il a été considéré les facteurs liés à l'entité et à son environnement dans l'interprétation manuelle de la composition colorée. Ces facteurs peuvent être la texture, la structure, la teinte, la réflectance, etc..

- La teinte est surtout un critère important dans l'identification. L'image comporte une gamme de couleurs plus ou moins nuancées comprises entre le blanc (réflexion de tous les rayons incidents) et le noir (absorption de tous les rayons incidents) dont la perception visuelle n'en reconnaît qu'un nombre restreint.

- La réflectance quant à elle dépend étroitement de la nature de l'objet au sol et sera faible pour une entité qui absorbe beaucoup de lumière. C'est la quantité de lumière réfléchi par chaque unité au sol. L'association de certains objets peut aider aussi à définir une entité donnée. C'est ainsi que les zones de culture accompagnant dans beaucoup de cas les bas-fonds se distinguent nettement des sols nus.

La détermination d'un objet sur l'image a consisté surtout à y rechercher un caractère susceptible de s'associer à cet objet de façon constante et régulière.

Ce sont pratiquement les principaux critères qui ont guidés tout au long de l'interprétation de la composition colorée. A cela, il faut ajouter la connaissance que nous avons du terrain en appui souvent avec l'utilisation des photographies aériennes.

4-5-2/ Définition des parcelles test

Dans ce présent cas le programme MAKESIG a permis de délimiter sur la composition colorée retenue grâce à la digitalisation des parcelles d'entraînement. Le critère d'homogénéité et celui d'hétérogénéité renseigne sur la distribution normale de ce qui a été classé. Ceci se vérifie à partir des paramètres statistiques que calcule en même temps le logiciel et donné par une option Analysis/EDITSIG. Par la suite, il a été vérifié sur

l'image qu'après le traitement, les pixels du même thème ont été tous classés. Si des pixels supposés être d'un thème ne sont pas classés l'on procède à un nouveau découpage, cette dernière opération est ainsi répétée jusqu'à ce qu'il y ait satisfaction au niveau des résultats.

5/ LES CLASSIFICATIONS

L'approche par télédétection du présent travail s'est appuyée sur la classification supervisée des images Landsat, cette classification a été réalisée conjointement à l'interprétation visuelle des données satellitaires.

Elle s'est basée sur la connaissance acquise des sols lors des travaux de prospection sur le terrain.

L'analyse multi ou monospectrale d'une image nécessite que les pixels soient regroupés en un certain nombre de classes de valeurs spectrales qui sont initialement codées sur 256 niveaux de gris: c'est le but de toute classification.

Il existe deux types de méthodes de classification qui sont classiquement utilisées mais la **méthode supervisée** a été appliquée dans le cadre de ce travail. Elle est généralement réalisable lorsque l'on a une bonne connaissance du terrain.

Il s'agit de regrouper sur l'image les valeurs spectrales des pixels, en classes qui prennent un sens thématique bien précis grâce à la connaissance préalable du terrain. Ces classifications s'appliquent à des échantillons bien identifiés au sol et bien localisés sur l'image, appelés parcelles d'entraînement ou d'apprentissage. Ces parcelles doivent être représentatives du thème recherché. Après calcul des paramètres statistiques des parcelles d'entraînement (zones homogènes d'échantillons connues), on recherche à travers toute l'image des pixels ou groupes de pixels présentant la même configuration statistique.

Le logiciel qui a été utilisé possède trois procédés de classification:

- le **Maximum Likelihood Classification** qui utilise la distance par rapport au centre des classes et la probabilité d'appartenir à une classe comme critères principaux. Il s'est effectué à partir du programme IMAGE PROCESSING-MAXLIKE

- le **Minimum Distance Classification** qui calcule pour chaque pixel de l'image une distance spectrale entre la valeur radiométrique de ce pixel et la valeur radiométrique moyenne des classes définies à la phase d'apprentissage. Les points sont alors affectés à la

classe de référence la plus proche. Cette classification possède une option qui utilise les unités de déviation standard, et une autre utilisant les valeurs digitales des colonnes (Dn rows). L'option Dn rows du programme IMAGE PROCESSING-MINDIST a été retenue pour ce travail.

- le **Parallelipiped Classification** utilise les fréquences d'apparition des associations de valeurs radiométriques. Ce type de classification a été obtenu grâce au programme IMAGE PROCESSING-PIPED.

La classification du sol a été réalisée selon l'algorithme du maximum de vraisemblance (MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFICATION).

Cette classification a permis le choix de zones tests ou zones échantillons au niveau des unités qui paraissent visibles; les résultats de ces classifications sont par la suite intégrés à la base des données numériques qui comme mentionné plus haut représentent la base de données constituée à l'issue des travaux de terrain.

Ces données portent notamment sur la physiographie, la topographie, la végétation, l'état de surface, la structure du sol, la texture et la couleur du sol à différentes profondeurs du sol, les coordonnées des points d'observation, etc..). Elles sont stockées dans un logiciel Dbase installé dans IDRISI qui possède un système de management des données et intégrés ainsi dans le module d'analyse géographique permettant l'interrogation de la base de données (reclassement, superposition, confection de cartes, etc..).

CHAPITRE 4/ EXPRESSION ET ANALYSE DES RESULTATS

1/ LA CARTE GEOMORPHOLOGIQUE

La carte géomorphologique établie à l'issue de la photo-interprétation a été numérisée à partir du module de digitalisation qui accompagne IDRISI (TOSCA) qui n'est pas des plus simples. Il faut souligner à cet effet que la formation des polygones y est laborieuse et lorsqu'une couverture est digitalisée, elle devra être scindée en ses différents éléments (polygones, arcs, points) pour être acceptée dans IDRISI. Ce module de digitalisation pénalise les performances globales du système.

Le résultat de cette numérisation est la carte n°3. La superficie totale de la zone cartographiée est d'environ 36.445 ha.

Les unités géomorphologiques rencontrées sont au nombre de sept, ce sont: **les retenues d'eau, les plaines aménagées, les plaines inondables, les glacis polyphasiques, les bas-fonds, les buttes et affleurements cuirassés, les buttes et affleurements rocheux.**

* **La retenue d'eau (U1):** dans la zone d'étude cette unité est essentiellement localisée à Manga principalement dans le village de Zigla. Elle est de moyenne taille avec une digue renforcée de béton et un déversoir. Bien qu'elle ne dessèche pas complètement, il est observé pendant les années à faible pluviométrie une baisse très nette du niveau d'eau. Cette retenue d'eau sert outre à l'abreuvement du bétail, à l'irrigation du riz en aval et à celle de la culture maraîchère en amont. Elle a une superficie de 88,72 ha soit 0,24% de la surface totale cartographiée.

* **la plaine aménagée (U1')**: c'est une zone aménagée qui se situe en amont et en aval de la retenue d'eau. La population pratique en aval sur une superficie de 57 ha, la riziculture en saison pluvieuse et en amont sur une superficie de 13 ha, le maraîchage en saison sèche. La superficie totale est de l'ordre de 70 ha représentant 0,19% de la superficie totale cartographiée.

* **les bas-fonds (U2):** Les bas-fonds sont très nombreux dans la zone d'étude donnant un réseau de drainage dans l'ensemble dense. Ce sont généralement des vallons à fond plat ou concave, ou des gouttières d'écoulement inondables qui constituent les axes de drainage des eaux. Ces bas-fonds sont peu encaissés dans le paysage, comprenant en coupe transversale le glacis de raccordement souvent appelé chanfrein (ZERBO L., 1991), le

versant, la zone de raccordement versant/zone centrale et la zone centrale.

Les bas-fonds occupent une superficie de l'ordre de 4.261 ha soit 11,69% de la surface totale cartographiée.

***La plaine inondable (U2')**: Cette unité se trouve en aval de la plaine aménagée, elle est constituée surtout de dépôts de sédiments provenant d'un transport par ruissellement diffus. Ces sédiments sont de nature variée allant des éléments grossiers (concrétions et gravillons ferrugineux, graviers de quartz..), aux éléments fins (argile, limon fin et sable fin). Cette unité est une zone agricole potentielle notamment pour la riziculture eu égard aux conditions pédologiques et hydrologiques.

Elle occupe une superficie de 128 ha représentant 0,35% de la surface de la zone d'étude.

***Les glacis (U3 et U4)**: Ce sont généralement des formes topographiques non accidentées courantes dans les régions arides et semi-arides. Ils ont une pente longitudinale nette dans la zone d'étude de l'ordre de 1 à 2% en moyenne constante ou légèrement concave mais de pente latérale nulle. Le glacis se raccorde généralement en amont à un inselberg ou à un plateau et en aval à une plaine alluviale, à un bas-fond ou à une vallée.

Dans la zone d'étude, les glacis sont recouverts le plus souvent d'un placage colluvial et par endroits apparaissent des points d'érosion en nappe, en rigoles ou en ravines d'intensité moyenne à forte. Il faut noter souvent un épandage gravillonnaire dont la taille des éléments décroît de la pente supérieure à la pente inférieure. En fonction de la position topographique, deux types de glacis ont été différenciés:

- **les moyens glacis (U4)**: ils représentent les zones hautes et le plus souvent plates légèrement ondulées et des pentes inférieures à 1% avec par endroits des zones de dépressions. Les moyens glacis sont généralement cuirassés avec des sols gravillonnaires. A certains endroits, la cuirasse latéritique est mise à nue. Les types d'érosion généralement rencontrés sont l'érosion hydrique, en nappe et en ravines.

Cette unité occupe 11.825 ha soit 32,44% de la superficie de la zone d'étude.

- **les bas-glacis (U3)**: ils bordent les zones basses que sont la retenue d'eau, les bas-fonds, la plaine aménagée et la plaine inondable avec des pentes longitudinales allant de 1 à 2%. Ils se caractérisent par des érosions hydriques, en nappe, en rigoles et en ravines.

Ces unités occupent 19.814 Ha soit 54,36% de la superficie de la zone d'étude.

**** Les buttes et affleurements de cuirasse***

Ce sont essentiellement les escarpements de cuirasse, les buttes cuirassées de formes arrondies ou tabulaires. Quant aux affleurements cuirassés, ils se localisent le plus souvent sur les sommets des plateaux. Dans la zone d'étude, cette unité est rencontrée dans le département de Gogo.

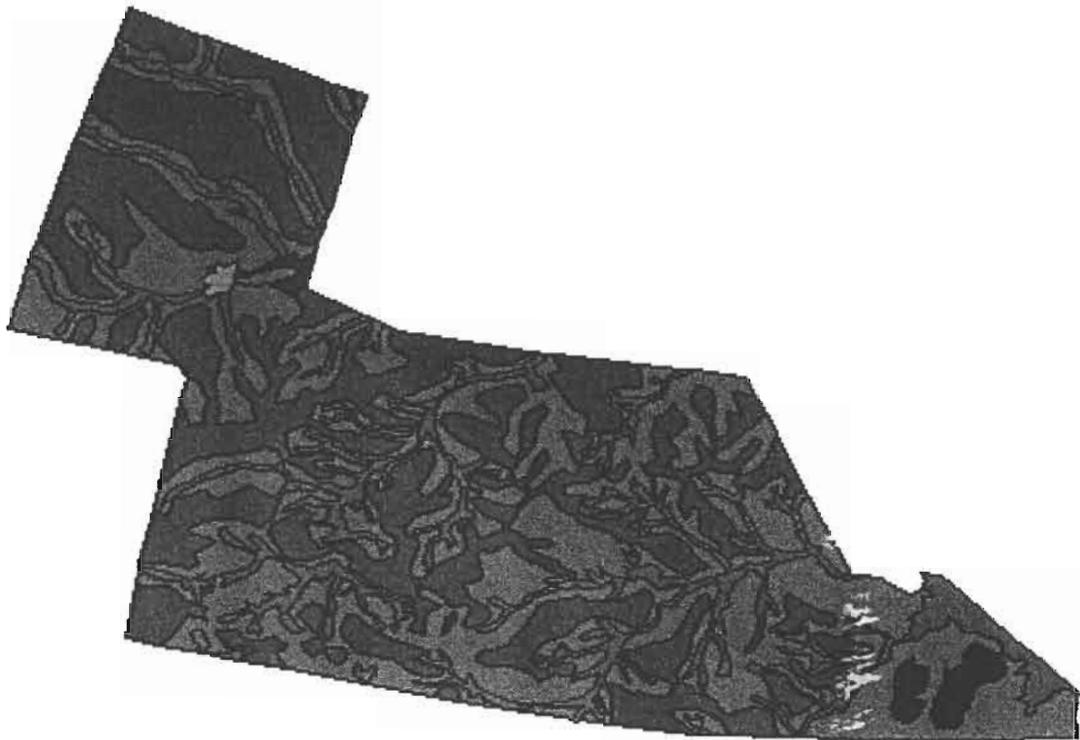
Sur la carte géomorphologique, il est matérialisée une unité à part entière U10 représentant une colline avec une superficie de 26 ha soit 0,072% de la superficie de la zone cartographiée. Les sommets de cette colline varient de 290 à 300 m.

**** Les buttes et affleurements rocheux***

Ils sont constitués essentiellement par des roches volcano-sédimentaires avec un mélange de schiste argileux. Leurs sommets sont souvent recouverts de cuirasses ferrugineuses et varient de 250 à 300m.

La superficie totale occupée par ces unités est de l'ordre de 233 ha soit 0,64% de la surface totale cartographiée.

↑ N



LEGENDE:

Echelle: 1/360.000

	Moyen Glacis		Bas-fonds
	Bas glacis		Plaine inondable
	Buttes		Retenus d'eau
	Colline		Plaine aménagée

Carte n°3: Carte géomorphologique

2/ LA CARTE MORPHOPÉDOLOGIQUE

2-1/ Monographie des sols rencontrés dans la zone d'étude

La prospection pédologique classique a permis d'individualiser huit types de sols réparties entre quatre classes selon la taxonomie française des sols (CPCS, 1967):

- la classe des sols peu évolués
- la classe des sols à sesquioxyde de fer et/ou de manganèse
- la classe des sols brunifiés
- la classe des vertisols

2-1-1/ La classe des sols peu évolués. Deux unités pédologiques ont été rencontrées: Les sols peu évolués d'apport colluvio-alluvial et les sols peu évolués régosoliques.

- **Les sols peu évolués d'apport colluvio-alluvial**
- **Eutric Fluvisols**

Ils sont formés à partir d'un apport alluvionnaire ou colluvionnaire uniquement d'une part ou encore d'un apport alluvio-colluvionnaire d'autre part. Selon la position physiographique l'apport peut être longitudinal (alluvions) latéral quand il s'agit des colluvions ou les deux en même temps. Ces sols pour la plupart ont une discontinuité structurale et/ou texturale avec une hydromorphie temporaire de courte durée. Dans la zone d'étude, nous rencontrons ce type de sol le long des pentes et sur certains lits de rivière. Il n'y a pas eu d'analyse physico-chimique au sein de cette unité pédologique.

La couleur de ces sols est variable et généralement brun jaune (10YR 4/4) en surface et brun gris (10YR 7/6) en profondeur. La texture est limono sableuse en surface et argileuse en profondeur et la structure polyédrique sub angulaire faiblement développée avec des éléments grossiers, moyens et fins. La charge graveleuse est faible (5%). Les taches sont de type gris clair (10YR 7/1). La consistance est généralement dure. L'activité biologique reste faible.

- **Les sols peu évolués régosoliques**
- **Eutric Regosols**

Ce sont des sols de profondeur variable (≤ 100 cm) érodés par les eaux de ruissellement qui décaper les couches supérieures et les déposent de façon sélective le long

de la ligne d'écoulement. La profondeur est souvent limitée par une roche en voie d'altération (BUNASOLS, 1990). La texture est limono sableuse à limono argilo sableuse. La couleur est brun jaunâtre (10YR 5/6) à jaune brunâtre (10YR 6/7) et la structure faiblement développée. La charge grossière est faible. Sur ces sols, le drainage est normal et l'activité biologique est généralement bien développée.

Il n'y a pas eu d'analyse physico-chimique au niveau de cette unité pédologique. Elle est rencontrée dans la partie Est de la zone d'étude.

2-1-2/ La classe des sols à sesquioxydes de fer et/ou de manganèse

Les processus pédogénétiques dominants de ces sols sont: la ferruginisation, le concrétionnement, le lessivage et quelque fois l'induration. Une seule unité pédologique a été rencontrée, elle appartient à la sous-classe des sols ferrugineux tropicaux, au groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés et au sous-groupe des **sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés**.

Ces sols sont marqués par la présence d'une induration ferrugineuse. L'induration peut être une cuirasse ferrugineuse ou une carapace ferrugineuse. De plus, suivant le niveau d'apparition de l'induration, plusieurs subdivisions peuvent être observées.

L'unité pédologique rencontrée dans la zone est surtout:

- **les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds**
- **Lixisols ferriques phase petroferrique.**

Du point de vue répartition, on constate qu'ils se localisent le plus souvent sur les moyens glacis et sur les autres unités dans les zones de plateau dans la Nord et Sud-Est de la zone d'étude; les pentes au niveau de ces sols sont inférieures à 1%. Le profil F14 est caractéristique.

Il n'y a pas eu de prélèvement d'échantillons ni d'analyse physico-chimique au niveau de ces sols.

Ce sont des sols dont la profondeur varie généralement entre 70 et 90cm, la couleur est brun jaunâtre (10YR 5/6) à brun foncé (10YR 4/6) en surface devenant jaune rougeâtre (10YR 5/6) en profondeur. La texture est généralement limono sableuse en surface et limoneuse en profondeur. Les racines, peu nombreuses sont rencontrées dans les 25 premiers centimètres où elles sont fines et moyennes. La porosité diminue en fonction de la profondeur. La charge grossière est constituée le plus souvent de gravillons ferrugineux qui

apparaissent sous forme d'inclusions.

Sur ces types de sols, le drainage est normal à excessif et l'activité biologique y est généralement bien développée.

La végétation ligneuse est de type **savane arborée dégradée** à *Butyrospermum paradoxum* et de **savane arbustive** avec le plus souvent les espèces comme *Acacia gourmaensis* et *Balanites aegyptiaca*. On rencontre le plus souvent sur les reliques de cuirasse l'espèce *Adansonia digitata*.

2-1-3/ La classe des sols brunifiés

Les sols de cette classe se développent à partir d'altérite de roche de type basique. Le processus pédogénétique reste la brunification (humification, argilification) et généralement, le type d'argile dominant est la montmorillonite. D'une manière générale, les sols bruns eutrophes désignent un ensemble de sols automorphes se développant sous des climats tropicaux humides et subhumides. Cette classe est représentée par trois types de sols:

-les sols bruns eutrophes peu évolués (BEPE)

- Eutric Cambisols

Ces sols présentent une couleur brun foncé (10YR 5/3) en surface et gris-blanc (2,5Y 7/1) en profondeur correspondant à la couleur du granite altéré. La texture est limoneuse en surface et en profondeur et limono argileuse dans les horizons intermédiaires.

La structure est polyédrique angulaire fortement développée avec des éléments moyens fins et grossier en surface, grossiers moyens et fins en profondeur. La charge grossière est constituée de gravillons ferrugineux, de concrétions ferrugineuses et de graviers de quartz en surface.

La porosité diminue avec la profondeur, il en est de même que les racines. Les taches sont de type brun jaune (10YR 5/8) sur tout le profil. A partir de 77cm, la roche mère (granite) apparaît, mais il faut souligner que l'altération est moyenne à forte. On note souvent des fissures au niveau de certains horizons de ces sols.

L'activité biologique est assez bien développée en surface et peu développée en profondeur.

Les analyses physiques montrent que la fraction sableuse est la plus importante en

surface comme en profondeur (SF+ SG respectivement de 65 et 70%). Cependant, elle décroît dans les horizons intermédiaires et avoisine 40 à 45%. Cette baisse du taux de sable se fait au profit de la teneur en argile qui passe entre 13 à 18 à environ 37%.

