

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

---

INSTITUT  
DU DEVELOPPEMENT RURAL  
(I.D.R)

---



---

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CENTRE DE OUAGADOUGOU

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*présenté en vue de l'obtention du*

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : EAUX ET FORETS

thème :

***APPLICATION DE LA TELEDETECTION SATELLITAIRE  
A LA CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS VEGETALES ET  
DES ETATS DE SURFACE AU SAHEL***

*(Cas de BIDI, Nord Yatenga)*

Juin 1993

Dominique ZONGO

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	2
RESUME	4
ABSTRACT	5
LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX	7
INTRODUCTION	9
CHAPITRE I : LE CADRE D'ETUDE	
I. La province du Yatenga	12
II. La zone d'étude	12
CHAPITRE II : METHODOLOGIE GENERALE	
I. Quelques données générales	33
II. Méthode adoptée pour l'étude	55
CHAPITRE III : OBSERVATION DE TERRAIN ET CLASSIFICATIONS	
I. Observations	73
II. Classification de la végétation : les formations végétales et les groupements végétaux	86
III. Classification des états de surface	102
CHAPITRE IV : RESULTATS DES TRAITEMENTS NUMERIQUES ET DISCUSSION	
I. Les résultats des traitements non supervisés	121
II. Les traitements supervisés	123
III. Discussion	134
CONCLUSION GENERALE	137
BIBLIOGRAPHIE	140
ANNEXES	I
TABLES DES MATIERES	XVIII

## AVANT-PROPOS

Avant d'entamer l'exposé du contenu de ce mémoire, je me fais l'agréable devoir d'exprimer modestement mais du fond du coeur, ma profonde reconnaissance à tous ceux qui, par leur contributions multiformes, ont permis la réalisation de ce travail. Mes remerciements vont tout particulièrement à :

- Monsieur Jean-Marie LAMACHERE, chercheur à l'ORSTOM, à qui les mots adéquats me manquent pour exprimer suffisamment ma gratitude pour son assistance matériel et technique soutenue tout au long de ce travail. Sa sympathie et sa disponibilité quasi-constante à mon égard, en dépit de ses nombreuses occupations me resteront toujours en mémoire. Sans ses critiques édifiantes qui allient la souplesse à la rigueur scientifique, ce travail aurait difficilement vu le jour ;

- L'ensemble des enseignants de l'IDR, en particulier à ceux du Département Eaux et Forêts qui ont toujours su cultiver des rapports de type fraternel, plutôt que d'enseignants à enseignés, climat qui nous a permis à nous étudiants, pendant 5 ans, d'étancher notre soif du savoir à la source intarissable de leur culture scientifique ;

- Messieurs Vincent GODARD, Michel KOUDA et Pascal DELORME pour l'intérêt qu'ils ont porté en ce travail et la disponibilité dont ils ont fait preuve malgré que, pour des raisons indépendantes de leur volonté, ils n'aient pas pu suivre régulièrement ce travail jusqu'à son terme ;

- Monsieur Olivier PLANCHON, chercheur à l'ORSTOM, à qui je prie de trouver ici l'expression de ma profonde gratitude pour sa sympathie à mon endroit et ses contributions techniques et matérielles à la réalisation de ce travail.

Que Monsieur Pierre COUTERON, écologue, enseignant à l'ENGREF de Montpellier trouve dans ces termes ma respectueuse reconnaissance pour les longs entretiens constructifs qu'il a bien voulu nous accorder lors de ces séjours au Burkina Faso.

Il m'est également agréable d'adresser mes vifs remerciements à Monsieur Dominique REMY, informaticien à l'ORSTOM qui, avec beaucoup de sympathie, m'a initié à l'utilisation du logiciel PLANETES et m'a beaucoup aidé pour les traitements d'image.

A Messieurs Jean-Baptiste KOUDOUYOU et Amidou OUEDRAOGO, je les prie de trouver ici les marques de reconnaissance que je leur exprime pour avoir bien voulu me tenir compagnie sur le terrain dans des conditions difficiles, quelquefois jusqu'à la tombée de la nuit.

Je garde également un bon souvenir de mes collègues stagiaires avec lesquels j'ai séjourné à Bidi. Il s'agit de Paul OUEDRAOGO, de Boukary KOROGO et de Seydou OUEDRAOGO.

Que Madame Claire WARE qui s'est attelée à la saisie de ce texte, quelquefois jusqu'au delà des heures de service soit remerciée ainsi que Monsieur Christophe KONCOBO qui a bien voulu finaliser la traduction du résumé en anglais.

A tout le personnel de l'ORSTOM, en particulier celui de l'hydrologie avec lequel j'ai travaillé dans un climat collégial et fraternel, je leur exprime mes sincères attachements.

Enfin, à tous les parents et amis qui m'ont apporté leur soutien moral, je leur dis merci.

## RESUME

La région de Bidi, comme tout le Yatenga, est un milieu sahélien à pluviosité irrégulière et décroissante depuis quelques décennies. Des actions y sont menées pour tenter de juguler l'amenuisement graduel des ressources végétales et la dégradation du substrat édaphique. Ces actions, pour être efficaces, nécessitent au préalable la réalisation de documents de base qui permettent aux intervenants d'identifier, de répertorier et de classer les différentes unités des composantes végétale et édaphique superficielle du milieu en fonction des phénomènes dominants auxquels elles sont soumises. Aussi, la description de la végétation et de l'organisation pédologique superficielle a-t-elle permis, moyennant l'utilisation des techniques de la télédétection satellitaire, de définir et de cartographier les formations végétales et les principales unités d'états de surface. Les relations hydrodynamiques théoriques qui leur sont associées permettent de déduire approximativement l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration de ces unités et, par conséquent, d'aider à la décision quant à la nature et à la localisation des aménagements à entreprendre pour la protection du milieu et l'accroissement de la production agro-pastorale.

Mots-clés : Télédétection satellitaire, cartographie, formations végétales, états de surface, ruissellement, Sahel, Burkina Faso, Yatenga, Bidi.

## ABSTRACT

The territory of Bidi, like the whole Yatenga, is a sahelian environment with a decreasing and irregular rainfall since decades. Actions are being undertaken to try to jugulate the gradual growing smaller of the vegetable resources and the degradation of pedological substratum. In order to be efficient, these actions previously need realisation of basic documents that would allow participants to identify, repertoriate and classify the different unities of the superficial vegetable and pedological componants of the environment according to prevalent phenomena to which they are submitted. Therefore, the description of the vegetation and superficial pedological organisation has made it possible, by use of remote sensing techniques, to define and map-make the vegetable formation and principal unities of the surface states. The theoretical hydrodynamic relationships that are associated to them allow an approximate deduction of aptitude in streaming and in infiltration of these unities and consequently help to decide about the nature and localisation of arrangements to undertake for protection of the environnement and the increasing of agro-pastoral production.

Key words : Remote sensing, cartography, vegetable formations, surface states, streaming, Sahel, Burkina Faso, Yatenga, Bidi.

## LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Cartes de situation	13
Figure 2 : Carte géologique de la zone d'étude (extraite de la carte géologique de Ouahigouya-GANSONRE et LANGEVIN, 1989).	14
Figure 3 : Carte géomorphologique de la zone d'étude (ZOMBRE, 1992).	16
Figure 4 : Toposéquence type de la région de Bidi (SERPANTIE et al., 1988).	19
Figure 5 : Carte morphopédologique de la zone d'étude (ZOMBRE, 1992)	21
Figure 6 : Pluviométrie annuelle et moyennes calculées sur les périodes 1922-1969 et 1970-1990 au poste de Ouahigouya. (ALBERGEL et al., 1993).	24
Figure 7 : Données climatiques (1987-1990) à la station climatologique de Bidi-Nayiri (LAMACHERE, 1992, comm. pers.).	24
Figure 8 : Clef de détermination des types de surfaces (in CASENAVE et VALENTIN, 1989).	40
Figure 9 : Spectre électromagnétique (in CHABREUIL (A.) et (M.), 1979).	46
Figure 10 : Principe de la télédétection (in CHABREUIL (A.) et (M.), 1979).	46
Figure 11 : Organigramme de l'étude.	56
Figure 12 : Les types "cultural"	76
Figure 13 : Type TERM	77
Figure 14 : Type DES	78
Figure 15 : Type STII	79
Figure 16 : Type STIII	80
Figure 17 : Type ERO	81
Figure 18 : Type DECI	82
Figure 19 : Type DECII	83
Figure 20 : Type GRO	84
Figure 21 : Type CUIR	85
Figure 22 : Carte des formations végétales de la région de Bidi.	127
Figure 23 : Cartes des états de surface de la région de Bidi.	132

## LISTES DES TABLEAUX

Tableau I : Durées d'insolation mensuelles moyennes des années 1987 à 1990 à la station de Bidi-Nayiri.	25
Tableau II : Répartition de la population de Bidi selon les groupes ethniques d'après SERPANTIE et al. (1987).	30
Tableau III : Paramètres caractéristiques du domaine cultivé.	87
Tableau IV : Paramètres caractéristiques de la steppe herbeuse.	89
Tableau V : Quelques paramètres caractéristiques de la steppe sous-arbustive.	90
Tableau VI : Paramètres caractéristiques de la brousse tigrée.	93
Tableau VII : Paramètres caractéristiques des jachères à fourrés sous-arbustifs.	94
Tableau VIII : Paramètres caractéristiques des cordons ripicoles.	96
Tableau IX : Paramètres caractéristiques de la steppe arbustive et arborée exondée.	98
Tableau XI : Paramètres caractéristiques de la forêt claire d'épandage des eaux.	100
Tableau XII : Les surfaces élémentaires de la section F1.	102
Tableau XIII : Répartition des surfaces élémentaires des sections F2 et F3.	103
Tableau XIV : Répartition des surfaces élémentaires et les recouvrements ligneux et herbacé des sections K1 et K2.	105
Tableau XV : Recouvrements ligneux, herbacé et répartition des surfaces élémentaires sur les sections J1 et J2.	106
Tableau XVI : Répartition des surfaces élémentaires sur la section L1	107
Tableau XVII : Répartition des surfaces élémentaires sur B1 et C1.	109
Tableau XVIII : Répartition des surfaces élémentaires sur I1.	110
Tableau XIX : Répartition de surfaces élémentaires dans le domaine cultivé.	112
Tableau XX : Recouvrements ligneux, herbacé et répartition des surfaces élémentaires des bas et moyens versants sableux à steppe herbeuse.	113
Tableau XXI : Répartition des surfaces des bas-fonds.	115
Tableau XXII : Répartition des surfaces élémentaires des sections G1, G2 et G3.	116



Tableau XXIII : Répartition des surfaces élémentaires de la section C2.	117
Tableau XXIV : Répartition des surfaces élémentaires de la section A2.	119
Tableau XXV : Répartition des surfaces élémentaires de la section A1.	120
Tableau XXVI : Paramètres statistiques des canaux XS1, XS2 et XS3 sur l'ensemble de la fenêtre.	121
Tableau XXVII : Paramètres de classes de la classification automatique XS3 et IVN.	122
Tableau XXVIII : Matrice de corrélation des canaux.	123
Tableau XXIX : Paramètres des classes de la classification lissée des canaux XS2 et XS3 (méthode euclidienne).	125
Tableau XXX : Correspondance entre les classes radiométriques, les pseudo-classes et les formations végétales.	126
Tableau XXXI : Paramètres des classes lissées de la classification des canaux XS2, XS3 et IC.	129
Tableau XXXII : Correspondance entre les classes radiométriques, pseudo-classes et les unités d'états de surface.	130

## INTRODUCTION

Le déficit pluviométrique que connaît la région soudano-sahélienne depuis une vingtaine d'années a provoqué une aridification du climat.

Cette aridification climatique et la pression anthropique multiforme qui s'y juxtapose, ont pour conséquence d'insuffler une accélération à la dégradation de la végétation et des sols comme l'ont souligné de nombreux auteurs (BOUDET, 1972 ; GROUZIS, 1987 ; MARCHAL, 1983).

Ces facteurs conjugués, à savoir la régression - voire même la raréfaction par endroit - des ressources végétales, donc du pâturage et l'amenuisement progressif des terres cultivables, ont considérablement appauvri la société agro-pastorale sahélienne. Les conséquences de cet appauvrissement sont :

- Réduction significative des troupeaux de bovins en faveur des petits ruminants, moins exigeants et "mieux adaptés à un pâturage raréfié" (SERPANTIE et al., 1991) ;
- Vente d'attelages et de matériels par les agriculteurs.

Cette décapitalisation générale comme l'ont nommée SERPANTIE et al. (1991), constitue une entrave sérieuse à la contribution efficace des populations sahéliennes, en majorité agropastoralistes, au processus de développement socio-économique du Burkina Faso.

Au regard de cette situation, de nombreuses institutions de développement et de recherche interviennent dans la zone sahélienne pour tenter de juguler cette situation.

Dans la région de Bidi, quatre programmes de recherches, dont trois financés en partie ou en totalité par l'ORSTOM, se sont développés en collaboration avec d'autres organismes français, burkinabè et d'autres organismes internationaux (LAMACHERE, 1992). Ce sont :

- Le programme "Dynamique des systèmes agro-pastoraux en zone soudano-sahélienne" (DSAP), initié en 1983 par l'ORSTOM ;

- Le programme "Etude du ruissellement, de l'érosion et de l'infiltration sur bassins versants et parcelles cultivées" débuté en 1985 et dont le programme VERITAS constitue le prolongement ;

- Le "Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au sahel - Projet Yatenga" initié conjointement par le CIEH, le CIRAD, l'ORSTOM, L'UAW, le FASGx, l'INERA, le FER et l'ISRA.

- Le programme "Savane à Long Terme" (SALT) initiée par l'ENS, l'ORSTOM, le CNES et le LERTS.

La présente étude, axée principalement autour des thèmes végétation et états de surface, se place à l'interface de trois programmes à savoir les programmes DSAP, VERITAS et SALT.

Elle se fixe pour modeste objectif d'utiliser les données satellitaires pour mettre à la disposition des aménagistes ruraux, un document de base permettant de répertorier les différents faciès de formations végétales, les groupements végétaux et les états de surface. De la description des états de surface, nous en déduirons leurs comportements hydrodynamiques afin d'orienter les décisions d'interventions et leur priorité en matière d'aménagement hydro-agricole.

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation du cadre d'étude.

Le second chapitre a trait à des généralités concernant les surfaces élémentaires, la végétation et la télédétection. Les acquis de quelques travaux antérieurs y sont exposés.

La méthodologie selon laquelle nous avons réalisé l'étude y est également présentée.

Le troisième chapitre présente les observations faites sur le terrain. Ces observations nous ont permis de classifier la végétation et les états de surface pour obtenir des unités cartographiques.

Le dernier chapitre donne les résultats des traitements supervisés qui nous ont permis de cartographier la végétation et les états de surface. Elle se consacre également à une discussion des méthodes utilisées, puis de l'apport de la télédétection satellitaire pour l'aide à la décision en matière d'aménagement.

# **CHAPITRE I**

## **LE CADRE D'ETUDE**

## **I- LA PROVINCE DU YATENGA**

Située au nord-ouest du Burkina Faso avec pour chef lieu Ouahigouya, la Province du Yatenga se trouve entre 13° et 14°15' de latitude Nord puis entre 1°40' et 3° de longitude Ouest. (figure 1).

Elle s'étend sur une superficie de 12 270 km<sup>2</sup>. Au recensement de 1985, la province était peuplée de 536 578 habitants avec un taux d'accroissement annuel de 0,8 % (INSD, in TUINA 1992), soit une densité moyenne de 43 habitants/km<sup>2</sup>. La province connaît une forte migration saisonnière, ou de longue durée, vers les régions sud et sud-est du Burkina Faso et vers les pays côtiers limitrophes, notamment la Côte d'Ivoire.

## **II- LA ZONE D'ETUDE**

### **2.1 Situation géographique**

La zone qui fait l'objet de notre étude est comprise entre les latitudes 13°50 et 14°5' puis entre les longitudes 2°20 et 2°45'. Etendue sur 723 km<sup>2</sup>, elle est à cheval sur 4 départements du Nord Yatenga : Koumbri, Thiou, Kain, Banh. Elle couvre plusieurs villages dont Bidi, Améné, Mougounouboko, Kéké, Ingaré, etc... (figure 1).

### **2.2 La géologie (figure 2)**

Les processus géologiques qui ont présidé à la mise en place du substratum dans la zone d'étude ont concerné l'ensemble du bouclier ouest-africain.

Au Yatenga, plusieurs auteurs (DUCELLIER, 1963 et DELFOUR, 1964 cités par BOULET, 1968 ; GANSONRE, 1975 ; GANSONRE et LANGEVIN, 1989) ont indiqué que ces processus ont été principalement marqués au cours de deux ères géologiques : le Précambrien Terminal et le Tertiaire.

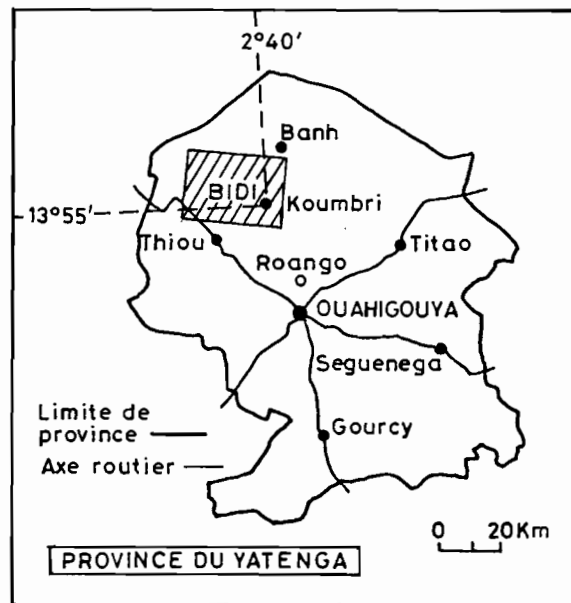
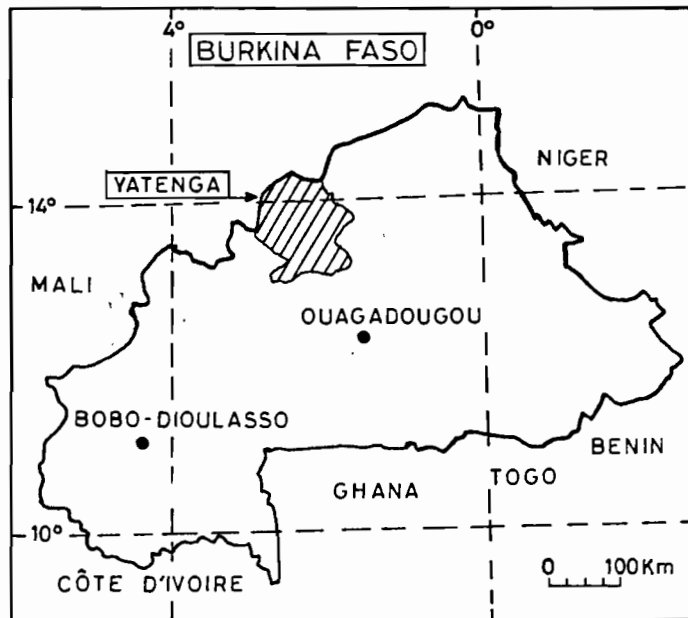


Figure: 1 \_ CARTES DE SITUATION

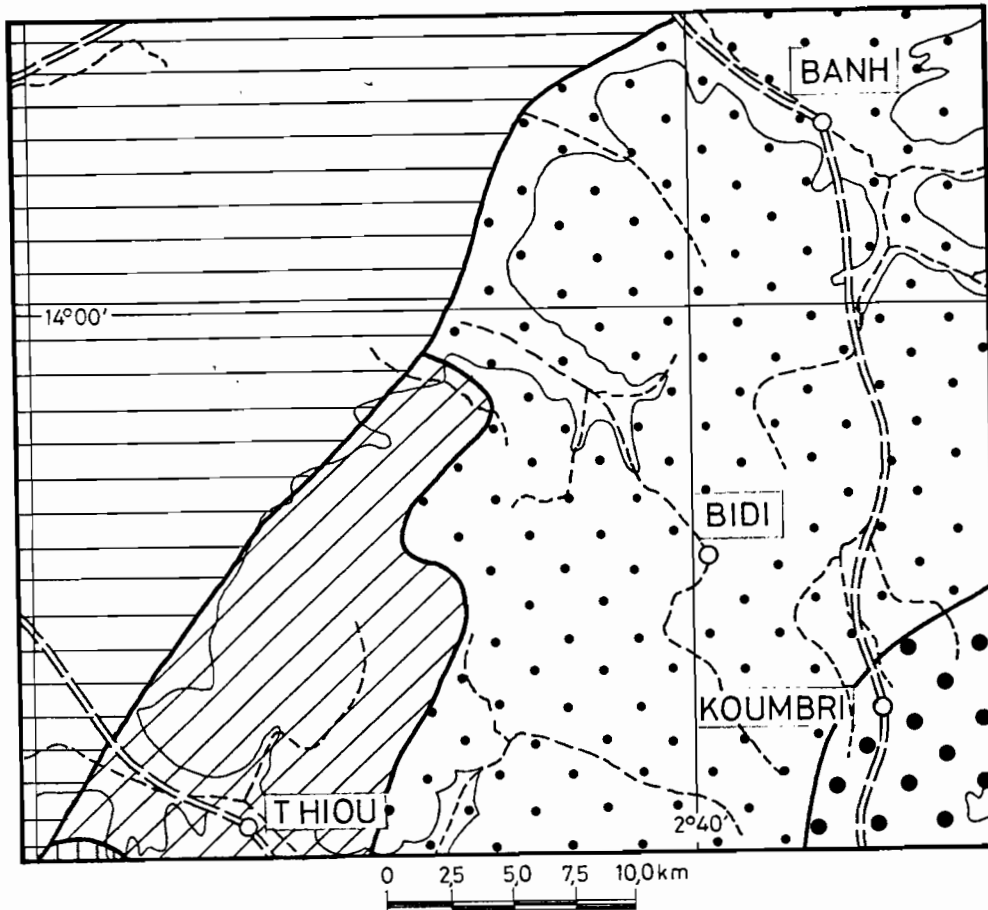


Figure: 2 - CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE  
 (EXTRAITE DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE OUAHIGOUYA)  
 GANSONRE ET LANGEVIN 1989

**Légende**



- 1- Granites roses circonscrits homogènes en domaine schisto-volcanique et à tendance hétérogène en domaine granitique.
- 2- Complexe volcanique (spilites, brèches spilitiques, porphyrites basiques, méta-andésites, méta-dolorites rhyodacites).
- 3- Complexes sédimentaires (schistes microconglomératiques, tufs altérés, schistes gréseux, grès schisteux, schisteux graphiteux etc).
- 4- Formation argilo-sableuses du Continental Terminal discordantes sur socle.



Aux alentours de Bidi, le substratum de type granitique est marqué par l'apparition en petits massifs intrusifs dans le complexe schisteux birrimien. Le socle granitique se raccorde en pente douce avec le massif de collines et de tables cuirassées de la région de Koumbri (roches vertes et schistes birrimiens) au sud, à la plaine du Gondo au Nord-Ouest (SERPANTIE et al., 1988).

Au nord du 14<sup>e</sup> parallèle, on rencontre des formations plus récentes représentées par des dépôts sableux éoliens formant localement de petits ensembles dunaires (TUINA, 1992).

L'ensemble de la région a subi de manière alternée, des phases de cuirassement, d'altération et des phénomènes tectoniques ayant abouti à la mise en place de fractures généralement marquées par les dépôts éoliens dont l'épaisseur peut excéder deux mètres par endroits.

### **2.3 La géomorphologie**

Elle a été étudiée en 1968 par BOULET. La topographie générale du Nord du Burkina Faso est faiblement ondulée. Plus récemment, une carte géomorphologique, couvrant la majeure partie de notre zone d'étude a été établie par ZOMBRE (1992) (figure 3). On distingue grosso-modo trois grands types de paysages :

- La région Sud-Est de Koumbri et la région de Goussirdou, caractérisées par la présence de collines et de tables cuirassées qui impriment au relief une allure relativement accidentée ;

- La plaine de Gondo qui s'étend au Nord et au Nord-Ouest de Mougounoboko, elle est marquée par l'épandage des eaux des rivières sur le système dunaire et l'existence de glacis moyennement à fortement érodés ;

- La zone sur substratum granitique, autour de Bidi, présente des ondulations de moindre envergure avec une dominance de pseudoglacis à recouvrement sableux. Quelques affleurements cuirassés sporadiques sont notables autour de Saméné.

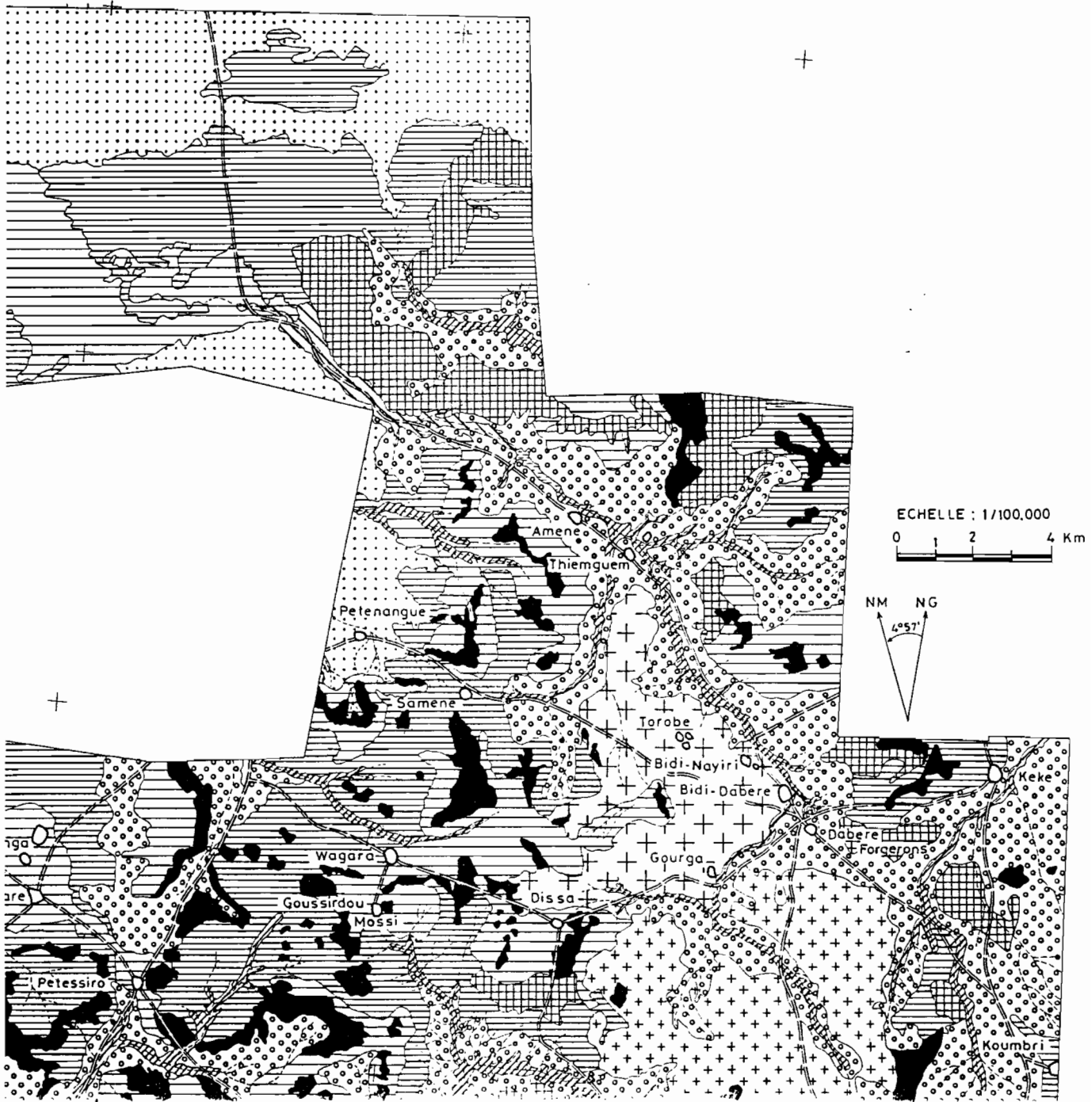


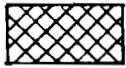
Figure 3 : Carte géomorphologique de la zone d'étude (ZOMBRE, 1992).

— LEGENDE DE LA CARTE GEOMORPHOLOGIQUE —

I Relief résiduel

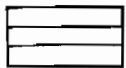


Buttes et affleurements cuirassés



Buttes et affleurements rocheux

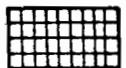
II Glacis



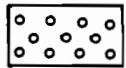
Glacis fortement érodé



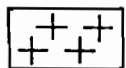
Glacis moyennement érodé



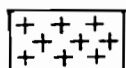
Glacis moyennement érodé à brousse tigrée



Glacis colluvial

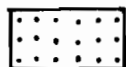


Pseudoglacis à recouvrement sableux



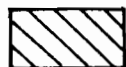
Pseudoglacis à recouvrement sableux avec brousse tigrée

III Système dunaire



Recouvrement sableux

IV Système colluvio-alluvial



Plaine alluviale



Bas-fond

SERPANTIE et al. (1988) distinguent schématiquement 4 facettes paysagiques sur une demi-ondulation prise comme unité morphologique (figure 4). On a du haut vers le bas de la toposéquence :

- Le sommet d'interfluve pouvant donner lieu à un "pseudo-cuesta" avec talus et revers.

- Le haut versant où la cuirasse peut disparaître et laisser à nu différents niveaux d'altération.

- Le bas-versant concave, induré sur sol d'épaisseur variable.

- Le bas-fond qui se décompose en une aire alluviale encaissée, temporairement inondée et une pente de raccordement ou chanfrein qui le relie au bas-versant à travers une pente convexe plus forte de 2 à 3 %.

#### **2.4 Le réseau hydrographique**

Il est essentiellement constitué de bas-fonds qui collectent les eaux de ruissellement des ondulations environnantes.

On distingue deux principaux cours d'eau dans notre zone d'étude, nettement identifiables sur l'image satellitaire par leur forte activité végétative :

- Le cours d'eau de Bidi qui draine les eaux vers la plaine du Gondo en créant un cône d'épandage en aval de Mougounouboko. Il a fait l'objet de deux aménagements hydro-agricoles : le barrage d'Améné et la retenue de Gourga, construite par le FEER et le projet Canadien micro-réalisation ;

- Le cours d'eau de Banh, qui canalise les eaux de ruissellement des collines de Koumbri vers la plaine Nord-Ouest de Banh.