Sur le plan chimique, ces sols présentent un pH dans l'ensemble neutre, une teneur en matière organique pauvre et un rapport C/N bas en surface (8%) et très bas en profondeur (5%) traduisant la forte minéralisation de la matière organique. Le taux de matière organique décroît avec la profondeur.

En outre, ces sols ont une teneur moyenne en bases échangeables avec une dominance des ions Ca^{++} , une capacité d'échange cationique faible à moyenne et un fort taux de saturation en bases, un risque de dégradation physique faible et un risque de dégradation chimique faible ainsi qu'une carence en potassium. Les résultats analytiques sont donnés par le tableau n°5.

Sur ces sols généralement la roche mère (granite) apparaît à une profondeur variant entre 70 et 80 cm, elle est souvent fortement altérée, confère le profil F20: il s'agit du dernier horizon (77 à 130 cm). Dans la zone d'étude on rencontre très fréquemment ces sols autour de Manga et dans la partie Nord de la zone, au niveau des zones centrales de bas-fonds sur certaines zones hautes.

Les espèces comme *Butyrospermum paradoxum* et *Adansonia digitata* poussent aux alentours de ces sols. Certaines herbacées comme *Andropogon pseudapricus* y constituent le tapis herbacé.

Tableau n°5: RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL F20

	Profondeur (cm)	0-10	10-30	30-77	77-130
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	17.75	37.50	35.75	13.00
	Limon fin %	5.25	6.75	10.25	8.50
	Sable fin %	27.88	18.70	23.54	28.34
	Sable grossier %	36.88	26.99	15.39	43.50
	Limon grossier %	12.24	10.06	15.08	6.66
	Limon/argile	1.55	0.45	0.71	1.16
	Texture	L	LA	LA	L
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	1.20	0.72	0.28	0.20
	Carbone (%)	0.70	0.42	0.16	0.12
	Azote total (%)	0.08	0.06	0.03	0.02
	C/N	8	7	5	7
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	9.01	0.94	0.55	0.36
	Phosphore total	278	139	293	5400
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca ⁺⁺)	5.46	8.65	10.33	6.97
	Magnesium (Mg ⁺⁺)	0.80	1.04	0.87	0.58
	Potassium (K ⁺)	0.13	0.08	0.12	0.05
	Sodium (Na ⁺)	0.05	0.04	0.04	0.09
	Sommes des bases (S)	6.44	9.81	11.36	7.69
	Capacité d'échange (T)	7.59	12.02	13.15	9.54
	Taux de saturation (S/T) %	85	82	86	81
	Na/T	0.006	0.003	0.003	0.009
	K/T	0.017	0.006	0.009	0.005
	Mg/T	0.105	0.086	0.066	0.06
	Ca/Mg	6.82	8.32	11.87	12.01
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	36	23	32	67
	Potassium total	1566	2069	1164	4697
REACTION DU SOL	pH eau	7.09	6.38	7.20	6.64
	pH KCl	6.17	5.27	6.02	5.23
	pH eau - pH KCl	0.92	1.11	1.18	1.41
Al et H éch. (méq/100g)	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.002	0.002	0.002	0.002

- Les sols bruns eutrophes ferruginisés

- Ferralic Cambisols

Le processus pédogénétique secondaire observé dans ces sols est la ferruginisation.

La couleur est généralement brun gris (2,5Y 5/2) en surface et brun (10YR 6/6) en

profondeur. La texture est limoneuse à limono argileuse dans les horizons de surface, et argileuse en profondeur.

La structure est en surface massive faiblement à moyennement développée et en profondeur moyennement développée; les éléments sont de type poly angulaires. La charge grossière est faible en surface (5 à 10%), importante en profondeur (60%) et constitués surtout de graviers de quartz de gravillons ferrugineux de concrétions ferrugineuses sur l'ensemble du profil et aussi de concrétions ferro-manganifères en profondeur.

Les taches sont de type brun jaune (10YR 6/6) et gris clair (10YR 7/1), peu nombreuses en surface (5%) et très nombreuses en profondeur (40%). L'activité biologique est bien développée sur ces types de sol.

Ces types de sols très disparates dans la zone d'étude, surtout rencontrés dans la partie Est et Ouest de la zone. Le profil caractéristique de cette unité pédologique est F16 dont les résultats des analyses sont exposés dans le tableau n°6.

Des analyses physiques, il ressort que la teneur en argile faible en surface (21%) augmente en profondeur mais reste inférieure à 40%. Quant à la fraction sableuse, très importante en surface (50%), diminue avec la profondeur (43%).

Sur le plan chimique, ces sols ont un pH moyennement à fortement acide, un pH KCl moyen, une teneur en matière organique pauvre dans les horizons de surface et très pauvre en profondeur, un rapport C/N moyen en surface et très bas en profondeur traduisant une minéralisation importante de la matière organique. Ces sols ont une teneur en bases échangeables moyenne en surface et en profondeur avec une teneur très forte pour les ions Ca^{++} en profondeur, une capacité d'échange cationique dans l'ensemble faible et un fort taux de saturation. En outre, ces sols présentent un risque de dégradation physique chimique faible, ainsi qu'une carence en potassium.

La végétation ici est constituée par une savane arborée assez dense, avec les espèces comme *Butyrospermum paradoxum*, *Diospyros mespiliformis*, *Parkia biglobosa*, etc.

La strate herbacée est aussi dense composée dans la plupart des cas, des espèces comme *Andropogon gayanus* et *Andropogon pseudapricus*.

Tableau n°6: RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F16

	Profondeur (cm)	0-15	15-33	33-77	77-96	96-115
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	21.50	36.00	36.50	40.00	38.75
	Limon fin %	10.00	10.00	10.25	12.50	6.75
	Sable fin %	24.68	17.33	15.67	17.61	14.99
	Sable grossier %	27.37	24.83	26.75	19.33	28.19
	Limon grossier %	16.45	11.85	10.84	10.56	11.32
	Limon/argile	1.22	0.608	0.58	0.58	0.46
	Texture	L	LA	LA	A	A
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	2.07	1.28	0.57	0.38	0.34
	Carbone (%)					
	Azote total (%)	1.20	0.74	0.33	0.22	0.20
	C/N	0.07	0.05	0.05	0.03	0.04
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.41	0.55	0.31	0.47	0.23
	Phosphore total	100	62	54	46	62
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca++)	4.38	5.55	6.25	6.77	7.89
	Magnésium (Mg++)	1.35	1.38	1.48	1.66	1.92
	Potassium (K+)	0.06	0.04	0.07	0.13	0.15
	Sodium (Na+)	0.07	0.03	0.14	0.22	0.23
	Somme des bases (S)	5.86	7.01	7.93	8.77	10.19
	Capacité d'échange (T)	9.52	8.50	10.23	11.0	11.19
	Taux de saturation (S/T) %	62	82	78	80	91
	Na/T	0.07	0.003	0.013	0.01	0.002
	K/T	0.06	0.005	0.007	0.01	0.013
	Mg/T	0.23	0.16	0.144	0.15	0.17
Ca/Mg	3.24	0.65	4.22	4.08	4.11	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	83	68	87	29	30
	Potassium total	1208	1647	2087	2013	2125
REACTION DU SOL	pH eau	5.99	5.53	5.39	6.20	6.34
	pH KCl	5.12	4.63	4.57	4.96	5.24
	pH eau - pH KCl	0.87	0.90	0.82	1.24	1.10
Al et H éch (méq/100g)	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002

- Les sols bruns eutrophes vertiques

- Vertic Cambisols

Ces sols se caractérisent par des fissures bien marquées et des fentes de retrait de saison sèche d'une profondeur atteignant souvent 20 cm avec des nodules calcaires en profondeur. Le profil caractéristique est F11.

Ces sols se caractérisent par une couleur gris-brun (7,5YR 6/2) en surface et brun (10YR 5/3) en profondeur. La texture est limoneuse en surface et argileuse en profondeur. La structure est polyédrique angulaire fortement développée avec des éléments grossiers moyens et fins. La charge grossière est constituée de gravillons ferrugineux, de concrétions ferrugineuses en surface et peu nombreux en profondeur. Les taches qui existent sont de type brun jaune (10YR 5/6) et gris clair (10YR 7/1).

Les pores et les racines sont nombreux en surface de type fins et très fins. La porosité est dans l'ensemble bonne et la consistance est généralement dure.

Des analyses physiques, il ressort que la teneur en argile augmente avec la profondeur (18,5% en surface et 33% en profondeur). La fraction sableuse importante en surface (44%), décroît dans les horizons intermédiaires (41%) et en profondeur (40%).

Sur le plan chimique, ces sols présentent un pH moyennement à fortement acide, un pH KCl moyen, une teneur en matière organique pauvre en surface et très pauvre en profondeur. Le rapport C/N fort en surface, est bas en profondeur traduisant une forte minéralisation de la matière organique. Le taux de matière organique, pauvre en surface subit une baisse considérable avec la profondeur. Elle passe de 12% en surface à 2% en profondeur.

En outre, ces sols ont une teneur forte à très forte en Ca^{++} , faible en Mg^{++} et très faible en K^+ et Na^+ . La somme des bases échangeables est moyenne, la capacité d'échange cationique faible dans les premiers horizons est forte en profondeur. Ces sols ont un fort taux de saturation en bases, un risque de dégradation physique et chimique faible et une carence en potassium.

La végétation est typique: il s'agit d'une savane parc (savane arbustive), le plus souvent composée des espèces ligneuses comme *Acacia seyal* et *Acacia senegal*, la régénération de ces espèces est souvent très bonne. *Pennisetum pedicellatum* et *Andropogon gayanus* sont les espèces herbacées les plus fréquemment rencontrées.

Tableau n°7: RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F11

	Profondeur (cm)	0-13	13-45	45-80	80-115
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	18.50	30.75	32.75	33.00
	Limon fin %	13.00	12.25	11.00	11.25
	Limon grossier %	18.16	15.23	14.58	15.19
	Sable fin %	31.66	23.04	22.32	21.72
	Sable grossier %	18.68	18.73	19.35	18.84
	Limon/argile Texture	1.68 L	0.89 LA	0.78 LA	0.80 LA
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	1.22	0.55	0.36	0.29
	Carbone (%)	0.71	0.32	0.21	0.17
	Azote total (%)	0.03	0.03	0.02	0.02
	C/N	24	10	10	8
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.25	0.7	0.23	0.23
	Phosphore total	46	69	46	46
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca ⁺⁺)	5.29	6.2	7.15	8.47
	Magnesium (Mg ⁺⁺)	1.77	2.23	2.3	2.00
	Potassium (K ⁺)	0.06	0.07	0.1	0.11
	Sodium (Na ⁺)	0.05	0.06	0.05	0.05
	Sommes des bases (Σ)	7.17	8.56	9.6	10.62
	Capacité d'échange (C)	9.3	9.95	12.55	13.42
	Taux de saturation (S/T) %	77	86	76	79
	Na/T	0.005	0.006	0.007	0.004
	K/T	0.006	0.007	0.008	0.008
	Mg/T	0.19	0.22	0.18	0.15
Ca/Mg	2.99	2.78	3.10	4.23	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	95	78	23	23
	Potassium total	988	1318	1374	1537
REACTION DU SOL	pH eau	5.93	5.42	5.50	6.86
	pH KCl	5.07	4.45	4.43	5.16
	pH eau - pH KCl	0.86	0.97	1.07	1.70
	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.002	0.004	0.003	0.001

2-1-4/ La classe des vertisols

Ce sont les sols d'argiles noires ou foncées relativement à leur teneur en matière organique, riches en argiles gonflantes essentiellement de type montmorillonitique (CASENAVE A. et al., 1989). Le profil caractéristique de cette unité pédologique est F8.

Dans la zone d'étude on rencontre surtout une seule unité pédologique notamment dans la partie Ouest et Sud-Ouest de la zone d'étude, ce sont:

- les vertisols hydromorphes

- Gleyic Vertisols

Ces sols présentent une couleur brun en surface (10YR 5/3) et brun foncé (10YR 3/3) en profondeur. La texture limono argileuse en surface et argilo limoneuse en profondeur. La structure en surface est de type prismatique grossière et polyédrique angulaire fortement développée en profondeur avec des éléments grossiers et moyens. La charge grossière est constituée de quelques concrétions ferrugineuses friables en profondeur.

L'hydromorphie se manifeste par la présence des taches généralement de couleur brun jaune (10YR 5/6) et gris clair (10YR 7/1).

La consistance est généralement dure et il y a présence de fentes de retrait en surface et sur tout le profil. La porosité est très faible, la cohésion ainsi que la consistance sont très fortes. Ces sols sont localisés surtout dans la zone d'étude dans les bas-fonds et dans certaines dépressions (fonds des vallées).

Sur le plan physique, ces sols sont riches en argile; la fraction argileuse est de 35 à 37% en surface et en profondeur. Quant à la fraction sableuse, elle est très faible (10 à 12%) sur l'ensemble des horizons.

Sur le plan chimique, ces sols présentent un pH moyennement acide, une teneur en matière organique pauvre et un rapport C/N moyen dans les horizons intermédiaires et fort en profondeur traduisant une faible minéralisation de la matière organique. Le taux de matière organique est moyen en surface et très pauvre en profondeur.

Ces sols ont une teneur très forte en ions bivalents (Ca^{++} et Mg^{++}) et très faible en K^+ et Na^+ . La somme des bases échangeables est très forte dans l'ensemble, la capacité d'échange cationique moyenne, avec un fort taux de saturation en bases, un risque de dégradation physique et chimique faible ainsi qu'une carence en potassium.

La végétation est surtout caractérisée par une savane arbustive à *Acacia seyal* indiquant souvent la présence de nodules calcaires ou une savane arborée claire comprenant les espèces comme *Ficus sp* et *Butyrospermum paradoxum*. Dans la strate herbacée, *Andropogon gayanus*, *Loudetia togoensis* sont les espèces caractéristiques, elles forment souvent des peuplements denses.

Tableau n°8: RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F8

	Profondeur (cm)	0-17	17-35	35-80	80-120	120-135
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	33.75	35.50	35.25	10.50	36.75
	Limon fin %	25.00	21.00	19.75	45.00	24.75
	Sable fin %	10.31	12.49	12.09	12.62	9.65
	Sable grossier %	0.79	0.65	0.42	0.30	0.28
	Limon grossier %	30.15	30.36	32.49	31.58	28.57
	Limon/argile Texture	1.63 LA	1.45 LA	1.48 LA	7 L	1.45 AL
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	2.05	1.05	0.61	0.6	0.53
	Carbone (%)	1.19	0.61	0.36	0.4	0.3
	Azote total (%)	0.1	0.09	0.04	0.1	0.02
	C/N	12	7	9	17	19
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	0.88	0.39	0.47	0.2	0.2
	Phosphore total	154	139	108	69	62
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium) Ca ⁺⁺	10.72	12.5	12.67	9.8	12.68
	Magnesium (Mg ⁺)	4.18	3.94	4.35	3.5	4.5
	Potassium (K ⁺)	0.24	0.11	0.11	0.1	0.14
	Sodium (Na ⁺)	0.06	0.10	0.10	0.1	0.05
	Sommes des bases (S)	15.20	16.65	17.23	14	17.39
	Capacité d'échange (T)	20.01	21.79	17.62	18	20.54
	Taux de saturation (S/T) %	76	76	98	74	85
	Na/T	0.03	0.004	0.005	0.0	0.002
	K/T	0.01	0.005	0.006	0.0	0.007
	Mg/T	0.21	0.18	0.24	0.2	0.22
Ca/Mg	2.54	3.17	2.91	2.8	2.82	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	40	28	26	25	30
	Potassium total	2196	2416	1592	1428	1867
REACTION DU SOL	pH eau	6.07	5.94	5.91	6.04	6.37
	pH KCl	4.83	4.73	4.64	4.76	4.84
	pH eau - pH KCl	1.24	1.21	1.27	1.28	1.53
Al et H éch (méq/100g)	(Al ³⁺ , H ⁺)	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002

3/ EXPRESSION ET ANALYSES DES RESULTATS DES TRAITEMENTS NUMERIQUES

3-1/ Les coefficients de corrélation

Le tableau de la page suivante présente la corrélation entre les différents canaux utilisés au cours des traitements.

Tableau n°9: Coefficients de corrélation entre les canaux de Landsat TM

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1.000	0.961	0.944	0.893	0.893	0.726
TM2	0.961	1.000	0.982	0.936	0.936	0.697
TM3	0.944	0.982	1.000	0.965	0.965	0.650
TM4	0.893	0.936	0.965	1.000	1.000	0.542
TM5	0.893	0.936	0.965	1.000	1.000	0.542
TM7	0.726	0.697	0.650	0.542	0.542	1.000

Le test de corrélation ou matrice de corrélation peut servir dans le choix des canaux à utiliser dans la suite des traitements. On remarque que TM2, TM5, et TM7 sont les canaux les moins corrélés, mais cette décorrélation est très faible. En principe on pourrait penser que la combinaison de ces canaux serait intéressant et pourrait donner des informations complémentaires en ce qui concerne le thème d'étude. La très faible décorrélation constatée au niveau des canaux utilisés laisse comprendre de même que ces canaux contiennent beaucoup d'informations communes et donc ne permettent pas de ressortir le maximum d'informations. En effet, une composition colorée utilisant ces canaux montre des images qui semblent trop détaillées.

De même, le coefficient de corrélation entre TM4 et TM5 n'est pas correct. Le résultat obtenu signifie qu'il n'y a pas de différence entre ces deux canaux.

3-2/ Les composantes principales

Le tableau n°10 donne le résultat des composantes principales.

Tableau n°10: Principales composantes

Composantes	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP7
% variation	87.68	9.96	1.55	0.62	0.19	0.00

Selon SCANVIC (J.Y.), 1983 le but de l'ACP est de condenser les données

originelles en un nouveau groupement de variables, en d'autres termes en un nouveau système d'axes corrélés entre eux tout en conservant les variations entre les données. La grande majorité des informations se retrouvent le plus souvent dans la première composante qui apparaît comme représentant la moyenne des bandes spectrales.

Dans le présent cas, nous obtenons 88% pour CP1 et environ 10% pour CP2 (confère tableau ci-dessus). Cela veut dire qu'il est possible de combiner presque toutes les informations dans ces deux composantes. Ces valeurs sont comparables à celles obtenues par **BELEMVIRE A. et OSCAR V.D., 1993** qui trouvent respectivement pour CP1 79%, CP2 12%; CP1 87% et CP2 8%. CP1 renseigne le plus souvent sur l'occupation du sol et CP2 sur la végétation. En général, on n'utilise que ces deux premières composantes principales en raison du fait que la troisième contient les bruits de fond et les parasites (**ZONGO D., 1993**). Le niveau de validité du test est de 60% pour le cumul des deux composantes.

3-3/ Données de terrain et carte morphopédologique

Le logiciel utilisé possède deux méthodes de combinaison des données de base pour la confection de cartes. Lorsque les données sont assez représentatives pour la zone, il utilise les coordonnées des observations entre points voisins, effectue des calculs et délimite les différentes unités. Lorsque les données sont dispersées à travers la zone, il procède à un regroupement des différentes unités.

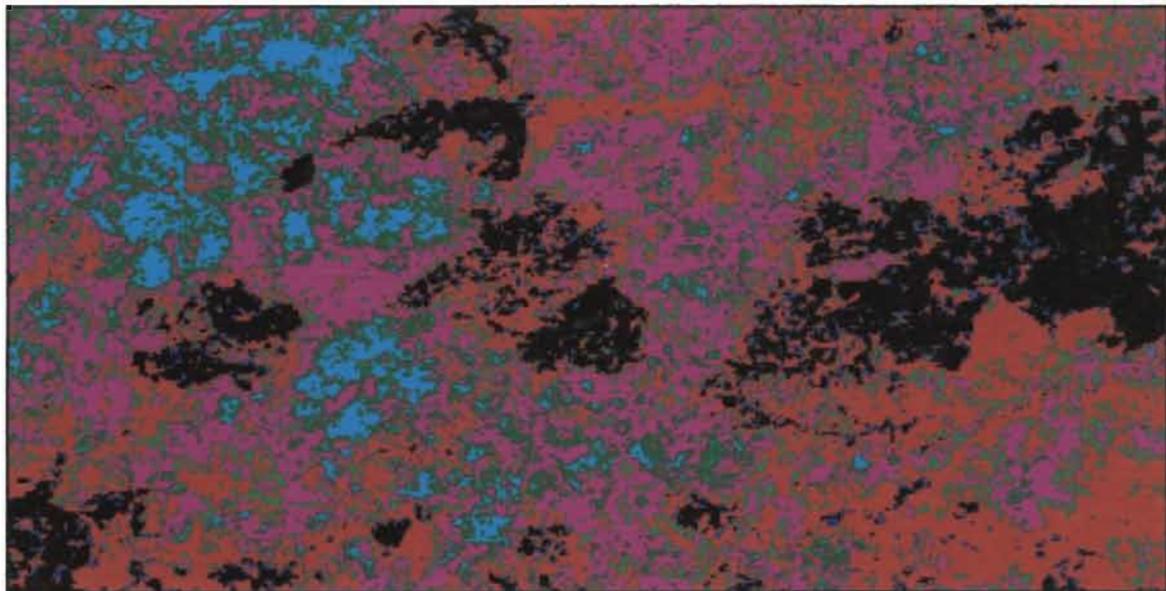
Dans notre cas, il s'avère que les données sont dispersées à travers la carte cela à cause de certains enregistrements des points du GPS qui a été utilisé, ces enregistrements ont été défectueux. Alors que certains points positionnés ne semblent pas donner la localisation normale, d'autres points se retrouvent carrément hors de la zone d'étude.

En effet, sur près de 450 observations, seuls 280 points ont été correctement positionnés sur la carte géomorphologique de base. Des sorties terrain permettant de repositionner ces points n'ont pu être réalisées. A cela, il faut souligner les multiples confusions constatées dans la classification des thèmes retenus par le logiciel.

Pour élaborer la carte morphopédologique finale sous forme d'image, il a été utilisé les observations de terrain, qui ont été codées permettant leur interrogation dans IDRISI.

Le code a porté essentiellement sur les types de sol, la couleur du sol en surface, la texture, la végétation et l'occupation du sol (confère annexe 2). Ces codes ont été projetés sur l'image satellitaire. Les résultats de la projection des observations codées sont donnés par

la carte n°4. Les numéros de code des types de sols sont projetés dans un premier temps sur la carte géomorphologique (confère annexe n°7) pour identifier la répartition des unités pédologiques sur la carte géomorphologique et ensuite sur l'image satellitaire. Ces points projetés ont été regroupés et les informations sont restituées sous forme d'unités pédologiques et données par l'image n°1. Les points présentant le même code sont regroupés. Le maximum de code de points qui se retrouvent sur une même couleur au niveau de l'image détermine l'unité pédologique.



Légende

0 2.25 km

 SBEPE/AG

 SPEA/CA + SBEV+ Vertisols
Hydromorphes

 SBEV

 SFTLIP + SBEPE/AG+ SBEF+
SPER

 SFTLIP

 SBEV+SFTLIP

 SBEV+ SBEPE/AG

Image n° 1 : Image de la morphopédologie de la zone d'étude

SBEPE/AG: Sols Bruns Eutrophes peu Evolués à Affleurements de granite

SBEV: Sols Bruns Eutrophes Vertiques

SFTLIP: Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Profonds

SPEA/CA: Sols peu Evolués d'Apport Colluvio- Alluvial

SBEF: Sols Bruns Eutrophes Ferruginisés

SPER: Sols peu Evolués Régosoliques

(Le tableau n° 11 de la page suivante donne les correspondances des unités géomorphologiques)

L'analyse de ces courbes obtenues à partir des valeurs spectrales des pixels regroupées lors de la classification supervisée révèle l'existence de thèmes différents avec cependant des radiométries assez voisines. Pour une parcelle-test donnée, l'appareil utilise les valeurs radiométriques de tous les pixels qui la composent et calcule une valeur moyenne.

On constate qu'à partir de TM1, TM2 et TM3, il n'y a plus d'évolution significative, ce qui laisse supposer que ces canaux contiennent l'essentielle des informations.

Au niveau des canaux TM4 et TM5, pour les différents thèmes ces courbes restent presque stationnaires ce qui veut dire que ces canaux comportent des informations semblables ou possèdent les mêmes valeurs radiométriques.

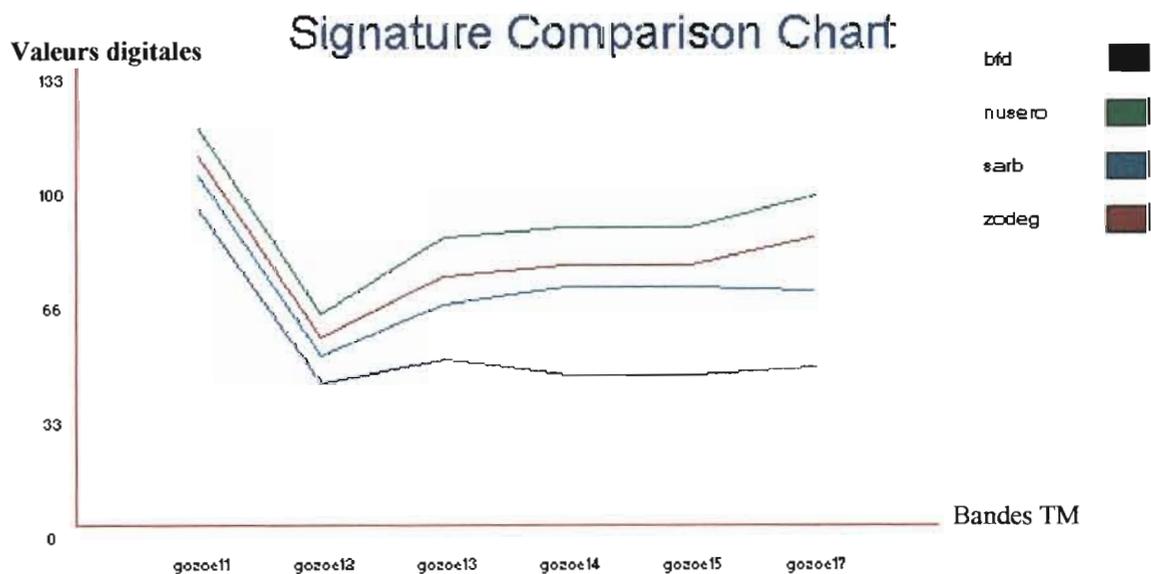


Figure n°9: Signatures spectrales des thèmes retenus

S arb	= Savanes arborées	Nusero	= Sols nus erodés
Bfd	= Bas-fonds	Zodeg	= Zones dégradées

Le programme EDITSIG inclut dans le logiciel nous a permis d'avoir une idée sur l'homogénéité ou sur l'hétérogénéité des unités délimitées concernant les parcelles d'entraînement et les thèmes retenus lors de la classification supervisée. Les figures suivantes donnent leurs résultats sous forme d'histogrammes.

Parmi ces figures, les figures n°10, 12 et 13 respectivement de la classification du thème sur les savanes arborées, des sols nus érodés et des zones dégradées montrent une homogénéité de classification. En effet l'histogramme obtenu est unimodale, l'écart type d'estimation obtenu est faible et la courbe obtenue s'apparente à celle d'une distribution théorique normale, d'où l'homogénéité de ces unités traduisant la bonne délimitation de celles-ci.

La figure n°11 explique les classifications concernant le thème des bas-fonds. Cette figure donne un histogramme bimodale, ce qui veut dire que ces classes ne sont pas homogènes ou autrement dit qu'au sein de ces unités existent d'autres unités.

La présence au niveau des bas-fonds d'autres unités comme les formations arborées, ripicoles ou leurs zones centrales pourrait expliquer cette hétérogénéité révélée par les histogrammes.

Par ailleurs, il faut noter que l'axe des abscisses donne les valeurs des réflectances et l'axe des ordonnées donne le nombre de pixels dans l'image prenant ces valeurs de réflectance. Ces valeurs sont codées (0-256) et chaque code traduit une couleur bien précise. Une valeur de réflectance de zéro est de couleur noire, 255 de couleur blanche, etc..

On peut donc comparer ces valeurs pour les différents thèmes. Au niveau des bas-fonds, la moyenne de la réflectance est la plus faible (91), moyenne (101) au niveau des zones arborées et fortes au niveau des zones nues et dégradées (107- 115). De même, on peut remarquer qu'au niveau de ces deux dernières zones, le nombre de pixels présentant une valeur de réflectance comprise entre 90-100 est négligeable, par contre c'est dans cet intervalle de réflectance que les bas-fonds et les savanes arborées possèdent le nombre maximum de pixels.

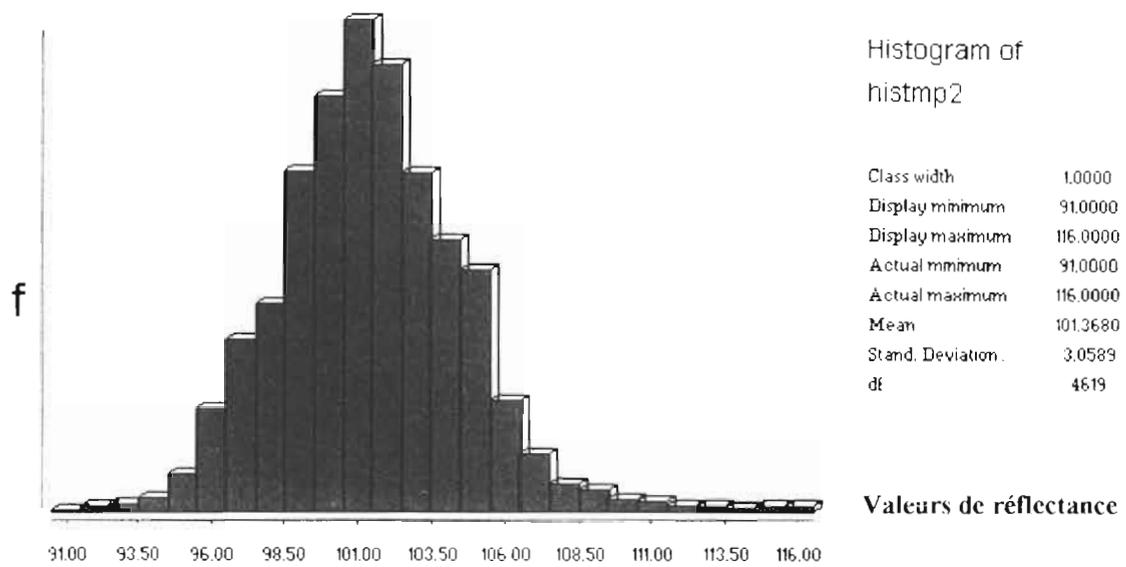


Figure n^o10 : Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des Savanes arborées

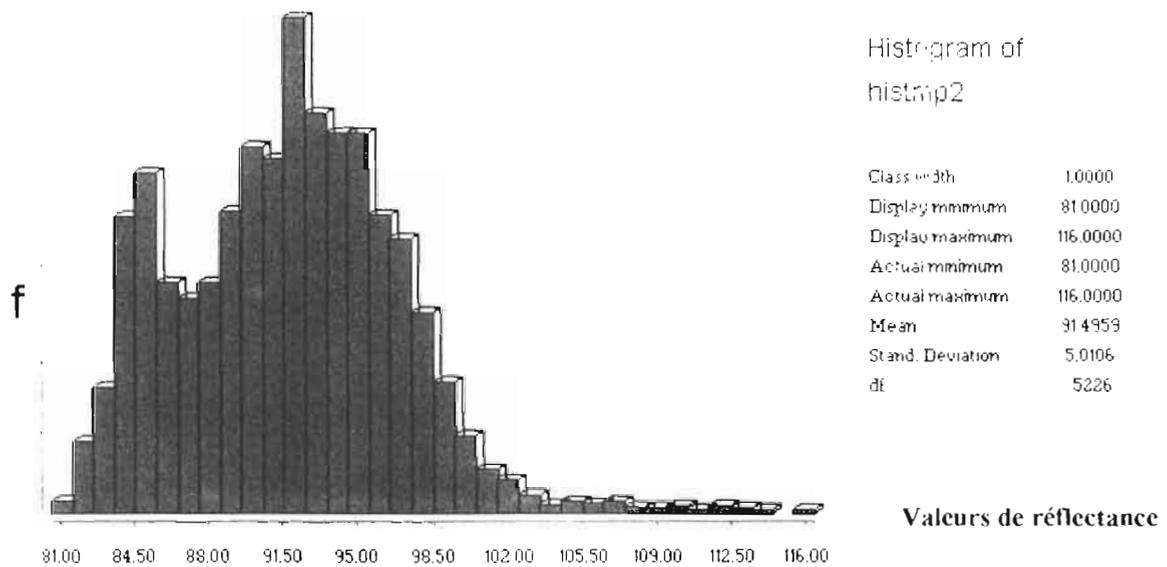
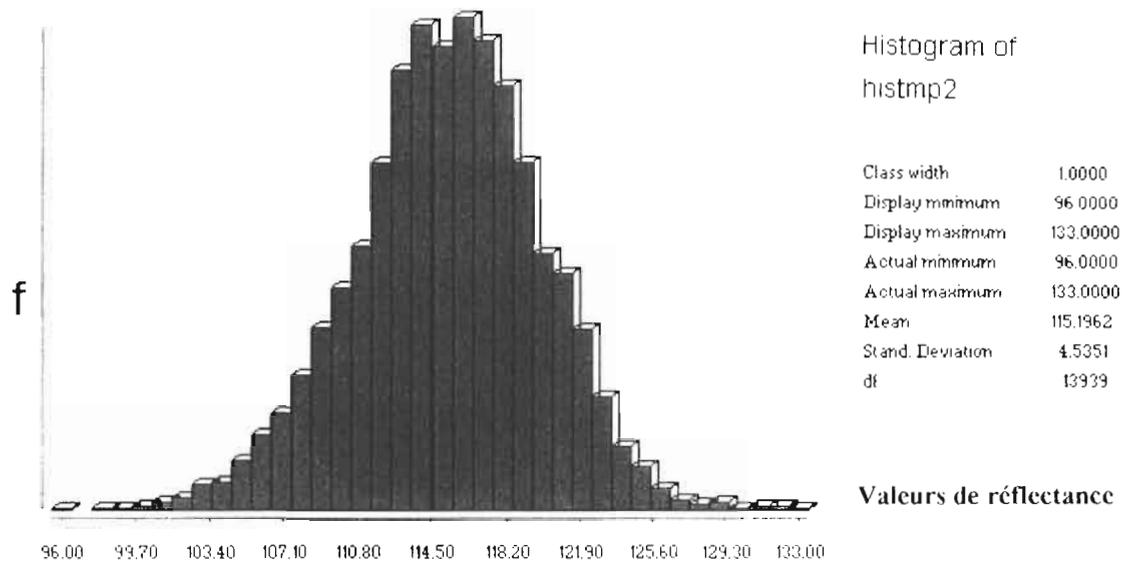


Figure n^o11: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des Bas-fonds



figure⁰12: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des Sols nus érodés

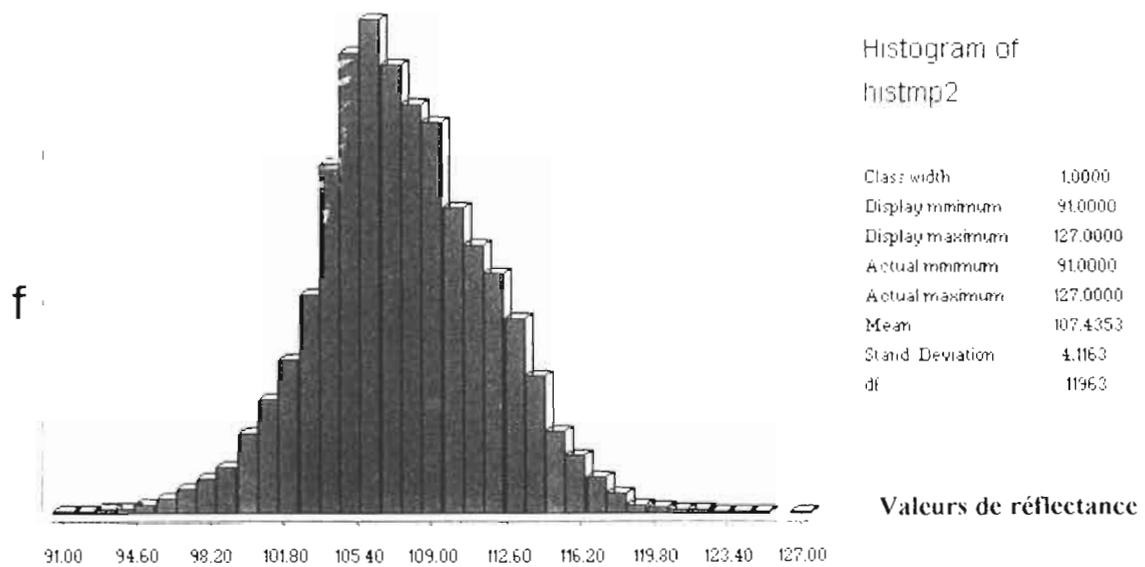


figure n⁰13: Fréquences de distribution des valeurs de réflectance au niveau des Zones dégradées

3-5/ Résultats de l'image d'Indice de Végétation (IV)

Cet indice en rappel correspond grosso-modo à la différence entre la mesure dans le proche infra-rouge et le rouge. Cet indice a permis de séparer la composante "végétation" de la composante "sol" dans la réponse spectrale.

L'image d'indice de végétation fait ressortir la végétation des zones cultivées, les formations arbustives, les formations arborées des bas-fonds, les formations ripicoles bordant les cours d'eau (confère image n°2).

En effet, les sorties sur le terrain en appui avec l'utilisation des photographies aériennes et la projection des points de sondage sur l'image satellitaire lors de nos traitements des données confirment l'existence des types de végétation donnés par l'image d'indice de végétation. On peut remarquer surtout que la végétation dense et arborée se retrouve au voisinage des bas-fonds. La végétation arbustive et les zones dépourvues de végétation n'ont pas pu être discriminées: elles ont été fusionnées en une seule unité. Elles occupent ainsi la plus grande superficie dans la zone d'étude.

Le code de la végétation a été utilisé pour caractériser la végétation en comparaison avec les données de l'indice de végétation, mais il faut souligner que les observations sont hétérogènes et insuffisants pour établir ces comparaisons.

Dans la caractérisation de la couverture de la terre, il a été utilisé le code de la végétation de l'utilisation des terres conjointement avec l'image d'IV, mais il faut souligner que l'image étant acquise en saison sèche, on ne parvient pas à faire un lien très significatif avec celle-ci.

Les autres codes ont été utilisés pour l'interrogation de la base de données. Cette interrogation consiste à poser une question simple au SIG. Il est par exemple demandé au SIG la valeur de tel attribut pour tel objet, la situation de telle parcelle présentant telle pourcentage d'arbres, d'arbustes et de sol nu, la sélection de tel type de sol sur telle unité géomorphologique, etc..