Zones	H.V	Sommets		Haut Versant		Bas Versant		Bas fond			B.V
Sous-Zones	Bowés	Cuirasse sommitale	Talus	Fenêtre	Haut versant sableux	Mi-versant non-hydromorphe	Bas-versant hydromorphe	Ch.	Bas-fond	Chanfrein	
Soils	Lithosols et sols peu épais SL		gravillon	sol squelettique arène gravill.	sol peu épais sableux	sableux	sableux à sablo-argileux Colluvio-éolien	SA à A	LA	SA à argileux tronqué	
Végétation ligneuse	Steppes herbueses et fourrés Pterocarpus, Combretacées		fourrés combretacées	Brousse tigrée et steppes combretacées	Steppes herbueses à fourrés combretacées Pterocarpus	Jachères (savane arbustive) Combretacées Guiera	Jachères (savane arbustive) Parc soudano-sahélien Guiera et Piliostigma r.		savane boisée Parc soudanien Piliostigma	Steppe Balanites Acacias	
Utilisation du sol	Parcours		Parcours	Parcours	Parcours et Mil	Mil	Mil et arachide, habitat	jar-dins	Sorgho, riz vergers	Routes, mil, habitats	

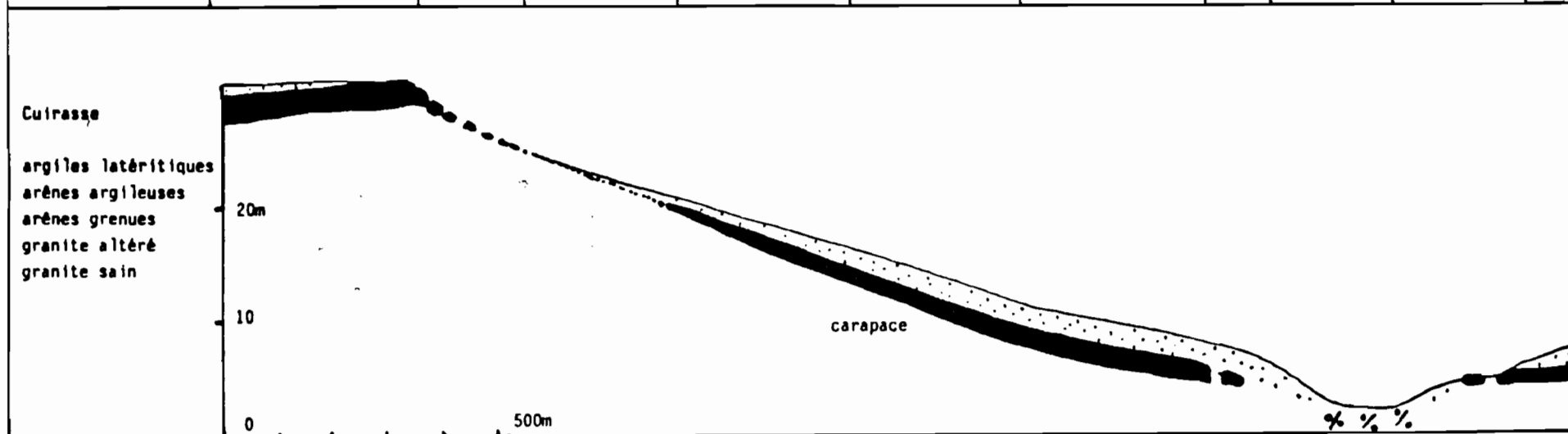


Figure 4 : Toposéquence type de la région de Bidi (SERPANTIE et al., 1988).

## **2.5 La pédologie**

L'étude morphopédologie faite par ZOMBRE (1992) (figure 5) révèle la prédominance spatiale des glacis fortement à moyennement érodés et des glacis colluviaux dans la région.

Les sols incultes, constitués par les buttes et les affleurements cuirassés, occupent plus de 10 % de la zone et sont particulièrement représentés au Sud-Ouest autour de Goussirdou-Mossi. Une forte proportion des zones cultivables (90 %) est modérément à fortement dégradée et nécessite des aménagements anti-érosifs.

En outre, les résultats analytiques obtenus à Bidi et dans d'autres localités par ZERBO (1991) et ZOMBRE (1991b) révèlent un faible niveau de fertilité chimique des sols.

## **2.6 Le climat**

### **2.6.1 Le déterminisme saisonnier sous-régional**

Au Burkina Faso, le rythme saisonnier est commandé par le mouvement des masses d'air dont la motricité est engendrée par le bilan d'énergie.

Ces masses d'air sont principalement :

- "L'harmattan", vent sec et chaud, soufflant du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Il est généré par l'anticyclone du Sahara ;
- La "mousson", vent maritime tiède et humide de direction Sud-Ouest.

Ces masses d'air se rencontrent en définissant une ligne appelée le front intertropical (FIT). Ce FIT est globalement dirigé d'Est en Ouest et se déplace latitudinalement au cours de l'année en suivant, avec un décalage de quelques semaines, le mouvement apparent du soleil (CASENAVE et VALENTIN, 1989).

En janvier, il occupe sa position la plus méridionale et passe par le tiers sud de la Côte d'Ivoire. Le Burkina Faso est alors dans l'"harmattan". C'est la sécheresse.

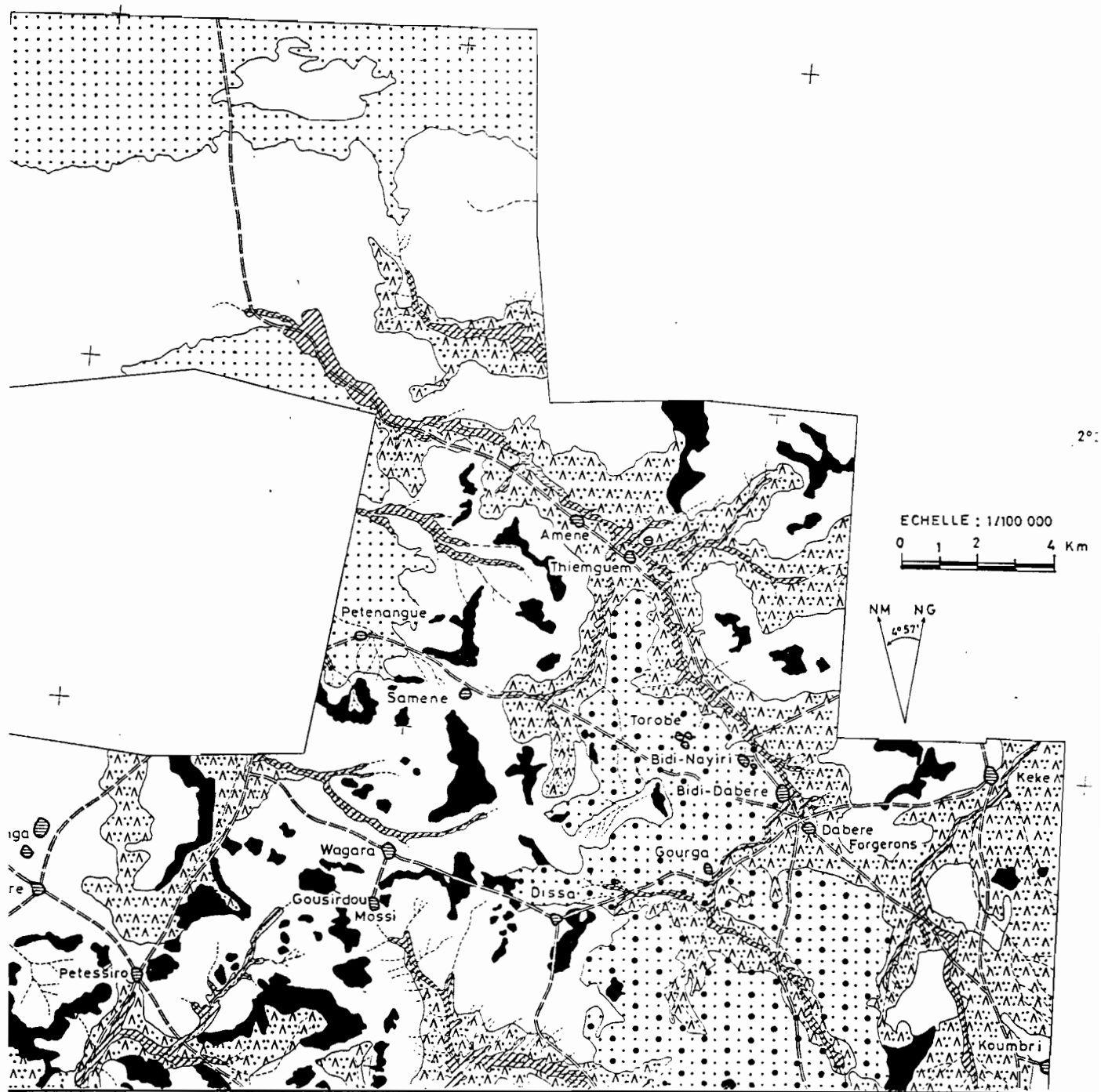









Figure 5 : Carte morphopédologique de la zone d'étude (ZOMBRE, 1992).

## LEGENDE DE LA CARTE MORPHOPEDOLOGIQUE

UNITES GEOMORPHOLOGIQUES	UNITES DES SOLS -DE L'ASSOCIATION	LITHOLOGIE OU MATERIAUX
 Buttes et affleurements cuirassés	11.	Meta-sédiments argileux ou argilo-gréseux
 Buttes et affleurements rocheux	12,21.	Complexe volcano-sédimentaire (schistes, tufs laves et sédiments associés)
 Glacis fortement à moyennement érodés	21;11;43.	
 Glacis colluviaux	42;23;31.	
 Pseudo-glacis à , recouvrement sableux	21;12;42.	Granite à biotite parfois muscovite ( Birrimien )
 Glacis moyennement érodés sur ergs anciens	41;43.	Formations sédimentaires du Continental Terminal
 Plaine colluvio - alluviale et bas - fonds	51,22;42.	Colluvions et alluvions

### LEGENDE DES UNITES DES SOLS

#### 1. - SOLS MINERAUX BRUTS

1.1. - Lithosols sur cuirasse ferrugineuse

1.2. - Lithosols sur roches diverses

#### 2. - SOLS PEU EVOLUES

2.1. - Sols peu évolués d'érosion régosolique

2.2. - Sols peu évolués d'apport colluvio - alluvial, hydromorphes

#### 3. - SOLS BRUNIFIES TROPICAUX

3.1. - Sols bruns eutrophes tropicaux vertiques sur matériaux argileux

#### 4. - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

4.1 - Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur sable éolien

4.2 - Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur matériaux sablo - argileux

4.3 - Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur matériaux gravillonnaires

#### 5. - SOLS HYDROMORPHES

5.1. - Sols hydromorphes à pseudo-gley structuré sur matériaux sablo-argileux



A partir de janvier le FIT entame une remontée pour atteindre sa position la plus septentrionale autour du 20<sup>e</sup> parallèle au mois d'août. Pendant ce temps, le Burkina Faso est soumis à la mousson. C'est la saison pluvieuse.

En septembre, le FIT rebrousse chemin pour redescendre vers sa position de janvier.

La longueur de la saison pluvieuse en une localité donnée dépend de la durée pendant laquelle cette localité est soumise au régime de la mousson.

Dans notre zone d'étude qui est située entre le 13<sup>e</sup> et le 14<sup>e</sup> parallèle, la saison de pluies commencent en début juin pour finir en fin septembre, ces deux dates correspondent aux paysages du FIT, respectivement lors de sa montée et de sa descente.

#### **2.6.2 Données pluviométriques à la station synoptique de Ouahigouya**

En dépit de l'apparente régularité du mécanisme cyclique des saisons, on note de fortes disparités pluviométriques inter-annuelles. L'analyse de la figure (6) permet de définir globalement deux grandes périodes :

- Celle allant de 1922 à 1969 avec une moyenne de 716 mm ;
- Celle de 1970 à 1990 avec une moyenne de 540 mm.

Cette tendance générale à la baisse au cours de ces deux dernières décennies n'a pas manqué d'avoir des retentissements aux plans écologiques et socio-économiques.

#### **2.6.3 Données météorologiques de la station de Bidi**

Les observations des paramètres climatiques ont été effectuées à la station météorologique de Bidi-Nayiri et sont illustrées par la figure 7.

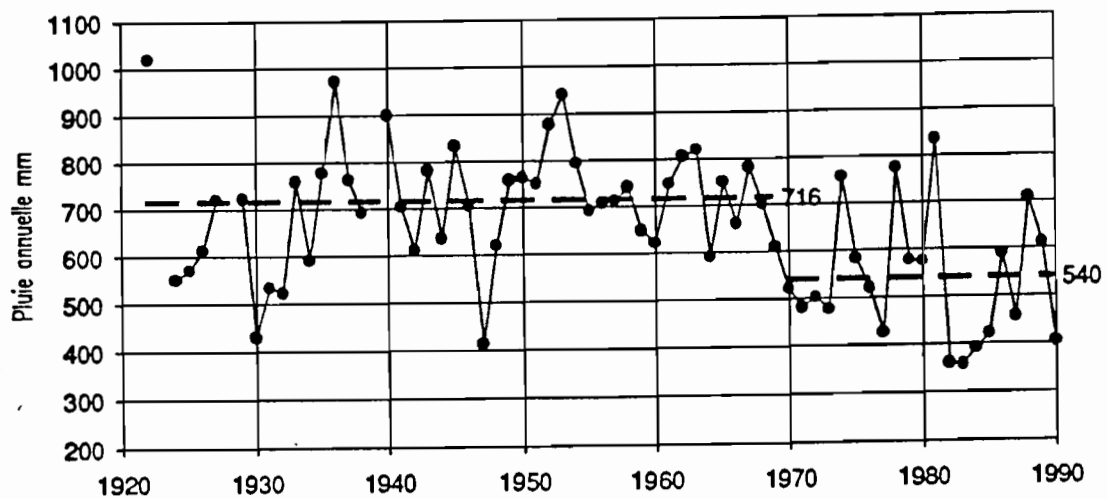


Figure 6 : Pluviométrie annuelle et moyennes calculées sur les périodes 1922-1969 et 1970-1990 au poste de Ouahigouya. (ALBERGEL et al., 1993).

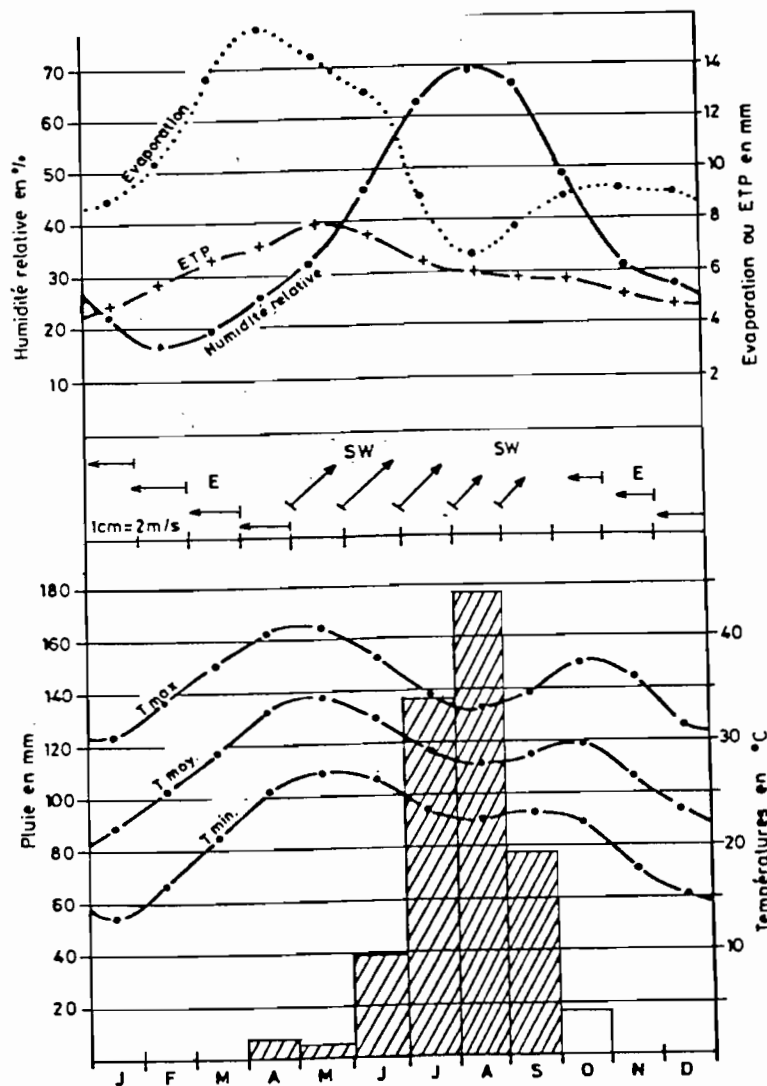


Figure 7 : Données climatiques (1987-1990) à la station climatologique de Bidi-Nayiri (LAMACHERE, 1992, comm. pers.).

Ces paramètres sont principalement :

- La température :

Les valeurs les plus basses sont observées en Janvier tandis que les fortes températures sont enregistrées en avril-mai, puis dans une moindre mesure en octobre. L'écart thermique journalier est relativement constant et sensiblement égal à 16°C.

- La durée d'insolation :

Les plus courtes durées d'insolation sont observées en saison pluvieuse (8,2 à 8,4 h/jour) tandis que les valeurs maximales s'observent en mai (10,0 h/jour) (ZIDA, 1992).

**Tableau I : Durées d'insolation mensuelles moyennes de 1987 à 1990 à la station de Bidi-Nayiri**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Insolation h/jour	8,9	9,2	9,2	8,4	10,0	8,3	8,2	8,2	8,4	9,1	9,7	8,5	8,8

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 l'évapo-transpiration.

- L'humidité relative

Elle est assez fluctuante au cours de l'année. Elle atteint ses valeurs les plus faibles en janvier février (inférieure à 20 %) correspondant à la période pendant laquelle soufflent les vents secs continentaux de l'harmattan.

En revanche, les plus fortes valeurs (autour de 70 %) sont enregistrées en août-septembre correspondant à la période de couverture de la région par la mousson.

- L'évaporation (bac colorado)

Elle connaît d'assez importantes fluctuations dans l'année. Au mois d'avril qui est le mois le plus chaud, l'évaporation peut dépasser  $15 \text{ mmj}^{-1}$  tandis qu'en août, elle est inférieure à  $7 \text{ mmj}^{-1}$ .

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) (PENMAN).

Elle est relativement peu variable au cours de l'année. Maximale en mai ( $7,9 \text{ mmj}^{-1}$ ), l'ETP atteint ses plus faibles valeurs en décembre-janvier. L'amplitude entre les ETP mensuelles au cours de l'année est de  $3,3 \text{ mmj}^{-1}$ .

- Les vents

Dans la région de Bidi, tout comme partout ailleurs au Yatenga, il souffle deux types principaux de vents :

. Les vents continentaux secs du Nord-Est et d'Est qui s'installent d'octobre en avril ;

. Les vents du Sud-Ouest et d'Ouest qui couvrent la zone de mai à septembre.

Les plus grandes vitesses sont observées en février ( $2,0 \text{ ms}^{-1}$ ) et en juin ( $2,4 \text{ ms}^{-1}$ ). En début d'hivernage cependant, les pluies sont précédées de violents vents poussiéreux, de direction Est-Ouest, de vitesse pouvant dépasser  $20 \text{ ms}^{-1}$  mais de courte durée (0,5 à 1 heure) (ALBERGEL et al., 1993).

- La pluviométrie

La moyenne des pluviométries annuelles observées à la station météorologique de Bidi de 1985 à 1991 est de  $487 \text{ mm/an}$ . Cependant cette moyenne globale dissimule des disparités intra-saisonnières et inter-annuelles. En effet, en 1991 on a enregistré  $638,1 \text{ mm}$  tandis qu'en 1985, il n'est tombé que  $352,6 \text{ mm}$  d'eau. Ces disparités inter-annuelles sont mises en évidence par un coefficient de variation calculé sur les sept ans d'observation. Celui-ci est de  $21 \%$  et serait un indicateur de l'aridité du climat (RIOU, 1980 cité par ZIDA, 1992).

La saison pluvieuse s'étend essentiellement sur 4 mois, de juin à septembre avec un maximum en août où il tombe près de 40 % de la quantité d'eau annuelle (figure 7).

Il faut noter que les irrégularités spatio-temporelles, intra-saisonniers et inter-annuelles qui caractérisent le milieu sahélien en général et en particulier la région de Bidi constitue un des aléas, et non des moindres, qui pèsent comme l'Épée de Damoclès sur les populations.

## **2.7 Le contexte phytogéographique**

Divers découpages phytogéographiques ont été proposés (MONOD, 1957 ; AUBREVILLE, 1959 ; TROCHAIN, 1970 ; BOUDET et WISPALAERE, 1976 ; CAMERATTI, 1983 ; cités par GANABA, 1990), mais à des échelles différentes. Néanmoins l'appartenance du Burkina Faso à la région phytogéographique soudano-zambésienne et l'existence d'un domaine phytogéographique sahélien couvrant la partie septentrionale du pays fait l'unanimité des auteurs.

Pour notre part, nous nous en tiendrons au découpage phytogéographique proposé par GUINKO (1984) pour la simple raison que l'étude n'ayant concerné que le territoire burkinabè, elle tranche nettement, en terme de finesse, avec les considérations beaucoup plus globales que proposent d'autres auteurs. Ce découpage, au regard de son échelle relativement grande, nous semble mieux répondre aux besoins de notre travail, en raison de la faible étendue spatiale la zone concernée.

Notre zone d'étude se situe d'après cet auteur, dans le domaine phytogéographique sahélien, plus précisément dans le secteur phytogéographique subsahélien, avec un léger débordement sur le secteur phytogéographique sahélien strict.

Le secteur phytogéographique subsahélien est délimité latitudinalement par le 13<sup>e</sup> et le 14<sup>e</sup> parallèle. Transitoire entre la savane et la steppe, il est caractérisé par une pluviométrie de 600 à 750 mm dont il faut noter une tendance à la baisse ces dernières années. La saison sèche dure 7 à 8 mois.

Au plan floristique, ce secteur est une zone d'interférence de nombreuses espèces sahéliennes et soudaniennes ubiquistes mais l'allure générale de la végétation est dominée par les éléments sahéliens et sahariens (GUINKO, 1984). On peut noter quelques espèces caractéristiques telles que :

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| - <u>Acacia laeta</u> ;                  | - <u>Boscia salicifolia</u> ;    |
| - <u>Acacia nilotica var adansonii</u> ; | - <u>Boscia senegalensis</u> ;   |
| - <u>Acacia senegal</u> ;                | - <u>Dalbergia melanoxylon</u> ; |
| - <u>Caralluma dalzielii</u> ;           | - <u>Commiphora africana</u> ;   |
| - <u>Cenchrus biflorus</u> ;             | - <u>Grewia flavescens</u> ;     |
|  | - <u>Pterocarpus lucens</u> .    |

On note aussi la présence d'espèces soudaniennes généralement abondantes mais ubiquistes comme :

- Acacia macrostachya ;
- Combretum micrathum ;
- Combretum glutinosum ;
- Combretum negricans.

Toutes ces espèces ci-dessus citées, combinées à d'autres espèces ligneuses ou herbacées, dans des proportions d'abondance et de dominance variables, impriment différentes physionomies au couvert végétal.

## 2.8 L'homme et ses activités

### 2.8.1 Historique

Bidi est peuplé de plusieurs groupes ethniques qui sont essentiellement les Monsés, les Peulhs, les Rimaïbés et les Silmi-Monsés.

Selon SERPANTIE et al. (1988), les Monsés ont migré dans la région de Bidi vers la fin du XIV<sup>e</sup> siècle. Il y ont été précédés par les Dogons venus du Mandé Occidental. Les nombreuses buttes parsemées de débris de poteries "Dogon" que l'on rencontre encore dans la zone témoignent de l'importance particulière de ce groupe dans la région.

Les Fulsés, venus au Nord à partir du XV<sup>e</sup> siècle s'installèrent tandis que les Dogons sont refoulés vers la plaine du Gondo et les falaises du Bandiagara.

Du XVII au XIV<sup>e</sup> siècle, trois groupes de Peuls (nomades) s'installèrent autour des chefferies Fulsés. A Thiou, ce sont les Diallobé, les Fittobé à Banh et les Torobé à Todiam. Les Fulsés auraient alors mis à leur disposition des territoires pour établir des champs et des campements. C'est ce qui explique que la toponymie locale soit en majorité Fulfudé. En effet le nom Bidi est le pluriel du "widizou" qui signifie puits et puisards peu profonds.

Au moment de l'installation du peuplement actuel, la zone n'était occupée que de façon saisonnière par les agriculteurs Monsés en provenance de Koumbri et les Peuls nomades.

Deux modes de gestion de l'espace se juxtaposaient :

- L'un de type agricole profondément entaché des traditions animistes qui confère au chef de terre, gardien religieux du territoire, la compétence d'organiser son occupation. Celui-ci est l'apannage des agriculteurs Monsés ;

- L'autre est de type pastoral et pratiqué par les Peuls nomades pour qui la contrainte majeure est la disponibilité et la qualité du pâturage. Les premiers sédentaires sont les Rimaibés qui créèrent le premier quartier de Bidi et vont recevoir par la suite les Monsés puis les Silmi-Monsés, les Maransés, les Yarsés, les forgerons.

### 2.8.2 Population actuelle

En Décembre 1985, le village de Bidi comptait 3 200 habitants qui se répartissent entre trois grands groupes ethniques selon, grosso-modo les proportions données par le tableau II.

**Tableau II : Répartition de la population de Bidi selon les groupes ethniques d'après SERPANTIE et al. (1987)**

Groupe ethnique	Monsés et les assimilés	Rimaibés	Peuls
effectif du groupe	2 240	608	352
Pourcentage par rapport à la population totale	70	19	11

Actuellement, tous ces groupes ont adopté la langue et le genre de vie des Monsés, la généralisation de l'islam ayant favorisé l'homogénéisation.

Il faut noter une migration saisonnière importante pouvant aller jusqu'à 60 % de la population comprise entre 20 et 35 ans d'âge. Cette migration se fait essentiellement vers la Côte d'Ivoire puis marginalement vers l'Ouest et le Sud du Burkina Faso.

### 2.8.3 Activités socio-économiques

Les principales activités, en terme de temps consacré et surtout de retombées socio-économiques sont l'agriculture et l'élevage. Ces activités "maîtresses" se pratiquent soit isolément, soit en synergie par les populations mais tout en restant dans tous les cas complémentaires l'une à l'autre.



Essentiellement l'apanage des peuls traditionnellement pasteurs nomades, l'élevage tient une place importante dans la production globale de la région. Cependant, il faut noter que la péjoration climatique de ces deux dernières décennies a occasionné simultanément la raréfaction de l'eau et la régression des pâturages. Elle a engendré un redimensionnement des troupeaux, tant dans leur nombre que dans leur composition spécifique. En effet, comme l'a remarqué SERPANTIE et al. (1988), on note une diminution sensible de l'effectif des bovins pendant que celui des ovins et caprins est en croissance.

L'activité agricole quant à elle, est surtout le fait des Monsés et assimilés. En dépit des caprices climatiques auxquels se juxtapose la maigreur des capitaux fonciers, matériels et technologiques, elle reste l'activité d'élite du point de vue, aussi bien de la fraction de la population valide qu'elle occupe que de sa contribution à la production globale de la région.

Les autres activités comme l'artisanat, le commerce, l'orpaillage sont des "néo-activités" de contre-saison, d'apport économique relativement marginal et destinées à suppléer quelque peu à l'insuffisance des revenus agropastoraux.

## CONCLUSION

Le nord Yatenga est une région densément peuplée, à sols majoritairement squelettiques, soumise au risque incessant des caprices climatiques.

La péjoration des ressources naturelles, notamment végétales qui a suivi la péjoration climatique oblige à des transformations des systèmes et techniques de production anciens pour répondre aux nouvelles réalités climatiques et socio-économiques en pleine évolution.

Ces transformations ont quelques fois eu des incidences néfastes sur les différentes composantes du milieu. La dégradation du couvert ligneux comme l'a remarqué MARCHAL (1983), sous les effets conjugués de la pression climatique et anthropique expose le sol à des phénomènes érosifs multiformes.

De ce point de vue, le repérage et l'identification des états de surface et plus particulièrement de la composante végétale s'avère un préalable incontournable à la conception et à l'exécution de tout plan d'aménagement et de protection d'un tel milieu.

La télédétection, surtout satellitaire, semble pouvoir être d'un grand apport pour de tels travaux de cartographie en raison des possibilités de valorisation des investigations de terrains et de suivi des phénomènes qu'elle offre.

## **CHAPITRE II**

# **METHODOLOGIE GENERALE**

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'exposer quelques informations générales et les acquis de quelques travaux ayant trait aux surfaces élémentaires, à la végétation et à la télédétection satellitaire et aussi de préciser notre entendement de certains termes qui seront couramment utilisés dans la suite du texte.

Ces informations permettront, à notre sens, de faciliter la compréhension de la démarche méthodologique que nous avons adopter pour réaliser cette étude.

## **I- QUELQUES DONNEES GENERALES**

### **1.1 Les surfaces élémentaires**

#### **1.1.1 Définition**

<< Le terme "surface élémentaire" désigne, à un instant donné, un ensemble homogène constitué par les éléments du milieu suivants :

- Le couvert végétal ;
- La surface du sol ;

- Les organisations pédologiques superficielles qui ont subi des transformations, sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques.>> (CASENAVE et VALENTIN, 1989).

Les mêmes auteurs consacrent le terme "état de surface" pour désigner :

- Une seule surface élémentaire ;
- La juxtaposition de plusieurs surfaces élémentaires ;
- Un système de surfaces élémentaires, au sein duquel jouent des interactions.

Les états de surface ont fait l'objet de beaucoup d'attention depuis quelques années, de chercheurs hydrologues et pédologues pour la plupart. Cette attention est consécutive à de nombreux travaux comme ceux de COLLINET et LAFFORGE (1979), COLLINET et VALENTIN (1979), VALENTIN (1981) qui ont mis en évidence "l'influence déterminante des organisations superficielles sur le comportement des sols vis à vis de l'eau" (CASENAVE et VALENTIN, 1989).

### **1.1.2 Processus et facteurs de réorganisation superficielle**

#### **1.1.2.1 Les processus**

La partie superficielle du sol subit souvent, par le biais de plusieurs mécanismes, des transformations aboutissant généralement à la mise en place d'une nouvelle croûte par redistribution verticale et latérale des constituants. Ces mécanismes, telles que définis par CASENAVE et VALENTIN (1989) sont le fait de l'action de la pluie mais aussi du vent.

- La disjonction des particules par humectation résulte de trois processus à savoir l'éclatement, la dispersion, la fissuration.

- L'impact des gouttes de pluie occasionne des phénomènes de battance. Il engendre la mobilisation des particules qui sont transportées par rejaillissement puis déposées et tassées.

- Le ruissellement provoque, en fonction de sa vitesse et de sa turbulence, l'arrachement mécanique des particules. Celles-ci sont transportées et déposées selon le flux dont dépend le degré de triage granulométrique.

- La dessiccation provoquée par l'évaporation de l'eau sous l'effet du soleil et du vent. Elle est marquée par :

. le retrait qui fait apparaître des fentes plus ou moins prononcées, consécutivement à la diminution de volume des matériaux terreux.

. l'induration qui accroît de façon exponentielle la dureté des croûtes en fonction de la diminution de leur humidité (VALENTIN, 1986c).

- L'action du vent est quelque peu comparable à celle du ruissellement. Le vent arrache des matériaux soit par déflation, soit par corrosion. Il transporte ces matériaux suivant trois modes : par suspension, par saltation ou par reptation pour les déposer ensuite. Ces mécanismes qui gouvernent le processus de formation des croûtes sont fortement dépendants de certains facteurs.

#### **1.1.2.2 Les facteurs de réorganisation**

Ils sont nombreux. CASENAVE et VALENTIN (1989) distinguent deux groupes de facteurs :

- Les facteurs dits intrinsèques sont les plus constants dans le temps et les moins influencés par l'action humaine. Ce sont :

. Le sol dont l'organisation pédologique et les propriétés physico-chimiques notamment la granulométrie, la nature minéralogique des argiles, la teneur en matière organique, l'hydrophobie et l'aptitude à la fissuration,

. La topographie dont l'inclinaison, la longueur de la pente ainsi que la forme (concave ou convexe) du terrain influence le ruissellement ;

- Les facteurs externes quant à eux, sont susceptibles de varier dans le temps pour un lieu donné. Ce sont :

. L'eau qui peut intervenir sous-formes de pluie (naturelle ou artificielle) ou de lame d'eau (inondation, remontée de nappe, irrigation gravitaire) ;

. Le vent à travers les mécanismes d'abrasion et de déflation est déterminant dans le processus de réorganisation superficielle ;

. La couverture du sol qui est principalement assurée par le couvert herbacé et les résidus végétaux est déterminante par le fait qu'elle intervient principalement en dissipant l'énergie cinétique des gouttes de pluie, en diminuant ou même en annulant le ruissellement et en mettant le sol à l'abri de l'érosion éolienne ;

. L'activité faunique qui est principalement assurée par les termites (dans notre zone d'étude) dont la porosité qu'elles créent jusqu'à la surface du sol favorise l'infiltration,

. Les systèmes de culture : les successions et les techniques culturales utilisées influencent fortement le processus de réorganisation superficielle.

### **1.1.3 Implication de la réorganisation superficielle sur l'hydrodynamique**

Au terme des processus de réorganisation, les croûtes qui en sont issues acquièrent, selon les mécanismes et les facteurs qui ont prévalu à leur mise en place, de nouvelles propriétés physiques, chimiques, etc...

De nombreux travaux (COLLINET et LAFFORGUE, 1979 ; COLLINET et VALENTIN, 1979 ; CASENAVE et VALENTIN, 1989) ont mis "en évidence l'influence primordiale des états de surface sur l'hydrodynamique en zone sahélienne" (CASENAVE et VALENTIN, 1989) par des protocoles sous pluies simulées.

### **1.1.4 Simulation de pluie**

Afin de pouvoir contrôler les caractéristiques des averses sous lesquelles les mesures de ruissellements sont faites et de palier, à l'attente qu'imposaient les aléas des pluies naturelles, l'ORSTOM a mis au point la technique de pluie simulée depuis 1975.

Cette technique consiste à utiliser un dispositif composé d'un réservoir d'eau, d'une pompe qui envoie l'eau dans un gicleur pouvant balancer grâce à un moteur et monté sur des bras mobiles. Le débit est fixé par l'opérateur et la parcelle étudiée est de un mètre carré.

Quelques mesures ont été faites sur des parcelles plus grandes mais n'ont pas fourni de différences notables au niveau des résultats.

Ces travaux de simulation ont permis, d'associer à chaque type de surface élémentaire une équation hydrodynamique, comme l'ont proposé CASENAVE et VALENTIN (1989), de la forme :

$$Lr = A.Pu + B.IK + C.Pu.IK + D \quad (1)$$

où  $Lr$  = lame ruisselée pendant la durée de la pluie en mm

$Pu$  = hauteur de la pluie simulée en mm

$A, B, C, D$  = coefficients dépendant du sol

$IK$  = indice des précipitations antérieures (de Kohler) qui est fonction de la pluie et de l'indice antérieur. L'indice du jour  $n$  est calculé à partir de l'indice du jour  $n-1$  par :

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1})e^{-xt} \quad (2)$$

avec  $t$  = temps en jours

$x$  = coefficient d'ajustement, généralement pris égal à 0,5 :

Ces auteurs soulignent cependant qu'en dépit de l'apparente précision de ces équations, elles ne fournissent qu'une valeur approximative de la lame ruisselée, parce qu'ayant été établies à partir d'un nombre limité de parcelles, et que dans la majeure partie des cas, la forme simplifiée :

$$Lr = A Pu + D \quad (3)$$

estimé bien l'ordre de grandeur de la lame ruisselée.

A cette lame ruisselée correspond une lame infiltrée qui s'exprime par la relation :

$$Li = Pu - (Lr + Dr) \quad (3)$$

où  $Li$  = lame infiltrée

$Dr$  = fraction du ruissellement mesurée après l'arrêt de la pluie.



### 1.1.5 Mise au point terminologique

Avant d'entamer la description proprement dite des surfaces élémentaires, il nous semble convenable de définir d'un certain nombre de termes utilisés afin de lever tout équivoque.

Ainsi nous entendons par plasma la fraction très fine du sol dont les éléments sont inférieurs à 50  $\mu\text{m}$ . Il englobe l'argile (qui salit et colle aux doigts et peut former un pàton allongé à l'état humide) et les limons (doux au toucher à l'état sec et ne colle pas à l'état humide) (SOLTNER, 1978).

Le sable fin (fraction comprise entre 50 et 200  $\mu\text{m}$ ) qui se reconnaît par le crissement sous les doigts.

Le sable grossier (fraction comprise entre 0,2 et 2 mm) il se reconnaît bien à l'oeil nu et au toucher.

La fraction supérieure à 2 mm est communément appelée charge grossière. Nous l'avons subdivisée en deux sous-fractions :

- Lorsque les éléments, généralement des nodules ferrugineuses, ont un diamètre compris entre 2 mm et 20 mm, nous parlons de gravillons ou de graviers.

- Lorsque leur diamètre est comprise entre 20 et 200 mm nous les appelons pierres.

- Enfin, tout élément de taille supérieure à 200 mm est désigné sous l'appellation de bloc.

Bien que la subdivision de la charge grossière ne réponde à aucune norme conventionnelle, elle se révèle très pratique sur le terrain.

Quant au couvert herbacé, nous parlerons de densité pour exprimer le recouvrement herbacé sur l'unité de surface faisant l'objet de description c'est à dire la surface élémentaire.

### **1.1.6 Les principaux descripteurs des surfaces élémentaires**

Plusieurs paramètres influencent l'infiltrabilité des sols. Les plus pertinents pour la zone aride ont été retenus par CASENAVE et VALENTIN (1989) pour décrire les surfaces élémentaires. Ce sont :

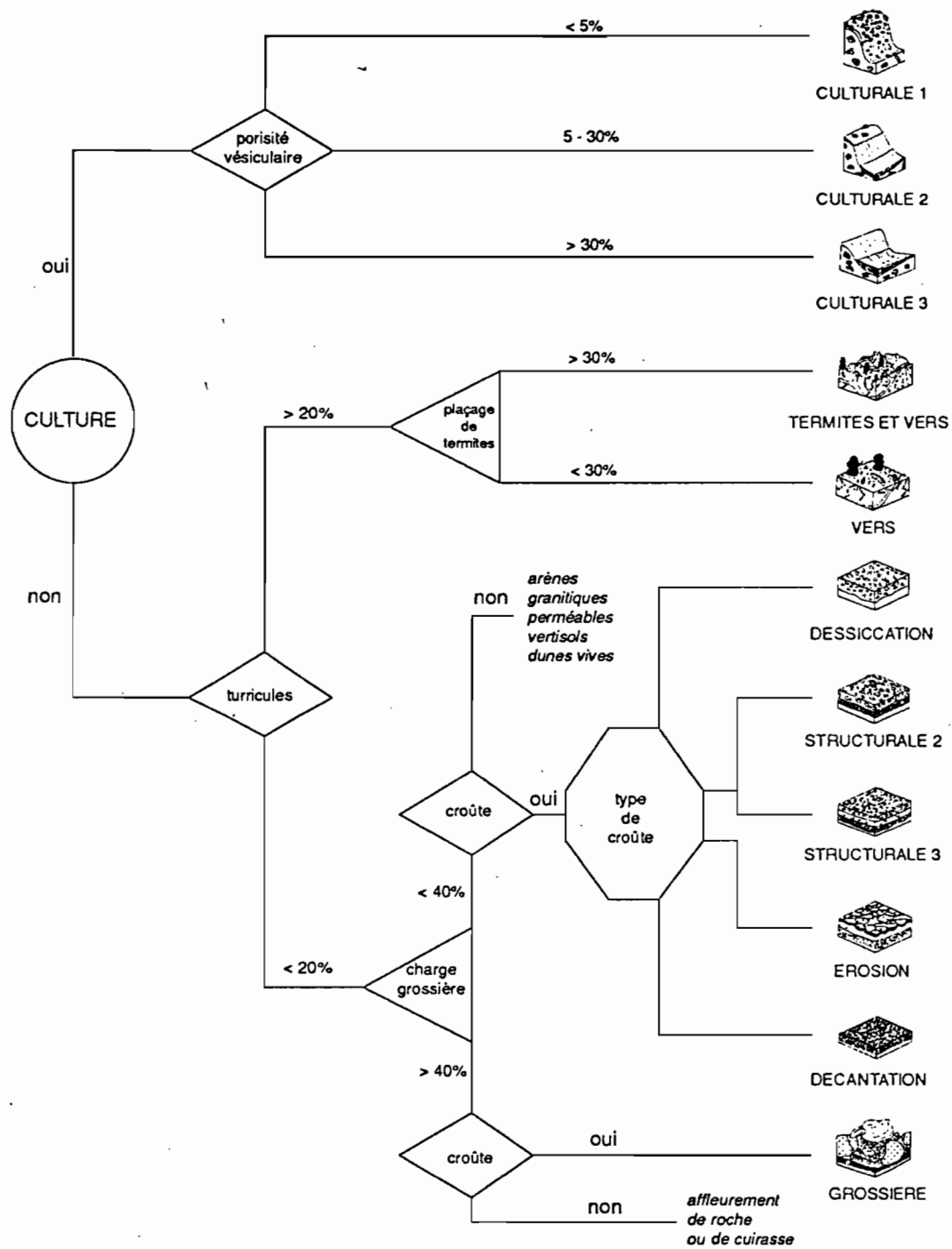
- Le couvert herbacé ou cultural,
- Le microrelief,
- La mésofaune,
- Les microhorizons superficiels,
- Le sol (texture, structure, couleur, type éventuellement).

### **1.1.7 Clef de détermination des types de surfaces**

Au-delà de la seule considération des mécanismes de réorganisation qui ont présidé à l'élaboration de la clef de détermination des croûtes de surface, CASENAVE et VALENTIN (1989) ont élaboré la clef de détermination des surfaces élémentaires qui repose sur les descripteurs cités en sus (figure 8).

La discrimination entre les surfaces élémentaires se base dans un premier temps sur la présence ou l'absence de cultures, ensuite sur la porosité vésiculaire pour les surfaces cultivées et sur l'activité faunique (terricules de vers).

Pour les surfaces à faible présence de terricules, la charge grossière puis l'absence ou la présence de croûte et enfin le type de croûte sont des caractères discriminants pour les surfaces élémentaires.



**Figure 8 :** Clef de détermination des types de surfaces (in CASENAVE et VALENTIN, 1989).

## **1.2 La végétation**

### **1.2.1 Les formes biologiques**

La végétation est composée de plusieurs plantes, pouvant appartenir à des taxons différents et dont leur réactions "aux conditions du milieu se traduit par des formes d'adaptation ou formes biologiques ou types biologiques qui permettent une meilleure appréciation de leurs conditions écologiques". (GUINKO, 1984).

Les formes biologiques ont fait l'objet de plusieurs systèmes de classification dont celui proposé par RAUNKIAER en 1905 en se basant sur la position des bourgeons pérennes par rapport au niveau du sol pendant la saison défavorable. Ce système a été assez largement adopté dans les travaux de botanique tropicale, la saison défavorable étant généralement la saison sèche.

GUINKO (1984) cite quelques auteurs qui ont utilisé ce système de classification, dont ADJANOHOON et AKE ASSI (1967) qui ont travaillé au Nord de la Côte d'Ivoire. Pour la végétation du Burkina Faso, il distingue, moyennant quelques modifications de la classification des précédents auteurs, sept formes biologiques.

#### **1.2.1.1 Les phanérophytes**

Ce sont les plantes pour lesquelles les bourgeons pérennes sont situés à plus de 50 cm au-dessus du niveau du sol. Ils peuvent être des ligneux, des herbacés, des lianes ou des épiphytes. Parmi les phanérophytes ligneux, on distingue :

- les arbres dont la hauteur est supérieure à 7 m et comprennent :

- . les grands arbres de hauteur supérieure à 30 m ;
- . les arbres moyens de hauteur comprise entre 15 et 30m ;
- . les petits arbres de hauteur comprise entre 7 et 15 m ;

- Les arbustes sont des plantes ligneuses à hauteur comprise entre 4 et 7 m et ayant une tige simple ;

- Les arbrisseaux sont des ligneux à tige multicaule ou ramifiée à une très faible hauteur de la base, hauts de 4 à 7 m ;

- Les sous-arbustes : ligneux à tige simple dont la hauteur est comprise entre 0,5 et 4 m ;

- Les sous arbrisseaux : ligneux à tige multicaule ou ramifiée près de la base de taille comprise entre 0,5 à 4 m.

#### **1.2.1.2 Les chaméphytes**

Plantes ligneuses vivaces, sous-ligneuses ou herbacées pour lesquelles les bourgeons persistants, situés sur des rameaux dressés, sont à moins de 50 cm au-dessus du niveau du sol. Ils peuvent être rampants, graminéens, sous-ligneux ou succulents.

#### **1.2.1.3 Les hémicryptophytes**

Pour ces plantes, vivaces, les bourgeons pérennes sont au ras du sol.

#### **1.2.1.4 Les géophytes**

Leurs bourgeons de survie sont cachés dans le sol. Ce sont des plantes vivaces.

#### **1.2.1.5 Les hélrophytes**

Ce sont des plantes sémi-aquatiques dont la base est immergée et la partie supérieure émergée, le bourgeon de remplacement se trouvant dans la vase.

#### **1.2.1.6 Les hydrophytes**

"Ce sont des plantes aquatiques dont la plupart des organes restent normalement immergés dans l'eau. Seules, dans certains cas des hampes florales temporaires s'élèvent au-dessus de l'eau ; les bourgeons persistants sont normalement situés au fond de l'eau" (GUINKO, 1984).

Il faut noter que LACOSTE et SALANON (1991) regroupent les géophytes, les hélrophytes et les hydrophytes sous le terme cryptophytes.

#### **1.2.1.7 Les thérophytes**

Plantes annuelles, leur survie pendant la saison défavorable est assurée par les graines.

#### **1.2.2 Les types de végétation ou formations végétales**

La pluralité des classifications de la végétation proposée (GREENWAY, 1943 ; CCTA/CSA, 1956 ; BOUGHEY, 1957b, 1961 ; TROCHAIN, 1957 ; MONOD, 1963 ; AUBREVILLE, 1965 ; PRATT et al., 1966 ; BEARD, 1967 ; GUILLAUMET et KOEHLIN, 1971 ; DESCOINGS, 1973 ; cités par WHITE, 1986) témoigne de la difficulté de hiérarchiser de façon objective et universelle, les critères de classification.

Celle proposée par la Réunion des Phytogéographes à Yangambi en 1956 est cependant largement utilisée, moyennant quelques modifications parfois, par de nombreux auteurs de travaux sur la végétation.

Les types de végétation, considérés comme synonyme de formations végétales par la Réunion, est défini par TROCHAIN (1957), cité par GUINKO (1984) comme étant de "grands ensembles végétaux qui impriment au paysage une physionomie particulière parce qu'il résultent de l'accumulation d'espèces végétales, pouvant être spécifiquement variées, mais appartenant, en grande majorité, à une même forme biologique (arbre, arbuste, herbacé...) qui est ainsi dominante".

WHITE (1986), sur la base de la physionomie, a proposé une carte de la végétation de l'Afrique en définissant 20 entités phytogéographiques ou phytochories, carte qui inclut la quasi-totalité du Burkina Faso à la phytochorie nommée centre régional d'endémisme soudanien. Le même auteur distingue 16 principales formations pour l'Afrique dont six sont représentées dans le Centre régional d'endémisme soudanien.

A l'échelle du Burkina Faso, GUINKO (1984) distingue deux domaines phytogéographiques :

- Le domaine phytogéographique soudanien ;
- Le domaine phytogéographique sahélien auquel appartient notre zone d'étude.

Dans le domaine phytogéographique sahélien, il distingue :

- Les fourrés : Formations arbustives, fermées, sempervirentes décidues, généralement peu pénétrables, souvent à tapis graminé absent ou discontinu ;
- Les formations forestières édaphiques dont les minces cordons ripicoles, à espèces spécialement liées à la présence de l'eau ;
- Les steppes : Formations herbeuses discontinues, parfois mêlées de plantes ligneuses et généralement non parcourues par les feux. Les graminées vivaces largement espacées n'atteignent généralement pas 80 cm de haut, les plantes annuelles étant souvent abondantes entre les plantes vivaces. Ces steppes peuvent être qualifiées d'arborées, d'arbustives, de sous-arbustives ou d'herbeuses selon l'importance des éléments ligneux ou herbacés.
- Les jachères : Terrains de culture ou champs épuisés par l'exploitation continue et prolongée, laissés temporairement en repos afin que le sol reacquièrè sa fertilité ou alors définitivement abandonné.

Au Yatenga, MARCHAL (1980), distingue en considérant une toposéquence, trois facettes, correspondant à l'interfluve, au moyen glacis et au talweg, au sein desquelles il définit des formations végétales.

TOUTAIN (1976), décrivant les différents pâturages de la région d'Oursi, plus à l'Est mais un peu plus haut en latitude, on distingue les formations végétales en se basant sur la nature du substrat.

### **1.2.3 Les groupements végétaux**

Au sein de chaque formation végétale, on peut remarquer "l'existence de groupes d'espèces qui, dans des conditions stationnelles sensiblement analogues, se repètent à peu près identiques à eux-mêmes" (LACOSTE et SALANON, 1991), que l'on désigne sous le terme de "groupements végétaux".

## **1.3 La télédétection satellitaire**

### **1.3.1 Définition et principe de la télédétection**

<<Le terme "télédétection" désigne un ensemble de techniques qui a pour objet d'étudier soit la surface terrestre, soit l'atmosphère, d'une altitude comprise entre quelques mètres et plusieurs milliers de kilomètres.>> (ALINE et MARC CHABREUIL, 1979).

Elle repose fondamentalement sur le fait que tout objet dont la température est supérieure au "zéro absolu" (ce qui équivaut à  $-273^{\circ}\text{C}$ ) émet des radiations.

L'ensemble des radiations émises dans l'univers à une vitesse égale à celle de la lumière ( $3.108\text{ms}^{-1}$ ) est désigné sous l'appellation de spectre électromagnétique. (figure 9).

Les ondes émises sont de longueurs variables allant de quelques centièmes de nanomètre à plusieurs milliers de kilomètres, l'oeil humain n'étant compétant que pour voir dans une minuscule fenêtre dite domaine du visible.



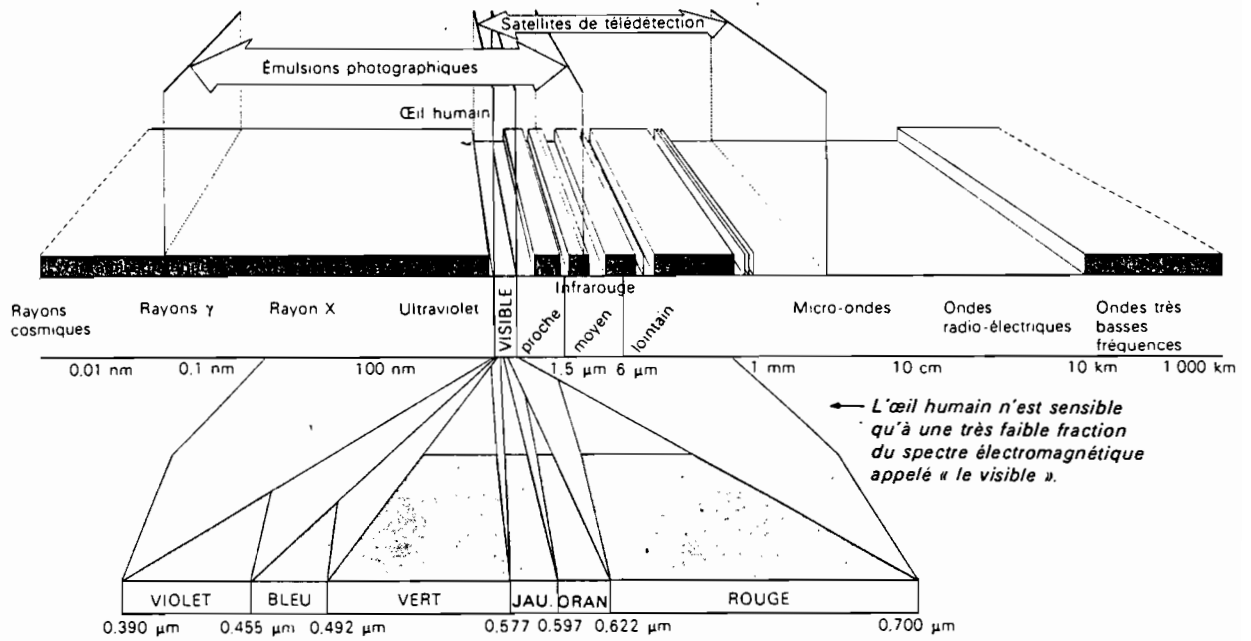


Figure 9 : Spectre électromagnétique (in CHABREUIL (A.) et (M.), 1979).

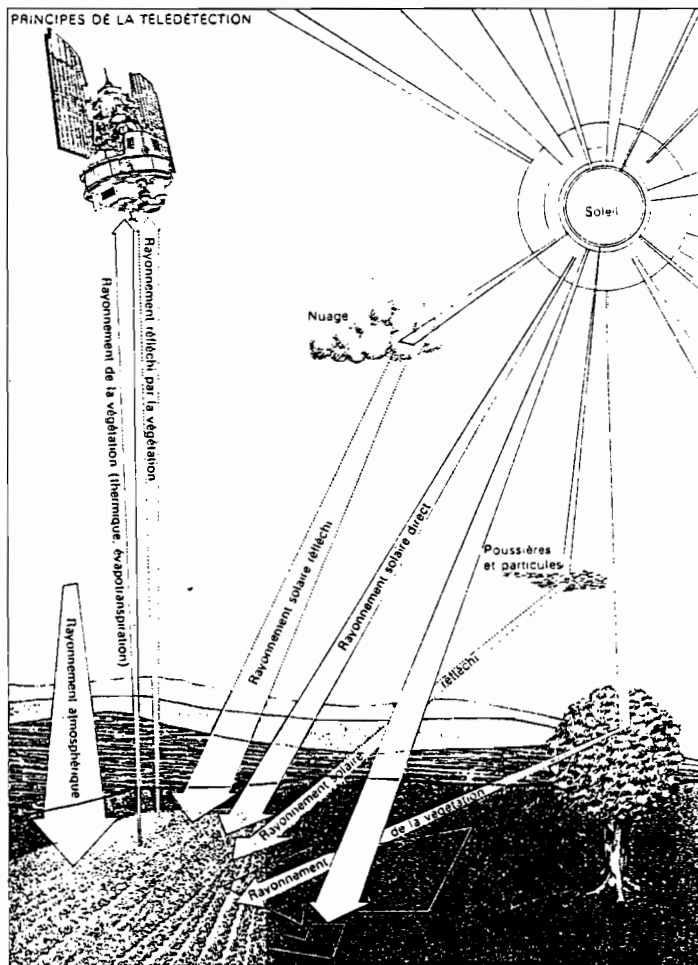


Figure 10 : Principe de la télédétection (in CHABREUIL (A.) et (M.), 1979).

La télédétection utilise des domaines plus étendus du spectre, pour peu que les radiations de ces domaines puissent se jouer de l'écran atmosphérique. Ces radiations sont mesurées et enregistrées par des instruments pour permettre de caractériser ou d'identifier les objets qui les ont émises ou réfléchies. (figure 10).

### **1.3.2 Aquisition des données de la télédétection**

La télédétection utilise des capteurs qui sont embarqués à bord de vecteurs tels que les ballons, les avions, les satellites.

Ces capteurs sont essentiellement 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 réfléchiée par les objets soit sous-forme analogique (photographie aérienne), soit sous-forme numérique (image satellitaire). Ces ont d'ailleurs les plus utilisés actuellement.

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 de disperser l'image ponctuelle selon un certain nombre de canaux spectraux (BARKEY, 1987).

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 réfléchie 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.

### **1.3.3 Diversité des satellites**

Les sciences d'exploration de la terre et la vulgarisation de l'utilisation de la télédétection ont connu une ascension fulgurante ces deux dernières décennies.

De nombreux satellites, fonctionnant à peu de choses près sur le même principe mais munis de capteurs différents, sont de nos jours utilisés à de nombreuses fins civiles et militaires. On les utilise couramment en effet en météorologie, géologie, écologie, océanographie, agriculture, sylviculture, etc...

Les capteurs des satellites "militaires" auraient de meilleures résolutions spectrales et spatiales mais les informations sur les caractéristiques précises de ces capteurs sont quasiment inaccessibles en raison de leur caractère stratégique.

### **1.3.4 Les spécificités de SPOT**

Le satellite SPOT1, ayant à bord le capteur HRV (Haut Résolution Visible, a été conçu par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES).

En mode panchromatique, ses pixels ont une taille de 10 m x 10 m et le capteur enregistre les ondes de longueur comprise entre 0,5  $\mu\text{m}$  et 0,73  $\mu\text{m}$ . En mode multibande couleur XS, les pixels sont de 20 m x 20 m et les canaux sont :

- XS1 : 0,50 - 0,59  $\mu\text{m}$  ;
- XS2 : 0,61 - 0,68  $\mu\text{m}$  ;
- XS3 : 0,79 - 0,89  $\mu\text{m}$  ;

Le capteur a une répétitivité de 26 jours à 5 jours suivant la programmation et permet ainsi de suivre des phénomènes localisés dans l'espace et dans le temps, tels que les feux de brousse, la production végétale, les inondations.

Il a deux possibilités de visée :

- La visée verticale : le capteur balaie sur une largeur de 117 km avec un recouvrement de 3 km pour deux images consécutives. Dans ce cas l'image SPOT a une taille au sol de 60 km x 60 km.

- La visée oblique : le balayage se fait sur 950 km et l'image SPOT est alors de 80 km x 80 km. La visée oblique a l'avantage de permettre l'observation du relief par stéréoscopie grâce à un couple d'images voisines se recouvrant et d'augmenter la répétitivité des prises de vue.

Ces spécificités, notamment la relative grande résolution spatiale et la visée oblique place le satellite SPOT parmi les satellites les plus prisés par les utilisateurs, notamment les phytoécologistes.

#### **1.3.5 Procédure d'acquisition des images SPOT**

Pour acquérir une image SPOT, l'utilisateur peut s'adresser à SPOT image, à une station réceptrice locale ou à un centre de distribution des images SPOT. Les commandes sont faites en se référant à une grille fournie par SPOT qui donne pour chaque scène un numéro de colonne et un numéro de ligne. Cette grille permet de localiser de façon précise la zone qui intéresse l'utilisateur. Les commandes doivent préciser en outre l'angle de prise de vue, la période, le taux de recouvrement nuageux accepté. (N'DJAJA, 1990).

Une étude de faisabilité est alors menée par SPOT à partir des conditions demandées par l'utilisateur. Si les conditions sont acceptables la commande est validée. Sinon, l'utilisateur peut refaire de nouvelles propositions jusqu'à trouver un compromis avec SPOT.

### **1.3.6 Les prétraitements**

Les images de télédétection issues de radiomètres sont le plus souvent entâchées de défauts inhérents à la chaîne de prise de vue (KOUUDA, 1981). L'objectif des prétraitements est de parvenir à corriger ces défauts afin de rendre les images directement utilisables. Les corrections se rapportent à la radiométrie et à la géométrie des pixels.

Les corrections géométriques consistent à ramener toutes les images à un même référentiel géométrique de façon à rendre comparables des images de dates différentes en les rendant superposables.

Quant aux corrections radiométriques, elles consistent en trois opérations :

- La mise à l'échelle des valeurs radiométriques dont l'objectif est de "donner une même échelle de mesure aux différents canaux" (KOUUDA, 1981) ;

- Le délignage qui vise à supprimer les lignes de balayage qui apparaissent anormalement sur l'image ;

- Enfin les corrections dites atmosphériques pour rendre comparables des images prises à différentes dates donc dans des conditions atmosphériques différentes.

Mais il faut signaler que les prétraitements sont généralement assurés par les centres de distributions d'images (SPOT Image pour SPOT). Les images sont fournies à l'utilisateur prêtes à être traitées.

### **1.3.7 Principes et objectifs des traitements**

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 la base de leur valeur radiométrique.

En d'autres termes, cela revient à regrouper les pixels en classes sur la base de leur similitude radiométrique. Cela se fait au moyen d'"outils" statistiques appropriés.

Mais au regard de la masse importante de données à gérer, on a forcément recours à des outils informatiques bien adaptés à cet usage.