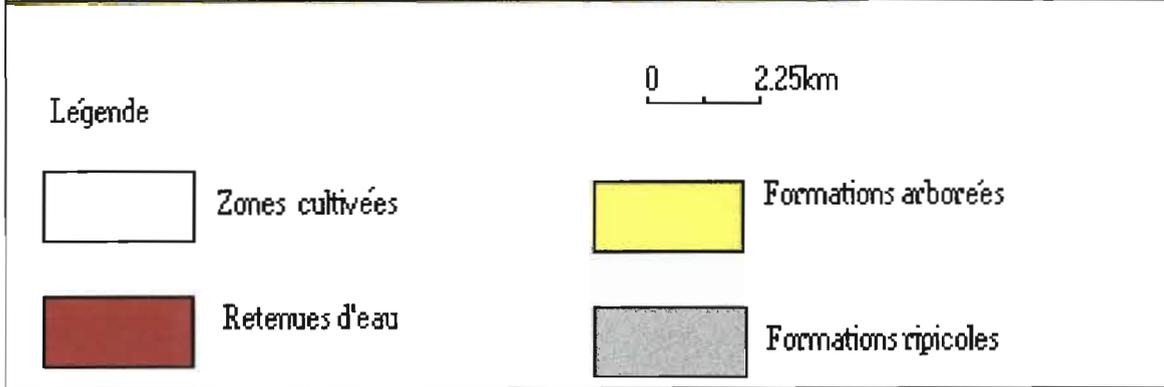
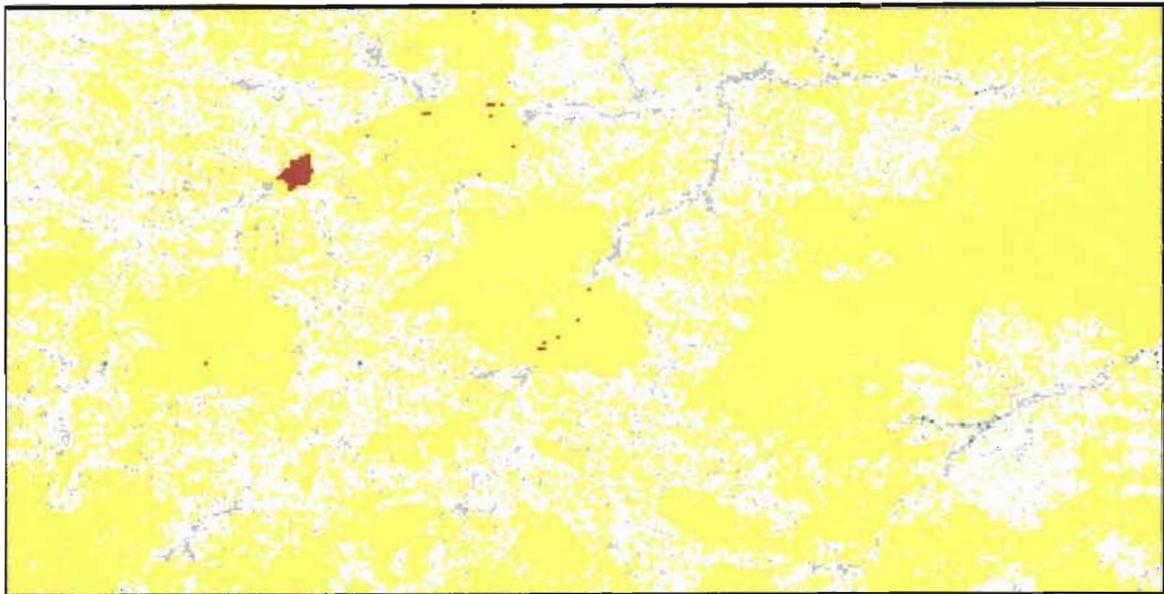


Image n°2: Image d'Indice de Végétation

3-6/ Résultats de l'indice de brillance

L'indice de brillance en rappel renseigne sur l'état de brillance du sol. Il exprime l'intensité avec laquelle un objet réfléchit une certaine teinte. Cet indice est calculé à partir des réponses spectrales du TM2 et du TM4 proche infra-rouge. Le principe de la faible réflectance de l'eau dans le canal infra-rouge permet d'affirmer que l'eau présente la plus basse valeur de l'IB. D'une manière générale, plus les sols sont secs et clairs et plus leur valeur de réflectance est élevée.

En effet, sur la composition colorée de l'image d'IB que nous avons réalisé (confère image n°3), les zones de retenue d'eau et les surfaces recouvertes de végétation présentent des teintes foncées alors que les surfaces dépourvues de végétation et les zones dégradées, présentent la teinte décolorée indiquant leur valeur de réflectance forte. Selon OSCAR et al., 1993, les sols nus sableux ont une réflectance élevée.

Cet indice peut permettre de détecter les affleurements de roche et de cuirasse dans la mesure où ces unités secs et clairs présentent aussi une valeur d'indice élevée.

Cet indice dans notre cas, a permis d'identifier les zones humides ou pourvues de végétation. En supposant que les retenues d'eau et les zones humides, de végétation absorbent beaucoup de lumière, la réflectance est alors faible pour ces entités, ce qui se traduit par la teinte foncée.

En comparant l'image d'IV à celle d'IB, on constate que ces deux images se superposent à certains endroits: les formations ripicoles au niveau de l'image d'IV se retrouvent au niveau des zones humides sur l'image d'IB. De même, les zones cultivées au niveau de l'image d'indice de végétation presque nues au moment de la prise de vue se retrouvent dans les zones de végétation peu dense, sur l'image d'IB. Au niveau de l'IB, ces zones sont à fort indice de brillance, ce qui confirme bien le fait que ces sols sont presque dépourvus de couvert végétal.

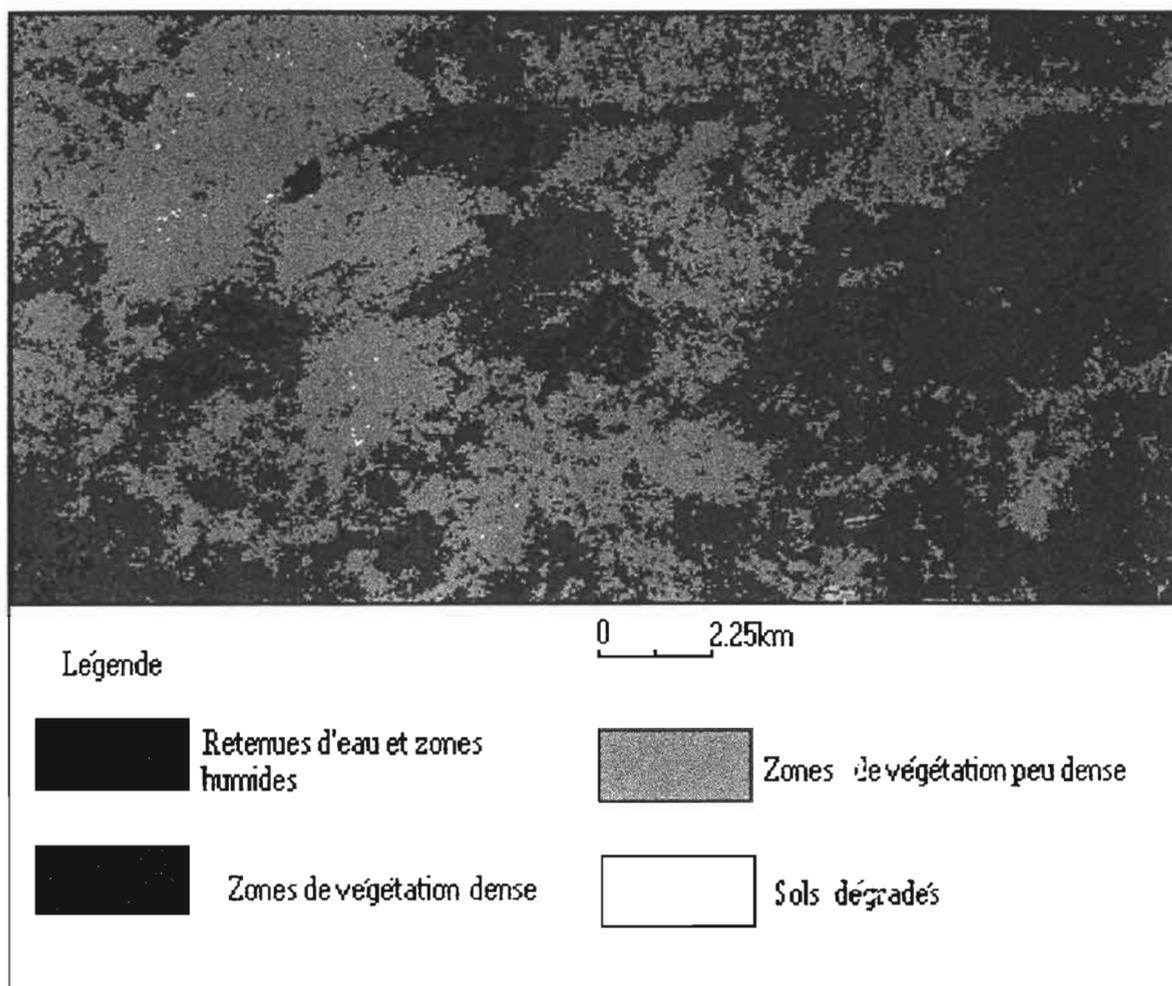


Imagen 03: Image d'indice de brillance

3-7/ Résultats des classifications

3-7-1/ Résultats du Maximum Likelihood Classification

Les pixels sont classés par rapport à la distance au centre des classes, mais aussi à la probabilité d'appartenir à la classe.

Les résultats du Maximum likelihood classification sont donnés par l'image n°4. On constate que cette classification fait ressortir en effet les unités qui se ressemblent comme les bas-fonds, les formations ripicoles, les sites de retenue d'eau et les zones humides. Sur l'image, les sols nus et les zones de végétation peu dense sont à cet effet classées ensemble de même que les zones humides et de végétation. Cette classification ne laisse pas apparaître beaucoup de confusions, mais il faut souligner qu'il ne semble pas donner le maximum d'information quant à la signification des teintes.

3-7-2/ Résultats du Parallelipiped Classification

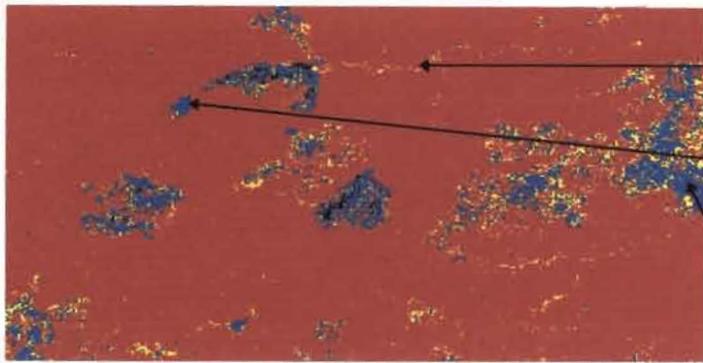
Cette classification représente la fréquence la fréquence d'apparition dans l'image d'associations de valeurs radiométriques dans les différents canaux. Les résultats du parallelipiped classification sont donnés par l'image n°5. Cette image présente des zones de similitude avec l'image de classification selon le maximum de vraisemblance. De cette classification, il en résulte une confusion entre les zones humides et les zones de végétation. De même, les zones centrales des bas-fonds ne sont pas bien visibles et il y a beaucoup de confusions à certains endroits entre les zones de végétation dense et les bas-fonds.

3-7-3/ Résultats du Minimum Distance Classification

Cette méthode utilise la distance euclidienne classique. Chaque classe est définie par une moyenne et un écart type.

Ces résultats sont donnés par l'image n°6. Cette classification fait ressortir le maximum d'unités. De même, elle fait ressortir le maximum d'unités. Ainsi, les retenues d'eau, les bas-fonds et la végétation qui se dresse autour de ces unités sont de teinte noirâtre, les formations ripicoles et la végétation arborée de teinte bleuâtre. Les endroits de teinte décolorée correspondraient aux zones complètement nues. A certains endroits, l'image d'indice de végétation se superpose avec l'image issue de cette classification.

De toutes les classifications, on peut retenir que cette classification donne beaucoup plus d'informations sur les éléments du paysage.

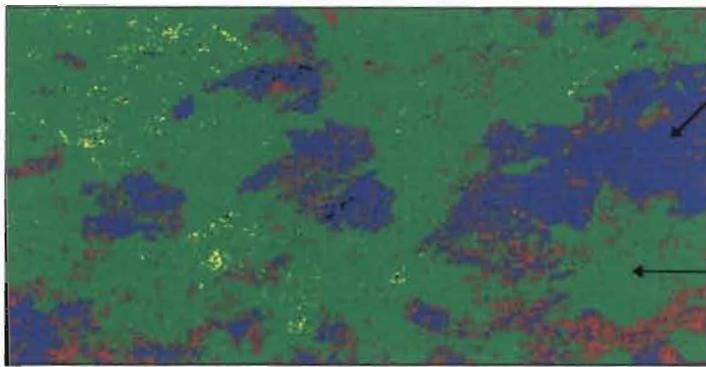


Formations ripicoles

Retenue d'eau

Zones humides

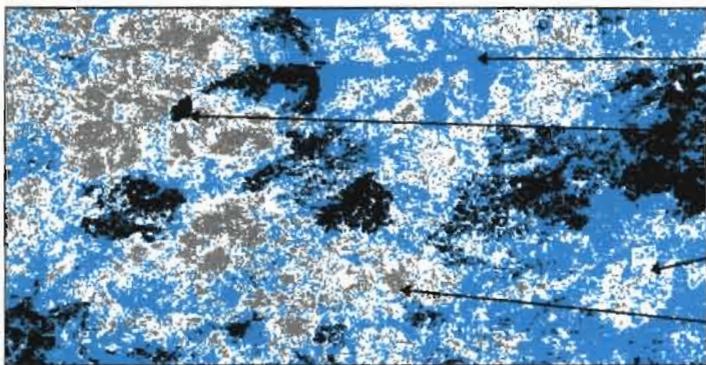
Image n°4: Image du Maximum Likelihood Classification



Zones humides et de végétation dense

Sols nus+ végétation clairsemée

Image n°5: Image du Parallelepiped Classification



Formations ripicoles/
Formations aborées

Zones humides/
bas-fonds

Sols nus

Végétation clairsemée

Image n°6: Image du Minimum Distance Classification

3-8/ Analyse des résultats des traitements

A partir de la classification supervisée que permet le logiciel IDRISI, la discrimination des unités de sol n'est pas très parfaite avec l'image qui a été utilisée. Les résultats obtenus rendent compte de la difficulté qu'il y a à cartographier le sol à grande échelle avec l'image qui a été utilisée. Ces difficultés tiennent à plusieurs niveaux:

*** particularité des SIG**

Les Systèmes d'Informations Géographiques sont des outils performants d'aide à la décision par leur puissance de calcul, et de leur capacité de localisation spatiale de l'information et de restitution de cette information. Mais il faut reconnaître que leurs données sont souvent entachées d'erreurs et d'imprécision pas toujours facile à détecter et/ou à quantifier.

Les erreurs les plus fréquentes peuvent résulter des traitements numériques, de la faible densité des observations et de la distorsion des cartes lors de la digitalisation (KHOUMA M. *et al.*, 1996).

Le SIG IDRISI qui a été utilisé possède l'avantage d'être meilleur marché, facilement utilisable (en comparaison par exemple avec ARC/INFO) et offrant surtout de nombreuses possibilités en matière de traitement d'images télédéteçtées mais l'inconvénient est que les localisations des points d'observations à l'égard de l'un et de l'autre sont souvent imprécis (J. RONALD, 1995).

*** Le type d'image**

Aussi, la cartographie thématique à base de données satellitaires présente donc de nombreux avantages mais n'est pas exempte de risques d'erreurs qui peuvent provenir d'une part de la méthodologie utilisée et d'autre part de la qualité de l'image dont les valeurs spectrales enregistrées peuvent avoir été perturbées par des conditions atmosphériques locales telles que les nuages (ZONGO D., 1993).

Il faut souligner surtout que l'image avec laquelle nous avons travaillé n'est pas de très bonne qualité et il est difficile de s'assurer de la qualité des corrections atmosphériques apportées par les sociétés de distribution des images. Dans notre cas, l'image datant du mois de mars est plus ou moins susceptible d'être affectée par des effets atmosphériques.

En effet, des études utilisant des images satellitaires de la série Spot acquises à différentes périodes (février, juin, octobre, mars et décembre) ont décelé particulièrement sur la scène datant du mois de mars, une affectation par une quantité importante de poussières atmosphériques (MOUGENOT B. et al., 1996).

Le calcul des coefficients de corrélation ont montré qu'il n'y avait pas de différence entre les canaux de TM4 et de TM5, cela peut aider à expliquer la mauvaise qualité à certains niveaux de l'extrait de l'image qui a été utilisée. Ces deux canaux comportent alors des informations semblables. Ce résultat est confirmé aussi par la figure n°9.

De même, un autre problème se pose, l'image a été acquise en milieu de saison sèche (mars 1987), alors que l'essentiel de nos travaux de terrain se sont déroulés en Décembre 1996. La période de prospection sur le terrain ne correspond donc pas à la période d'acquisition de l'image satellitaire.

Nous sommes arrivés néanmoins à caractériser le sol à travers les observations de terrain qui ont été insuffisantes. Cependant la détermination du pourcentage des types de sols décrits n'a pas été possible. Aussi, seule la discrimination entre les grandes unités comme les zones humides, les zones dépourvues de végétation, les formations arborées et arbustives semble très parfaite en ce qui concerne la couverture de la terre.

La prospection pédologique ayant permis de vérifier le maximum d'unités géomorphologiques sur le terrain, nous avons pu constater que certaines unités comme les buttes et les collines étaient très peu nombreuses dans la zone d'étude. L'échelle des photographies aériennes n'a pas aussi permis de les identifier. Pour les buttes visibles sur la carte géomorphologique, malgré les multiples classifications, on constate des confusions dans ces zones au niveau de l'image.

Quant aux affleurements de roche et les buttes la seule explication possible quant à leur non identification sur l'image satellitaire serait leur très faible étendue liée à l'échelle et à la qualité de l'image.

En principe, l'influence de la couverture végétale étant minimisée, cela devrait permettre de discriminer aisément les unités géomorphologiques et de pouvoir caractériser le sol, ce qui n'a pas été le cas.

De façon générale, les unités géomorphologiques exception faite de certains bas-fonds, retenue d'eau et certains glacis ne sont pas parfaitement identifiables sur les images.

Nous pouvons dire à partir de notre expérience, qu'il n'est pas possible d'arriver à une bonne discrimination à grande échelle des unités du paysage à partir des images TM. Cela peut s'expliquer aussi par le fait que le milieu du Zoundwéogo n'est pas un milieu ouvert comparativement au milieu sahélien, milieu sableux à faible couverture végétale et facilement accessible par les satellites.

Les confusions principales proviennent d'une mauvaise discrimination de certaines unités et indiquent la difficulté qu'il y a à étendre les résultats d'une parcelle test à un ensemble d'unités de sol le plus souvent très hétérogènes.

*** Collecte des données de terrain**

Les observations de terrain intégrées dans IDRISI n'ont pas été suffisantes pour être restituées sous forme de carte. Le GPS utilisé n'a pas permis de restituer toutes les observations de terrain. Il serait nécessaire d'effectuer en même temps des sorties de terrain complémentaires pour relocaliser les points GPS défectueux afin d'obtenir suffisamment de données et vérifier les différentes classifications réalisées sur le terrain.

Dans une telle perspective, une très bonne investigation de terrain reste indispensable pour la cartographie à base de données satellitaires et le positionnement correct des points d'observation ou d'échantillonnage en termes de coordonnées est un minimum qu'il faut s'efforcer d'obtenir car la représentativité des données en dépend. Ceci corrobore avec les observations de plusieurs auteurs. En effet, selon **DIZIER J.L. et al., 1986** toute analyse du milieu physique par télédétection (aérienne ou spatiale) nécessite une bonne connaissance du terrain sur le site d'étude impliquant une phase de reconnaissance et d'enquête au sol.

CONCLUSION GENERALE

La caractérisation des sols de la zone Est de la province du Zoundwéogo par télédétection et SIG a permis de montrer une hétérogénéité pédologique du milieu. La démarche a consisté à une interprétation de photographies aériennes, de sondages au sol et à l'utilisation des procédures de traitements analogique et numérique des données de l'image Landsat TM.

Au total, sept types de sols ont été individualisés au sein de cinq principales unités géomorphologiques que sont les bas-fonds, les glacis moyens, les bas glacis, les buttes et affleurements cuirassés et les buttes et affleurements rocheux.

Sur le plan morphologique, les sols décrits dans la zone d'étude sont caractérisés le plus souvent par une couleur brun (10YR 5/3) à brun jaunâtre (10YR 5/6) en surface et en profondeur pour la plupart des sols, exception faite des sols bruns eutrophes (ferruginisés et peu évolués) à ce niveau, la couleur de ces sols est olive surtout en profondeur (hue 2,5Y).

Au plan physique, la composition texturale des sols est variable. Elle est le plus souvent limoneuse à limono sableuse en surface et argileuse en profondeur.

Au plan chimique, ces sols présentent un pH dans l'ensemble moyennement à fortement acide, un taux de matière organique pauvre et un rapport C/N bas à très bas traduisant une importante minéralisation de la matière organique.

En outre, ces sols ont dans l'ensemble une teneur relativement moyenne en bases échangeables avec une teneur moyenne à forte pour les ions bivalents Ca^{++} et Mg^{++} tandis que les ions monovalents sont en général insignifiants. Ces sols présentent aussi un risque de dégradation physique et par des paramètres chimiques faible ainsi qu'une carence en Potassium.

A partir des objectifs fixés pour cette étude, les différentes étapes des investigations indiquent les résultats que l'on peut attendre de l'imagerie satellitaire.

Les différents outils utilisés pour cartographier et caractériser les sols et certaines unités du paysage (végétation, etc..) de la zone Est de la province du Zoundwéogo sont apparus complémentaires.

L'outil de télédétection nous apparaît indispensable pour atteindre les objectifs préfixés par la vue synoptique qu'elle offre.

L'outil SIG apparaît particulièrement performant et adéquat surtout si l'on dispose de

suffisamment d'observations de terrain.

Les résultats obtenus quoique significatifs laissent apparaître certaines difficultés liées notamment à l'établissement de relations entre les données satellitaires et les données terrain pour l'élaboration d'une carte de sols. L'image satellitaire n'a pas apporté des précisions complémentaires quant à la délimitation des unités géomorphologiques et les différentes classifications réalisées laissent apparaître beaucoup de confusions sur l'image.

Nous pensons donc que l'utilisation d'images très récentes ou conjointement avec d'autres types d'images (images Spot).

L'application d'autres méthodes de prospection dans le souci de recueillir le maximum de données terrain avec des périodes d'investigations tenant en compte la période d'acquisition de l'image. Aussi, l'utilisation d'autres appareils de positionnement plus modernes (Geoexplorer) permettrait de restituer plus ou moins la totalité des observations de terrain.

Le SIG utilisé ayant montré des insuffisances notamment dans la précision des différentes classifications, nous proposons pour palier à ces insuffisances, l'utilisation d'autres logiciels de traitements des images comme ARC/INFO qui offre beaucoup de possibilités quant aux traitements des images satellitaires.

Un des prolongements possibles de cette étude serait de rechercher des observations de terrain complémentaires, d'inclure l'aspect de l'occupation des sols et d'utiliser les données disponibles afin d'évaluer les aptitudes culturales des terres.

BIBLIOGRAPHIE

Antenne Sahélienne / UAW, 1993: Aménagement et gestion des espaces sylvo-pastoraux au Sahel, UAW/UO, Ouagadougou, Burkina Faso, 38p.

BAIZE D., 1988: Guide des analyses courantes en pédologie, INRA/ Paris, 100p.

BAZIE G., 1995: Analyse agro-économique des activités de fertilisation du village de Yakin dans la province du Zoundwéogo. Mémoire de fin d'études I.D.R., 100p.

BELEMVIRE A., 1993: Contribution à l'étude de la cartographie des états de surface et à l'estimation de la biomasse ligneuse aérienne à partir de l'image Landsat Thematic Mapper. Essais de mesures radiométriques. Etudes menées à Kaya, mémoire de fin d'études I.D.R., 70p. +annexes.

BONN F. et ROCHON G., 1992: Précis de télédétection. Principes et méthodes, vol 1, 450p+annexes.

BONNARD L.F., 1967: Carte géologique de Pô, échelle 1/200.000. Archives Cellule information et Documentation du BUMIGEB, Ouagadougou.

BOULET R. et FAUCK R., 1976: Carte des ressources en sols de la H.V. Carte des unités agronomiques déduites de la carte pédologique à l'échelle 1/500.000, 97p.

BOULET R., 1968: Carte de reconnaissance de la Haute Volta. ORSTOM, Paris.

BUNASOLS, 1995: Etude morphopédologique de la province du Bam, échelle 1/50.000, vol.1 rapport technique n°97, 95p.

BUNASOLS, 1987: Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes, documentation technique n°3, 158p.

BUNASOLS, 1989: Méthodologie de prospection Pédologique, document technique n°5, 121p.

BUNASOLS, 1990: Manuel pour l'évaluation des terres, document technique n°6, 130p.

C.P.C.S.(Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols), 1967: Edition laboratoire Géologie - Pédologie. ENSA/GRIGNON, 87p.

CASENAVE A. et VALENTIN C., 1989: Les états de surface de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration. Edition ORSTOM, Paris, 229p.

DIRH (Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques) et IWACO B.V., 1993: Carte hydrogéologique du B.F., échelle 1/500.000, feuille Tenkodogo, 37p. +annexes.

DIZIER J.L.; LEO O., 1986: Télédétection: techniques et applications cartographiques, Agridoc, 260p.

ESCADAFAL R.; GIRARD M.C., COURAULT D., 1988: La couleur des sols: appréciation, mesure et relations spectrales. Agronomie, 8(2), p147-154.

FAO/UNESCO, 1994: Soil Map of the world. Revised legend with corrections. Published by ISRIC, Wageningen, 140p.

GTZ: Coopération technique allemande, 1991: La lutte contre la désertification et la gestion des ressources naturelles dans les zones sèches du tiers monde, 45p.

GUINKO S. et DILEMON S., 1992: Etude des ressources forestières de la province du Zoundwéogo. Rapport final tome 2, 96p. +annexes.

GUINKO S., 1984: Végétation de la Haute Volta, thèse doctorat ès-Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III, tome 1, 318p.

HOTTIN G. et OUEDRAOGO F., 1975: Carte géologique de la République de Haute Volta, notice explicative. Direction de la Géologie et des mines, échelle 1/100.000.

IDRISI Manuel, 1990: Geographic Analysis System, version 4.1.

INERA et BUNASOLS, 1996: Interprétation agronomique des données de sols. Un outil pour la gestion des sols et le développement agricole, séminaire BUNASOLS/INERA, 14-16 mars 1995, 65p.

ISRIC (International Soil Reference and Information Center): Directives pour la description des sols, ressources, aménagement et conservation, 3ème édition révisée, 70p.

JEAN Ronald Eastman, 1995: Idrisi for windows, user's guide, version 1.0, p1-p50.

KALOGA B., 1964: Reconnaissance pédologique des bassins versants des voltas Blanche et Rouge, vol 1, édition ORSTOM, 133p.

KHOUMA M.; BOCK L.; MATHIEU L. ENGELS P., 1996: Systèmes d'informations géographiques et gestion des données de sols dans Surveillance des sols par télédétection et SIG. Actes du symposium international AISS du 6-10 février, Ouagadougou, éditions ORSTOM, p35-p51.

KING D.; BURRILL A., 1993: Apports réciproques des SIG et de la télédétection pour l'élaboration d'un système d'informations sur les sols d'Europe dans Surveillance des sols par télédétection et SIG. Actes du symposium international AISS du 6-10 février, Ouagadougou, éditions ORSTOM, Paris, p3-p15.

LAMBIN E., 1988: Apport de la télédétection pour l'étude des systèmes agraires et la gestion des terroirs en Afrique Occidentale. Exemples au Burkina Faso: thèse de doctorat, 200p.

MAIGNËN R., 1969: Manuel de prospection Pédologique. Document technique n°11, ORSTOM, Paris, 130p.

MOKADEM I. et NONGUIERMA A., 1989: Synthèse sectorielle de la télédétection appliquée en Afrique de l'Ouest, 33p.

MOUGENOT B.; CAILLOT D., 1996: Identification par télédétection des sols dégradés d'un domaine sahélien au Niger dans Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et SIG. Actes du symposium international AISS, éditions ORSTOM, Paris, p169-p179.

MULDERS M.A., 1992: Rapport d'une mission pédologique à Kaya. Antenne Sahélienne UO/UAW Ouagadougou, Burkina Faso, 25p.

MULDERS M. A., 1996: Soil and land use of the Kaïbo area at medium scale, AS/ UAW, Ouagadougou, Burkina Faso, 57p.

MUNSELL C., 1994: Soil color charts (revised edition), Macbeth Division NY 12553.

OSCAR V.D. et BELEMVIRE A., 1993: Recherche du sol et de la Télédétection à Kaya, publication Antenne Sahélienne, Ouagadougou, 47p.

OUEDRAOGO D.D., 1996: Cartographie et suivi de l'évolution de l'occupation des sols au Sahel par l'utilisation de la télédétection : cas de Bidi 2 et de Petoy dans la province de l'Oudalan, mémoire de fin d'études IDR, 80p.

P.D.I/Z, 1996 et B.A.Z.U.R.(Bureau d'Etudes et d'Aménagement des Zones Urbaines et Rurales): Aménagement de la plaine en aval de Gogo. Avant projet détaillée, 65p.

P.D.I/Z, 1993 : Troisième phase du projet (1994-1998), manga, mars 1993, 100p.

SCANVIC J.Y., 1983: Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. Manuels et Méthodes, 158p.

STROOSNIJDER L., 1993: Gestion des Ressources Naturelles au Sahel, sous programme VF. Antenne Sahélienne UO/UAW, Ouagadougou, 50p.

TEISSIER J., 1974: Etude morphopédologique des blocs expérimentaux de Mogtédou, Kaïbo, Bané et Tiébébé, échelle 1/20.000 République de Haute Volta, IRAT/AVV, 93p.

TRIMBLE NAVIGATION, 1990: GPS Pathfinder, Basic manuel, PF BASIC Release 1.00, Part Number 16848, Revision B, Déc. 1990.

TRINQUARD R., 1971: Notice explicative de la carte géologique de la République de H.V. à l'échelle de 1/200.000, feuille Tenkodogo, 37p. +annexes et cartes.

ZERBO L., 1991: Contribution à la caractérisation morphopédologique et structurale de trois bas-fonds de la province du Yatenga. Contraintes et aptitudes rizicoles, mémoire de fin d'études I.D.R., 128p.

ZERBO L.; THIOMBIANO L., 1996: Caractérisation des sols de la station de recherches agricoles de Katchari par télédétection et données terrain dans Surveillance des sols par télédétection et SIG. Actes du symposium international AISS du 6-10 février, Ouagadougou, éditions ORSTOM, p341-p350.

ZONGO D., 1993: Application de la télédétection à la cartographie des formations végétales et des états de surface au Sahel, cas de Bidi, nord Yatenga, 140p. +annexes.

ANNEXE 1: Description détaillée et résultats analytiques des profils

DESCRIPTION DU PROFIL N°F16

DATE: 09/01/1997

LOCALISATION

coordonnées UTM: X: 713161

Y: 1290060

LIEU: NAGRIGRE

AUTEURS : ZERBO/KABORE/ZABRAMBA/NACOUлма

CLASSIFICATION CPCS(1967) : SOL BRUN EUTROPHE FERRUGINISE

CLASSIFICATION FAO (1988): Ferralic Cambisols

VEGETATION : Savane Arborée claire à *Diospyros mespiliformis*

et *Butyrospermum paradoxum*

UTILISATION ACTUELLE : Friche

POSITION PHYSIOGRAPHIQUE : Bas glaciais

MICROTOPOGRAPHIE : Pente

TOPOGRAPHIE ENVIRONNANTE : Légèrement ondulée

PENTE : 0 - 2%

MATERIAU PARENTAL : Alluvions

AFFLEUREMENTS : Aucun

DRAINAGE : normale

ETAT DE SURFACE : Ruissellement

ETAT DE DEGRADATION DU MILIEU : Assez faible

NAPPE : Non observée

RISQUES D'INONDATION : Faible

EROSION : Faible

TYPE D'EROSION : En nappe

Commentaires

0 - 15 cm : La couleur est brun-gris (2,5Y 5/2) à l'état sec et brun-gris très sombre (2,5Y 3/2) à l'état humide. La texture est de type Limono argilo sableux et la structure massive à sous structure polyédrique angulaire faiblement développée avec des éléments grossiers moyens et fins. Les éléments grossiers constitués de graviers de quartz, de gravillons ferrugineux sont de l'ordre de 5 à 10%. Quant aux pores, ils sont très nombreux de type fins moyens et larges. Les taches, de l'ordre de 20% sont de type brun-jaunâtre (10YR 6/6) et rouilles. Le profil racinaire comprend de nombreuses racines très fines et fines. La consistance est dure et la transition est graduelle ondulée.

15 - 33 cm: La couleur est brun (10YR 5/3) à l'état sec et brun très sombre (10YR 4/3) à l'état humide. La texture est de type limono argileuse et la structure à sous structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens, grossiers et fins. Les éléments grossiers sont constitués de concrétions ferrugineuses de l'ordre de 10 à 15%. Quant aux pores, ils sont nombreux de type fins, moyens et larges. Les taches, de l'ordre de 50%, sont de type brun-jaunâtre, rouilles et gris-clair. Le profil racinaire comprend de nombreuses racines fines et très fines. La consistance est dure et la transition est distincte irrégulière.

33 - 77 cm : La couleur est brun jaune (10YR 6/6) à l'état sec et jaune-brun très foncée (10YR 5/6) à l'état humide. La texture est Argileuse et la structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens et fins. Les éléments grossiers sont constitués par ordre d'importance de concrétions ferro-manganifères de gravillons ferrugineux et de quelques graviers de quartz. Les pores sont peu nombreux de type fins et moyens. Les taches de l'ordre de 70% sont gris-clair (10YR 7/2) et brun-jaunâtre (10YR 6/6). Les racines sont rares et très fines; la consistance est peu dure et la transition est diffuse.

77 - 96 cm : La couleur, la structure, la composition et le type d'éléments grossiers et de taches sont identiques à l'horizon précédent, la texture est Argileuse. Les taches ici sont très nombreuses (90%) et les racines très rares et très fines; la consistance est très dure et la transition distincte irrégulière.

96 - 110 cm : La couleur, la texture et la structure sont identiques à l'horizon précédent. Les éléments grossiers sont constitués de graviers de quartz de, gravillons ferrugineuses, de concrétions ferrugineuses et ferro-manganifères de l'ordre de 60%. Quant aux pores, ils sont peu nombreux et fins. Les taches de l'ordre de 90% sont gris-clair et brun-jaune. Dans cet horizon, on y observe la roche-mère constituée de granite à altération plus ou moins forte.

RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F16

	Profondeur (cm)	0-15	15-33	33-77	77-96	96-115
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	21.50	36.00	36.50	40.00	38.75
	Limon fin %	10.00	10.00	10.25	12.50	6.75
	Sable fin %	24.68	17.33	15.67	17.61	14.99
	Sable grossier %	27.37	24.83	26.75	19.33	28.19
	Limon grossier %	16.45	11.85	10.84	10.56	11.32
	Limon/argile	1.22	0.608	0.58	0.58	0.46
	Texture	L	LA	LA	A	A
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	2.07	1.28	0.57	0.38	0.34
	Carbone (%)	1.20	0.74	0.33	0.22	0.20
	Azote total (%)	0.07	0.05	0.05	0.03	0.04
	C/N	16	14	7	7	5
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.41	0.55	0.31	0.47	0.23
	Phosphore total	100	62	54	46	62
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca++)	4.38	5.55	6.25	6.77	7.89
	Magnésium (Mg++)	1.35	1.38	1.48	1.66	1.92
	Potassium (K+)	0.06	0.04	0.07	0.13	0.15
	Sodium (Na+)	0.07	0.03	0.14	0.22	0.23
	Somme des bases (S)	5.86	7.01	7.93	8.77	10.19
	Capacité d'échange (T)	9.52	8.50	10.23	11.0	11.19
	Taux de saturation (S/T) %	62	82	78	80	91
	Na/T	0.07	0.003	0.013	0.010	0.002
	K/T	0.06	0.005	0.007	0.01	0.013
	Mg/T	0.23	0.16	0.144	0.15	0.17
	Ca/Mg	3.24	0.65	4.22	4.08	4.11
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	83	68	87	29	30
	Potassium total	1208	1647	2087	2013	2125
REACTION DU SOL	pH eau	5.99	5.53	5.39	6.20	6.34
	pH KCl	5.12	4.63	4.57	4.96	5.24
	pH eau - pH KCl	0.87	0.90	0.82	1.24	1.10
Al et H éch (méq/100g)	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002

DESCRIPTION DU PROFIL N°F8

DATE: 08/01/1997

LOCALISATION

coordonnées UTM: X= 710424

Y= 1286919

LIEU : MANGA

UNITE CARTOGRAPHIQUE : U2

AUTEURS: ZOMBRE/ZERBO/NACOUлма

CLASSIFICATION FAO(1988) : Gleyic Vertisols

CLASSIFICATION CPCS(1967) : VERTISOLS HYDROMORPHES à drainage externe possible

CLASSIFICATION SYSTEME TRADITIONNEL :

VEGETATION : Savane arborée dégradée à *Ficus gnaphalocarpa* et *Butyrospermum paradoxum*

UTILISATION ACTUELLE : Rizière

POSITION PHYSIOGRAPHIQUE : Bas-fond

MICROTOPOGRAPHIE : zone centrale

TOPOGRAPHIE ENVIRONNANTE : plateau

PENTE : 0 à 0,5%

MATERIAU PARENTAL: Alluvions à argiles gonflantes

AFFLEUREMENTS : Aucun

DRAINAGE : modéré

ETAT DE SURFACE : Décantation

ETAT DE DEGRADATION DU MILIEU : Assez faible

NAPPE : Non observée

RISQUES D'INONDATION : Elevé

EROSION : Faible

TYPE D'EROSION : En nappe

Commentaires

0 - 17 cm : La couleur est gris-brun (10YR 5/2) à l'état sec et gris-brun très foncée(10YR3/2) à l'état humide; la texture est Limono-argileuse et la structure à sous structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens fins et grossiers. On n'observe pas la présence d'éléments grossiers. Quant aux pores, ils sont nombreux de type fins, moyens et grossiers. Les taches sont de l'ordre de 30% pour les brun-jaunâtre et 30% pour les gris-clair.

Le profil racinaire comprend de nombreuses racines moyennes, fines et très fines. La consistance est dure et la transition est distincte irrégulière.

17 - 35 cm : La couleur est identique à l'horizon précédent, de même que la texture. La structure est cependant à sous structure polyédrique fortement développée avec des éléments grossiers moyens et fins. Les pores sont nombreux de type très fins et moyens. Les taches de même type que brun-jaune (10YR 6/6) de l'ordre de 40% et gris-clair (10YR 7/1) d'environ 30%. Les racines sont peu nombreux de type fines et très fines. La consistance est dure et la transition est distincte irrégulière.

35 - 80 cm : La couleur à l'état sec est identique à l'horizon précédent mais à l'état humide elle est brun sombre (10YR 2/2). La texture est Argileuse et la structure est identique à l'horizon précédent avec cependant de nombreuses faces de pression, mais pas d'éléments fins. Les éléments grossiers sont constitués de quelques concrétions ferrugineuses friables. Les taches sont brun-jaunâtre de l'ordre de 50% et gris-clair d'environ 10%. Les racines sont rares et très fines; la consistance est dure et la transition est graduelle.