Il existe plusieurs logiciels de traitement d'image. Pour notre part, nous disposons du logiciel Planètes. C'est un logiciel ORSTOM dont le large éventail de programmes permet de mener à bien les différents traitements.

### **1.3.8 Quelques types de traitements numériques**

#### **1.3.8.1 Les néo-canaux**

L'appellation "néo-canaux" vient du fait que ceux-ci sont obtenus par diverses combinaisons des canaux bruts qui sont XS1, XS2 et XS3 pour SPOT. Ce sont principalement :

- L'indice de brillance (IB) :

Il est obtenu pour la relation :

$$IB = ((XS2^2 + XS3^2)/2)^{1/2}$$

Il renseigne sur la brillance du sol.

- L'indice de végétation (IV) :

$$IV = (XS3 - XS2)/(XS3 + XS2)$$

Ce rapport met en évidence la densité de la végétation

- L'indice de couleur du sol (IC)

$$IC = 255 \frac{XS2}{(XS1 + XS2)}$$

- Les composantes principales (CP) :

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 supposées liées (les canaux bruts), autant d'axes que de variables. Ces axes, dits principaux, sont perpendiculaires entre eux et expliquent chacun une partie de l'inertie (donc de la variance). L'axe qui explique le maximum d'inertie, donc contient le maximum de l'information fournie par l'image est appelé première composante principale. On a ensuite la seconde composante principale et celui qui explique le moins l'inertie est la dernière composante principale, c'est à dire la troisième.

En général, on n'utilise que les deux premières composantes principales en raison du fait que la troisième contient les bruits de fond et les parasites (KOUUDA, 1981).

- Les canaux normalisés

On peut normaliser un canal en rendant gaussienne la distribution des valeurs spectrales sur l'histogramme.

#### **1.3.8.2 Les filtrages**

Il se fait selon une méthode texturale qui procède par transformation locale de la valeur radiométrique de chaque pixel en fonction de celles des autres pixels voisins. Il permet de lisser les images par atténuation des contrastes entre pixels voisins.

#### **1.3.8.3 La composition colorée**

Il s'agit là de la superposition de plusieurs plans correspondant à des canaux bruts ou à des néo-canaux auxquels on affecte arbitrairement des couleurs (vert, bleu ou rouge). La couleur d'un pixel en composition colorée est donc la résultante de ces fausses couleurs.

#### 1.3.8.4 Les classifications

L'analyse multi ou même nonospectrale 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 :

- Les méthodes dites non supervisées : elles peuvent être réalisées sans aucune connaissance préalable de terrain. Ces méthodes regroupent les pixels en classes sur la seule base de la proximité de leurs valeurs spectrales dans les canaux considérés. Plusieurs techniques (telles que les classifications hiérarchiques, les classifications par graphe, etc...) permettent de parvenir à ces fins.

- Les méthodes dites supervisées : elles ne sont réalisables que lorsque l'on a une bonne connaissance de terrain. Elles 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, on rattache chaque pixel de l'image à la classe qui lui est la plus proche radiométriquement.

DESHAYES (1981) (cité par BARKEY, 1987) divise les méthodes supervisées en trois groupes :

- Les méthodes statistiques ;
- Les méthodes géométriques ;
- La méthode arithmétique.

Tous ces traitements sont utilisés de façon complémentaire selon une démarche adéquate pour parvenir à une identification et une cartographie aussi fiable que possible des thèmes recherchés.



#### 1.4 Télédétection et végétation

De nombreuses études de végétation ont été faites par télédétection en se basant essentiellement sur l'énergie solaire réfléchi par la végétation.

KOUDA (1981), donne un aperçu des travaux réalisés en matière de végétation et signale que :

- GAUSMAN et al., (1969a, 1970b) ont trouvé que la réflectance des feuilles des végétaux dans la région du proche infra-rouge (PIR) croît avec le degré d'hydratation des cellules;

- GAUSMAN et al., (1969b) ; SINCLAIR, 1968 ont prouvé que le comportement spectral des plantes est fortement dépendant des pigments (chlorophylle en vert ; carotènes et xanthophylles en jaune, anthocyanines en rouge) ;

- La sénescence d'une plante entraîne la prépondérance des carotènes et xanthophylles d'où l'apparition de la coloration jaune des feuilles (SALISBURY et ROSS, 1969) ;

- La réflectance de végétation dans le PIR est fonction de la présence des feuilles et non de leur teneur en pigments. (ROGER et al., 1975) ;

- La structure géométrique, la taille des feuilles et leur orientation influence la réponse spectrale (SAINT, KILLMAYER, 1979) ;

- Certaines maladies des plantes peuvent être détectées par l'examen de leurs courbes de réflectance (KEEGAN et al., 1956 ; GAUSMAN et CARDENAS, 1969).

Au regard de l'ensemble des travaux évoqués, KOUDA (1981) déduit que "la réponse spectrale des végétaux est assez différente de celle des sols" et peut être découpée en deux parties : l'une correspondant à la portion du visible où la lumière est absorbée par les pigments et l'autre correspondant à une forte réflectance (PIR) due à la structure interne des feuilles.

## **II METHODE ADOPTEE POUR L'ETUDE**

### **2.1 Organigramme de l'étude**

La présente étude a été réalisée suivant une méthodologie que nous avons illustrée par un organigramme afin de permettre une vue d'ensemble des différentes étapes de notre démarche. (figure 11).

### **2.2 Le matériel utilisé**

Le matériel dont nous avons disposé pour débiter l'étude comprend essentiellement une image SPOT, un ordinateur et une carte topographique.

#### **2.2.1 L'image SPOT**

Nous avons utilisé une image satellitaire prise par le capteur HRV en mode multibande XS, stockée sous forme numérique sur le disque dur de l'ordinateur. Nous en avons extrait une fenêtre de 1600\*1130 pixels correspondant à notre zone d'intérêt.

Notre choix s'est porté sur une image SPOT en raison essentiellement de sa grande résolution spatiale (pixel de 20 m x 20 m) en égard à la structure et à la texture, relativement fine par endroit, de la végétation sahélienne.

L'image dont nous disposons a été prise le 5 juillet 1988. Elle est d'une très bonne qualité, surtout pour l'étude de la végétation ligneuse, en raison des conditions hydriques qui prévalaient à cette date. En effet, à cette date, hormis les bas-fonds, la végétation herbacée ne s'était pas encore bien installée et que par conséquent, l'essentiel de l'activité chlorophyllienne n'est imputable qu'à la végétation ligneuse.

#### **2.2.2 L'ordinateur**

Il est composé d'une console, d'un clavier, d'une souris, d'une imprimante d'image et d'une imprimante simple tous reliés à l'unité centrale.

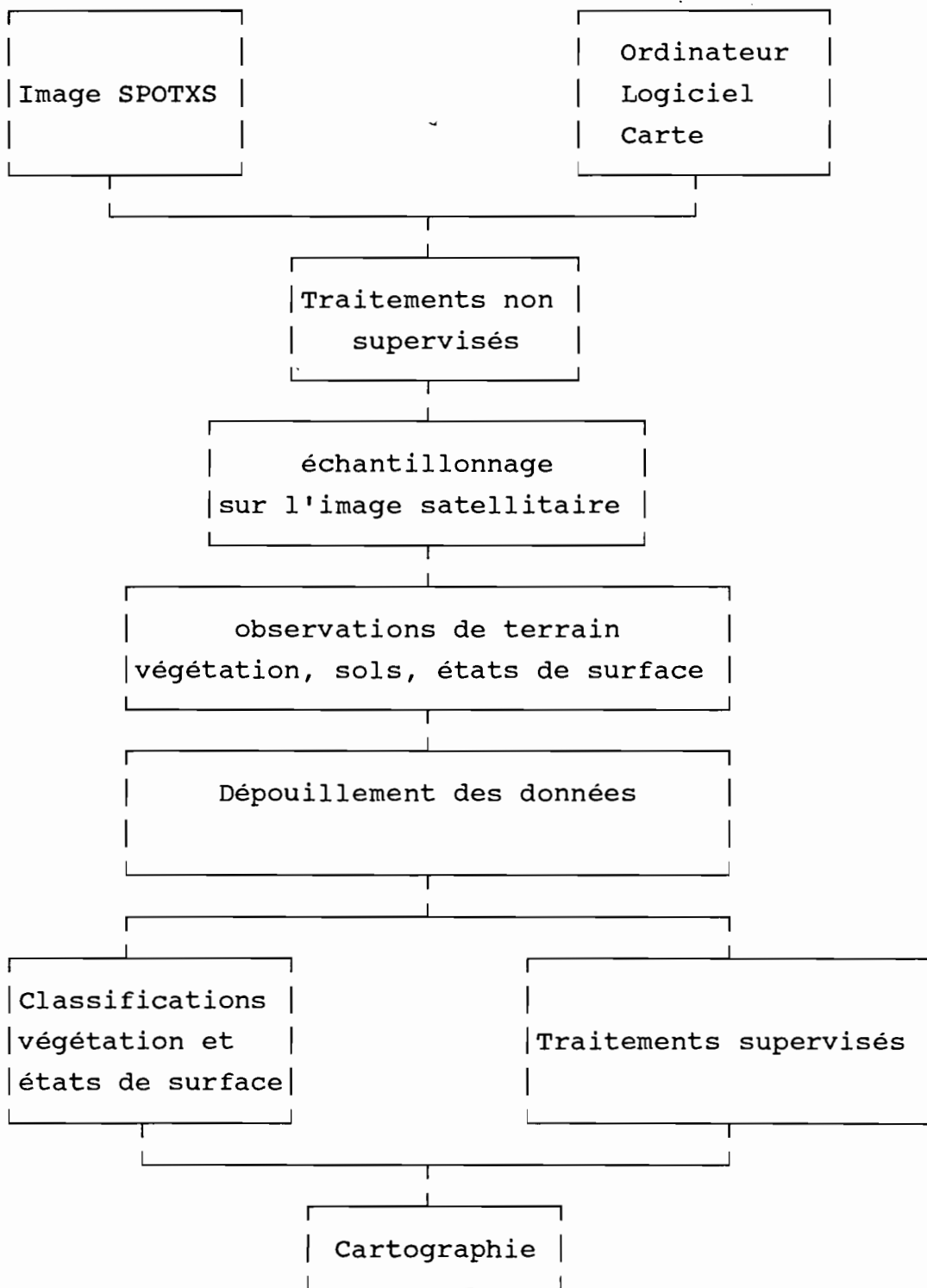


Figure 11 : Organigramme de l'étude

## **2.3 Traitements non supervisés**

A partir de l'image entière, une fenêtre initiale formant une matière de 2000 x 1600 pixels a été extraite. C'est sur cette fenêtre qu'ont été réalisés les traitements automatiques. Ceux-ci peuvent être décomposés en trois étapes :

### **2.3.1 Détermination des canaux et néo-canaux devant servir pour les classifications.**

Pour avoir une idée de la distribution des valeurs spectrales des pixels de l'image dans chacun des trois canaux XS1, XS2 et XS3, nous avons calculé leurs histogrammes simples et cumulés par le programme HISTO puis leurs paramètres statistiques à savoir le minimum, le maximum, la moyenne et l'écart-type.

Nous avons ensuite créé deux néo-canaux à savoir l'indice de végétation et l'indice de brillance, respectivement avec les programmes RAPCOM et COMLIN.

Deux canaux les plus décorrelés (XS3 et IVN) ont été déterminés à partir de la matrice de corrélation des cinq canaux, à savoir les deux néo-canaux et les trois canaux bruts. Une forte décorrélation entre deux canaux signifie que ces canaux contiennent très peu d'informations communes et donc permettent de ressortir le maximum d'informations lorsqu'ils sont utilisés conjointement pour la classification.

Deux composantes principales (ACP1 et ACP2) ont été réalisées sous Planète, grâce au programme ANAFAC.

### **2.3.2 Les classifications**

Les classifications ont été faites sur un échantillon de 26 000 pixels obtenus par tirage systématique au pas de 10 sur 10 pixels soit environ 1 % de la matrice.

Cet échantillonnage répond de la nécessité de réduire la taille de fichier des pixels de façon à permettre sa gestion par le logiciel statistique "Statistical Analyses System" (SAS) qui ne peut pas traiter de très gros fichiers (GODARD, 1991).

A partir de l'effectif de cet échantillon, le nombre maximal de classes possibles a été déterminé par la formule de BROOKS - CARRUTHERS (in GODARD, 1991).

$$K_{\max} < 5 \log_{10} n$$

où :  $n$  = effectif de l'échantillon

$K_{\max}$  = nombre maximal de classe.

D'après cette formule, on ne peut retenir au maximum que 22 classes.

Ensuite on réalise une partition en 22 classes pour chacun des deux canaux grâce à la procédure cluster de SAS qui permet aussi de réaliser une sorte de classification ascendante hiérarchisée dont l'analyse des variances inter-classes permet de repérer les sauts les plus importants et de réaliser ainsi une nouvelle partition par regroupement des classes pour lesquelles la variance interclasse est peu notable.

Ainsi nous avons abouti finalement à 17 classes pour la classification IVN et XS3 et à 18 classes pour la classification des deux premières composantes principales (CP1 et CP2).

Les classifications définitives sont faites en utilisant toujours la procédure "cluster" qui permet d'avoir les paramètres, à savoir la moyenne et l'écart type de chacune des 18 classes pour les composantes principales et de 17 classes pour IVN et XS3.

On procède alors à l'affectation des couleurs aux classes ainsi définies pour les deux classifications.

Chacune des deux classifications est alors visualisée et imprimée sur support papier à l'échelle de 1/128 200è.

Il faut noter qu'après ces opérations de classification, nous avons modifier la taille de la fenêtre initiale pour aboutir à une fenêtre correspondant à une matrice de 1 600 x 1 130 pixels qui correspond à la zone du programme de recherche auquel s'intègre cette étude. Les classifications faites sur la fenêtre

initiale restent valables car selon la formule de BROOKS-CARRUTHERS, le nombre maximal de classes possibles est 21, ce qui est dans tous les cas inférieur aux nombres de classes définitifs obtenus pour les deux classifications. C'est cette nouvelle fenêtre qui a servi pour la suite des opérations.

### **2.3.3 La composition colorée**

Elle a été faite à partir des trois canaux bruts, chacun des canaux étant étalé entre le minimum et le maximum, c'est à dire entre les valeurs de codification 0 et 255. Elle a été imprimée sur support papier à l'échelle de 1/128 200è.

Ces trois documents nous ont servi de base pour la constitution de l'échantillon des zones d'apprentissage.

### **2.4 L'échantillonnage des sections**

Il s'agit du choix des zones à décrire sur le terrain, dont l'ensemble, c'est à dire l'échantillon, est jugé suffisamment représentatif des différents faciès paysagiques caractérisés par des unités spectralement assez homogènes et spatialement remarquables sur les différents traitements de l'image.

Pour ce faire nous avons surtout utilisé la classification en IVN et XS3 sur laquelle les unités homogènes se sont révélées beaucoup plus distinctives que sur celle des composantes principales. La composition colorée nous a surtout servi à confirmer l'homogénéité des unités observées sur la classification en IVN et XS3.

Dans un premier temps nous superposons un transparent plastique à la classification IVN et XS3 puis nous faisons des "patates" autour des zones qui sont assez homogènes soit parce qu'elles sont constituées d'une mosaïque de classes mais dont la structure et/ou la texture sont homogènes. A ces unités nous, nous avons affecté, pour les distinguer aisément, une légende provisoire codifiée en lettre (de A à N), soit 14 unités.

Dans un second temps nous traçons des segments de 4 mm, ce qui correspond à une longueur d'environ 500 m sur le terrain, dans chacune des unités, à l'endroit qui nous semble le plus caractéristique de l'unité. Par unité, le nombre de segments choisis varie de un à trois selon l'importance spatiale de l'unité. Dans le cas des répétitions, les segments sont choisis de manière à ce qu'ils soient le plus dispersés possible sur l'image, cela pour palier au fait des éventuelles perturbations spectrales dues à de mauvaises conditions atmosphériques locales. Cette dernière opération a été faite sur un autre transparent plastique que nous avons superposés au premier portant les unités.

A l'aide d'une photocopieuse, nous avons réduit de 60 % la carte topographique de l'IGB, au 1/50 000è, pour la ramener au 1/125 000è, échelle qui est très proche de celle de l'image imprimée dont l'échelle est de 1/128 200è environ.

En pratique, l'esquisse du réseau hydrographique que nous avons faite sur transparent plastique se superpose très bien à celui de la carte réduite de l'IGB.

Pour "recaler" nos segments sur la carte afin de pouvoir les repérer sur le terrain, nous avons superposé le transparent sur lequel sont tracés les segments et la carte IGB réduite.

Tous les segments ont été minutieusement replacés sur la carte IGB au 1/50 000è. Cet ensemble de travaux nous ont permis de localiser sur la carte, tous les segments et de pouvoir envisager enfin la mission de terrain.

## **2.5 La mission de terrain**

Sur le terrain, les segments que nous avons tracés sur la carte correspondent à de petits transects que nous avons convenus d'appeler "sections" en raison de la relative petitesse de leur longueur.

### **2.5.1 Répérage des sections sur le terrain**

Sur le terrain, nous disposons d'un véhicule muni d'un compteur hectométrique, préalablement testé et étalonné, d'une boussole et de la carte au 1/50 000è sur laquelle ont été replacés les segments de 6 mm de long.

Concrètement, pour retrouver les sections, nous localisons sur la carte un point qui lui est assez proche et qui est très remarquable (buttes, cours d'eau, etc...) ou bien connu (villages ou habitations). À partir de ce point, nous recherchons sur la carte la piste, de préférence la plus isolée des autres et la plus importante qui passe le plus près de la section. La trajectoire à suivre est déterminée à partir de la carte, à l'avance (avec orientations et distances déjà calculées). La distance parcourue est donnée par le compteur de la voiture puis la direction par la boussole. Une fois que la section est repérée, nous la "balisons" par de la peinture blanche que nous mettons sur un arbre visible de loin. C'est à partir de ce moment que l'on peut commencer à délimiter la section.

### **2.5.2 La taille des sections**

Il existe plusieurs techniques d'échantillonnage, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients selon les moyens utilisés et les objectifs de l'étude. Ce sont entre autres : les transects, les lignes, les placettes carrées, rectangulaires, circulaires...

Celle que nous avons finalement adoptée nous semble être un compromis entre les diverses contraintes à savoir la nécessité d'avoir un taux d'échantillonnage acceptable, le besoin d'une fine description, la limitation de la visibilité par la végétation lorsqu'on s'éloigne de l'axe de la section et enfin la nécessité que les sections aient les dimensions qui leur permettent d'être au moins perceptibles par le capteur utilisé.

Dans le protocole initial, nous avons envisagé des sections de 500 m sur 100 m, soit une largeur couvrant 5 pixels SPOT XS. Notre objectif était de pouvoir localiser ces sections sur



l'image et de nous en servir comme parcelles d'entraînement pour le traitement supervisé de l'image.

Mais après quelques jours d'essai sur le terrain, nous avons dû reviser ces dimensions à la baisse pour diverses raisons :

- La largeur de 100 m était excessivement grande pour être perçu d'un seul regard par l'observateur pour l'évaluation des recouvrements herbacés et ligneux. Dans la plupart des cas on voit assez mal au delà de 10 m de part et d'autre de la ligne médiane de la section, surtout pour les formations végétales denses. L'évaluation des proportions des surfaces élémentaires en est du même coup affectée ;

- Les sections se sont révélées assez homogènes du point de vue de la flore et des surfaces élémentaires. En effet, leurs nombres croît rapidement sur les cent premiers mètres pour devenir constants autour de 250 à 300 m ;

- La description de la première section de largeur 100 m s'est révélée très coûteuse en temps. En effet, nous avons passé les deux premiers jours à décrire un peu moins de 300 m, bien que la végétation ne soit pas dense sur cette section ;

- Nous n'avons pas pu disperser, comme initialement prévu, d'un GPS (Global Positionner System) pour nous positionner sur le terrain. Cela veut dire qu'il était difficile pour nous de faire une correspondance exacte entre la réalité terrain et les pixels de l'image même à 5 pixels près.

Pour toutes ces raisons, nous avons fini par adopter des sections de 300 m de long sur 20 m de large, à l'exception de quelques sections pour lesquelles la faible densité du couvert végétal nous a permis d'aller jusqu'à 500 m.

### **2.5.3 Procédure de description des sections**

L'orientation de la section est faite à l'aide de la boussole. On vise dans la direction préalablement connue puis on choisit un repère bien visible se trouvant assez loin (au moins à 300 m). Le déplacement ultérieur se fait vers ce repère pour

maintenir la direction. La largeur de la section est déterminée par comptage de pas (étalonnés) à partir de la ligne médiane.

On parcourt ensuite toute ou partie de la section pour recenser et décrire toutes les surfaces élémentaires rencontrées pour la première fois. La description et l'identification de nos surfaces élémentaires sur le terrain ont été faites, à quelques déformations et ajouts après, conformément aux descripteurs et à la clef de détermination des surfaces élémentaires proposés par CASENAVE et VALENTIN (1989), évoqués précédemment (chapitre 2 paragraphe 1.1.7).

L'utilisation des descripteurs proposés par ces auteurs permet de décrire très précisément les surfaces des sols et de leur associer des relations hydrodynamiques.

A la fin de ce parcours nous notons des remarques relatives à la géomorphologie, à la topographie, à la physionomie de la végétation.

La description fine de la végétation et des états de surface se fait par portions consécutives dont la longueur est fonction de la densité du couvert végétal qui détermine la visibilité. Cette partition répond à la nécessité de constituer des entités homogènes et assez circonscrites spatialement pour être perçues en étant sur la ligne médiane de la section. Ces portions vont de 5 m à 30 m suivant que le couvert végétal est dense ou quasi-inexistant.

Sur chaque portion, nous identifions les surfaces élémentaires puis nous évaluons leurs proportions par rapport à la superficie de la portion.

En outre nous apprécions le recouvrement herbacé. Pour le couvert ligneux, le recouvrement est apprécié par strate :

- Lorsqu'il s'agit d'un couvert dense où le nombre d'individus de la strate sous-arbustive, souvent enchevêtrés, est trop élevé pour être considéré individuellement, nous apprécions visuellement le recouvrement ;

- Pour la strate arbustive et/ou à arbrisseaux, il est possible de les considérer séparément. Dans ce cas nous relevons la hauteur des sujets et le diamètre de la projection verticale des couronnes au sol ;

- Il en est de même pour la strate arborée. La strate inférieure à 50 cm est considérée comme des plantules et repousses. Hormis les zones dénudés très pauvres en végétation, nous ne faisons pas de relevés sur cette strate car nous pensons qu'elle est suffisamment basse et submergée par les autres strates pour ne pas influencer la réponse spectrale.

Pour chacune des autres strates, nous relevons l'effectif des individus appartenant aux différentes espèces représentées sur la portion.

Par ailleurs, des remarques complémentaires relatives à des phénomènes non spécifiques à un type donné de surface élémentaire ou qui sont notables sur toute la section sont relevés. Ils concernent l'action anthropique (élagages, fosses,...), la fréquentation et le broutage du bétail, le niveau dégradation de la végétation, la pression érosive de l'eau ou du vent sur le sol.

## **2.6 Les dépouillements**

### **2.6.1 Le couvert herbacé**

Le recouvrement herbacé, c'est à dire la proportion du sol couverte par les plantes herbacées, a été calculé à partir des relevés effectués sur chaque portion de la section, les dimensions des portions étant connues. Ces relevés sont exprimés en pourcentage de recouvrement herbacé de la superficie de la portion.

En multipliant la superficie de la portion par le pourcentage de recouvrement de cette section, on obtient la superficie recouverte d'herbes sur la portion. La sommation des superficies ainsi calculées de toutes les portions permet d'obtenir la superficie recouverte d'herbe sur toute la section.

Le recouvrement herbacé de toute la section est obtenu en faisant le rapport de la superficie recouverte d'herbe sur toute la section par la superficie totale de la section, que l'on multiplie par 100.

### **2.6.2 Le couvert ligneux**

Les ligneux sont classés par strate suivant leur taille qui détermine leur appartenance aux différents types biologiques.

#### **2.6.2.1 La strate arborée**

Les diamètres des couronnes étant mesurés, nous calculons le recouvrement arboré de chaque section par la relation :

$$r = 1/S \sum_{i=0}^n \pi/8 (D_{1i}^2 + D_{2i}^2)$$

avec r = recouvrement arboré

S = superficie de la section concernée

n = nombre d'arbres de la section

iE(0,n) désigne chaque arbre de la section

D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> : deux diamètres de la couronne, orthogonaux l'un à l'autre.

#### **2.6.2.2 La strate à arbustes et arbrisseaux**

La procédure est identique à celle utilisée pour la strate arborée.

#### **2.6.2.3 La strate à sous-arbustes et sous-arbrisseaux**

Lorsque le couvert ligneux est très ouvert et permet donc de considérer les sujets individuellement, sans enchevêtrement de leurs couronnes, nous procédons comme précédemment pour le calcul du recouvrement ligneux.

Lorsque le couvert ligneux est dense et que les tiges et les couronnes des sous-arbustes et sous-arbrisseaux s'interfèrent et s'enchevêtrent, nous calculons le recouvrement de la strate à partir des recouvrements par portion évalués visuellement. Dans

ce cas, la procédure est identique à celle utilisée pour le couvert herbacé.

### **2.6.3 Les surfaces élémentaires**

Les proportions de chaque type de surface élémentaire ou de leurs variantes sont estimées pour chaque portion. On calcule alors la superficie totale occupée par ceux-ci puis on les rapporte au pourcentage de la superficie totale de la section, comme pour le couvert herbacé. Le pourcentage d'un type de surface élémentaire est obtenu en faisant la somme des pourcentage de ses variantes.

## **2.7 Les critères de classifications de la végétation et des états de surface**

### **2.7.1 La végétation**

La classification de la végétation et la définition des unités végétales rencontrées sur la zone d'étude nécessitent le choix de critères adéquats qui permettent de discriminer ces unités sur le terrain et qui puissent être identifiées à partir de l'image satellitaire SPOT XS.

Sur le terrain, nous avons discriminé des unités végétales sur la base de :

- La structure horizontale qui traduit l'organisation de la végétation (herbacée et ligneuse) sur la surface du sol, celle-ci pouvant être massive, linéaire, ponctuée ou en bande ;

- La physionomie qui s'apprécie par la hauteur de la végétation et qui est imposée par la forme biologique constituant la strate dominante ;

- La densité qui est estimée par le degré de pénétrabilité de l'unité déterminé l'abondance d'individus, pouvant être de formes biologiques variées ;

- Les conditions hydriques du milieu auxquelles sont très corrélés le degré de végétalisation et l'activité chlorophyllienne.

Exceptionnellement, la discrimination du domaine cultivé des autres unités s'est faite principalement sur la base de l'utilisation de ce domaine par l'homme. Cette spécification nous a semblé importante compte tenu de l'intérêt que ce domaine présente pour les aménagements.

Du fait de l'importance de la structure et de la physionomie, nos unités de classification sont des formations végétales. Au sein de ces formations végétales, nous distinguons différents groupements végétaux en nous basant sur la fréquence des espèces, puis accessoirement sur leurs dominances.

Nous signalons que nous avons réalisé une analyse factorielle de correspondance en croisant les 30 sections décrites et les espèces rencontrées sur l'ensemble des sections, en ne considérant que leur présence ou leur absence. Cette procédure nous aurait permis de déceler les espèces caractéristiques de nos sections. Malheureusement, le résultat de l'analyse s'est avéré inexploitable parce que les espèces sont ubiquistes ce qui fait que les sections présentent un faible niveau de différenciation floristique, en terme de présence ou d'absence.

Nous utilisons préférentiellement le terme "groupement végétal" à celui d'"association végétale" au sens de l'école sigmatiste de BRAUN-BLANQUET qui aurait exigé une démarche phytosociologique comportant à la fois une approche analytique et une approche synthétique de l'étude.

### **2.7.2 Les états de surface**

La classification des états de surface tient compte de leur couverture végétale et de l'organisation pédologique superficielle.

La prospection visuelle du paysage de la zone nous a permis de remarquer que la végétation et l'organisation pédologique superficielle sont fortement corrélées à la géomorphologie du milieu.

En effet, si l'on considère une toposéquence, les conditions stationnelles varient sensiblement, notamment en fonction du substrat pédologique comme l'ont déjà fait remarquer SERPANTIE et al (1988). Il s'en suit alors une différenciation altitudinale de la physionomie de la végétation, de la granulométrie et de l'hydrodynamique le long de la toposéquence.

Aussi, avons nous pensé que la géomorphologie pouvait constituer le principal critère de classification des états de surface, suivi de la texture superficielle du sol et enfin le couvert végétal.

Sur la base de ces critères, nous avons distingué 14 unités d'états de surface. Compte tenu de l'hétérogénéité du milieu sahélien, nous ne prétendons pas avoir inventorié de façon fine et exhaustive tous les faciès d'états de surface de la zone mais nous pensons cependant que les principaux types, en terme d'importance spatiale ont été décrits.

A chacune de ces unités, nous avons associé une relation hydrodynamique obtenue en pondérant les relations hydrodynamiques des surfaces élémentaires rencontrées sur les sections des coefficients moyens représentant leur importance relative sur ces sections.

Pour un type de surface élémentaire donné, le pourcentage moyen, pour une unité caractérisée par n sections (n prenant les valeurs entières de 1 à 3), est obtenu en divisant la somme des pourcentages par le nombre n de sections.

Nous rappelons que pour chaque type de surface élémentaire i la relation simplifiée de CASENAVE et VALENTIN (1989), permettant d'estimer la lame ruisselée est :

$$Lr_i = A_i Pu + D_i \quad (1)$$

où  $Lr_i$  = lame ruisselée de la surface élémentaire  $i$  en mm  
 $Pu$  = hauteur de la pluie en mm  
 $A_i$  et  $D_i$  = coefficient dépendant du sol de la surface élémentaire  $i$ .

La lame ruisselée de l'unité est estimée par la relation

$$L_r = \sum_{i=1}^m p_i L_{r_i} / 100 \quad (2)$$

avec  $L_r$  = lame ruisselée de l'unité ;

$m$  = nombre de types de surfaces élémentaires rencontrées sur les  $n$  sections de l'unité ;

$p_i$  = pourcentage moyen du type de surface élémentaire  $i$ .