80 - 120 cm : La couleur est identique à l'horizon précédent aussi bien à l'état sec que humide. La texture est très Argileuse et la structure identique à l'horizon précédent avec quelques faces de pression, il en est de même que la nature et la composition des éléments grossiers; les pores sont nombreux de type très fins et fins. Les taches sont brun-jaunâtre (40%) et gris-clair (40%). Les racines sont très rares très fines et la consistance est dure.

RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F8

	Profondeur (cm)	0-17	17-35	35-80	80-120	120-135
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	33.75	35.50	35.25	10.50	36.75
	Limon fin %	25.00	21.00	19.75	45.00	24.75
	Sable fin %	10.31	12.49	12.09	12.62	9.65
	Sable grossier %	0.79	0.65	0.42	0.30	0.28
	Limon grossier %	30.15	30.36	32.49	31.58	28.57
	Limon/argile	1.63	1.45	1.48	7	1.45
	Texture	LA	LA	LA	L	AL
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	2.05	1.05	0.61	0.6	0.53
	Carbone (%)	1.19	0.61	0.36	0.4	0.3
	Azote total (%)	0.1	0.09	0.04	0.1	0.02
	C/N	12	7	9	17	19
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.88	0.39	0.47	0.2	0.2
	Phosphore total	154	139	108	69	62
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium) Ca ⁺⁺	10.72	12.5	12.67	9.8	12.68
	Magnesium (Mg ⁺)	4.18	3.94	4.35	3.5	4.5
	Potassium (K ⁺)	0.24	0.11	0.11	0.1	0.14
	Sodium (Na ⁺)	0.06	0.10	0.10	0.1	0.05
	Sommes des bases (S)	15.20	16.65	17.23	14	17.39
	Capacité d'échange (T)	20.01	21.79	17.62	18	20.54
	Taux de saturation (S/T) %	76	76	98	74	85
	Na/T	0.03	0.004	0.005	0.0	0.002
	K/T	0.01	0.005	0.006	0.0	0.007
	Mg/T	0.21	0.18	0.24	0.2	0.22
Ca/Mg	2.54	3.17	2.91	2.8	2.82	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	40	28	26	25	30
	Potassium total	2196	2416	1592	1428	1867
REACTION DU SOL	pH eau	6.07	5.94	5.91	6.04	6.37
	pH KCl	4.83	4.73	4.64	4.76	4.84
	pH eau - pH KCl	1.24	1.21	1.27	1.28	1.53
Al et H éch (méq/100g)	(Al ³⁺ , H ⁺)	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002

DESCRIPTION DU PROFIL N°F1

DATE: 07/01/1997

coordonnées UTM: X = 713224

Y = 1289975

LIEU: MANGA

UNITE CARTOGRAPHIQUE : U1'

AUTEURS : ZOMBRE/ZERBO/NACOUUMA

CLASSIFICATION FAO(1988) :Gleyic Cambisols

CLASSIFICATION CPC(1967) : SOL BRUN EUTROPHE HYDROMORPHE à faciès vertique et ferrugineux en profondeur

VEGETATION : PRAIRIE (Savane herbeuse à *Aristida hordecea*)
UTILISATION ACTUELLE : Plaine rizicole
POSITION PHYSIOGRAPHIQUE : Bas-fond
MICROTOPOGRAPHIE : Billons cloisonnés
TOPOGRAPHIE ENVIRONNANTE : Plateau ondulée
PENTE : Nulle
MATERIAU PARENTAL : Alluvions argileuses
AFFLEUREMENTS : Aucun
DRAINAGE : Imparfait
ETAT DE SURFACE : ST1 (Structurale 1)
ETAT DE DEGRADATION DU MILIEU : Faiblement dégradé
RISQUES D'INONDATION : Elevé
NAPPE : Non observée
EROSION : Faible

Commentaires

0 - 10 cm : La couleur est gris-clair (10YR 7/2) à l'état sec et brun-jaune (10YR 5/4) à l'état humide. La texture est Limono-argilo-sableuse.

La structure est massive à sous structure polyédrique sub angulaire faiblement développée avec des éléments grossiers moyens et fins. Les éléments grossiers sont constitués de quelques gravillons ferrugineux; les taches sont de type brun-jaunâtre (80%); le profil racinaire comprend de nombreuses racines fines et très fines. La consistance est dure et la transition est distincte irrégulière.

10 - 21 cm : La couleur est brun (10YR 5/3) à l'état sec et brun sombre (10YR 4/3) à l'état humide. La texture est argilo limoneuse; la structure est faiblement développée de type polyédrique angulaire avec de éléments grossiers et moyens. Les éléments grossiers sont constitués de quelques gravillons ferrugineux. Les pores sont peu nombreux et les taches gris-clair (30 à 35%). Les racines sont nombreuses à peu nombreuses, fines et très fines. La consistance est très dure et la transition est distincte irrégulière.

21 - 40 cm : La couleur est jaune olive (2,5Y 6/6) à l'état sec et brun olive clair (2,5Y 4/4) à l'état humide; la texture est Argileuse et la structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments grossiers, moyens et fins. Les éléments grossiers sont constitués de quelques gravillons ferrugineux et concrétions ferromanganifères. Les pores sont nombreux fins et très fins; les taches peu nombreuses de type brun-jaunâtre (5%), les racines sont rares. La consistance est très dure et la transition est graduelle.

40 - 65 cm : La couleur est jaune (2,5Y 7/6) à l'état sec et jaune olive (2,5Y 6/6) à l'état humide; la texture, la structure, la consistance, l'abondance et le type de racines et de pores sont identiques à l'horizon précédent; les éléments grossiers, constitués de gravillons ferrugineux et de concrétions ferrugineuses sont de l'ordre de 5 à 7%; les taches sont de l'ordre de 5% de type gris-clair et aussi de 5 % pour les types brun jaunâtre. La transition est distincte irrégulière.

65 - 105 cm : Cet horizon ne diffère du précédent que par la couleur à l'état sec qui est jaune (2,5Y 8/8) et les éléments grossiers comportent en outre des graviers de quartz (GQ); les taches sont gris-clair (10 à 20%).

RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F1

	Profondeur (cm)	0-10	10-21	21-40	40-65
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	18.25	35.00	34.75	42.00
	Limon fin %	7.50	9.75	10.75	14.25
	Limon grossier %	19.42	15.00	13.5925	15.331
	Sable fin %	39.85	27.22	.96	7.44
	Sable grossier %	14.98	13.03	14.95	10.98
	Limon/argile	1.47	0.71	0.70	0.70
	Texture	LS	LA	LA	A
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	0.74	0.24	0.16	0.15
	Carbone (%)	0.43	0.14	0.1	0.09
	Azote total (%)	0.03	0.02	0.02 5	0.02
	C/N	14	8		4
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.72	0.31	0.23	0.16
	Phosphore total	93	31	31	46
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca ⁺⁺)	4.03	8.09	7.71	9.04
	Magnesium (Mg ⁺⁺)	1.80	3.37	3.65	4.68
	Potassium (K ⁺)	0.07	0.14	0.14	0.12
	Sodium (Na ⁺)	0.09	0.14	0.26	0.50
	Somme des bases (S)	5.99	11.74	11.76	14.34
	Capacité d'échange (T)	18.86	15.38	13.96	19.77
	Taux de saturation (S/T) %	32	76	84	73
	Na/T	0.005	0.09	0.02	0.025
	K/T	0.004	0.09	0.01	0.006
	Mg/T	0.095	0.22	0.26	0.24
Ca/Mg	2.24	2.40	2.11	1.93	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	81	28	26	23
	Potassium total	659	1428	1647	1977
REACTION DU SOL	pH eau	5.96	7.39	8.07	8.23
	pH KCl	4.95	6.00	6.46	6.53
	pH eau - pH KCl	1.01	1.39	1.61	1.70
Acidité d'échange	(Al ³⁺ , H ⁺)	0.001	0.002	0.002	0.002

DESCRIPTION DU PROFIL N°F13

DATE: 13/01/97

LOCALISATION

coordonnées UTM: X = 732913

Y = 1281920

LIEU : KOPELLA

UNITE CARTOGRAPHIQUE : U4

AUTEURS : NACOUUMA

CLASSIFICATION FAO (1988) : Vertic Cambisols

CLASSIFICATION CPCS (1967) : SOL BRUN EUTROPHE HYDROMORPHE VERTIQUE

VEGETATION: SAVANE ARBOREE CLAIRE A *Butyrospermum paradoxum* et *Bombax costatum*.

UTILISATION ACTUELLE : Champ petit mil

POSITION PHYSIOGRAPHIQUE : Moyen glacis

MICROTOPOGRAPHIE : Pente

TOPOGRAPHIE ENVIRONNANTE : bas-fond à 150m
 PENTE : 1.5 %
 MATERIAU PARENTAL : Colluvions/alluvions
 AFFLEUREMENTS : aucun
 DRAINAGE : Modéré
 ETAT DE SURFACE : ST2
 ETAT DE DEGRADATION DU MILIEU : Faible
 RISQUES D'INONDATION : Faible
 NAPPE : Non observée
 EROSION : Faible
 TYPE D'EROSION : En nappe

Commentaires

0 - 12 cm : La couleur est brun (10YR 5/3) à l'état sec et brun gris très sombre (10YR 3/2) à l'état humide. La texture est limono sablonneuse. La structure est polyédrique sub angulaire moyennement développée avec des éléments fins, moyens et grossiers. Les éléments grossiers sont constitués de gravillons ferrugineux, concrétions ferrugineuses et de graviers de quartz de l'ordre de 25 % chacun. Les racines sont nombreuses fines et très fines. Quant aux pores, ils sont également nombreux fins et moyens. Il n'y a pas de tache, la consistance est friable et la transition est distincte irrégulière.

12 - 30 cm : La couleur est gris-clair à l'état sec (10YR 7/6) et brun jaunâtre à l'état humide (10YR 5/6). La texture est limono-argileuse avec de éléments fins et moyens. Les éléments grossiers sont constitués de quelques gravillons ferrugineux et de graviers de quartz. Les pores sont peu nombreux fins très fins et moyens. Les taches sont de type brun jaunâtre (35%). Le profil racinaire comprend de nombreuses racines fines et très fines. La consistance est légèrement dure et la transition est graduelle ordulée.

30 - 50 cm : La couleur est gris-clair (10YR 7/2) à l'état sec et brun-jaune (10YR 5/6) à l'état humide. La texture est argileuse, la structure polyédrique sub angulaire moyennement développée avec des éléments fins et moyens. Les éléments grossiers sont constitués de gravillons ferrugineux et de graviers de quartz. Quant aux pores, ils sont nombreux fins et très fins; la consistance est dure et la transition est graduelle.

50 - 115 cm : La couleur est brun-olive (2,5Y 5/4) à l'état sec et brun gris olive (2,5Y 5/4) à l'état humide. La texture est argileuse, la structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments fins et moyens. Les éléments grossiers sont constitués de quelques gravillons ferrugineux. Les pores sont nombreux fins et très fins, les racines sont rares et très fines. On remarque la présence de taches gris-clair (80%) et brun jaune (20%). La consistance est dure.

RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F13

	Profondeur (cm)	0-12	12-30	30-50	50-115
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	12.25	26.00	35.50	34.50
	Limon fin %	6.00	5.25	6.75	6.50
	Sable fin %	38.23	32.48	26.43	25.95
	Sable grossier %	26.49	21.21	17.56	19.62
	Limon grossier %	17.03	15.06	13.76	13.44
	Limon/argile Texture	1.88 LS	0.78 LAS	0.58 LA	0.58 LA
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	0.74	0.91	0.55	0.36
	Carbone (%)	0.43	0.53	0.32	0.21
	Azote total (%)	0.04	0.04	0.03	0.02
	C/N	12	14	12	10
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.49	0.16	0.31	0.39
	Phosphore total	62	69	62	46

BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca ⁺⁺)	2.57	3.21	4.09	4.36
	Magnesium (Mg ⁺⁺)	1.12	0.75	1.01	1.03
	Potassium (K ⁺)	0.01	0.02	0.06	0.11
	Sodium (Na ⁺)	0.06	0.04	0.09	0.07
	Sommes des bases (S)	3.76	4.02	5.25	5.57
	Capacité d'échange (T)	5.85	4.84	6.63	8.64
	Taux de saturation (S/T) %	64	83	79	64
	Na/T	0.01	0.008	0.013	0.008
	K/T	0.002	0.004	0.009	0.013
	Mg/T	0.19	0.15	0.15	0.12
Ca/Mg	2.29	4.28	4.05	4.23	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	54	53	80	26
	Potassium total	769	1373	1867	1992
REACTION DU SOL	pH eau	6.46	6.18	5.24	5.49
	pH KCl	5.65	5.23	4.39	4.41
	pH eau - pH KCl	0.81	0.95	0.85	1.09
Alu.et hydro.éch mé/100g	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.002	0.002	0.003	0.003

DESCRIPTION DU PROFIL N°F20

DATE: 18/01/97

LOCALISATION

coordonnées UTM: X =712347

Y = 1295514

LIEU : NOABGHEN

UNITE CARTOGRAPHIQUE : U4

AUTEURS : NACOUлма

CLASSIFICATION FAO (1988) : Eutric Cambisols

CLASSIFICATION CPCs (1967) : SOL BRUN EUTROPHE PEU EVOLUE

VEGETATION:SAVANE ARBOREE CLAIRE à *Butyrospermum paradoxum* et *Adansonia digitata*

UTILISATION ACTUELLE : Champ sorgho rouge

POSITION PHYSIOGRAPHIQUE : Moyen giacis

MICROTOPOGRAPHIE : ondulation

TOPOGRAPHIE ENVIRONNANTE : bas-fond à 150m

PENTE : 2%

MATERIAU PARENTAL : granite

AFFLEUREMENTS : granite localisé

DRAINAGE : normale

ETAT DE SURFACE : ST1

ETAT DE DEGRADATION DU MILIEU : Faible à moyen

RISQUES D'INONDATION : Faible

NAPPE : Non observée

EROSION : Faible

TYPE D'EROSION : En nappe

Commentaires

0- 10 cm : La couleur est brun (10YR 5/3) à L'état sec et brun gris sombre (10YR 4/3) à l'état humide. La texture est Limono-sabloneuse. La structure est polyédrique angulaire fortement développée avec des éléments moyens fins et grossiers. Les éléments grossiers sont constitués de gravillons ferrugineux (5%), concrétions ferrugineuses (15%) et de graviers de quartz de l'ordre de 10%. Les racines sont nombreuses fines et très fines. Quant aux pores, ils sont également nombreux fins et très fins. Les taches sont peu nombreuses de même que les racines. La consistance est friable et la transition est distincte irrégulière.

10- 30 cm. La couleur est jaune rougeâtre à l'état sec (10YR 7/6) et brun foncée à l'état humide (7,5YR 4/6). la texture est Limono-argileuse avec des éléments fins moyens et grossiers.

Les éléments grossiers sont constitués de graviers de quartz (30%) et de concrétions ferrugineuses (10%). Les pores sont nombreux fins, très fins et moyens. Les taches sont de type brun jaunâtre (30%) et rouilles (10%). Le profil racinaire comprend de nombreuses racines fines et très fines. La consistance est légèrement dure et la transition est graduelle ondulée.

30 - 77 cm. La couleur est brun-olive claire (2,5Y 5/4) à l'état sec et brun-olive sombre (2,5Y 4/4) à l'état humide. La texture est Argileuse, la structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens et fins. Les éléments grossiers sont constitués de quelques graviers de quartz de l'ordre de 10%. Quant aux pores, ils sont nombreux et très fins; les racines sont rares. La consistance est dure et la transition est claire.

77 - 125 cm. La couleur est celle du granite altérée gris blanchâtre (2,5Y7/1) à l'état sec et gris foncée (2,5Y 7/1) à l'état humide. La texture est Argileuse, la structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens et fins. Les éléments grossiers sont constitués de quelques graviers de quartz. La consistance est très dure.

RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°20

	Profondeur (cm)	0-10	10-30	30-77	77-130
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	17.75	37.50	35.75	13.00
	Limon fin %	5.25	6.75	10.25	8.50
	Sable fin %	27.88	18.70	23.54	28.34
	Sable grossier %	36.88	26.99	15.39	43.50
	Limon grossier %	12.24	10.06	15.08	6.66
	Limon/argile	1.55	0.45	0.71	1.16
	Texture	L	LA	LA	L
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	1.20	0.72	0.28	0.20
	Carbone (%)	0.70	0.42	0.16	0.12
	Azote total (%)	0.08	0.06	0.03	0.02
	C/N	8	7	5	7
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	9.01	0.94	0.55	0.86
	Phosphore total	278	139	293	5400
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca ⁺⁺)	5.46	8.65	10.33	6.97
	Magnesium (Mg ⁺⁺)	0.80	1.04	0.87	0.58
	Potassium (K ⁺)	0.13	0.08	0.12	0.05
	Sodium (Na ⁺)	0.05	0.04	0.04	0.09
	Sommes des bases (S)	6.44	9.81	11.36	7.69
	Capacité d'échange (T)	7.59	12.02	13.15	9.54
	Taux de saturation (S/T) %	85	82	86	81
	Na/T	0.006	0.003	0.003	0.009
	K/T	0.017	0.006	0.009	0.005
	Mg/T	0.105	0.086	0.066	0.06
Ca/Mg	6.82	8.32	11.87	12.01	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	36	23	32	67
	Potassium total	1566	2069	1164	4697
REACTION DU SOL	pH eau	7.09	6.38	7.20	6.64
	pH KCl	6.17	5.27	6.02	5.23
	pH eau - pH KCl	0.92	1.11	1.18	1.41
Al et H éch. (még/100g)	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.002	0.002	0.002	0.002

DESCRIPTION DU PROFIL N°F11

DATE: 13/01/97

LOCALISATION

coordonnées UTM: X = 725410
Y = 1288792

LIEU : MANGA EST

UNITE CARTOGRAPHIQUE : U4

AUTEURS : NACOUUMA

CLASSIFICATION CPCS (1967) : SOL BRUN EUTROPHE VERTIQUE HYDROMORPHE

CLASSIFICATION FAO (1988): Vertic Cambisols

VEGETATION: SAVANE ARBOREE DEGRADEE à *Butyrospermum paradoxum*

UTILISATION ACTUELLE : Champ sorgho rouge

POSITION PHYSIOGRAPHIQUE : Moyen glaciaire

MICROTOPOGRAPHIE : Pas de micro relief

TOPOGRAPHIE ENVIRONNANTE : pente de plateau à 500m

PENTE : 0,5 à 1%

MATERIAU PARENTAL : Colluvions/alluvions

AFFLEUREMENTS : aucun

DRAINAGE : Modéré

ETAT DE SURFACE : ST2

ETAT DE DEGRADATION DU MILIEU : Faible

RISQUES D'INONDATION : Faible

NAPPE : Non observée

EROSION : Faible

TYPE D'EROSION : En nappe

Commentaires

0 - 13 cm : La couleur est grise (7,5YR 6/2) à l'état sec et brun gris sombre (7,5YR 3/2) à l'état humide. La texture est Limono-argileuse. La structure est polyédrique angulaire fortement développée avec des éléments grossiers, moyens et fins. Les éléments grossiers sont constitués de gravillons ferrugineux (10%), concrétions ferrugineuses (10%). Les racines sont nombreuses fines et très fines. Quant aux pores, ils sont également nombreux fins et moyens. Les taches sont gris-clair et brun jaune, la consistance est dure et la transition est distincte irrégulière.

13 - 45 cm : La couleur est brun à l'état sec (10YR 5/2) et brun foncé à l'état humide (10YR 4/3). La structure est polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens fins et grossiers, la texture est Limono-argileuse.

Les éléments grossiers sont constitués de quelques gravillons ferrugineux et de concrétions ferrugineuses. Les pores sont nombreux fins et très fins. Les taches sont de type brun jaunâtre (35%). Le profil racinaire comprend de nombreuses racines fines et très fines. La consistance est dure et la transition est diffuse.