En exprimant la relation (2) en fonction de la relation (1) on obtient :

$$L_r = \sum_{i=1}^m p_i (A_i P_u + D_i) / 100 \quad (3)$$

Pour le calcul de  $L_r$ , il est plus pratique d'utiliser la relation suivante, déduite de la relation (3) :

$$L_r = (1/100) \left( \sum_{i=1}^m p_i A_i \right) P_u + (1/100) \sum_{i=1}^m p_i D_i \quad (4)$$

A titre illustratif, nous calculons souvent la hauteur d'eau ruisselée pour une pluie de 50 mm ( $P_u = 50$  mm) que nous appelons  $L_r 50$ .

## 2.8 Traitements supervisés

Les traitements supervisés ont pour objectifs de regrouper les pixels de l'image en classes sur la base de leurs similarités spectrale et thématique.

Pour ce faire, plusieurs opérations ont été réalisées :

- Les zones-tests correspondant aux sections décrites sur le terrain sont repérées approximativement sur l'image (classification XS3, IVN) visualisée grâce au programme VISUTOOL de PLANETES. Nous faisons un agrandissement de la "région" qui englobe la section de façon à pouvoir délimiter avec la plus



grande précision possible, un polygone qui va nous servir de zone test ou parcelle d'entraînement. Le polygone est choisi dans une région de l'image connue sur le terrain et de telle sorte que le maximum possible de pixels appartiennent à une même classe radiométrique. Les zones-tests ainsi créées sont stockées dans un fichier "zones" grâce au programme ZONE, chacune des zones étant identifiée par un numéro de zone que nous leur affectons. Lorsque deux zones concernent la même classe radiométrique mais sont choisies à des endroits différents, nous leur affectons le même numéro de zone, ce qui permet à l'ordinateur de les regrouper en une seule zone lors du calcul statistique des paramètres des zones ;

- Le programme STATIS permet de calculer les paramètres statistiques par zone et par canal à savoir :

- . la superficie de la zone en pixels ;
- . le minimum et le maximum ;
- . la moyenne et l'écart type.

L'analyse des paramètres ainsi obtenus permet d'avoir une idée de la dispersion des valeurs spectrales par canal et par zone.

Lorsque l'écart type est très élevé c'est à dire supérieur à cinq (les canaux XS1, XS2 et XS3 ont chacun une dynamique relativement faible sur l'ensemble de l'image), cela présume d'une hétérogénéité de thèmes dans la zone-test. Dans ce cas le programme HISTO permet de visualiser l'histogramme du canal dans la zone concernée. Si l'histogramme simple n'est pas unimodal, cela signifie que la zone-test contient plus d'une classe radiométrique. Dans ce cas, il faut alors, soit redéfinir la zone, soit procéder à un seuillage de la classe à partir de l'histogramme simple, en considérant que le pic le plus élevé correspond au thème recherché.

La matrice de corrélation permet de savoir le degré de liaison entre les canaux. Les canaux les moins liés entre eux sont susceptibles de contenir des informations différentes et peuvent donc être complémentaires si on les utilise conjointement.

Les canaux XS2 et IVN, très décorrélés ont donné un résultat intéressant, par classification automatique, dont nous nous sommes servis pour le choix des sections.

Cependant la forte décorrélation entre des canaux ne donne pas systématiquement l'assurance de fournir un bon résultat si on les combine car "la décorrélation semble détailler trop les images et empêcher une synthèse suivant un thème fixé" (FARAMALALA, 1988).

Aussi, outre le critère de décorrélation entre les canaux, nous avons visualisé les canaux individuellement pour déterminer, selon notre connaissance du terrain, les canaux pour lesquels des thèmes connus au sol présentent une forte différenciation spectrale. Cela peut se faire assez aisément soit par comparaison du niveau de gris ou des pseudo-couleurs qui renseignent sur le degré de réflectance du thème pour un canal donné.

Lorsque que l'écart-type est jugé acceptable ou que l'histogramme simple révèle l'existence d'une seule classe, ces paramètres sont retenus pour les classifications.

Nous n'avons utilisé que les méthodes géométriques parce que le programme permettant de réaliser la classification bidimensionnelle ou méthode des bornes, classiquement utilisée pour les traitements supervisés, n'est pas installé sous le logiciel PLANETES que nous avons utilisé.

Les méthodes géométriques utilisées par PLANETES sont regroupées sous l'appellation de méthode de SEBESTYEN. Cette méthode exige des classes  $C_i$  préalablement déterminées. Soit l'espace  $R^3$  des signatures spectrales pour les 3 canaux de SPOT. On muni cet espace d'une distance  $d_i(x,y)$  entre deux signatures spectrales  $x$  et  $y$ , adaptée pour chaque classe  $C_i$  d'effectif  $p$ .

Une mesure de similarité  $S(x, C_i)$  est ensuite définie entre la signature spectrale  $x$  et la classe  $C_i$  comme la moyenne du carré des distances entre  $x$  et chaque point  $y_j$  de la classe  $C_i$  :

$$S(x, C_i) = 1/p(d_i^2(x, y_j))^{1/2}$$

où la classe  $C_i$  est définie par les points  $y_j$  de  $R^3$  et  $j \in \{1, p\}$ .

Ainsi, l'affectation de chaque pixel à une classe  $C_i$  se fait sur la base de sa proximité à cette classe par rapport aux autres classes, au sens de la mesure de similarité établie précédemment.

Le programme SEBEST définit les classes  $C_i$  en considérant leur moyenne et leur écart-type puis classe les points selon la similarité ci-dessus établie.

Le programme EUCLID affecte chaque pixel à la classe dont le barycentre est le plus proche en considérant la distance euclidienne classique.

Quand le résultat de la classification est satisfaisant mais que l'image est trop pointillée à cause du mélange des pixels de plusieurs classes radiométriques et ne permet donc pas de voir les limites franches des classes, nous faisons un lissage avec le programme FENET3. Ce traitement, dit textural, transforme la valeur de chaque pixel en fonction de celles de pixels voisins, en considérant une matrice carrée de 3\*3 pixels. L'option majoritaire de FENET3 affecte au pixel central de la matrice, la valeur qui correspond à l'effectif le plus élevé dans l'histogramme simple de la matrice. Cet option est adaptée au lissage des classifications.

Le groupement thématique des classes radiométriques se fait ensuite par affectation de couleurs identiques aux classes correspondant au même thème par le programme PALETEDIT.

## **CHAPITRE III**

# **OBSERVATIONS DE TERRAIN ET CLASSIFICATIONS**

## **I. LES OBSERVATIONS**

### **1.1 Présentations des données**

Après le dépouillement, les relevés ont été consignés de façon synthétique dans des tableaux pour chacune des 30 sections décrites. Pour chaque section, les relevés sont consignés dans trois tableaux :

- Un tableau dans lequel sont présentés des paramètres permettant de caractériser la formation végétale rencontrée sur la section. Ces paramètres sont : le nombre d'individus ligneux sur la section et le recouvrement, par strate ;

- Un tableau donnant la composition floristique, dont les fréquences relatives des espèces rencontrées sur la section ;

- Un tableau indiquant les types et les variantes de surfaces élémentaires rencontrées sur la section puis leurs proportions relatives.

Certains tableaux sont en annexes, d'autres sont utilisés dans le texte pour illustrer les formations végétales ou les unités d'états de surface.

### **1.2 Les surfaces élémentaires**

Sur l'ensemble des 30 sections, nous avons inventorié et décrit 12 types de surfaces élémentaires, chacun pouvant se subdiviser ou non en plusieurs variantes.

Les chiffres romains, précédés de quelques lettres, désignent des types de surfaces élémentaires tandis que les chiffres arabes désignent des classes de densité herbacé ou de granulométrie de la surface qui permettent ainsi de distinguer des classes.

#### **1.2.1 Les surfaces cultivées (figure 12)**

Ces surfaces sont divisées en 3 types de surfaces élémentaires, CI, CII et CIII, chacun étant subdivisé en 2 variantes qui se distinguent l'une de l'autre par la densité du couvert herbacé.

Soit d la densité du couvert herbacé :

- variante 0 :  $d < 5 \%$
- variante 1 :  $5 \% < d < 25 \%$

#### **1.2.1.1 Le type cultural I (CULT I ou CI) (figure 12.a)**

C'est une surface cultivée à faible porosité vésiculaire (inférieure à 5 %). Des mottes sableuses se maintiennent dans les buttes de sarclage qui entourent généralement les tiges de céréales. De nombreuses galeries de fourmis s'installent dans ces buttes. On n'observe quasiment pas de traces de ruissellement. L'espace intersticiel des buttes est ordinairement occupé par une croûte structurale à un seul microhorizon. La composition granulométrique des buttes est d'environ 15 % de sable grossier, 65 % de sable fin et 20 % d'argiles.

Le type de culture pratiqué est souvent précisé car il détermine la manière de travailler le sol. Des variantes sont distinguées en fonction de la densité du couvert herbacé.

- CI 0 :  $d < 5 \%$
- CI 1 :  $5 \% < d < 25 \%$

Ruissellement :  $Lr = 0,2 Pu + 0,03.IK + 0,004 Pu.IK - 3,0$

#### **1.2.1.2 Le type cultural II (CULT II ou CII) (figure 12.b)**

C'est une surface cultivée à porosité vésiculaire moyenne (5 à 30 %). Elle se reconnaît par une amorce d'aplanissement des buttes de sarclage. L'activité des fourmis est moindre. On note la présence de croûtes de ruissellement dans les interbuttes mais le degré d'obstruction au ruissellement reste important. La composition granulométrique est environ 25 % de sable grossier, 60 % de sable fin et 15 % d'argile. Comme pour CI, nous avons distingué 2 variantes selon la densité du couvert herbacé.

Ruissellement :  $Lr = 0,35 Pu + 0,04.IK + 0,004 Pu.IK - 3,0$

### 1.2.1.3 Le type cultural III (CULT III ou CIII) (fig. 12 c)

Surface cultivée à forte porosité vésiculaire (supérieure à 30 %). Les buttes de sarclage sont presque totalement aplanies par le ruissellement d'où la dominance des croûtes de ruissellement. L'activité des fourmis y est très faible.

La composition granulométrique est d'environ 15 % d'argile, 30 % de sable grossier et 55 % de sable fin. Nous distinguons deux variantes également selon la densité du couvert herbacé.

Ruissellement : Lr : 0,9 Pu + 0,05.IK + 0,002 Pu.IK - 10,0

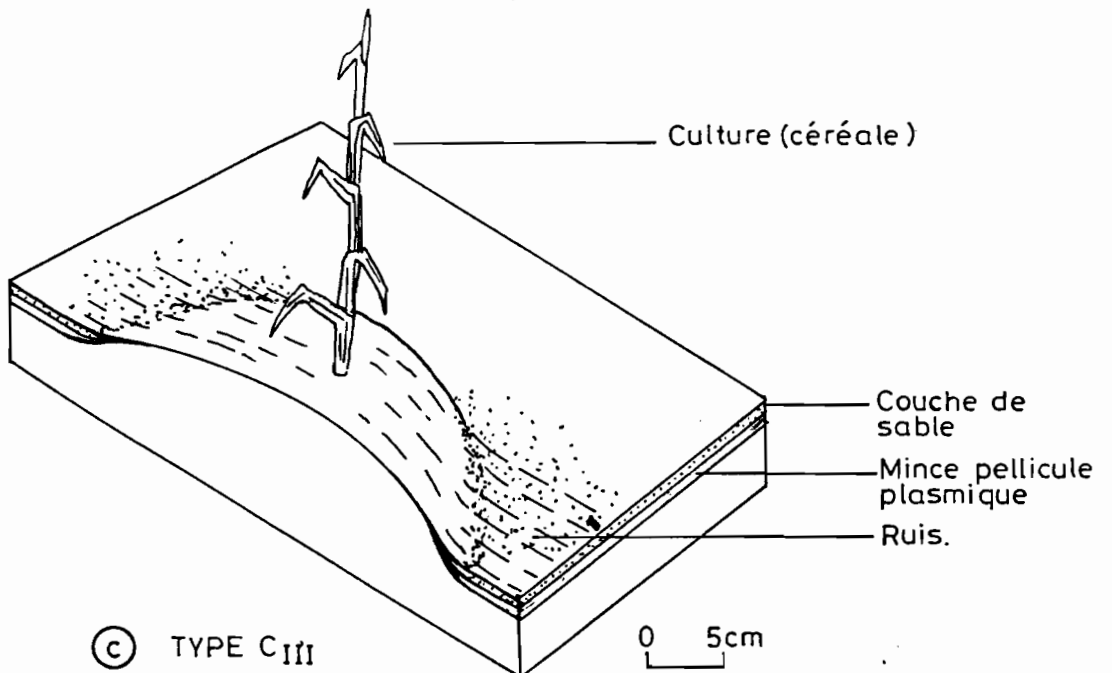
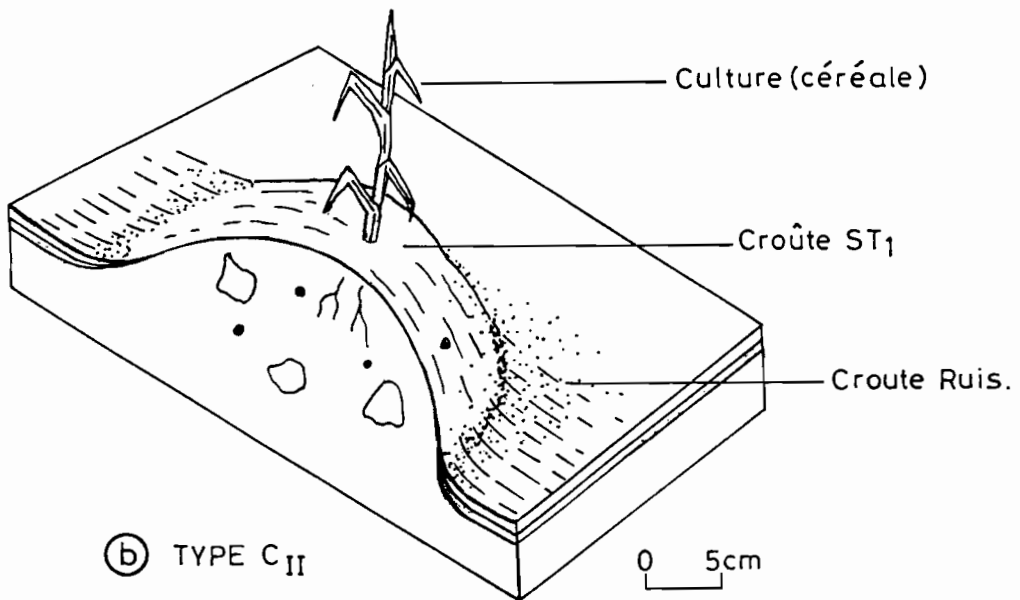
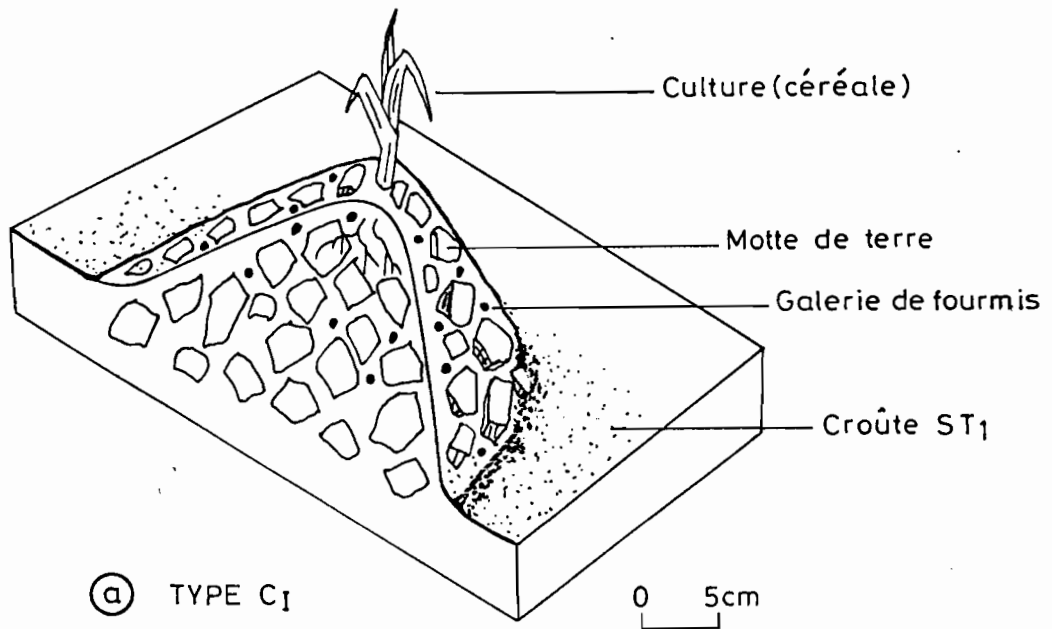


Figure : 12 - LES TYPES "CULTURAL"



### 1.2.2 Les surfaces à forte activité mésofaunique

Dans la région étudiée, l'activité mésofaunique la plus notable est celle des termites, celle des vers étant quasi inexistante. Celle des fourmis est relativement plus discrète, hormis quelques fourmilières observables généralement sur les microplages érodés des champs et jachères récentes.

#### Le type termites (TERM) (figure 13)

Surface non cultivée, particulièrement marquée par la forte activité termitique, elle se reconnaît par l'abondance des placages de termites (en petits chenaux de terre) en surface. On y rencontre fréquemment une biomasse herbacée abondante ( $d < 60$  %) et éventuellement des ligneuses. On observe deux microhorizons plus ou moins imbriqués :

- Un microhorizon discontinu, d'environ un centimètre d'épaisseur et constitué par les placages de termites, recouvrant souvent la litière ;

- Un microhorizon sous-jacent, remarquable par la forte porosité fonctionnelle constituée par des fins canalicules densément anastomosées dont certaines pénètrent profondément le sol, c'est également un microhorizon à forte exploration racinaire. La composition granulométrique est d'environ 10 % de sable grossier, 50 % de sable fin et 40 % d'argile et de limons.

Ruissellement :  $Lr = 0,05 Pu + 0,01 IK + 0,001 Pu.IK - 1,0$

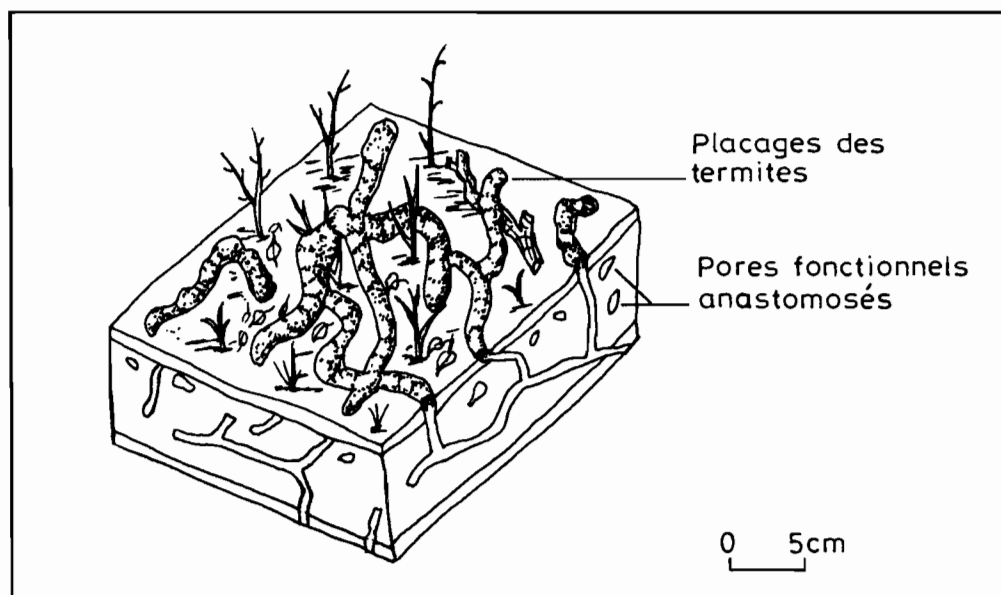


Fig.13\_ TYPE TERM.

### 1.2.3 Le type dessication (DES) (figure 14)

Cette surface non cultivée est caractérisée par la présence d'un microhorizon sableux (sables supérieurs à 75 %) à structure massive sur plus de 7 cm de profondeur. Lorsqu'elle est recouverte à plus de 50 % d'herbacés, le microhorizon est marqué d'une forte exploration racinaire et faunique (termites) sur 1,5 cm à 5 cm de profondeur, puis souvent des placages de termites sur moins de 30 % de la surface. La dessication se rencontre souvent sur microbuttes sableuses enherbées d'origine éolienne.

Nous avons distingué 5 variantes de dessication en fonction de la densité du couvert herbacé.

- DES0 :  $0 \% < d < 5 \%$
- DES1 :  $5 \% < d < 25 \%$
- DES2 :  $25 \% < d < 50 \%$
- DES3 :  $50 \% < d < 75 \%$
- DES4 :  $75 \% < d < 100 \%$

Ruissellement :  $Lr = 0,3 Pu + 0,01 IK + 0,003 Pu.IK - 8,0$

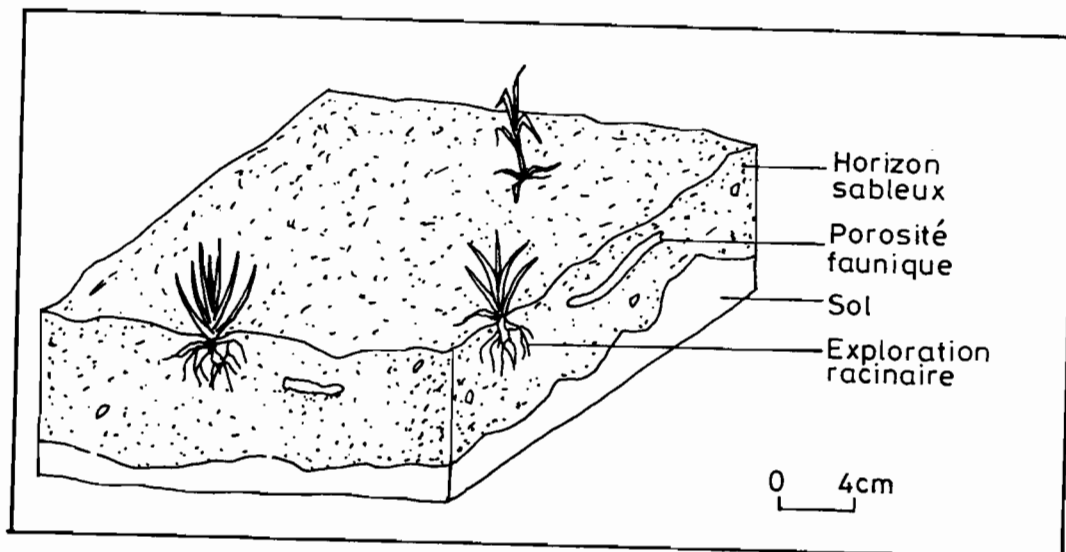


Fig. 14 - TYPE DES.

#### 1.2.4 Les surfaces de type "structurale"

Elles se reconnaissent facilement par l'existence de deux ou trois microhorizons bien individualisés par leur structure et leur composition granulométrique. Le chiffre romain indique le nombre de microhorizon.

##### 1.2.4.1 Le type structurale à 2 microhorizons (STII) (fig15)

La surface STII est une surface non cultivée, à très faible activité mésofaunique, de charge grossière inférieure à 40 %. Elle est caractérisée par la présence de deux microhorizons, le premier étant constitué de sables peu triés qui reposent sur le second constitué par une pellicule plasmique. Elle peut être enherbée dans le cas des dépôts éoliens formant des microbuttes peu épaisses sur pellicule plasmique.

Ruissellement :  $Lr = 0,5 Pu + 0,02 IK + 0,004 Pu.IK - 10,0$

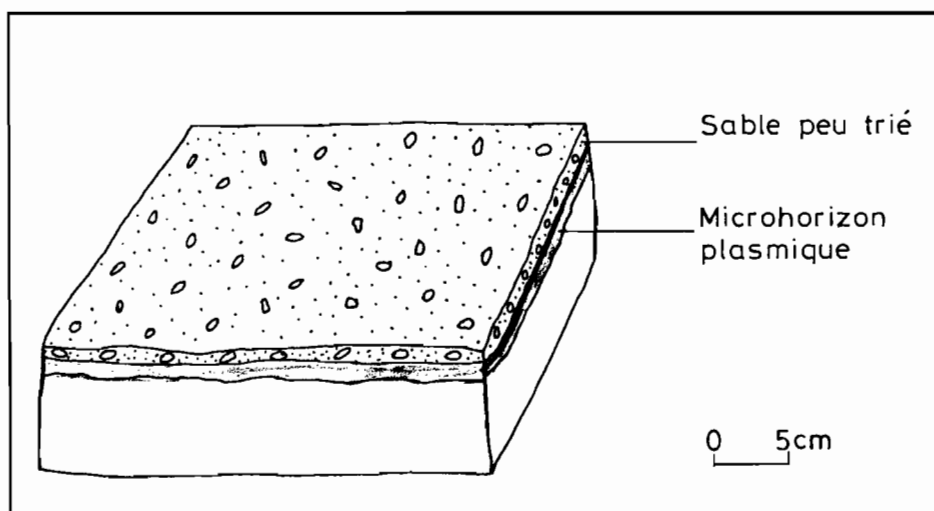


Fig.15\_TYPE ST II

#### 1.2.4.2 Le type structurale à trois microhorizons (STIII) (figure 16)

C'est une surface non cultivée, à activité mésofaunique nulle ou presque dont la charge grossière est inférieure à 40 %. On distingue assez nettement trois microhorizons : en surface un microhorizon de sables grossiers qui repose sur le microhorizon à sable fin. Le troisième microhorizon, sous-jacent aux deux autres, est formé d'une pellicule plasmique.

Nous avons distingué deux variantes :

STIII 1 = Porosité vésiculaire abondante (20 à 30 % de la surface)

STIII 2 = Porosité vésiculaire peu abondante (0 à 15 % de la surface)

Ruissellement :  $Lr = 0,85 Pu + 0,01 IK + 0,003 Pu.IK - 8,0$

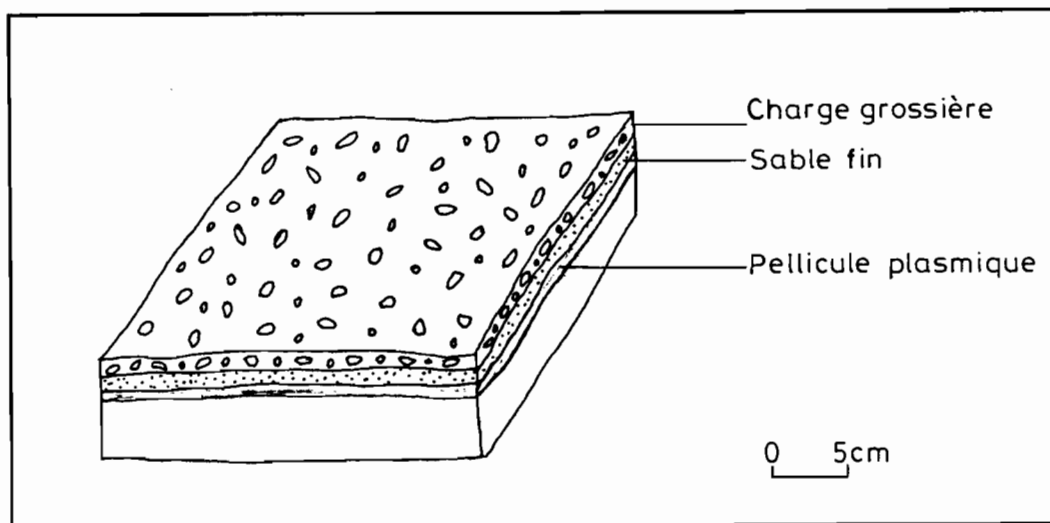


Fig. 16 -TYPE ST III

### 1.2.5 Le type érosion (ERO) (figure 17)

C'est une surface non cultivée, dénudée, sans activité mésofaunique et caractérisée par un microhorizon plasmique affleurant à structure continue. On note souvent la présence de micro-ondulations et de micromarches qui rappellent un processus érosif dominant de type hydrique. De fines fentes de dessiccation (pouvant atteindre 4 m de long), colmatées par du sable peu trié, sont également notables. La charge grossière en surface est très faible (< 5 %). Le taux de l'argile dans la pellicule plasmique peut dépasser 50 %.

Ruissellement :  $0,95 \text{ Pu} + 0,09 \text{ IK} + 0,001 \text{ Pu.IK} - 9,0$

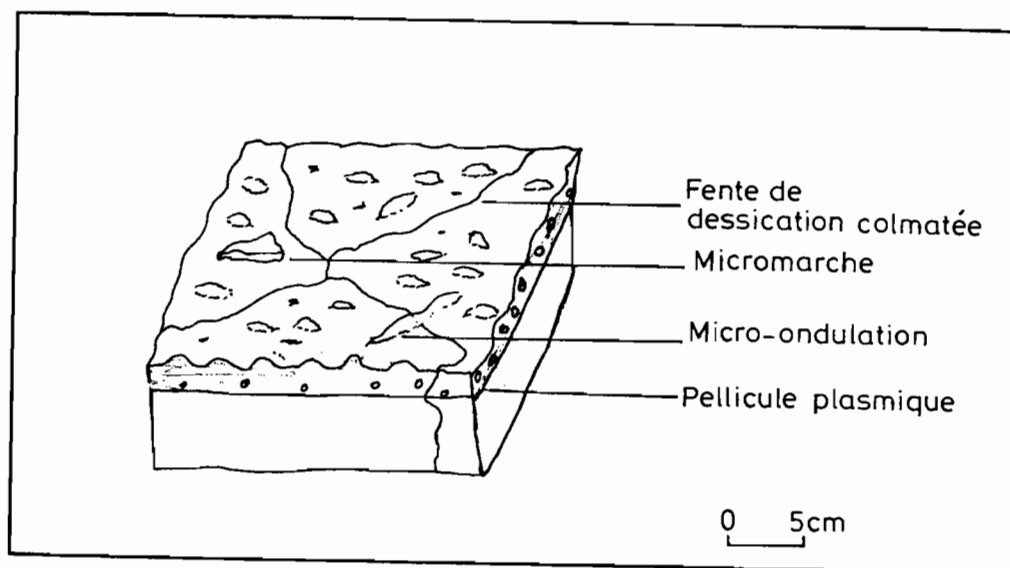


Fig.17\_ TYPE ERO.