45 - 80 cm : Cet horizon est identique à l'horizon précédente de par la structure, la couleur, la texture, l'abondance et la composition des éléments grossiers des pores et des racines. Seule diffère la structure qui est polyédrique moyennement développée avec des éléments moyens, fins et grossiers.

80 - 115 cm : La couleur est brun (10YR 5/3) à l'état sec et brun foncé (10YR 5/3) à l'état humide. La texture est Argileuse, la structure polyédrique angulaire moyennement développée avec des éléments moyens fins et grossiers. Il y a quelques gravillons ferrugineux et graviers de quartz. Les pores sont rares de même que les racines et très fines. On remarque la présence de taches abondantes, gris-clair et brun jaune. La consistance est très dure et il y a présence de nodules calcaires sur tout l'horizon.

RESULTATS ANALYTIQUES DU PROFIL N°F11

	Profondeur (cm)	0-13	13-45	45-80	80-115
ANALYSES MECANIQUES	Argile %	18.50	30.75	32.75	33.00
	Limon fin %	13.00	12.25	11.00	11.25
	Limon grossier %	18.16	15.23	14.58	15.19
	Sable fin %	31.66	23.04	22.32	21.72
	Sable grossier %	18.68	18.73	19.35	18.84
	Limon/argile	1.68	0.89	0.78	0.80
	Texture	L	LA	LA	LA
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique (%)	1.22	0.55	0.36	0.29
	Carbone (%)	0.71	0.32	0.21	0.17
	Azote total (%)	0.03	0.03	0.02	0.02
	C/N	24	10	10	8
PHOSPHORE (ppm)	Phosphore assimilable	1.25	0.7	0.23	0.23
	Phosphore total	46	69	46	46
BASES ECHANGEABLES (Meq/100g de terre)	Calcium (Ca ⁺⁺)	5.29	6.2	7.15	8.47
	Magnesium (Mg ⁺⁺)	1.77	2.23	2.3	2.00
	Potassium (K ⁺)	0.06	0.07	0.1	0.11
	Sodium (Na ⁺)	3.05	0.06	0.05	0.05
	Sommes des bases (S)	7.17	8.56	9.6	10.62
	Capacité d'échange (T)	2.3	9.95	12.55	13.42
	Taux de saturation (S/T) %	77	86	76	79
	Na/T	0.005	0.006	0.007	0.004
	K/T	0.006	0.007	0.008	0.008
	Mg/T	0.19	0.22	0.18	0.15
Ca/Mg	2.99	2.78	3.10	4.23	
POTASSIUM (ppm)	Potassium disponible	95	78	23	23
	Potassium total	988	1318	1374	1537
REACTION DU SOL	pH eau	5.93	5.42	5.50	6.86
	pH KCl	5.07	4.45	4.43	5.16
	pH eau - pH KCl	0.86	0.97	1.07	1.70
	(Al ³⁺ + H ⁺)	0.002	0.004	0.003	0.001

ANNEXES: OBSERVATIONS DE TERRAIN

NOBSER	XPOSIT	YPOSIT	CODSOL	CLASSO	CLASSF	POSITI	
3000	711887,092	1287377,922	b41a	dlp	sflpp	gl	sr
3001	712056,279	1287280,274	c3ls	RGe	FTLip	gl	sm
3001	712056,279	1287280,274	c3ls	RGe	FTLip	gl	ag
3003	712134,611	1287175,298	a4l3	LPs	FTLip	ch	s
3004	712354,980	1287080,930	D0las/sa-as	FLe	SPCEA	dr	mi
3005	711862,153	1286919,897	CBL	RGe	FTLis	PG	sr
3006	711670,844	1286769,718	B3LS	LPd	FTLis	BP	sr
3007	711477,514	1286692,167	C41a//alr1t1	RGe	BETF	PD	r
3008	712929,794	1285787,635	DOAn2r2	CMe	GYh	PT	sr
3009	713083,895	1285911,778	DOan3r3	VRe	BETV	PP	
3010	712073,562	1287499,638	B4las		FTLc	gl	ar
3011	712173,650	1287547,176	C31a			gl	mi
3012	712388,917	1287666,825	D3A	CMe	BETPE		sr
3013	0,000	0,000					
3014	712531,115	1287700,957	D1At3r3	RGe	PERe	Bp	sr
3015	712667,234	1287757,530	D1las/a	CMe	BETPEe	pp	mi
3016	712765,367	1287918,128					
3017	712836,204	1288045,195	D01a/a n1t1	CMe	BETF	pp	mi
3018	713032,402	1288416,270	D0a t2n3	CMg	BEh	po	sr
3019	0,000	0,000		LPs	lth	cb	
3020	0,000	0,000		RGe	PERe	pp	
3021	0,000	0,000	D1an2r3	CMg		pi	sb
3022	713399,168	1288793,719	D0at2	VRe	VRe	dr	sr
3023	712901,434	1288624,695	D01s/1a	FLe	PEA	dr	
3024	709496,088	1288642,808	D01	RGe	PEA	pp	mi
3025	709584,100	1288648,127	D01	RGe	PEA	bp	mi
3026	709251,581	1288017,810	D0las/lat2	CMe	BET	pp	sr
3027	708952,429	1287140,901	D0sl/1 n2	CMe	BETF	p	
3028	708650,622	1286575,508	D0las/a	CMe	BET	pp	
3029	707769,548	1285195,772		CMe	BET	pp	sr
3030	0,000	0,000	D31s/1a t3	CMe	BETPe	pp	sb
3031	715068,319	1283623,051	C31a/at2	CMe	BET	bp	sr
3032	715567,767	1283526,574	C21s/sa t1	CMe	BE	bp	sr
3033	715897,972	1283496,373	D01s/sa t1n3	CMe	BET	bp	mi
3034	716669,953	1283543,257	D01/lat1		BEPE	pi	mi
3035	717107,910	1283543,257	C01 t2		BET	pi	ha
3036	717697,892	1283213,175	D01 t2r2			pi	hi
3037	718049,451	1282387,757	D01a n2	GYh	BET	dr	ri
3038	717318,096	1281807,254	D41s/1a g3	CMe	BET	pi	sr
3040	711130,903	1287004,829	D0a t3	VRe	VRe	bp	sr
3041	711006,106	1286980,457	D01 t3	VRe	VRe	pa	sr
3042	710726,785	1286963,914	D11a	CM		pl	sr
3043	710492,530	1286929,070	D01	CMe	BET	pp	
3044	710297,785	1286963,914	D3al			pe	sr
3045	709963,274	1286871,162	C01s/1a	RGd	FTLipd	dp	sr
3046	713440,969	1290257,133	C0al	VR		pa	ri
3047	713369,195	1290630,802	D31an3t3	CMe	BET	pe	mi
3048	713549,178	1289764,977	D01/lar3	VR	BE	pi	
3050	0,000	0,000	C0last1g1	RGe	PER	pe	sr
3051	0,000	0,000	D21a/at2	CM?		pl	sr
3052	0,000	0,000	A11a			pp	sr
3053	0,000	0,000	C01a/a	RGe	PER	pp	sr
3054	0,000	0,000	C01a/a n2r2	CMe	BETF	pe	sr

ANNEXES: OBSERVATIONS DE TERRAIN

NOBSER	XPOSIT	YPOSIT	CODSOL	CLASSO	CLASSF	POSITI
3059	0,000	0,000	B2ls	RGd	RGd	pl
3060	0,000	0,000	C3la/las	CMv	BEV	pl
3061	0,000	0,000	D0ls t2	RGg	BEh	pe
3062	0,000	0,000	D1l/la n1r3	CM	BETF	pl
3063	713809,862	1284998,511	D2la/al	CMh	BE/ca	pp
3064	714033,331	1285207,020	D2la/a	CMh	BET	pl
3065	714209,776	1285471,789	D0la/a t2g3	CMe	BEPe	pd
3066	714348,210	1285624,074	D0la/a t2g3	CMe	BEPe	pe
3067	714650,687	1285796,956	D0l/lat1n2g3	CMe	BETF	pl
3068	714970,118	1286057,432	D0l/ t1 n2	CMe	BET	pe
3069	715210,595	1286208,164	D0l			dr
3070	715706,702	1286295,120	D0l/lat3	CMe	BETF	pe
3071	716391,711	1286341,084	B0l	CMe	BET	pe
3072	716603,715	1286377,706	C0lsg2	RGe	RGe	dr
3073	0,000	0,000	C0ls/lat3	CMe	BEPe	po
3074	0,000	0,000	C0ls/lt2	LP1	PER	c
3075	0,000	0,000		RGe	RGe	pl
3076	0,000	0,000				
3077	0,000	0,000				
3078	0,000	0,000				
3079	0,000	0,000				
3080	0,000	0,000				
3081	0,000	0,000				
3093	707284,200	1299046,000	D0S/Slr3g3		SPEA	pl
3094	707434,000	1298691,000	D0LS/Lr3		PER	pl
3095	707422,800	1298500,000	DS/SAt3r3		SBE	bp
3096	707300,000	1298038,000	C1LS/Lr2		SPER	bp
3097	707561,200	1297604,000	D0LS/St3		SPEAC/	dr
3098	707868,500	1297211,000	C0La		SBPE	bf
3099	708049,500	1296423,000	C0La		SBPE	dp
3100	708483,000	1294651,000	C0l		Regos	pl
3101	708888,200	1294832,000	D0lat3r3		SBPEPE	dp
3102	709271,800	1295020,000	B2l		SPER	PL
3103	708833,200	1293721,000	D0L/LAr3t3	CMe	SBE	PE
3104	729286,400	1292704,000	C0l		SPER	PE
3105	709572,400	1292157,000	C1sl/l		SPER	pl
3106	699586,000	1457747,000	D0alt2g2		SBPEpe	dp
3118	645612,000	1291656,000	D1l/slg3	RGd	SBPE	pl
0	0,000	0,000				
0	0,000	0,000				
3110	712278,600	1295719,000	B0l		SBPE	pl
3111	711597,600	1295958,000	A0ls		SBPE	pl
3112	710500,800	1296286,000	A0ls		SBPE	pl
3113	710552,000	1296341,000	B1ls/la		SBPE	pl
3114	711774,100	1290274,000	D0al/at3g3		SBE/h	bf
3115	712079,000	1290189,000	B0al		SBE/v	pl
3116	712333,000	1291211,000	D0at3r3		SBEv	gl
3117	711986,500	1290866,000	A0l		SFeTpp	pl
3118	645612,000	1291656,000	D1l/sl		SBPE	pl
3119	709084,200	1291667,000	D0l		SBEv	dr
3120	702265,000	145445,000	C1l	LPd	LP	pl
3121	711485,600	1292039,000	C0ls/at1	CMd	SBPeA	bf

ANNEXES: OBSERVATIONS DE TERRAIN

NOBSER	XPOSIT	YPOSIT	CODSOL	CLASSO	CLASSF	POSITI
3127	708353,600	1291413,000	C01		SPER	pl
3175	0,000	0,000	COL/AL	CMe	SBE	bf
3176	717278,400	1281508,000	D21/alt3g3	CMe	SBE	pi
3178	716985,000	1281473,000	C01/al	CMd	SBPEa	dr
3179	716752,500	1281461,000	B21s		SBPE	pe
3181	716353,200	1280960,000	C11s/1		SPER	pl
3119	709084,200	1291667,000	D01/1	SPE	SPEA	dp
3120	702265,000	145445,000	C11/1	S	SPER	pl
3121	711485,600	1292039,000	C01s/at1	CMd	SBE	bf
3122	710734,600	1291777,000	A01	rgs	SPER	pl
3123	708266,800	1291345,000	C01/alt1		SPER	pl
3124	707625,400	1290942,000	D01/alt3		SBpea	dr
3125	707473,400	1290579,000	Cs/1st2		Spea	pl
3126	707335,300	1293315,000	C01s/al		SPEA	pl
3127	708353,600	1291413,000	C01	RGs	SPER	pl
3107	714051,700	1295263,000	D01s/s			
3107	714051,700	1295263,000	D01s/s			
3221	725861,500	1277827,000	D11s/alt2g3		SBFv	pp
3222	725947,400	1277329,000	D01a/at3g3	CME	SBFv	dp
3223	726012,400	1276894,000	D01a/at3g3	CMe	SBFv	pp
3224	716037,000	1276592,000	D01aalt2r2g3	CMe	SBFv	pl
3225	726069,000	1275646,000	C0s1/1a		SPER	pe
3226	726192,500	1274767,000	D0as/sl	CM	SBPEa	bp
3227	726100,100	1274417,000	D0s/sl		SBPEa	po
3228	725854,600	1278128,000	D21a/an3	CMe	SBE	pl
3229	725818,400	1278441,000	C11s/1a	CMe	SBFv	pl
3230	725903,000	1278439,000	C11s/1a	CMe	SBFv	pe
3231	725521,000	1279160,000	C01s/1a		SPER	pl
3166	727748,200	1288247,000	A2a1		SPFR	pl
3167	723824,200	1288176,000	D0a1/an3t3	CMe	SBFv	dr
3168	727886,600	1288089,000	A11a	CMe	SBFv	pl
3169	728020,000	1287847,000	C01/a	CME	SBFpe	pl
3170	728019,800	1287334,000	C0s1/1a	CMe	SBFpe	dp
3171	728256,400	1287334,000	B0a1	CME	SBFv	pl
3172	728661,800	1286967,000	D1s1/1s	CMe	SBFv	pl
3173	729146,400	1286598,000	C01a/al	CMe	SBE	pl
3174	729835,200	1286325,000	B11a/a	CM	SBE	pe
3232	729050,800	1281020,000	C01st2		SPER	pe
3233	729175,000	1280670,000	D01at2		SPEa	dp
3234	729187,600	1280083,000	B01s/lat2		SPER	pe
3235	729252,000	1279462,000	D01s/l3r3t3	RGd	Regos	pp
3236	729346,000	1278903,000	C01s/l3sat2		SBPER	pe
3237	729493,000	1278104,000	B01s		SPER	pe
3238	729544,600	1277531,000	B01s		SPER	pe
3239	729666,000	1276965,000	C01s		SPER	pl
3240	729757,000	1276579,000	B01s		SPEa	dp
3241	729780,600	1275944,000	B11s		SPER	pl
3242	729935,500	1274933,000	C01s		SBPER	po
3188	716928,000	1281206,000	D01a/alt3g3	CMe	SBFv	bf
3189	716824,000	1280939,000	D11/an2t3g3	CMe	SBFpe	pl
3190	716692,300	1280663,000	D01/lan3t3	CMe	SBE	pl
3191	716472,800	1279942,000	C01s/1a	CMe	SBE	pl

ANNEXES: OBSERVATIONS DE TERRAIN

NOBSER	XPOSIT	YPOSIT	CODSOL	CLASSO	CLASSF	POSITI
3107	714051,700	1295263,000	D0ls/s	CMe	SBPe	bp
3108	713415,600	1295354,000	D0l	CM	SBEPe	bp
3109	713007,800	1295524,000	C1ls/l		SBPe	pl
3153	724552,500	1289796,000	D2ls/ag3	CMe	SBEv	po
3154	724777,600	1289885,000	D0ls/al	SPE	SPEa	bf
3155	724877,000	1289909,000	D0la/ar3t3	CMe	SBE	pl
3156	723829,600	1288056,000	D0ls/alt3g3	CMe	SBEv	pe
3219	723614,500	1275202,000	C1ls/la	RGs	SBPE	pe
3218	723572,200	1275438,000	A0ls		SPER	pl
3217	723569,000	1276097,000	C0ls/la		SPER	pe
3216	723595,000	1276880,000	D0ls/l3n3t3	CMe	SBE	pp
3220	723896,000	1274787,000	C0ls/l		SPER	pl
3151	720012,000	1289652,000	D0al/alt2g3		SBEv	pe
3181	716353,200	1280960,000	C1ls/l		SPER	pl
3182	716169,000	1280616,000	C1LS/L		SPER	po
3183	715939,800	1280431,000	C0ls/al		SPER	pl
3184	715592,800	1279816,000	C0ls/alt2	LPd	SPEa	dp
3185	715464,000	1279545,000	C0l/alg3t3	SBE	SBEha	bf
3186	715351,200	1279370,000	B0ls/l		SPER	pl
3187	715411,800	1279653,000	D0a/alt1	CMg	SBEa	dr
3158	728268,400	1286908,000	D2la/a		SBPE	bp
3152	724289,000	1289756,000	A0l		SPER	po
3157	727815,000	1287463,000	D0la/aln3g3		SBEv	pi
3255	734251,200	1281739,000	D0ls/lat3		SBEHa	pl
3256	732301,800	1281108,000	D0l3san3t2g3		SPEa	dp
3257	734334,400	1280280,000	A3ls		SPER	ph
3258	734389,300	1280343,000	B3ls/la		SPER	pl
3259	734385,000	1279529,000	A2ls		SPER	pl
3260	734512,800	1278673,000	D0ls/la		SBPEa	dr
3261	734609,600	1277401,000	B0lst2		SPER	pe
3262	734735,200	1276909,000	B0ls		SBPEa	dr
3213	723635,800	1278377,000	B0la		SPER	pl
3214	723562,600	1278054,000	C0ls/ast2g3		SBPEa	po
3215	723562,600	1277250,000	B0ls/l3		SBPEa	dp
3212	723620,600	1279127,000	C0la/sat2		SBPEa	dp
3211	723647,100	1279289,000	A0ls		SPER	pe
3265	739839,200	1282954,000	D0laaln2t2g3		SBEv	pl
3266	739492,600	1282847,000	D0ls/lat3g3		SBEha	pe
3267	738857,600	1282702,000	D0ls/s		SBEha	bf
3269	738610,000	1283159,000	D0l3lag3r3t3		SBEha	pe
3268	738073,400	1283066,000	D0alt3		SBEv	pp
3270	737286,800	1282662,000	B0ls		SPER	gl
3271	73669,600	1282693,000	D0la/la		SBEh	bf
3263	734805,800	1276692,000				
3264	734839,600	1276065,000	A0ls		SPER	bp
3178	716985,000	1281473,000	A1l		SPEa	dr
3180	716980,000	1281470,000	A0l		SFTLi	pe
3179	716752,500	1281461,000	B2ls		SBPER	pe
3178	716752,000	1281460,000	C0l/al		SBPEEA	dr
3176	717278,400	1281508,000	D2l/alt3g3	CMe	SBE	pe
3177	717079,000	1281500,000	A0l		SPER	pl
3175	717278,000	1281506,000	C0l/al	CMe	SBE	bf

ANNEXES: OBSERVATIONS DE TERRAIN

NOBSER	XPOSIT	YPOSIT	CODSOL	CLASSO	CLASSF	POSITI
3201	721258,500	1278274,000	D01a/alr2t3	VRd	Vertis	dr
3203	721368,000	1277724,000	D11/lat3		SBEPe	bp
3204	721411,500	1276976,000	A21s		SFTLis	pe
3205	721420,200	1276689,000	D01a/an3t2	CMe	SBEv	pe
3206	721479,800	1275918,000	B21s/1		SPER	pl
3207	721479,000	1275918,000	B21s		SPER	po
3208	721411,400	1275270,000	C01a/a	VR	Vertis	dp
3209	721516,800	1274681,000	C01s/at2		SBPe	pp
3210	721513,400	1274343,000	D01s/al		SBPEa	pl
3238	730658,000	1285406,000	C01s/la		SPEa	dr
3239	730613,400	1284972,000	D11s/alg3	Egl	SBPEa	pe
3240	730523,200	1286634,000	A01s	RG	Regoso	pl
3241	741148,300	1280503,000	C01s/la	SBE	SBPEa	pe
3242	741024,300	1281284,000	C01s/la		SBPea	bp
3243	740608,000	1281854,000	D01s/alt3g3		SBEha	bp
3244	730028,000	1278459,000	C21s		PLinth	pl
3245	730813,000	1282011,000	C01s/1		SPER	pl
3246	730651,000	1283432,000	C01s/lsa		SBPEa	pe
3247	730641,000	1284489,000	C11s/la		SPER	pl
3248	730768,800	1282485,000	C01s/al		SBEa	pl
3249	730708,000	1282950,000	C01s/lat2		SBPEa	pl
3197	711150,000	1275060,000	A01s		SFTLis	bp
3192	716443,800	1279253,000	D01salt3r3g3	CMe	SBE	bf
3193	716440,000	1279200,000	D01salt2r3g3	CMe	SBEpe	pl
3194	716430,000	1278708,000	D01a/at2n3g3	CMe	SBEv	pp
3195	716255,000	1278602,000	B21		SFTLip	po
3196	711154,000	1279205,000	C41a/la		SPER	co
3122	710734,600	1291777,000	A01	Rg	Drg	pl
3123	708266,800	1291345,000	C01/alt1		SPER	pl
3124	707625,400	1290942,000	D01/alt3		SBPEa	dr
3125	707473,400	1290579,000	C0s/1st2		SPeA	pe
3126	707335,300	1293315,000	C01s/al		SBPEa	pl
3272	736384,000	1282395,000	B01s		SPER	pl
3196	711154,000	1279265,000	C41a		SBper	co
3198	721121,000	1279202,000	D01s/alt2	CMe	SBEpe	dp
3199	721119,000	1278825,000	D01saln3t3r3	CMe	SBEpe	dp
3200	721188,000	1278415,000	D01saln3t3g3	CMe	SBEpe	pe

FICHE DE DESCRIPTION DE PROFIL PEDOLOGIQUE
N°.....