## 1.2.6 Les types décantation

### 1.2.6.1 Le type décantation I (DEC I) (figure 18)

C'est une surface non cultivée caractérisée par la présence d'un microhorizon plasmique affleurant à structure fragmentaire squameuse et prismatique, formant à l'état sec des petites plaquettes concaves aux rebords polyédriques anguleux. La charge grossière est en général inférieure à 15 % avec parfois quelques placages de termites (< 5 %) en surface. L'argile peut atteindre 60 % dans certains cas. On la rencontre fréquemment dans les dépressions et à l'amont du bandes de végétation dans les brousses tigrées.

- DEC I 0 :  $d < 5 \%$
- DEC I 1 :  $5 \% < d < 25 \%$
- DEC I 2 :  $25 \% < d < 50 \%$
- DEC I 3 :  $50 \% < d < 75 \%$
- DEC I 4 :  $75 \% < d < 100 \%$

Ruissellement :  $L_r = 0,45 P_u + 0,08 I_k + 0,001 P_u \cdot I_k - 7,7$

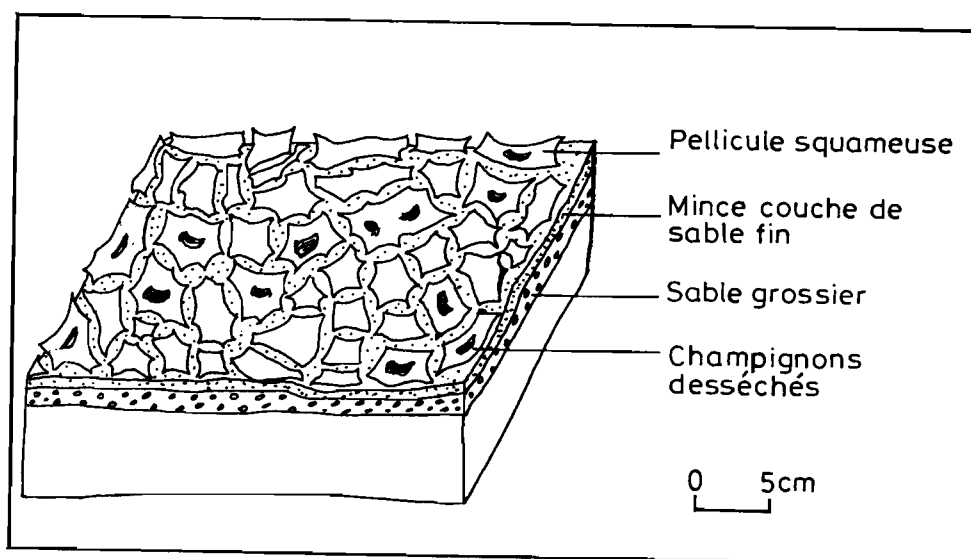


Fig.18 - TYPE DEC<sub>I</sub>

### 1.2.6.2 Le type décantation II (DEC II) (figure 19)

C'est une surface cultivée ou non à activité mésofaunique très réduite. Elle se distingue de DEC I par la présence d'un horizon plasmique argilo-limoneux très épais (supérieur à 7 cm) qui comporte souvent des tâches rouilles. La surface est particulièrement marquée à l'état sec par les larges et longues fentes de dessiccation définissant de grands "quartiers" polygonaux. La surface de couleur gris noirâtre peut être couverte d'herbe.

Elle se rencontre presque exclusivement dans les bas-fonds et les dépressions à submersion plus ou moins prolongée.

Ruissellement :  $Lr = 0,8 Pu + 0,08 IK + 0,001 Pu.Ik - 12,0$

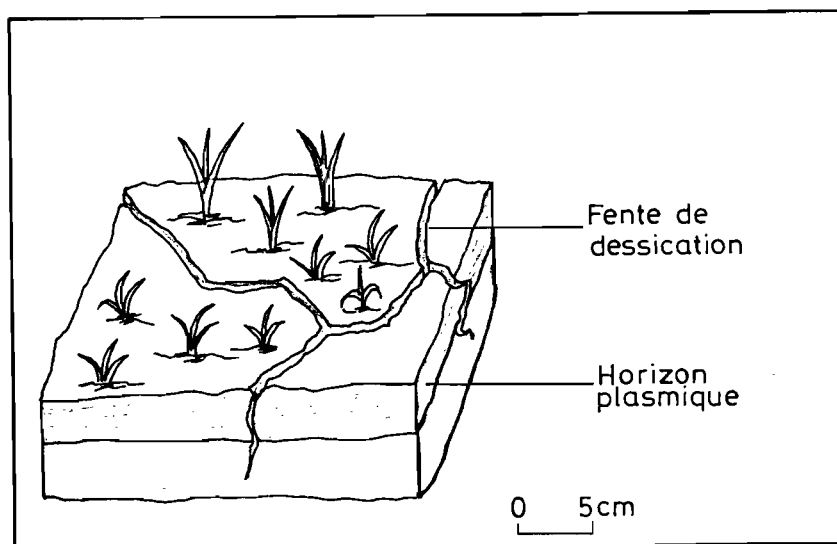


Fig.19 - TYPE DECII

### 1.2.7 Le type grossier (GRO) (figure 20)

Surface non cultivée à activité mésofaunique quasi-inexistante, elle est recouverte à plus de 40 % par une charge grossière dont les éléments grossiers (le plus souvent des nodules ferrugineux) sont enchâssés dans une croûte à trois microhorizons : le sable grossier, sur sable fin reposant tous deux sur une pellicule plasmique. Lorsque la charge grossière est très abondante, les éléments les plus superficiels sont libres ou alors très facilement mobilisables. Le couvert herbacé est généralement faible ou inexistant.

Nous avons distingué deux variantes en fonction de la taille des éléments en surface :

- GRO1 : les éléments constitutifs de la charge grossière en surface sont des gravillons avec une couche sous-jacente de sables relativement épaisse (de l'ordre de 1 à 2 mm) ;

- GRO2 : les éléments de la charge grossière sont des pierres ou des blocs (diamètre supérieur à 2 cm). La couche de sable est peu épaisse (inférieure à 1 mm).

Ruissellement :  $L_r = 0,99 P_u + 0,05 I_K + 0,001 P_u \cdot I_K - 6,0$

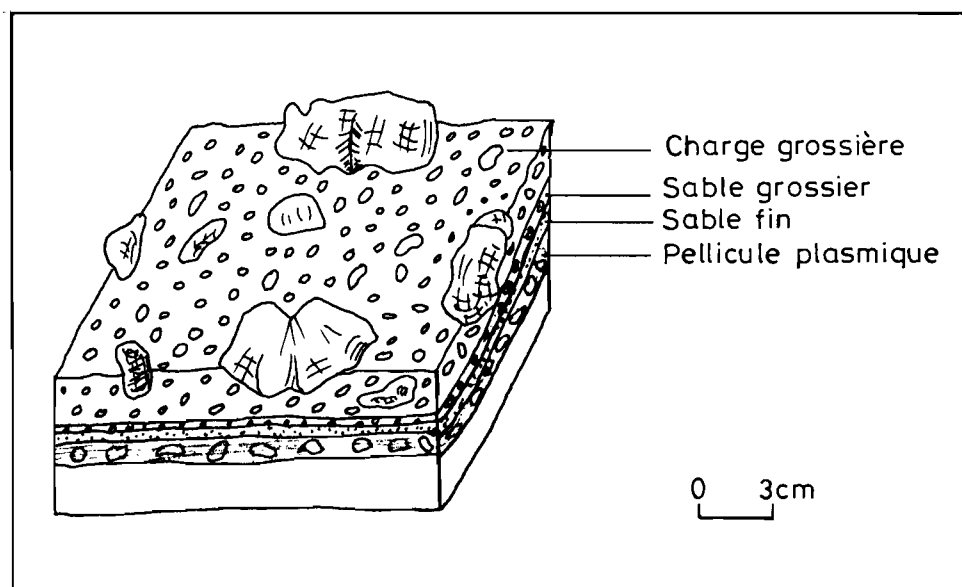


Fig.20 - TYPE GRO.



### 1.2.8 Le type cuirasse (CUIR) (figure 21)

C'est une surface non cultivée, sans activité mésofaunique caractérisée par l'affleurement de la cuirasse. On peut trouver dans ses microdépressions des graviers ou des sables déposés soit par l'eau, soit par le vent.

Ruissellement :  $L_r = 1,00 P_u$

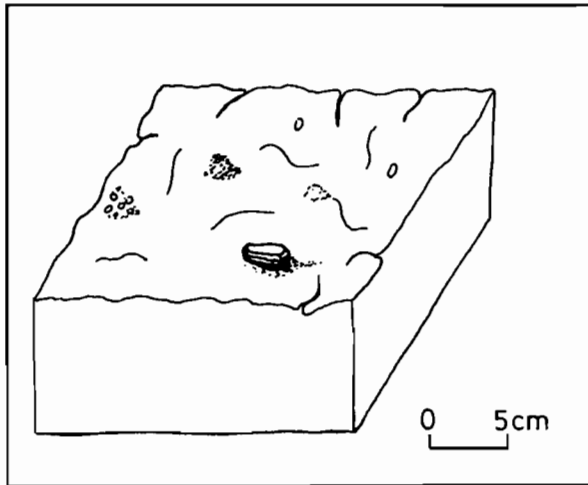


Fig.21 - TYPE CUIR.

## II CLASSIFICATION DE LA VEGETATION : LES FORMATIONS VEGETALES ET LES GROUPEMENTS VEGETAUX

Nous avons distingué dix formations végétales sur l'ensemble de la zone d'étude.

Ces formations sont pour la plupart composées d'une mosaïque de types biologiques mais elles sont caractérisées par le type biologique qui impose la physionomie d'ensemble à la formation.

### 2.1 Les zones dégradées peu végétalisées (sections F1, F2, F3)

Ce sont des zones caractérisées par l'absence presque totale de la végétation aussi bien ligneuse que herbacée qui se traduit par leur très faible recouvrement ligneux et herbacé, et leur pauvreté floristique.

Ces zones sont généralement rencontrées sur les crêtes, les plateaux cuirassés, les buttes. On les rencontre aussi le long des cours d'eau où elles constituent des chanfreins dénudés.

Les recouvrements herbacé et ligneux sont inférieurs à 2 %. Les herbacés se rencontrent en rares plaques isolées, de diamètres inférieurs à 3 m, et dont la hauteur n'excède pas 0,15 m. Les espèces qui composent ces plaques sont essentiellement Schoenofeldia gracilis et Caralluma dalzielii.

Les rares ligneux rencontrés sont des sous-arbustes et des sous-arbrisseaux dont la taille n'excède pas 1,5 m et sont généralement disposés soit dans les microdépressions ponctuelles liées à des dépôts sableux éoliens, soit le long des chenaux de ruissellement ou encore dans les interstices des éboulis rocheux sur les talus. Les espèces ligneuses rencontrées sont essentiellement Boscia senegalensis, Combretum micranthum, Combretum glutinosum.

## 2.2 Le domaine cultivé (Sections D1, D2 et D3)

Il s'agit de l'ensemble des surfaces mises en culture et les jachères d'un an. Il est caractérisé par la quasi nudité du sol, généralement à sable remué par les labours répétés et qui sont plus ou moins faiblement recouverts, après les récoltes par la paille des céréales. Le couvert herbacé y est très faible et dépasse rarement 10 %, hormis les zones n'ayant pas été cultivées l'année en cours. Quelques espèces comme Eragrostis tremula, Eragrostis tenella et Cenchrus biflorus y poussent. On rencontre Striga hermontheca dans les champs de case permanemment cultivés.

Le couvert ligneux est très ouvert. Seuls subsistent quelques arbres, notamment fruitiers comme Sclerocarya birrea, Lannea microcarpa, Parkia biglobosa, Butyrospermum paradoxum et plus rarement Mangifera indica et Tamarindus indica. Dans les champs se trouvant autour de Bidi, on note une forte présence de Hyphaene thebaica.

De nombreuses repousses de Piliostigma reticulatum et plus rarement, de Guiera senegalensis, de taille inférieure à 1 m sont observables. Dans l'ensemble, le recouvrement ligneux est très faible et atteint au maximum 6 % (tableau III).

**Tableau III : Paramètres caractéristiques du domaine cultivé**  
Section D2  $S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur D2	/ha	
arborée	4	7	3,2
arbustive	2	3	0,3
sous-arbustive	12	20	1,5
couvert ligneux	18	30	5
résidu de culture			43

### 2.3 La steppe herbeuse (section E1, E2 et E3) (tableau IV)

Cette formation est caractérisée par l'abondance du couvert herbacé qui avoisine 50 % avec une taille d'environ 70 à 80 cm, cependant elle est parsemée de nombreuses plages nues de dimensions moyennes (5 à 20 m de diamètre), ce qui lui donne un aspect tatoué sur l'image satellite.

On la rencontre fréquemment sur les bas-versants, en marge du domaine cultivé et de cours d'eau. Le couvert herbacé est dominé par Pennisetum pedicellatum ou Schoenefeldia gracilis auxquelles se mêlent souvent les longues lianes rampantes, abondamment feuillées, de Leptadenia hastata. Andropogon gayanus var Bisquamulatus et Cenchrus biflorus, Zornia glochidiata sont également abondant par endroit.

La composante ligneuse de la végétation est très ouverte et de basse taille. Les individus sont pour la plupart des sous-arbrisseaux de taille inférieure à 1,30 m, rarement des chaméphytes ligneux constitués de repousses ou de rejets consécutifs au broutage des animaux. Quelques sujets sporadiques, essentiellement Guiera senegalensis et Combretum nigrum atteignent 3 m et plus. Plus de 95 % des individus sont des sous-arbrisseaux et le recouvrement ligneux excède rarement 5 %.

Les sous-arbrisseaux sont multicaules, ramifiés dès la base. L'existence de nombreuses souches mortes et vivantes fait penser que cette formation est une jachère en reconstitution imparfaite du fait de la dégradation excessive du sol causée par la longue exploitation agricole.

C'est une formation peu variée floristiquement, surtout en ce qui concerne le couvert ligneux. Nous y avons distingué essentiellement deux groupements végétaux :

- le groupement à Guiera senegalensis, Piliostigma reticulatum et Pennisetum pedicellatum : c'est un groupement marqué par l'abondance de deux espèces ligneuses à savoir Guiera senegalensis qui représente 71,3 % des individus et Piliostigma reticulatum qui représente 23,8 % des individus soit au total

plus de 90 % des individus du groupement. Ce groupement se localise principalement en marge du domaine cultivé.

- Le groupement à Boscia senegalensis, Combretum micranthum et Schoenefeldia gracilis : dans ce groupement, plus de 80 % des individus ligneux sont repartis en trois espèces qui dominent ainsi le groupement. Ce sont :

- Boscia senegalensis ;
- Combretum micranthum;
- Guiera senegalensis.

Ce groupement se rencontre dans les zones relativement peu anthropisées, à proximité des bas-fonds, notamment vers Koumbri.

**Tableau IV : Paramètres caractéristiques de la steppe herbeuse**

Section E1

$$S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur E1	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	1	1	0,2
sous-arbustive	156	195	4,5
couvert ligneux	157	196	4,7
couvert herbacé			40

#### 2.4 La steppe sous-arbustive (section K1, K2 et K3)

Cette formation est particulièrement marquée par la rareté du couvert herbacé (10 à 30 % de recouvrement) qui laisse transparaître le sol, très souvent gravillonnaire et induré sur lequel sont disséminés des sous-arbustes, rarement des sous-arbrisseaux, d'espèces rustiques comme Combretum glutinosum, Combretum micranthum et Boscia senegalensis.

Ces sous-arbrisseaux se regroupent quelques rares fois en petits bosquets enherbés de diamètres généralement inférieur à 10 m.

La distance entre les individus ligneux est assez variable, pouvant atteindre 40 m et même plus. La taille des sujets est également variable. On note :

- d'une part la présence de sujets en mauvais état, dont la taille voisine 0,7 m et appartiennent en majorité à l'espèce Boscia senegalensis ;

- d'autre part, des sous-arbustes de l'espèce Combretum glutinosum dont la taille excède rarement 2,40 m. Le recouvrement ligneux est compris entre 7 % et 10 %.

La strate herbacée est généralement concentrée sous les petits bosquets de sous-arbustes et de sous-arbrisseaux et dominé par Schoenefeldia gracilis et Aristida adscensionis. En marge de ces bosquets, on rencontre fréquemment sur les nids effondrés de termites du genre Trinervitermes, Caralluma dalzielii. Quelques touffes de Leptadenia hastata sont également notables.

Par ailleurs, l'abondance de souches de sous-arbrisseaux, des brindilles qui jonchent le sol et la rareté des plantules, hormis sous les petits bosquets, font penser que c'est une formation en voie de dégradation. Le tableau V donne les caractéristiques de la formation.

**Tableau V : Quelques paramètres caractéristiques de la steppe sous-arbustive.**

Section K2

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur K2	/ha	
arborée	1	2	0,3
arbustive	5	8	0,9
sous-arbustive	106	177	6,8
couvert ligneux	112	187	8
couvert herbacé			21

Nous avons noté trois groupements végétaux dans cette formation. Ce sont :

- Le groupement à Guiera senegalensis et Combretum glutinosum : ce groupement est caractérisé à la fois par la grande fréquence et la dominance de Guiera senegalensis, Combretum glutinosum, Piliostigma reticulatum, Securinega virosa et Balanites aegyptiaca sont également abondantes. Ce groupement est rencontré sur des sols moyennement gravillonnaires avec des petites plages sableuses quelques fois cultivées ;

- Le groupement à Combretum micranthum et Combretum glutinosum : dans ce groupement, outre la forte fréquence de ces deux espèces qui constitue près de 90 % des individus ligneux, on note la présence de Cassia sieberiana dont les sujets peuvent atteindre 6 m de haut ;

- Le groupement à Combretum micranthum, Guiera senegalensis et Boscia senegalensis : ce groupement se rencontre en haut versant gravillonnaire à sols squelettiques sur lesquels ces trois espèces sont plus fréquentes avec des sujets en mauvais état.

## **2.5 La steppe arbustive à fourrés : "la brousse tigrée"** (sections B1 et C1) (tableau VI).

Formation particulièrement remarquable par sa structure, la steppe arbustive à fourrés est bien identifiable sur les images satellitaires à forte résolution et les photographies aériennes. En effet, elle se reconnaît aisément par la présence de bandes de végétation ligneuse plus ou moins denses, constituant des fourrés, en alternance avec les plages dénudées. Ce type de formation est couramment appelée "brousse tigrée".

En général, les bandes de végétation sont falciformes, avec une légère concavité orientée dans le sens de la pente croissante, la formation étant ordinairement rencontrée sur les "pseudoglacis". La largeur des bandes de végétation est généralement maximale en mi-versant et décroît de manière plus ou

moins régulière vers les hauts versants arides ou cuirassés et vers les bas-versants ordinairement cultivés ou en jachères.

En amont de chaque bande de végétation, on note la présence d'une zone de décantation des eaux de l'impluvium que constitue la plage dénudée et érodée. Cette zone est souvent densément enherbée par Pennisetum pedicellatum et Aristida adscensionis. Cette zone humide est propice à la germination des graines déposées par l'eau de ruissellement et à la croissance des jeunes plantules qui sont ainsi à l'abri du stress hydrique et du broutage des animaux.

En aval de la bande, une mince zone transitoire entre le fourré et la plage nue s'observe avec de nombreux chicots de ligneux qui font penser à une régression de la bande vers l'amont.

La physionomie générale de la formation est imprimée par la strate arbustive constituée presque exclusivement de Pterocarpus lucens et plus rarement de Lanea acida et Adansonia digitata.

Cependant, la densité des fourrés est due à la strate à sous-arbustes et sous-arbrisseaux, abondamment ramifiés dès la base, auxquels se mêlent certaines lianes ligneuses comme Grewia flavescens, Acacia ataxacantha et Acacia pennata. On y rencontre fréquemment :

- Combretum micranthum ;
- Gardenia sokotensis ;
- Dalbergia melanoxylon ;
- Acacia macrostachya.

Certaines espèces comme Gloriosa symplex et Asparagus africana sont presque exclusivement rencontrées dans cette formation. La strate herbacée, peu dense, est dominée par Aristida adscensionis et Loudetia togoensis. On rencontre également Microchloa indica.



**Tableau VI : Paramètres caractéristiques la "brousse tigrée"**

Section B1

 $S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$ 

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur B1	/ha	
arborée	2	2	1,3
arbustive	7	9	1,9
sous-arbustive	164	205	22,2
couvert ligneux	173	216	25,4
couvert herbacé	-	-	15

### 2.6 Les jachères à fourrés sous-arbustifs (section I1) (tableau VII)

Cette formation se caractérise par les traces anciennes de défriche. On y note l'abondance de souches mortes ou vivantes portant souvent des rejets ou drageons, pouvant s'affranchir de la souche pour devenir des sous-arbustes ou des sous-arbrisseaux. Dans certains cas, les souches ont quasiment disparu. Mais les vestiges de poterie sur les sites des anciennes habitations Dogons et les informations recueillies auprès des personnes âgées des localités environnantes nous confirment que ce sont des jachères anciennes.

La section I1 que nous avons décrites dans cette formation, située entre Bidi et Kéké aurait été cultivée il y a plus de 30 ans mais les populations y prélèvent fréquemment des perches et autres besoins ligneux, ce qui explique probablement la présence de souches.

Du point de vue structure, la formation est ponctuée de plages dénudées, quelques fois colonisées en partie par la végétation herbacée.

Le couvert ligneux est essentiellement à sous-arbrisseaux surplombés sporadiquement par des arbustes et plus rarement, par des arbres de l'espèce Adansonia digitata. Les espèces les plus fréquentes sont : Combretum micranthum, Guiera senegalensis, Combretum negricans et Pterocarpus lucens.

Le couvert herbacé se développant aux endroits peu couverts par les ligneux et sur les abords des plages nues, est principalement dominé par Schoenefeldia gracilis, Pennisetum pedicellatum et Loudetia togoensis.

Il faut noter que cette formation se développe sur les moyens et hauts versants et se rapproche, par sa structure, à la brousse tigrée sauf que dans cette formation, on n'observe pas de bandes de végétation bien individualisées et que la taille des fourrés est relativement basse (de l'ordre de 3 m).

Nous y avons noté un seul groupement : le groupement à Combretum micranthum et Guiera senegalensis. Près de 90 % des ligneux appartiennent à ces deux espèces. On y note également une assez forte représentation de Combretum negricans et Gardenia sokotensis.

**Tableau VII : Paramètres caractéristiques des jachères à fourrés sous-arbustifs.**

Section I1

$$S^2 = (300 \times 10) \text{ m}^2$$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur I1	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	3	10	2
sous-arbustive	480	1600	35
couvert ligneux	483	1610	37
couvert herbacé			39

## 2.7 Les cordons ripicoles (tableau VIII)

Cette formation est assez variable dans sa physionomie et dans sa composition floristique mais se reconnaît par sa forme allongée et tortueuse.

Elle est liée au cours d'eau. En général, on observe une formation arborée, arbustive ou sous-arbustive se développant le long du lit du cours d'eau, ordinairement sur une largeur de 50 m à 60 m, mais pouvant déborder par endroit jusqu'à 70 m de part et d'autre du lit.

A l'amont, les cours d'eau, sont généralement peu organisés. Les eaux, de faible débit, sont souvent canalisées par des petits chenaux anastomosés et peu encaissés. Dans ce cas, on observe des touffes d'Andropogon gayanus entre les chenaux. On note aussi la présence de Panicum laetum. Cassia tora et Cassia occidentalis sont observés en marge de formation. Le couvert ligneux est essentiellement à sous-arbrisseaux et sous-arbustes comme Combretum micranthum, Guiera senegalensis, Piliostigma reticulatum et Vitex doniana.

Plus loin, en aval, le cours d'eau draine un débit plus important. La végétation qui se développe aux abords immédiats du lit est dominée par des arbres pouvant atteindre 12 m de haut, sous lesquels se trouvent les autres strates (sous-arbustive et arbustive). Parmi les arbres, on remarque l'abondance de Mitragyna inermis, Tamarindus indica, Terminalia macroptera, Anogeissus leiocarpus et Khaya senegalensis qui n'est représenté dans la région que dans cette formation. Diospiros mespilisformis est particulièrement abondant dans la strate sous-arbustive.

Plus on s'éloigne du centre du cours d'eau, plus la taille des individus diminue et la composition floristique change. En effet, entre les chanfreins dénudés qui longent les cours d'eau et la zone centrale densément arborée, on rencontre des arbustes et sous-arbustes, essentiellement des épineux tels que Balanites aegyptiaca, Acacia seyal, Acacia nilotica, Acacia senegal et Faidherbia albida sous lesquels des herbacées comme Achyranthes aspera, Cassia mimosoides et Physalis angulata poussent.

Nous avons remarqué deux groupements végétaux :

- Le groupement à Diospiros mespilisformis et Mitragyna inermis (section M2) ;
- Le groupement à Guiera senegalensis et Piliostigma reticulatum (section M1 et M3).

**Tableau VIII : Paramètres caractéristiques des cordons ripicoles**

Section M1

$$S^2 = (40 \times 260) \text{ m}^2$$

Strate		Nombre d'individus		Recouvrement en %
		sur M1	/ha	
arborée	a	9	39	22,4
	b	9	11	5,2
arbustive	a	16	69	8,1
	b	6	7	1,1
sous-arbustive	a	68	293	35
	b	24	30	0,9
couvert ligneux	a	93 (70 %)	401	65
	b	39 (30 %)	48	7,5
couvert herbacé	a			
	b			

(a = sur les berges)

(b = de part et d'autre des berges)

## 2.8 La steppe arbustive et arborée exondée (section C2)

C'est une formation caractérisée par l'alternance des fourrés arbustifs et de fourrés sous-arbustifs, tous denses, l'ensemble de la formation étant ponctué par des ouvertures de taille réduite de 20 à 30 m de diamètre. Ces ouvertures sont généralement colonisées en partie par les herbacées qui font la jonction entre le centre de l'ouverture qui est dénudé et le fourré.

Les strates arborée et arbustive contiennent de sujets sénescents de Pterocarpus lucens, souvent attaqués par des insectes xylophages. On note également la présence d'Anogeissus leiocarpus, et d'Acacia macrostachya. Ces sujets sont souvent les supports des lianes comme Leptadenia hastata, Cissus quadrangularis, particulièrement abondant, et aussi de Grewia flavescens, d'Acacia ataxacantha qui confèrent un aspect de fourré à la formation.

La strate sous-arbustive, particulièrement dense est composée essentiellement de sous-arbrisseaux, notamment Combretum micranthum, Guiera senegalensis, Piliostigma reticulatum, à tiges peu nombreuses (3 à 5) mais pouvant atteindre 5 cm de diamètre. Les sous-arbustes, peu nombreux, sont principalement Dalbergia melanoxyton, Commiphora africana, Acacia seyal.

Sur les plages nues, on rencontre fréquemment associés aux termitières effondrées ou vivantes des sujets de Boscia senegalensis. Le couvert herbacé est dominé par Pennisetum pedicellatum et son recouvrement peut atteindre 45 % (tabl. IX).

Nous y avons distingué deux groupements végétaux correspondant grosso-modo aux deux types de fourrés ci-dessus évoqués :

- Le groupement à Pterocarpus lucens et Grewia flavescens correspondant au fourré arbustif et arboré et où abondent également Acacia macrostachya et Acacia ataxacantha ;

- Le groupement à Combretum micranthum et Guiera senegalensis correspondant au fourré à sous-arbrisseaux.

**Tableau IX : Paramètres caractéristiques de la steppe  
arbustive et arborée exondée.**

Section C2

$$S^2 = (300 \times 20)m^2$$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur C2	/ha	
arborée	11	18	9
arbustive	3	5	1,5
sous-arbustive	312	516	31
couvert ligneux	326	539	41,5
couvert herbacé			44

### **2.9 La steppe arbustive et arborée temporairement inondée (section A2)**

Cette formation se distingue essentiellement par l'abondance du couvert herbacé (tableau X) sur les ouvertures causées par l'absence de ligneux, les sols nus étant réduits à de petites plages qui excèdent rarement 10 m de diamètre.

Les arbustes sont particulièrement abondants mais de couronnes peu étendues. Les strates arbustive et arborée sont caractérisées par une répartition spatiale assez régulière des arbres et arbustes. Elles sont composées de Pterocarpus lucens, Anogeissus leiocarpus et Commiphora africana.

La strate sous-arbustive contribue beaucoup à la densité de la formation. On y rencontre fréquemment Combretum micranthum, Balanites aegyptiaca et Dalbergia melanoxylon.

Il faut noter que la formation se développe en des zones basses temporairement inondées sur sols argileux à argilo-limoneux, marqués par des grandes fentes de dessiccation en saison sèche et aussi par l'abondance des pellicules desquamantes de décantation. L'humidité plongée du sol favorise donc la forte activité végétative ligneuse et herbacée.

**Tableau X : Paramètres caractéristiques la steppe arbustive temporairement inondée.**

Section A2

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur A2	/ha	
arborée	7	12	3,3
arbustive	57	95	7,5
sous-arbustive	204	340	22,5
couvert ligneux	268	447	33,3
couvert herbacé	-	-	66

### 2.10 La forêt claire d'épandage des eaux (A1)

Cette formation est caractérisée par la densité du couvert ligneux dont le recouvrement dépasse 80 % par endroit. L'allure d'ensemble de la formation est imposée par la strate arbustive mais la densité de la formation est surtout due à la strate sous-arbustive et à sous-arbrisseaux, composée d'individus de taille quasi-uniforme et comprise entre 3 m et 4 m.

Cette strate sous-arbustive est floristiquement variée mais elle est dominée par Guiera senegalensis, Combretum micranthum et Acacia macrostachya. L'abondance des sous-arbrisseaux multicaules, ramifiés dès la base, certains des rameaux pouvant être fortement obliques ou quasi-horizontaux, auxquels s'entremêlent certaines lianes ligneuses comme Grewia flavescens et Acacia ataxacantha, rendent la formation difficilement pénétrable.

Les strates arbustive et arborée sont composées d'individus isolés ou en petits bosquets qui surplombent la strate sous-arbustive. Ces strates sont essentiellement composées d'espèces comme Pterocarpus lucens, Anogeissus leiocarpus et Adansonia digitata. Les sujets vieillissants de Pterocarpus lucens

constituent souvent un support pour Leptadenia hastata, Cissus quadrangularis et Acacia pennata.

La strate herbacée est généralement peu développée aux endroits densément couverts par les ligneux. Cependant, des ouvertures du "toit" ligneux, laissant parvenir la lumière jusqu'au sol et favorisant ainsi le développement de la strate herbacée sont sporadiquement notables à travers la formation. On remarque par ailleurs l'existence de quelques petites plages dénudées ne dépassant pas 15 m de diamètre. Le recouvrement ligneux sur l'ensemble de la formation est relativement élevé (tableau XI).

**Tableau XI : Paramètres caractéristiques de la forêt claire d'épandage des eaux.**

Section A1

$$S^2 = (312 \times 20) \text{ m}^2$$

Strate	Nombre d'individus		Recouvrements
	sur A1	/ha	en %
arborée	6	9	4
arbustive	11	18	4,3
sous-arbustive	367	588	47,7
couvert ligneux	384	615	56
couvert herbacé	-	-	32

Au plan floristique, c'est une formation assez riche. Nous y avons remarqué essentiellement deux groupements végétaux :

- Le groupement à Guiera senegalensis et Anogeissus leiocarpus : ce groupement se rencontre principalement dans les zones dépressionnaires hydromorphes argilo-limoneuses. Les strates arborée et arbustive sont constituées par Anogeissus leiocarpus ;

- Le groupement à Ximenia americana et Grewia bicolor : ce groupement se rencontre en marge des dépressions, sur sols argilo-sableux, peu fréquemment submergés par les eaux de crues.



On y note également la forte présence d'Acacia macrostachya, Acacia ataxacantha et Dalbergia melanoxylon.

### **Conclusion**

Compte tenu de la faible étendue de notre zone d'étude, nous avons défini les formations végétales en prenant en considération des variations, quelquefois assez fines des critères distinctifs retenus qui seraient certainement négligeables à une échelle plus petite. C'est ainsi que sur une superficie d'environ 730 km<sup>2</sup>, nous avons distingué dix formations végétales. Ce nombre se justifie également par la forte hétérogénéité du paysage sahélien qui génère des faciès de formations végétales juxtaposées pouvant être spatialement peu importants mais présentant des spécificités physiologiques, structurales, texturales et floristiques. La coexistence de plusieurs formations de physiologie variant des sols nus à la forêt claire témoigne de cette hétérogénéité.

### III CLASSIFICATIONS DES ETATS DE SURFACE

#### 3.1 Les états de surface des sommets

##### 3.1.1 Les sommets peu végétalisés

###### 3.1.1.1 Les surfaces cuirassées F1

Ce sont des surfaces marquées par l'affleurement en surface de la cuirasse ferrugineuse ou latéritique concrétionnée. Ces surfaces se rencontrent généralement au sommet des collines, des crêtes, ou plus rarement, des croupes où elles apparaissent en massifs intrusifs convexes ou plus ou moins tabulaires avec de gros éboulis sur les talus en pente abrupte.

Les surfaces élémentaires rencontrées sont essentiellement les types GRO et CUIR (tableau XII).

La végétation herbacée est presque inexistante, les rares ligneux chétifs poussent dans les diaclases ensablées et entre les éboulis des talus rocheux.

Ce sont des surfaces très peu fréquentées par l'homme, presque imperméable mais très peu sensibles à l'érosion.

**Tableau XII : Les surfaces élémentaires de la section F1**

Type de surface	Variante	Proportion /variante	Proportion /croûte
GRO	1	6	63
	2	57	
CUIR	-	36	36
ERO	-	1	1

Lr = 0,99 Pu - 3,87

Lr 50 = 45,8 mm

Soit 92 % de l'eau de pluie qui ruisselle.

### 3.1.1.2 Les surfaces à graviers abondants (F2 + F3)

Ce sont des surfaces qui se rencontrent également sur les sommets mais entourent la cuirasse lorsque celle-ci existe, sinon, elle occupent la plupart des sommets. Elles sont caractérisées par l'abondance de graviers ferrugineux argileux ou subarrondis pouvant atteindre 10 cm de diamètres, épandus sur un lithosol.

Les surfaces élémentaires les plus répandues sont les types GRO et STIII (Tableau XIII). Sur certains plateaux gravillonnaires, on trouve de petits dépôts sableux éoliens formant des surfaces de dessiccation. Sur le plateau gravillonnaire à proximité de Doré, de petites dépressions formant des mares temporaires à fonds hydromorphes s'observent. Dans ces mares, poussent des espèces hygrophiles comme Celtis integrifolia qui est très rare dans la région. Quelquefois, ces sommets ou plateaux gravillonnaires constituent des sites aurifères (à Doré et à Mougounouboko).

L'activité faunique est très faible tandis que l'érosion hydrique se remarque bien par les griffes plus ou moins profondes qui collectent l'eau vers les bas versants. De nombreux sentiers à bétail traversent ces zones mais les animaux n'y pâturent presque pas.

**Tableau XIII : Répartition des surfaces élémentaires des sections F2 et F3.**

Section	GRO	STIII		DES		ERO	DECII
	1	1	2	1	2	-	2
F2	57	3	18	10	4	6	2
F3	87	13	-	-	-		
Moyennes		17		7		3	1

$$Lr = 0,91 Pu - 6,63$$

$Pu = 50 \text{ mm}$      $Lr 50 = 38,9 \text{ mm}$     soit 78 % de l'eau de pluie qui ruisselle.

### **3.1.2 Les sommets fortement végétalisés**

Ces surfaces sont rencontrées sur des sommets d'altitude moyenne, à sol gravillonnaire à végétation ligneuse claire et basse et correspondant assez souvent à l'extension de la brousse tigrée de haut et moyen versant. Nous avons constaté l'existence de ces surfaces au sud de Bidi mais nous ne les avons pas décrites.

## **3.2 Les états de surfaces des hauts et moyens versants**

### **3.2.1 Les steppes à strate sur sols gravillonnaires sous-arbustive (K1, K2) (tableau XIV)**

Ces surfaces sont fréquemment rencontrées par les hauts versants, mais quelquefois, elles peuvent s'étendre jusqu'au moyen versant. On y note une abondance de la charge grossière, notamment des gravillons ferrugineux sub-arrondis de couleur ocre, pouvant être régulièrement épandus sur la surface, ou alors interrompus par des plages érodées ou végétalisées sur lithosols. Quelques rares fois, on rencontre des blocs cuirassés affleurants.

Le couvert herbacé est peu abondant. La végétation ligneuse est essentiellement à sous-arbustes disséminés. L'activité faunique est peu remarquable, à l'exception des quelques termitières de Trinervitermes qui se développent sous les petits bosquets sous-arbustifs. Ce sont des surfaces peu exploitables à des fins agricoles ou pastorales. Elles sont cependant traversées par les troupeaux à la recherche de meilleurs pâturages.

**Tableau XIV : Répartition des surfaces élémentaires et les recouvrements ligneux et herbacé des sections K1 et K2**

Sections	Recouvrement		GRO		ERO		DES		CUIR		DEC		STII		STIII	
	ligneux	herbacé	1	2	-	0	1	3	-	0	1	-	1	-	1	1
K1	8	21	18	9	23	5	1	14	18	2	3	3	3	4		
K2	9	13	27	11	33	3	10	-	-	-	-	9	7			
Moyennes	8,5	17	32,5	28	16,5	9	2,5	6	55							

Lr = 0,82 Pu - 7,13

Lr 50 = 33,9 mm soit 68 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

### 3.2.2 Les surfaces sablo-gravillonnaires

#### 3.2.2.1 Les zones peu végétalisées (J1 et J2) (tableau XV)

Ces surfaces se rencontrent ordinairement sur les moyens versants mais peuvent s'étendre quelquefois jusqu'en haut versant dans le cas des ondulations d'altitude peu élevée ou des pseudo-glacis à faible pente. Elles occupent souvent des zones intermédiaires entre les surfaces franchement gravillonnaires des hauts versants et des sommets et celles des bas-versants sableux.

Elles sont particulièrement remarquables par les microbuttes sableuses enherbées de type DES, allongées (de 5 m à 15 m) suivant la pente, entre lesquelles s'observent des griffes de ruissellement, généralement peu marquées (moins de 10 cm de profondeur).

En marge de ces surfaces enherbées (inférieures à 35 %), de grandes surfaces nues à charge grossière de types GRO et STIII s'observent. Le type GRO est essentiellement recouvert de gravillons ferrugineux arrondis de taille centimétrique tandis

que le type STIII est recouvert de petits gravillons anguleux à quartz et à orthose.

Le couvert ligneux est quasi-inexistant et l'activité faunique est peu perceptible, exception faite de quelques petites fourmilières qui se développent au collet de Leptadenia hastata. Ce sont des surfaces incultes, parcourues par les animaux. Elles constituent un mauvais pâturage.

**Tableau XV : Recouvrements ligneux, herbacé et répartition des surfaces élémentaires sur les sections J1 et J2**

Sections	Recouvrements		DES	ERO	STIII	GRO	CUIR	CI		
	ligneux	herbacé	3	-	1	2	1	2	-	sorgho
J1	0	31	31	24	16	1	23	5	0	0
J2	0	28	28	22	21	9	3	10	4	3
Moyennes	0	29,5	29,5	23	23,5	20,5	2	1,5		

Lr = 0,73 Pu - 7,59

Lr 50 = 28,9 mm soit 58 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

### 3.2.2.2 Les steppes sous-arbustives (L1) (tableau XVI)

Elles se rencontrent presque'exclusivement sur des pseudo-glacis de moyen versant à végétation ligneuse essentiellement à sous-arbustes disséminés. Cependant quelques fourrés arbustifs filiformes se développent le long des petits ruisseaux. Le recouvrement herbacé est de 40 à 50 % tandis que de recouvrement ligneux atteint rarement 15 %.

Les microbuttes sableuses enherbées de type DES sont fréquentes, en alternance avec de grandes plages érodées. Les surfaces à charge grossière sont de moindre importance.

On y rencontre sporadiquement de petits champs isolés aux endroits fertiles. Ces zones sont très fréquentées par le bétail, en témoignent les nombreuses bouses que l'on y trouve.

**Tableau XVI : Répartition des surfaces élémentaires sur la section L1**

Recouvrements		DES			ERO	GRO		STII	STIII	
ligneux	herbacé	0	3	4		1	2	-	1	2
47	11,7	2	36	3	41	6	1	1	5	5
		41			41	7		1	10	

Lr = 0,67 Pu - 8,29

Lr 50 = 25,2 mm soit 50 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

Le ruissellement d'une partie de versant où les surfaces élémentaires de type DES couvrent plus de 40 % de la superficie totale dépend de la répartition de ces zones enherbées et de la façon dont les eaux de ruissellement sont collectées sur le versant.

### 3.2.2.3 Les brousses tigrées . Section B1 et C1 (tabl. XVII)

Ces formations sont très typiques au Yatenga et s'identifient sur le terrain et sur les images à grande résolution spatiale par l'organisation en bandes de la végétation en alternance avec des plages nues à croûte d'érosion ou charge grossière. La charge grossière est constituée d'éléments ferrugineux peu triés et d'éléments de petite taille de nature quartzitique et feldspathique, souvent mélangés aux sables grossiers pour former les surfaces de type STIII.

Les grandes plages érodées et indurées constituent des impluviums à partir desquels l'eau ruisselle vers les bandes de végétation plus en aval. La jonction entre les bandes ligneuses

et les impluviums est assurée par des zones de décantation densément enherbées.

Sous les bandes de végétation, la texture superficielle du sol est fine, à dominante sableuse mais par endroit le taux d'argile peut atteindre 30 à 40 %.

L'activité faunique y est assez importante et elle est dominée par l'activité termitique. En effet, les termitières dites cathédrales construites par l'espèce Macrotermes subluyalinus aussi appelée Bellicositermes bellicosus y sont nombreuses, surtout dans les bandes végétalisées. Sur les zones nues, elles sont soit mortes et effondrées, soit vivantes mais presque toujours associées à Boscia senegalensis. D'autres termitières du genre Cubitermes, de taille plus petite, sont fréquemment associées aux zones enherbées par Loudetia togoensis et Pennisetum pedicullatum.

C'est un pâturage de prédilection pour le bétail qui parcourt régulièrement ces surfaces surtout pendant l'hivernage. Pterocarpus lucens, très appelée par les animaux, y abonde.

Les hauts et moyens versants sablo-gravillonnaires à brousses tigrées sont très rarement exploitées à de fins culturales.



**Tableau XVII : Répartition des surfaces élémentaires sur B1 et C1**

Sections	Recouvrements		ERO	DES				STIII	GRO	DEC	STII		
	ligneux	herbacé	-	0	1	2	4	1	2	1	0	3	-
B1	15	25,4	38	12	7	7	-	13	5	8	1	6	3
C1	28	34	31	23	7		26	2	-	5	-	6	-
Moyennes	21,5	29,7	34,5		41			10	6,5	6,5		1,5	

C'est un cas particulier par lequel le comportement de l'unité n'est pas la somme des comportements de ses surfaces élémentaires en raison précisément de l'orientation des bandes de végétation où les eaux de ruissellement sont piégées.

**3.2.2.4 Les jachères à fourrés d'arbrisseaux (section I1)**  
(tableau XVIII)

Ces surfaces ont des caractéristiques assez proches de celles de la brousse tigrée sauf que la structure en bandes est moins nette et on y rencontre de nombreuses souches, mortes ou vivantes ayant donné des drageons ou des rejets vigoureux qui constituent les fourrés sous-arbustifs. Les recouvrements ligneux et herbacé atteignent chacun 35 % à 40 %. Ces surfaces se rencontrent ordinairement en haut et moyen versant mais peuvent se prolonger jusqu'au bas-versant sableux ou sablo-gravillonnaires. L'activité faunique, essentiellement termitique est assez importante. Ces surfaces sont très fréquentées par les troupeaux.

**Tableau XVIII : Répartition des surfaces élémentaires sur la section I1**

Type de surface	Variante	Proportion /variante	Proportion /type
GRO	1	15	68
	2	20	
	3	19	
	4	14	
ERO		12	12
DEC	1	6	11
	3	5	
STII		7	7
STIII		2	2

Lr = 0,46 Pu - 8,70

Lr 50 = 14,3 mm soit 29 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

Mais compte tenu de l'importance des surfaces de dessiccation, il est difficile de considérer que les eaux de ruissellement en provenance des autres types de surfaces parviennent dans leur totalité au drain principal qui collecte les eaux de ruissellement.

### 3.3 Les états de surfaces des bas-versants

#### 3.3.1 Les bas-versants gravillonnaires et sablo-gravillonnaires

Ces types de surfaces se rencontrent assez rarement dans la région. Elles se localisent sur les chanfreins dénudés qui longent les cours d'eau. Près d'Améné-Dabéré on note même un affleurement de cuirasse. Ce sont des surfaces comportants de nombreuses griffes d'érosion.

### 3.3.2 Les bas-versants sableux

#### 3.3.2.1 Les états de surface du domaine cultivé (tabl. XIX)

Ces surfaces sont caractérisées par leur utilisation permanente, ou tout au moins répétée, à des fins culturales. Ce sont des surfaces très anthropisées sur lesquelles sont batties la plupart des habitations dans la région. Cette préférence pour les bas-versants est très probablement liée à la relative facilité d'accéder à l'eau en creusant des puits sur les bas-versants ou dans les bas-fonds.

La végétation ligneuse est constituée essentiellement de jeunes repousses qui sont coupées à la fin de la saison sèche pour préparer les champs de la saison à venir.

De nombreux cordons pierreux, enherbés ou non par Andropogon gayanus var Bisquamulatus sont observables dans les champs. Le long des pistes qui sillonnent les champs, outre les cordons pierreux, deux rangées d'Hibiscus sabdarifa (osailles) ou d'Hibiscus cannabinus sont souvent disposées de part et d'autre de la piste. Le couvert herbacé est très faible (moins de 5 %), à l'exception des jachères d'un an et des limites de champs enherbées.

Ces surfaces sont généralement peu pentues mais on note des ondulations dues au sarclage, d'amplitude décimétrique ; le sol, à dominante sableuse, étant rémué et déstructuré.

Les états de surfaces du domaine cultivé évoluent beaucoup au cours de l'année. En fin de saison sèche, le sol est quasi-dénudé, les résidus de la récolte précédente ayant été consommés par les animaux ou utilisés comme combustibles pour la cuisine. Pendant la saison des pluies les céréales et les autres cultures couvre le sol laboré. Après les récoltes, le sol est couvert par la paille.

**Tableau XIX : Répartition des surfaces élémentaires dans domaine cultivé**

	DES	CI.0		CI.1		CII.1	CII (sorgho)			ERO	STIII	DEC
Sec- tions	1 3	sorgho	ara- chides	sorgho	petit mil	petit mil	0	1	2	-	1	0
D1	1 -	-	-	40	58	-	1	-	-	-	-	-
D2	- 7	-	-	-	-	-	-	23	56	13	1	-
D3	8 2	57	13	-	-	2	17	-	-	-	-	1
Moyen- nes	6		56				33		4,3	0,3	0,3	

Lr = 0,29 Pu - 3,60

Lr 50 = 10,9 mm soit 22 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

### 3.3.2.2 Les steppes herbeuses des bas et moyens versants (tableau XX)

Ces surfaces se rencontrent de part et d'autre des bas-fonds ou alors en marge du domaine cultivé. Le couvert herbacé est abondant, ponctué de plages nues érodées.

Le sol est à sables fins et grossiers, très peu argileux. Les fourmières y sont assez fréquentes. Ces surfaces sont souvent sillonnées par les troupeaux qui se dirigent ensuite vers les brousses tigrées ou les jachères anciennes situées sur les moyens et hauts versants.

**Tableau XX : Recouvrements ligneux, herbacé et répartition des surfaces élémentaires des bas et moyens versants sableux à steppe herbeuse.**

Sections	Recouvrements %		DES				DEC		STIII		STII	ERO	
	herbacé	ligneux	1	2	3	4	0	1	2	1	2	-	-
E1	40	4,7	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	60
E2	40	26,1	8	-	8	23	1	1	-	3	3	1	52
E3	54	4	-	3	32	13	3	-	5	-	-	-	44
Moyennes	44,7	11,6			42,3		3,3			2		0,3	52

Lr = 0,67 Pu - 8,65

Lr 50 = 24,9 mm soit 50 % de l'eau de pluie qui ruisselle.

On peut faire ici la même remarque que pour les steppes sous-arbustives. A l'échelle du versant, l'organisation spatiale de la végétation a son importance sur le ruissellement.

### **3.4 Les états de surfaces des bas-fonds (argileux à argilo-sableux) (tableau XXI)**

Les bas-fonds se reconnaissent par la présence du talweg plus ou moins encaissé, bordé d'un cordon de végétation arborée, arbustif ou sous-arbustif. De part et d'autre de ce cordon, on observe un chanfrein dégradé, érodé à arbustes épineux. Ce chanfrein raccorde le bas-versant au bas-fond, avec une pente abrupte à la jonction avec le bas-versant mais la pente s'adoucit progressivement pour devenir très faible à l'approche du cordon de végétation. Les abords immédiats du talweg couverts de végétation, sont légèrement surélevés par rapport au niveau du chanfrein.

Suivant le degré d'organisation de l'écoulement des eaux, on distingue deux types de bas-fonds :

- Lorsque le bas-fond est relativement plat et large, l'écoulement des eaux est diffus. Les eaux sont canalisées par de petits chenaux ou rigoles, parallèles à certains endroits puis séquents et anastomisés à d'autres. La vitesse de l'eau est faible et on observe des dépôts organiques au pied des touffes d'herbes. Le sol est très argileux au centre du cours d'eau mais devient vite argilo-sableux lorsqu'on s'en éloigne. La végétation ligneuse est à dominante sous-arbustive. Ce type est fréquemment rencontré au Sud-Est, en amont des cours d'eau de Bidi et de Banh (section M1) puis à l'aval du barrage d'Améné (section M3) ;

- Lorsque le bas-fond est relativement rétréci (50 à 60 m de large) le centre du cours d'eau est très encaissé, formant le lit pouvant atteindre 1,40 m de profondeur et 12 m de large. Dans ce cas, les écoulements sont très concentrés mais ne persistent qu'un jour ou deux après les grandes pluies. A partir de décembre le lit du cours d'eau est complètement à sec et on observe alors des dépôts argilo-limoneux desséchés et craquelés à certains endroits, des dépôts sableux très épais à d'autres (30 à 40 cm).

Les sols des bas-fonds sont en général fertiles et souvent cultivés.

**Tableau XXI : Répartition des surfaces élémentaires des bas-fonds  
(en %).**

Sec- tions	DES				DECI	DECII	ERO	STII	STIII	CI	CII				
	0	1	2	3	4	0	1	2	-	-	sorgho	sorgho	riz		
M1	6	11	4	-	-	1	-	-	13	3	-	-	11	46	5
M2	32	4	41	-	-	1	1	-	1	17	3	-	-	-	-
M3	22	20	26	7	10	-	-	2	3	7	1	2	-	-	-
Moyen- nes	61				1,7	5,7	9	1,3	0,7	3,7	17				

Lr = 0,41 Pu - 7,31

Lr 50 = 13,2 mm soit 26 % de l'eau de pluie qui ruisselle.

### 3.5 Les états de surface des plaines

#### 3.5.1 Les plaines argilo-sableuses

##### 3.5.1.1 Les surfaces en dégradation (G1 + G2 + G3)

(tableau XXII)

Ces surfaces se particularisent par l'abondance du bois mort qui jonche le sol, sous lequel pousse de hautes herbes. De nombreux arbustes et arbrisseaux morts sont restés debout. Ces surfaces sont peu étendues et constituent des "poches" dégradées de la formation arborée et arbustive relativement dense et temporairement inondée par les eaux des crues. Le recouvrement des ligneux résiduels atteint rarement 5 % tandis que le couvert herbacé est variable et peu excéder 40 % à certains endroits.

Le sol de couleur gris claire est argileux à argilo-sableux mais on note par endroits des microbuttes de remontée gravillonnaire, très circonscrites, aux emplacements des souches mortes déchaussées. Les surfaces érodées sont de grande importance spatiale.

L'activité faunique, essentiellement termitique, y est très importantes. On rencontre quelques termitières, souvent abandonnées, de genre Cubitermes et plus rarement, des termitières cathédrales de faibles dimensions (0,5 m à 1 m de haut). Par contre de nombreux placages s'observent sur le bois mort debout et couché.

**Tableau XXII : Répartition des surfaces élémentaires des sections G1, G2 et G3**

	DES				ERO	GRO	CI	CIII	DECI		STII	STIII		
Sections	0	1	2	3	4	-	1	sorgho	sorgho	0	2	-	1	2
G1	3	-	-	5	38	45	1	-	-	-	-	5	3	-
G2	3	-	4	9	-	46	16	-	-	-	-	7	3	12
G3	26	2	2	-	-	8	-	5	16	26	4	11	-	-
Moyennes	30,6				33	5,6	1,6	5,3	10	7,6		9		

Lr = 0,70 Pu - 9,01

Lr 50 = 26 mm                    soit 52 % de la pluie qui ruisselle.



### 3.5.1.2 Les états de surfaces des steppes arborées et arbustives exondées (tableau XXIII)

Ces surfaces sont caractérisées par la densité de la végétation ligneuse et herbacée, ponctuée de petites plages nues.

La couche superficielle du sol est généralement argilo-sableuse avec une litière importante mais aux endroits enherbés, sans végétation ligneuse, on remarque que le sol est plutôt à tendance sablo-argileuse, les fentes de dessiccation présentes ailleurs étant peu fréquentes à ces endroits.

On remarque des traces de stagnation assez importante d'eau à l'origine des surfaces de décantation.

Les placages de termites y sont particulièrement abondants et s'observent aussi bien sur la litière que sur les ligneux atteints de sénescence. Les fourmis y sont également fréquentes.

Ces zones nous semblent utilisables pour les cultures mais nous n'y avons rencontré aucun champ ou jachère récente. Elles sont cependant sillonnées par les pasteurs Peuls avec leurs troupeaux à dominante bovine.

**Tableau XXIII : Répartition des surfaces élémentaires de la section C2**

Type de surface	Variante	Proportion /variante	Proportion /type
DES	1	1	67
	2	43	
	3	23	
DECI	0	6	23
	1	17	
ERO	1	10	10

Lr = 0,40 Pu - 8,03

Lr 50 = 12,0 mm      soit 24 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

### **3.5.2 Les états de surfaces des plaines argilo-sablo-limoneuses**

Ces surfaces se particularisent par la densité de la végétation très active due probablement aux bonnes conditions hydriques et édaphiques de ces milieux. Elles correspondent à la zone d'épandage des eaux du bas-fond de Bidi et des zones environnantes topographiquement plus hautes. La faune et la flore y sont riches.

#### **3.5.2.1 La steppe arbustive et arborée temporairement inondée (tableau XXIV)**

Le sol, de texture très fine, craquelé à l'état sec est très argileux. Les tâches rouilles que l'on observe dans le sol et l'abondance des croûtes de décantation indiquent que ces surfaces sont temporairement inondées. Le couverts herbacé (66 %) et ligneux (33 %) sont importants, mais ils sont ponctués de quelques plages nues de faibles dimensions.

L'activité faunique est importante. On note la présence de placages de termites peu abondantes et de termitières cathédrales sous la végétation ligneuse.

**Tableau XXIV : Répartition des surfaces élémentaires de la section A2**

Type de surface	Variante	Proportion /variante	Proportion /type
DES	0	15	48
	3	9	
	4	24	
DECI	0	8	40
	3	8	
	4	24	
ERO	3	11	11
STIII	1	1	1

Lr = 0,44 Pu - 7,99

Lr = 14,0 mm soit 28 % de l'eau de la pluie qui ruisselle.

**3.5.2.2 Les surfaces des forêts claires d'épandage des eaux (section A1) (tableau XXV)**

Ces surfaces ne diffèrent des précédentes que par la continuité du couvert végétal et par le sol sombre, à forte proportion de limons. On note également des traces de décantation et d'hydromorphie et aussi d'abondants placages de termites en surface.

Ces surfaces sont peu utilisées pour les cultures parce qu'elles sont inondables en saison de pluies. Aux endroits où la densité de la formation est moindre, on remarque l'élagage ou l'abattage des arbustes d'Acacia seyal par les bergers pour alimenter leur bétail.

**Tableau XXV : Répartition des surfaces élémentaires de la section A1**

Recouvrements %		DES				DECII	TERM
ligneux	herbacé	0	1	3	4	1	-
56	32	7	11	11	32	32	7
		61				32	7

$L_r = 0,44 P_u - 8,79$

$L_r 50 = 13,2 \text{ mm}$  soit 26 % de l'eau de pluie qui ruisselle.

### Conclusion

Les états de surface de la zone étudiée et plus généralement de la région sahélienne sont très variés, aussi bien dans leur composante végétale que dans l'organisation superficielle de leurs substrats respectifs, ce qui engendre par conséquent une variabilité dans leur comportement hydrodynamique.

L'estimation de la lame ruisselée pour chaque unité d'états de surface, par extrapolation de la lame ruisselée théorique des sections qui constituent un échantillon de la totalité de l'unité, montre que dans l'ensemble, la zone d'étude est constituée de surface à forte aptitude au ruissellement. En témoigne l'importance spatiale des surfaces dénudées ou très peu végétalisées de types érosion, grossière et structurale à trois microhorizons. Il va donc sans dire que le ruissellement sur de telles surfaces, non couvertes, génère une mobilisation et un transport important des matériaux superficiels fins qui, à long terme, réduisent considérablement la fertilité des sols et provoquent des ravinements à certains endroits.

## **CHAPITRE IV**

# **RESULTATS DES TRAITEMENTS NUMERIQUES ET DISCUSSION**

## Introduction

La procédure des traitements non supervisés et supervisés effectués pour aboutir à la cartographie des formations végétales et des états de surface ayant été exposée dans le chapitre précédent, le but de ce chapitre est de présenter les principaux résultats des traitements. Les traitements qui n'ont pas donné de résultats satisfaisants seront évoqués succinctement.

### I. LES RESULTATS DES TRAITEMENTS NON SUPERVISES

#### 1.1 Etude monospectrale

C'est une étape relativement simple mais importante. Elle consiste à considérer individuellement les trois canaux de base (XS1, XS2 et XS3). Nous avons calculé les histogrammes simples et cumulés puis les paramètres statistiques de chaque canal (Tableau XXVI). Cela nous permet d'avoir une idée de la distribution des valeurs spectrales des pixels de l'image.

**Tableau XXVI : Paramètres statistiques des canaux XS1, XS2 et XS3 sur l'ensemble de la fenêtre**

Canal	Min	Max	Moyenne	Ecartype
XS1	63	119	84 61	6 32
XS2	63	140	100 61	10 14
XS3	62	119	94 51	6 94

#### 1.2 La classification des canaux XS3 et IVN

Cette classification a été faite en 17 classes par la procédure "Cluster" de SAS. L'affectation des couleurs aux classes a été faite avec le programme PALETEDIT. Les paramètres des classes sont calculés par le programme STATIS (Tableau XXVII).

**Tableau XXVII : Paramètres des classes de la classification automatique XS3 et IVN**

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	XS3	73	94	89	90	105	83	101	81	110	96	94	87	98	102	91	107	101
Moyennes	IVN	64	176	162	76	79	134	96	70	75	134	99	109	81	121	126	98	163
Ecart type	XS3	3	2	3	3	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3
	IVN	10	25	21	11	10	15	15	10	10	22	17	15	11	22	18	17	28

### 1.3 La classification des deux premières composantes principales

Elle a été réalisée en 18 classes mais elle est moins bonne que la précédente parce que les pixels appartenant à chaque classe sont très dispersés et donne un aspect pointillé à l'image. Il est donc très difficile de repérer ces points de l'image sur le terrain. Cette classification ne nous a pas été très utile.

### 1.4 La composition colorée

La composition colorée des canaux XS1, XS2 et XS3 a été réalisée avec le programme COLOR, les valeurs spectrales ayant été étalées entre les valeurs minimales et maximales de chaque canal. La couleur bleue a été affectée au canal XS1, le vert à XS2 et le rouge à XS3. Cette composition colorée est intéressante et présente l'avantage d'être facilement interprétée. La végétation, est en rouge tandis que les sols nus cuirassés et à gravillons ferrugineux sont colorés en vert. Les sols sableux nus des champs sont rose très pâle à blanchâtre. La végétation réfléchit fortement les rayonnements du proche infra-rouge (PIR) qui sont mesurés par XS3 et les sols cuirassés réfléchissent les radiations rouges du visible mesurées par le canal XS2.

## II. LES TRAITEMENTS SUPERVISES

### 2.1 Les parcelles d'entraînement ou zones tests

Nous avons créé 15 zones que nous avons stockées dans le canal-zones grâce au programme ZONE. Ces zones ont été repérées et tracées sous VISUTOOL. Les paramètres des zones sont sauvegardés dans un fichier dit "fichier paramètres". Les zones définitives ont été obtenues après plusieurs essais, jusqu'à ce que leurs écarts types ou leurs histogrammes simples des canaux révèlent leur homogénéité.