TYPE DE SOL

Date : Localisation : Photos :
 Lieu : Unité cartographique :
 Auteurs :
 Classification FAO (1988) :
 Classification CPCS (1967) :
 Classification RP (1992) :
 Classification SOIL TAXONOMY :
 Classification SYSTEME TRADITIONNEL :
 Végétation :
 Utilisation actuelle :
 Position physiographique : Microtopographie :
 Topographie environnante : Pente :
 Matériau parental :
 Affleurements : Drainage : Nappe :
 Etat de surface : Etat dégradat. du milieu/Erosion :
 Risques d'inondation : Type d'érosion :

Horizon (cm)	Transition	Couleur Code Munsell	Texture	Structure	Elts Gros (%)	Poros	pH	Racines	Consist
S									
H									
S									
H									
S									
H									
S									
H									
S									
H									
S									
H									

NOTES ADDITIONNELLES :

TABLEAU

NORMES D'INTERPRETATION DES ANALYSES CHIMIQUES (ORSTOM)

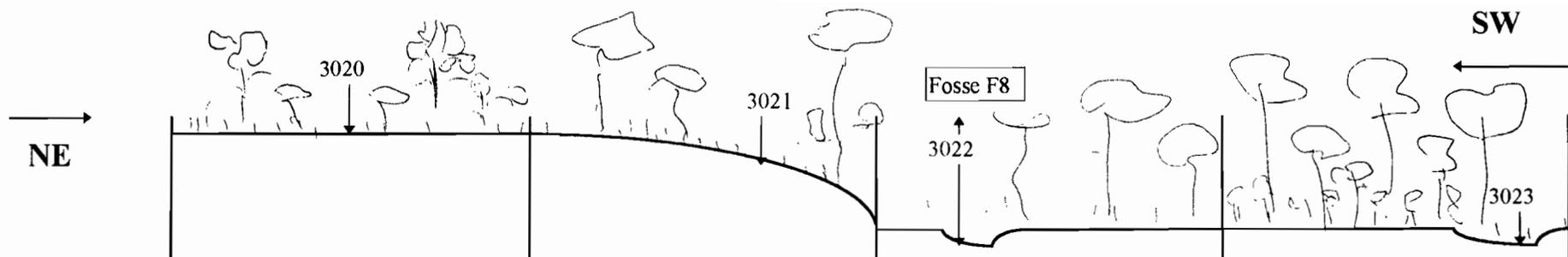
en mg de la terre tamisée à 2 mm	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
Phosphore assimilable (I)	< 0,03	0,03 à 0,05	0,05 à 0,1	0,1 à 0,2	> 0,2
Phosphore total	< 0,5	0,5 à 1,0	1,0 à 1,5	1,5 à 3,0	> 3,0
Potasse total (I)	< 0,5%	0,5 à 1,0	1,0 à 1,5	1,5 à 2,5	> 2,5
Matière Organique totale	< 10	10 à 20	20 à 30	30 à 50	> 50

en méq/100g de terre tamisée à 2 mm	Très pauvre (très faible)	Pauvre (faible)	Moyen (moyenne)	Riche (forte)	Très riche (très forte)
Ca ⁺⁺	< 1,0	1,0 à 2,3	2,3 à 3,5	3,5 à 7,0	> 7,0
Mg ⁺⁺	< 0,4	0,4 à 1,5	1,0 à 1,5	1,5 à 3,0	> 3,0
K ⁺	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,8	> 0,8
Na ⁺	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 0,7	0,7 à 2,0	> 2,0
S) Somme des bases échangeables	< 2	2 à 5	5 à 10	10 à 15	> 15
Capacité d'échange	< 5	5 à 10	10 à 25	25 à 40	> 40
V) Taux de Saturation en %	15	15 à 40	40 à 60	60 à 90	> 90

Réaction du sol	Extrêmement acide	Très fortement acide	fortement acide	moyennement acide	faiblement acide
pH eau	< 4,5	4,5 à 5,0	5,1 à 5,5	5,6 à 6,0	6,1 à 6,5
	Neutre	légèrement alcalin	Modérément alcalin	fortement alcalin	très fortement alcalin
	6,6 à 7,3	7,4 à 7,8	7,9 à 8,4	8,5 à 9,0	> 9,1

	Très bas	Bas	Moyen	Fort	Très Fort
C/N	< 8	8 - 10	10 à 15	15 à 25	> 25
K/T	< 1	1 - 2	2 - 5	> 5	
	Carence en K	besoin élevé en K	besoin faible en K	Pas de besoin immédiat	
Mg/K	< 2	2 - 20	20		
	Carence en Mg	Bon	Carence en K		
H/P	> 2	< 2			
	Carence en P	Carence en N			

(A) - Décalage d'une colonne vers la gauche pour les sols sableux.



Profil pédologique	brun 30 40 50 	brun 25 50 85 	50 70 90 120 	gris brun 10 40 60 80 100 110
pente (%)	1,2	1,5	0,5	0,5
position physio-graphique	Glacis moyen à affleurement de cuirasse	Bas-glacis	Bas-fond	Bas-fond
Type de sol	Régosol	Sol brun eutrophe	Vertisol hydromorphe	Sol brun peu évolué d'apport
Végétation ligneuse	Savane arbustive à dominance de : - <i>Balanites aegyptiaca</i> - <i>Acacia senegal</i>	Savane arborée à arbustive à dominance de : <i>Parkia biglobosa</i> et de <i>Acacia seyal</i> et <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .	Savane arborée claire constituée des espèces comme : <i>Ficus gnaphalocarpa</i> , <i>Acacia seyal</i> .	Savane arborée à arbustive : <i>Ficus gnaphalocarpa</i> , <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .
Tapis herbacé	néant	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Andropogon gayanus</i> et <i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Cassia tora</i> et <i>Andropogon pseudapricus</i>
Utilisation des terres	Parcours	Culture sorgho blanc	Culture sorgho rouge	Reboisement, parcours

180 m

ANNEXES 3: TOPOSEQUENCE suivant transect n°1

S= Texture sableuse A= Texture argileuse L=Texture limoneuse 10 = profondeur en cm

brun, gris, etc= couleur du premier horizon, donnée par le code Munsell, 1994

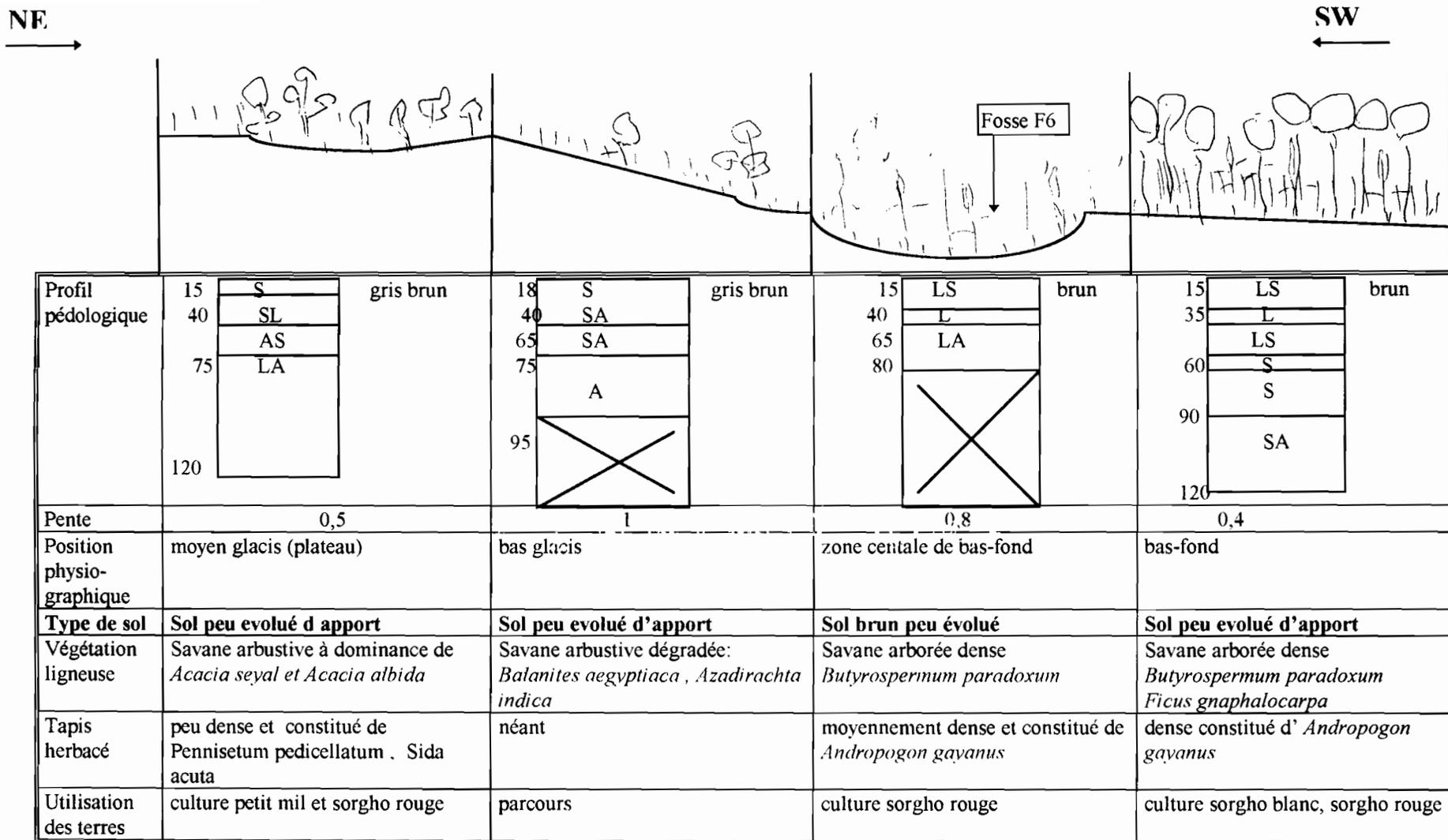
NE



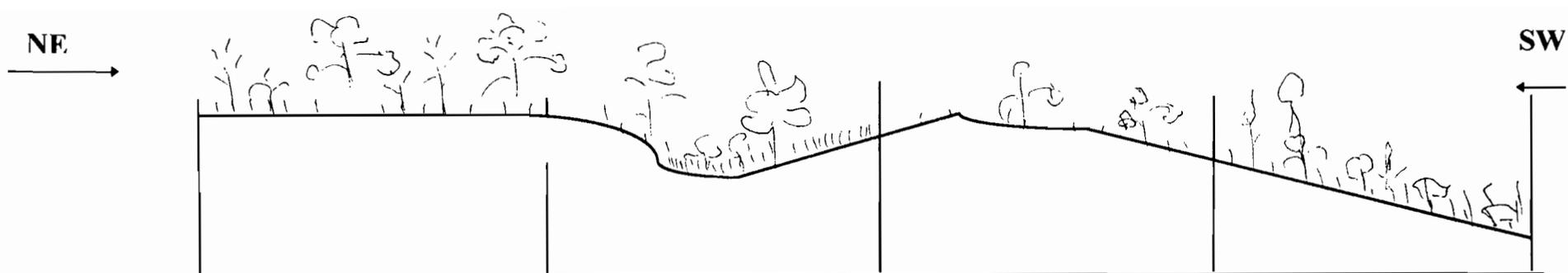
	3024	3025	3026	3027	3018	3029
Profil pédologique						
Pente (%)	2	1	1	0,5		
Position physio-graphique	Bas de pente	moyen glacis (plateau)	Moyen glacis	Moyen glacis à affleurement de cuirasse		
Type de sol	Sol peu évolué d'apport	Sol brun eutrophe ferruginisé	Sol brun peu évolué	Sol brun eutrophe ferruginisé		
Végétation ligneuse	Savane arborée claire à dominance de <i>Parkia biglobosa</i> et de <i>Balanites aegyptiaca</i>	Savane arborée à dominance de <i>Butyrospermum paradoxum</i>	Savane arborée claire à dominance de <i>Adansonia digitata</i>	Savane arborée dégradée <i>Acacia albida</i> , <i>Butyrospermum paradoxum</i> et <i>Balanites aegyptiaca</i>		
Tapis herbacé	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i> <i>Aristida hordeacea</i>	<i>Andropogon pseudapricus</i> , <i>Loudetia togoensis</i>		
Utilisation des terres	Culture mil .riz	culture sorgho rouge	culture sorgho rouge . oseille	Culture petit mil .sorgho rouge		

TOPOSEQUENCE suivant transect n° 2

3026 n° d'observation

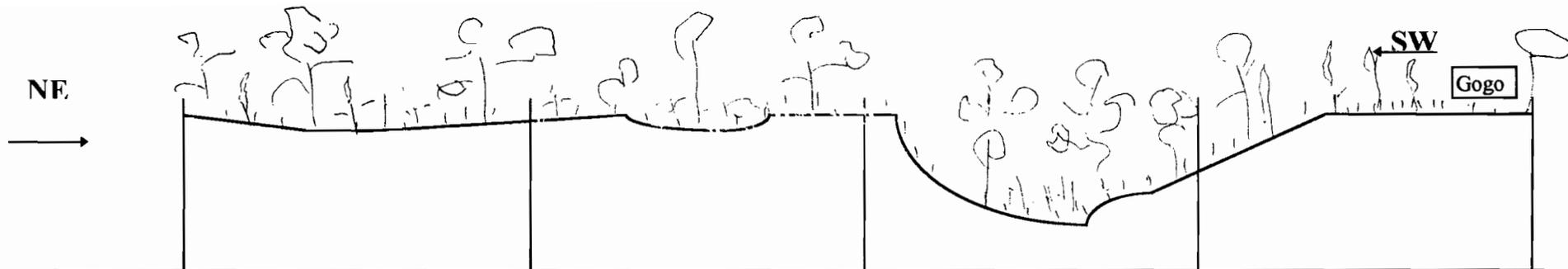


TOPOSEQUENCE suivant transect n° 3



Profil pédologique	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">15</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>LS</td></tr> <tr><td>LA</td></tr> <tr><td>A</td></tr> <tr><td>A</td></tr> </table> <div style="margin-left: 5px;">brun</div> </div>	LS	LA	A	A	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">brun gris</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>15</td><td>LAS</td></tr> <tr><td>30</td><td>LAS</td></tr> <tr><td>40</td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td></td></tr> <tr><td>75</td><td></td></tr> <tr><td>130</td><td></td></tr> </table> </div>	15	LAS	30	LAS	40		60		75		130		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">15</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>LS</td></tr> <tr><td>LS</td></tr> <tr><td>SL</td></tr> <tr><td>SL</td></tr> <tr><td>LA</td></tr> <tr><td></td></tr> <tr><td></td></tr> </table> <div style="margin-left: 5px;">brun</div> </div>	LS	LS	SL	SL	LA			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">brun</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>15 cm</td><td>LS</td></tr> <tr><td>30</td><td>LA</td></tr> <tr><td>40</td><td>LA</td></tr> <tr><td></td><td>A</td></tr> <tr><td>75</td><td>cuirasset</td></tr> </table> </div>	15 cm	LS	30	LA	40	LA		A	75	cuirasset
LS																																					
LA																																					
A																																					
A																																					
15	LAS																																				
30	LAS																																				
40																																					
60																																					
75																																					
130																																					
LS																																					
LS																																					
SL																																					
SL																																					
LA																																					
15 cm	LS																																				
30	LA																																				
40	LA																																				
	A																																				
75	cuirasset																																				
Pente (%)	0,3	0,4	0,2	0,6																																	
Position physio-graphique	moyen glaciaire (plateau)	dépression (bas-fond)	moyen glaciaire (plateau ondulé)	bas-glaciaire																																	
Type de sol	Sol brun peu évolué	Sol peu évolué d'apport et hydromorphe en profondeur	Sol peu évolué régosolique	Sol brun eutrophe ferruginisé																																	
Végétation ligneuse	Savane arborée claire à <i>Butyrospermum paradoxum</i> et <i>Sclerocarya birrea</i>	Forêt galerie comportant les espèces comme <i>Anogeissus leiocarpus</i> , <i>Terrinauia avicmoïdes</i> et <i>Diospiros mespiliiformis</i>	Savane arborée dégradée: quelques espèces existent comme <i>butyrospermum paradoxum</i>	Savane arbustive à dominance de <i>Piliostigma reticulatum</i>																																	
Tapis herbacé	discontinu et composé de l'espèce comme <i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Andropogon pseudapricus</i> et <i>Aristida hordeacea</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i> et quelques espèces de <i>Loudetia togoensis</i>																																	
Utilisation des terres	culture sorgho rouge	culture de riz	culture sorgho rouge et petit mil avec association du haricot	culture petit mil																																	

Toposéquence suivant transect n° 5



Profil pédologique	10 30 40 50 65 70 LS LA AL A granite à faible altération A	13 23 60 110 LS LAS A	brun gris 30 50 65 70 120 LS LAS LAS AL A	gris sombre 15 25 40 60 80 LS LS SL SL
Pente (%)	0,5	1	1,5	0,6
Position physio-graphique	Bas -fond	debut de pente (bas-glacis)	mi pente (bas glacis)	moyen glacis
Type de sol	Sol brun eutrophe peu evolué	Sol peu evolué d'apport	Sol brun peu evolué d'apport	Sol peu evolué régosolique
Végétation ligneuse	Savane arborée claire à dominance de <i>Lannea microcarpa</i> et <i>Parkia biglobosa</i>	Savane arborée claire à dominance de <i>Sclerocarya birrea</i>	Savane arborée à <i>Butyrospermum paradoxum</i>	Savane arborée dégradée à <i>Lannea microcarpa</i> et <i>Butyrospermum paradoxum</i>
Tapis herbacé	dense et constitué de <i>Andropogon pseudapricus</i> et <i>Pennisetum pedicellatum</i>	<i>Andropogon pseudapricus</i>	neant	neant
Utilisation des terres	culture siorgho blanc et petit mil	culture petit mil	culture petit mil	culture petit mil

TOPOSEQUENCE du Transect n° 4

A= Texture Argileuse

Rm = Roche mère

L= Texture Limoneuse

S= Texture sableuse



Echelle: 1/240.000

Carte n°4: Carte de localisation des observations de terrain

Légende

●=: Sondages à la tarière

1= Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds

2= Sols peu évolués d'apport colluvio-alluvial

3= Sols bruns eutrophes ferruginisés

4= Sols peu évolués régosoliques

5= Vertisols hydromorphes

6= Sols bruns eutrophes peu évolués à affleurements de granite

7= Sols bruns eutrophes vertiques