### 2.2 Matrice de corrélation

Outre les trois canaux bruts, les composantes principales, les indices de brillance et de végétation, nous avons créé l'indice de couleur du sol et nous avons calculé la matrice de corrélation de ces canaux (tableau XXVIII).

Tableau XXVIII : Matrice de corrélation des canaux

	XS1	XS2	XS3	IB	CP1	CP2	IVN	IC
XS1	1.00	0.88	0.82	0.95	0.94	0.07	-0.42	-0.30
XS2	0.88	1.00	0.77	0.96	0.97	-0.21	-0.67	-0.71
XS3	0.82	0.77	1.00	0.91	0.88	0.45	-0.04	-0.31
IB	0.95	0.96	0.91	1.00	0.99	0.06	-0.45	-0.52
CP1	0.94	0.97	0.88	0.99	1.00	0.00	-0.49	-0.56
CP2	0.07	-0.21	0.45	0.06	0.00	1.00	0.85	0.56
IVN	-0.42	-0.67	-0.04	-0.45	-0.49	0.85	1.00	0.76
IC	-0.30	-0.71	-0.31	-0.52	-0.56	0.56	0.76	1.00



### 2.3 Les classifications

Plusieurs classifications ont réalisées avec les canaux suivants :

- XS1, XS2 et XS3 (méthode de SEBESTYEN)
- XS2, IVN et CP2 (méthode de SEBESTYEN)
- XS2 et XS3 (méthode euclidienne)
- CP1 et CP2 (méthode euclidienne)
- XS1 et IC (méthode euclidienne)
- XS2, XS3 et IC (méthode euclidienne)

Parmi ces classifications, les meilleurs résultats ont été obtenus avec :

- La classification XS2 et XS3 (méthode euclidienne) pour les formations végétales ;
- La classification XS2, XS3 et IC (méthode euclidienne) pour les états de surfaces.

#### 2.3.1 Les formations végétales

Compte tenu de la lâcheté de la couverture végétale à certains endroits, la signature spectrale est souvent plus influencée par le substrat pédologique superficiel que par la végétation. Cela fait que des zones semblables du point de vue des formations végétales peuvent ne pas appartenir à une même "plage" radiométrique pour constituer une classe unique. Pour palier à ce problème, nous avons réalisé la classification supervisée en 14 classes puis celles qui correspondent à une même formation végétale sont regroupées en "pseudo-classes" par affectation de couleur identique grâce au programme PALETEDIT.

Par contre, il arrive que des formations, se distinguant, par leur structure horizontale, appartiennent à une même classe radiométrique. Dans ce cas, il est difficile de les séparer par traitement numérique.

**Tableau XXIX : Paramètres des classes de la classification lissée  
des canaux XS2 et XS3 (méthode euclidienne)**

Classes	X S 2		X S 3	
	moyennes	Ecart-types	moyennes	Ecart-types
1	72,10	3,92	87,06	3,45
2	87,29	4,42	86,29	2,35
3	100,61	2,33	88,87	2,18
4	83,74	3,07	73,43	2,94
5	85,53	5,16	91,26	3,13
6	115,86	3,50	104,54	2,45
7	107,10	4,56	99,47	2,50
8	92,93	3,51	81,64	3,14
9	105,47	2,21	93,48	1,78
10	111,33	3,88	106,57	1,85
11	75,87	3,70	81,16	3,00
12	94,87	4,03	92,69	3,46
13	101,22	3,09	94,24	2,15
14	124,59	3,87	110,15	2,11

**Tableau XXX : Correspondance entre les classes radiométriques, les pseudo-classes et les formations végétales**

Formations	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
classes radiométriques	4;8;	6	7;11	3	2;10	10	10;12	5	2	1
Pseudo-classes*	4	6	7	3	2;8	8	5;7;8	5	2	1

\* Les pseudo-classes sont obtenues par regroupement thématique des classes radiométriques.

- Formation I : Zones dégradées peu végétalisées
- Formation II : Domaine cultivé
- Formation III : Steppe herbeuse
- Formation IV : Steppe sous-arbustive
- Formation V : Steppe arbustive à fourrés ou brousse tigrée
- Formation VI : Jachère à fourrés sous-arbustifs
- Formation VII : Cordons ripicoles
- Formation VIII : Steppe arbustive et arborée exondée
- Formation IX : Steppe arbustive et arborée temporairement inondée
- Formation X : Forêt claire d'épandage des eaux

Après le regroupement des classes par formation végétale et l'affectation des couleurs aux groupes de classes ou "pseudo-classes" la légende correspondant à ces couleurs a été faite par le programme LEGENDEDIT.

Après ces traitements, la classification a été lissée deux fois afin d'avoir des étendues relativement homogènes sur l'image. La carte des formations végétales proposée (figure 22) est le résultat de ces lissages.

Page: 2000

1.000000

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 4
- 4
- 8



**Figure 22** : Carte des formations végétales de la région de Bidi au 1/128 000è.

**Légende** : (voir tableau XXX).

Sur cette carte, nous n'avons pas pu séparer radiométriquement les brousses tigrées, essentiellement localisées au sud de Gourga, et les jachères anciennes à fourrés sous-arbustifs très proches les unes des autres de par leur structure horizontale et la densité des fourrés. Il faut noter que les deux lissages faits sur l'image ont considérablement dégradé la structure en bande de la végétation par laquelle se reconnaît la brousse tigrée.

Les cordons ripicoles caractérisés par leur structure horizontale allongée suivant les cours d'eau mais dont la structure verticale, c'est à dire la stratification, peut varier d'un endroit à un autre, sont difficiles à caractériser par une classe radiométrique qui correspondent spécifiquement à ces formations. Celle-ci sont caractérisées par les "pseudo-classes" 5;7 et 8 c'est à dire les couleurs 5;7 et 8 de la légende.

### **2.3.2 Les états de surface**

Outre les canaux XS2 et XS3 qui renseignent bien sur la végétation, nous avons retenu le pseudo-canal IC qui renseigne assez bien sur la couleur du sol. Ces trois canaux ont été classifiés selon la méthode euclidienne et le résultat de la classification a été lissé une seule fois par l'option "majoritaire" du programme FENET 3. Les paramètres des classes ont été ensuite calculés (tableau XXXI).

La répartition des classes entre les "pseudo-classes" correspondant aux unités d'états de surface (tableau XXXII) a été faite selon la procédure utilisée pour les formations végétales. La carte des états de surfaces ainsi obtenue (figure 23) comporte 14 unités, certaines de ces unités s'identifiant plus par la structure de la végétation que par leur homogénéité spectrale.

Il faut noter que les steppes herbeuses des plaines au nord de Mougounouboko sont mal discriminées par cette classification et apparaissent comme des formations ligneuses.

**Tableau XXXI : Paramètres des classes lissées de la classification des canaux XS2, XS3 et IC**

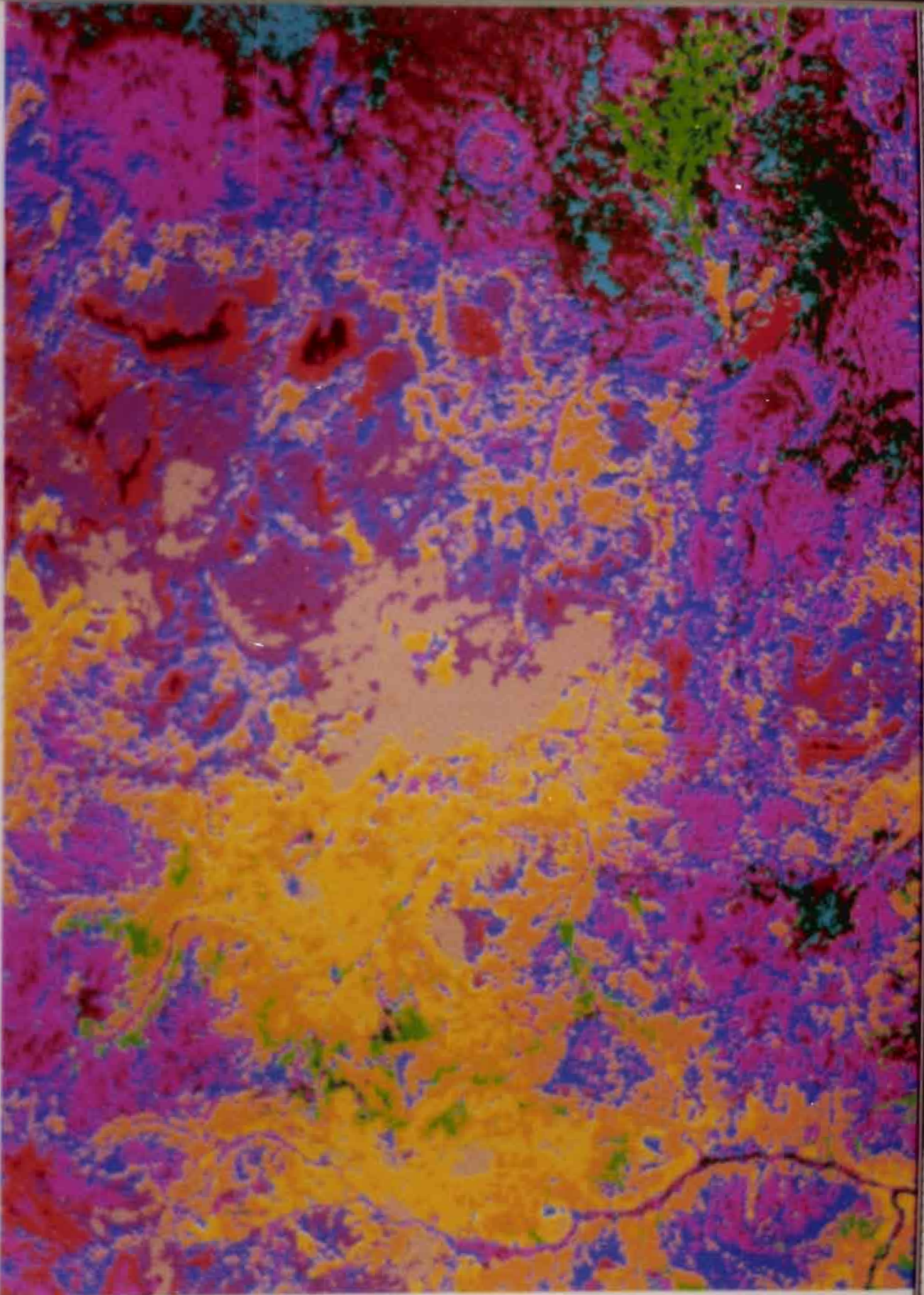
Classes	X S 2		X S 3		I C	
	moyennes	Ecartstypes	moyennes	Ecartstypes	moyennes	Ecartstypes
1	73,27	4,44	85,69	5,36	209,71	13,46
2	79,81	4,00	85,63	3,88	190,05	10,83
3	89,87	4,90	89,75	3,52	164,42	10,48
4	102,65	4,86	91,75	5,13	78,44	10,18
5	85,23	2,87	73,46	2,45	107,30	12,52
6	86,58	5,20	92,31	3,91	175,86	12,52
7	115,48	4,07	104,35	2,87	88,07	9,14
8	107,77	6,08	99,40	4,40	108,62	10,97
9	94,04	3,63	83,17	3,99	104,77	10,97
10	102,99	3,91	92,97	3,43	95,43	8,67
11	110,85	5,65	103,22	2,97	132,65	11,64
12	95,33	6,04	92,59	5,42	144,45	11,64
13	100,45	5,20	94,22	4,47	126,12	10,29
14	125,19	3,61	110,31	2,11	97,27	10,43
15	111,34	5,73	100,07	4,93	58,37	13,46

**Tableau XXXII : Correspondance entre les classes radiométrique pseudo-classes et les unités d'états de surface**

Unités	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Classes	5	9	4	10;13	H	H	11	7	8;14	H	2	6	3	1
Pseudo-classes	5	9	4	10	11;12	11;12	11	7	8	11;12 13	2	6	3	1

H = mélange de classes non regroupables en une seule pseudo-classe.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13





**Figure 23** : Cartes des états de surface de la région de Bidi  
au 1/128 000è.

### **Légende**

- 1 - Les plaines argilo-sablo-limoneuses à forêt claire d'épandage des eaux.
- 2 - Les plaines argilo-sableuses en dégradation
- 3 - Les plaines argilo-sablo-limoneuses à steppe arbustive et arborée temporairement inondée.
- 4 - Les hauts et moyens versants gravillonnaires à steppe sous-arbustive.
- 5 - Les sommets cuirassés peu végétalisés.
- 6 - Les plaines argilo-sableuses à steppe arborée et arbustive exondée.
- 7 - Les bas-versants sableux du domaine cultivé.
- 8 - Les bas et moyens versants sableux à steppe herbeuse.
- 9 - Les sommets à graviers abondants peu végétalisés.
- 10 - Les hauts et moyens versants sablo-gravillonnaires peu végétalisés.
- 11 - Fourrés sous-arbustifs des jachères, des brousses tigrées et des bas-fonds.
- 12 - Formations arborée des bas-fonds.
- 13 - Chanfreins dénudés des bas-fonds et sols nus argilo-sableux des moyens et bas-versants.

## 2.4 Conclusion

Les traitements numériques supervisés nous ont permis de cartographier les formations végétales et les états de surfaces. Mais l'hétérogénéité du paysage sahélien, même en considérant des surfaces peu étendues, rend souvent difficile la définition et la délimitation d'unités homogènes spatialement importantes comme les formations végétales, uniquement par des méthodes numériques.

Pour définir de telles unités à grandes étendues, il aurait fallu adjoindre aux traitements numériques, une interprétation analogique en considérant la structure et la texture de l'image classifiée ou en composition colorée.

N'ayant pas fait d'interprétation analogique, le traitement textural de l'image classifiée par lissage a permis d'accroître le degré d'homogénéité des unités, aussi bien pour les formations végétales que pour les états de surface.

Par ailleurs, la faiblesse du couvert végétal qui laisse transparaître le sol nu fait que la réponse spectrale peut être plus liée aux caractéristiques de la surface du substrat qu'au couvert végétal. De ce fait, le regroupement des classes s'avère une nécessité pour définir les unités thématiques recherchées. Il va donc sans dire qu'une bonne investigation de terrain reste indispensable pour la cartographie à base de données satellitaires.

### III DISCUSSION

#### 3.1 Mérites et limites des méthodes adoptées

##### 3.1.1 La méthode d'évaluation du ruissellement

A l'échelle du mètre carré, CASENAVE et VALENTIN (1989) ont signalé le caractère approximatif des relations hydrodynamiques qu'ils ont associées aux surfaces élémentaires parce qu'elles ont été déterminées à partir d'un nombre limité de parcelles.

En outre, l'extrapolation de ces relations hydrodynamiques obtenues à partir de surfaces élémentaires homogènes à des unités hétérogènes plus étendues rencontre plusieurs écueils.

En effet, la méthode d'extrapolation utilisée qui consiste à faire la somme des équations des types de surfaces élémentaires au prorata des superficies qu'elles occupent dans l'unité considérée ne tient pas compte :

- De la modification de l'infiltration due au ruissellement sur les versants entre la parcelle élémentaire et le drain où se concentrent les ruissellements ;
- De la position des surfaces élémentaires sur la toposéquence ;
- De l'évolution des états de surfaces dans le temps.

Pour toutes ces raisons, les relations hydrodynamiques et les valeurs des lames ruisselées calculées pour les unités sont souvent surestimées.

Cependant, la méthode garde le mérite de permettre d'évaluer et d'apprécier quoique grossièrement, l'ordre de grandeur de l'hydrodynamique superficielle des différentes unités d'états de surface et donc de hiérarchiser les unités sur la base de leur susceptibilité au ruissellement et à l'érosion hydrique.

### 3.1.2 La méthode de cartographie

La cartographie thématique à base des données satellitaires présente de nombreux avantages mais n'est pas exempte de risques d'erreur. Ces erreurs peuvent provenir, entre autre de :

- La qualité de l'image dont les valeurs spectrales enregistrées peuvent avoir été perturbées par des conditions atmosphériques locales telles que les nuages. La fenêtre que nous avons utilisé est peu affectée par ces perturbations ;

- La procédure de traitement utilisée ; elle détermine pour la plupart des cas, la qualité de la carte obtenue. La délicatesse de la procédure réside dans le choix des canaux adéquats et le repérage des parcelles d'initialisation du traitement supervisé. La question du repérage des parcelles peut être levée si l'on dispose d'un GPS (Global Positioner System). Quant au choix des canaux, la méthode classique qui consiste à utiliser les canaux les moins corrélés ne donne pas toujours l'assurance d'avoir le meilleur résultat pour tous les thèmes. Cela oblige l'utilisateur à adjoindre à l'analyse de la matrice de corrélation, une analyse visuelle des canaux, pris individuellement, en fonction de ses connaissances de terrain. Cela enlève à la méthode, une partie de son automatisme.

Par ailleurs, il faut noter que l'image avec laquelle nous avons travaillé a été prise en début de saison de pluie (le 5 juillet) de l'année 1989 alors que l'essentiel de nos observations de terrain ont eu lieu en novembre et décembre 1992. Quelques problèmes se posent :

- Il y a une sous-évaluation certaine du recouvrement ligneux du fait du décalage phénologique. En effet, en juillet la plupart des ligneux sont abondamment feuillés tandis qu'en novembre-décembre, la défoliation de ligneux est déjà entamée ;

- Le recouvrement herbacé observé est probablement surévalué par rapport à l'image car en juillet, SERPANTIE et al. (1991) ont indiqué que le couvert herbacé n'avait commencé à pousser que dans les bas-fonds.

- Entre 1988 et 1992, il y a probablement eu une évolution des états de surfaces mais ces changements sont négligeables.

Pour palier à ces problèmes, une image d'octobre 1992 a été commandée afin de faire une étude diachronique mais malheureusement cette image n'est pas parvenue avant la fin de nos travaux.

Néanmoins, ces problèmes ne remettent pas fondamentalement en cause la fiabilité des cartes réalisées. Le décalage phénologique et la variation saisonnière du couvert herbacé n'induisent pas de mutations fondamentales des formations végétales ou des états de surface qui puissent conduire à des erreurs de définition.

### **3.2 Apport de la télédétection pour l'intervention en milieu rural**

Le besoin d'intervenir en milieu rural, notamment pour des travaux d'aménagement nécessite, pour être efficace, l'usage de techniques qui permettent d'identifier, d'inventorier et de repérer les différentes unités des composantes du milieu. La télédétection, en raison des possibilités d'acquisition des informations à distance, sous-forme analogique ou numérique, se prête bien à cet usage.

Mieux, la nécessité de suivre la dynamique spatio-temporelle des composantes du milieu afin d'en déduire les phénomènes dominants et leurs tendances évolutives exige l'usage de techniques qui permettent d'acquérir les informations sur les lieux concernés aux moments voulus et cela au moindre coût. La télédétection satellitaire, du fait de la répétitivité élevée des prises de vue qu'elle offre, répond à ces préoccupations. En outre, la dispersion de l'information en plusieurs plans (ou canaux spectraux) par les capteurs satellitaires offre aux utilisateurs des images satellitaires le choix des plans d'informations adéquats selon leurs besoins.

La spécificité du milieu sahélien, caractérisée par son hétérogénéité, surtout de sa composante végétale aussi bien dans sa physionomie, sa texture que dans sa structure, nécessite l'utilisation de capteurs à haute résolution spatiale et à répétitivité assez élevée qui permettent le suivi de l'évolution intra-saisonniers de phénomènes. Le capteur HRV (Haute Résolution dans le Visible) de SPOT 1 peut être considéré comme un outil de prédilection, en raison de sa haute résolution spatiale et sa possibilité de visée oblique qui, en outre, peut permettre la vision du relief par stéréoscopie.

Moyennant des investigations de terrain limitées mais suffisantes, les données satellitaires SPOT 1 (HRV) permettent entre autre, pour une région donnée, de :

- Cartographier les formations végétales au sein desquelles, on peut distinguer des groupements végétaux. Une telle carte peut servir de base :

. pour une étude détaillée des pâturages et donc d'évaluer les potentialités pastorales ;

. pour l'élaboration de tarifs de cubage pour les formations végétales typées et par extrapolation, à l'évaluation des potentialités sylvicoles ;

- Cartographier les états de surfaces qui intègrent à la fois l'organisation pédologique superficielle, le couvert végétal, et les effets des différents facteurs météorologiques, biologiques et anthropiques sur le ruissellement, l'érosion hydrique et éolienne. Une telle carte permet :

. d'apprécier l'évolution de l'état du milieu par comparaison aux états précédents ;

. d'identifier et de hiérarchiser par unité les phénomènes dominants qui président à la dynamique du milieu ;

. de déduire les conséquences de cette dynamique ;

. de décider en dernier ressort de la nature et de la priorité des actions à entreprendre.

Dans le cadre de cette étude, les données satellitaires multispectrales à haute résolution ont permis de constater que le ruissellement, favorisé par la faiblesse ou l'absence du couvert végétal, est important sur la plupart des surfaces de la région. Dans certains cas, plus de 50 % de l'eau d'une pluie ruisselle. Ce ruissellement engendre une érosion hydrique importante, de type lamellaire ou linéaire. Ces surfaces subissent souvent de façon alternative l'érosion hydrique et l'érosion éolienne qui procède par déflation des éléments du sol mobilisés ou mis à nu par l'eau de ruissellement.

La faiblesse de l'aptitude à l'infiltration de ces surfaces qui en découle peut être :

- un des facteurs de la faible recharge en eau de la nappe phréatique ;
- une des causes la mortalité de certaines espèces qui ne supporte plus la baisse du niveau de la nappe souterraine.

Ces hypothèses, conjuguées à la baisse flagrante de la pluviosité de la région sahélienne, font penser que la gestion de l'eau devrait être une préoccupation importante, voire même directrice pour la décision des interventions à mener dans la zone.

## CONCLUSION GENERALE

Peu ondulée, à faible pluviométrie irrégulière dans le temps et dans l'espace, à population essentiellement agro-pastorale, la région étudiée est caractérisée par un couvert végétal très ouvert et varié dans sa physionomie, sa structure et sa texture.

A l'aide des données satellitaires à haute résolution spatiale, conjuguées à une investigation de terrain, nous avons distingué, dix formations végétales au sein desquelles quelques groupements végétaux ont été identifiés.

La description de l'organisation pédologique superficielle et de la végétation a permis, en considérant la géomorphologie du milieu, de distinguer 14 unités d'états de surfaces qui ont été également cartographiées à l'aide des mêmes données satellitaires. Les relations hydrodynamiques théoriques associées à chaque unité d'état de surface, quoique approximatives, indiquent une forte aptitude au ruissellement pour les surfaces les moins végétalisées de la région.

Ces deux cartes proposées pourront, soit aider directement les intervenants dans le milieu rural à prendre des décisions quant à la nature des actions à mener, soit servir de base à d'autres études plus détaillées en vue de mieux comprendre les relations fonctionnelles entre les différentes composantes du milieu et les processus qui régissent sa dynamique.



# **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL (J.), LAMACHERE (J.M.), LIDON (B.), MOKADEM (A.I), Van DRIEL (W), 1993. Mise en valeur agricole des bas-fonds au sahel : Typologie, Fonctionnement hydrologique, potentialité agricoles. CILSS, CIEH, ISRA, INERA, IER, ORSTOM, CIRAD, FASAGx, 335 p.
- BARKEY (R.A), 1987. Etude des mangroves de l'Indo-Malaisie et application des techniques de la télédétection à Sulawesi. Thèse de Doctorat 3è cycle, option Ecologie. UPS Toulouse, 199 p.
- BOUDET (G.), 1972. Désertification de l'Afrique Tropicale sèche in *Adansonia*, série 2, pp 205 à 224, 12, 4.
- BOULET (R.) 1968. Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-Nord-ORSTOM, Dakar, 347 p + annexes + carte.
- CASENAVE (A.) et VALENTIN (C.), 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, 229 p.
- CHABREUIL (A) et CHABREUIL (M), 1979. Exploration de la terre par les satellites. Hachette . France. 155 p.
- COLLINET (J) et LAFFORGUE (A), 1979. Mesures de ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols en Haute-Volta - ORSTOM, Abidjan, 129 p.
- COLLINET (J.) et VALENTIN (C.), 1979a. Analyse des différents facteurs intervenants sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. cah-ORSTOM, série Pédol. XVII, 4, pp 283 - 328.
- FARAMALALA (M.H.), 1988. Etude de la végétation de Madagascar à l'aide des données spatiales. Thèse de Doctorat 3è cycle, spécialité Ecologie tropicale (télédétection). UPS Toulouse, 167p + annexes.

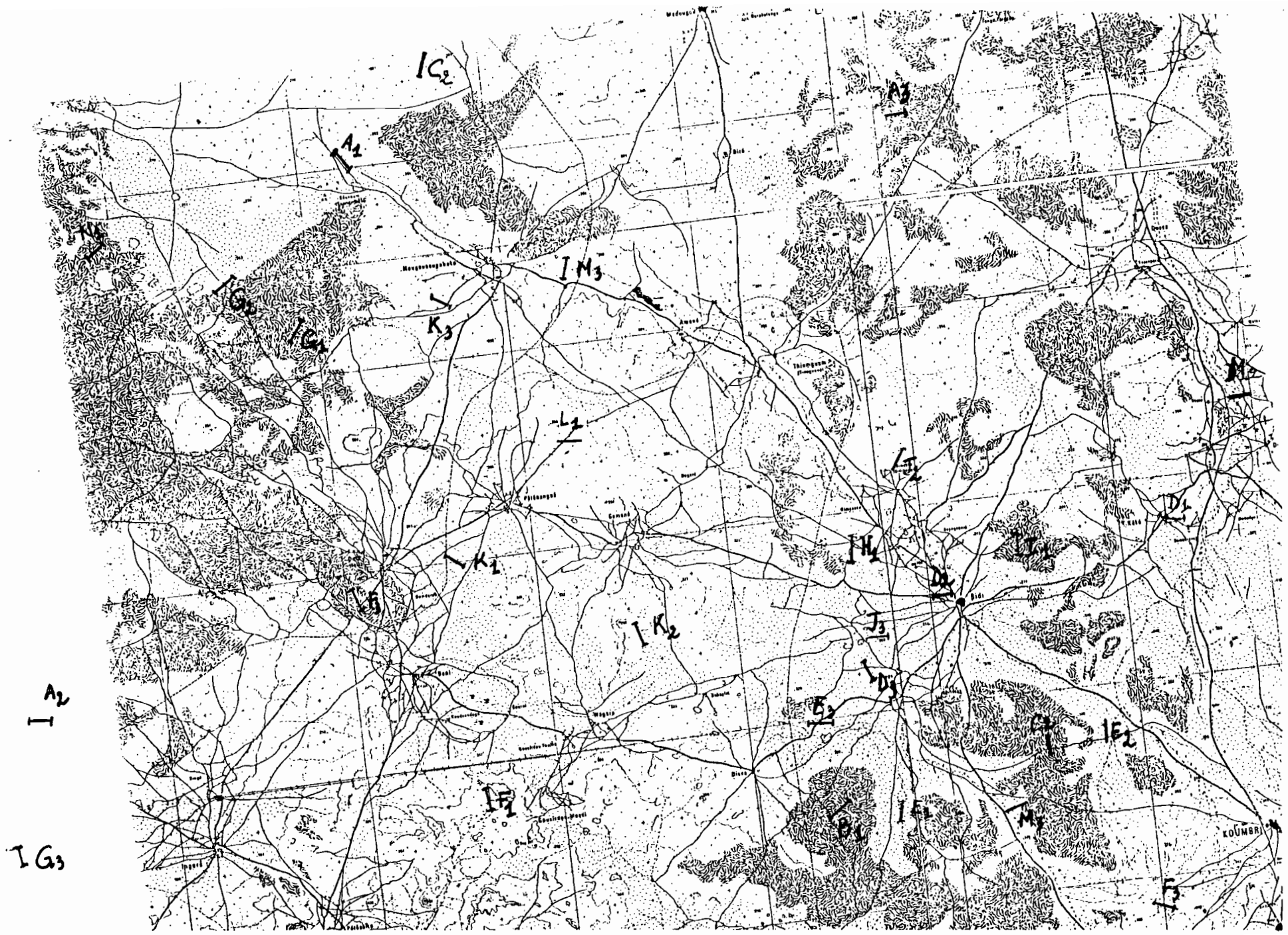
- GANABA (S), 1990. Approche des méthodes d'inventaire des ressources ligneuses à petites et moyennes échelles : Application d'une méthode d'inventaire, par télédétection, à une région test du Burkina Faso. Mémoire de DEA, ISN-IDR Ouagadougou, 101 p + annexes + bibliographie + carte au 1/50 000.
- GANSONRE (P.E.), 1975. Contribution à l'étude géologique des formations précambriennes de la région de Ouahigouya (H.V.). Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle. Université de Besançon 181 p.
- GODARD (V.), 1991. Utilisation conjointe de la télédétection et de l'enquête de terrain lors des inventaires d'occupation du sol. Thèse de Doctorat en géographie, EHESS, 433 p.
- GROUZIS (M.) 1987. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens. Thèse U. Paris Sud, 293 p + annexes.
- GUINKO (S.), 1984. Végétation de la Haute-Volta. Tome I. Thèse de Doctorat es Sciences, Université de Bordeaux III, 394 p.
- KOUDA (M.), 1981. Analyse synchronique et diachronique de l'évolution de la végétation en zone sémi-aride (Haute-Volta) par télédétection multispectrale - Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> cycle UPS Toulouse, 143 p.
- LACOSTE (A.) et SALANON (R.), 1991. Eléments de biogéographie et d'écologie. Université Nathan. France, 189 p.
- LAMACHERE (J.M.), 1992. Proposition Programme de recherche Dynamique et usage des ressources renouvelables de la zone de Bidi. Séminaire de l'action initiative ORSTOM-DURR - Ouagadougou du 19 au 20 mai 1992.

- MARCHAL (J.Y.), 1980 - Arbres et brousses du paysage soudano-sahélien - Dynamique des formations végétales au Nord de la Haute-Volta. Cah ORSTOM, Série Sciences Humaines 17 (3-4) : pp 137-149.
- MARCHAL (J Y.), 1983 - Yatenga. Nord Haute-Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien - Trav. et Doc. ORSTOM n° 167, Paris, 849 p.
- NDJAJA, (O.H.), 1990. Essai d'application de la télédétection à la cartographie des formations superficielles à Oursi et à Bidi (Burkina Faso). Mémoire de maîtrise, INSHUS, Université de Ouagadougou, 131 p.
- SERPANTIE (G.), MERSADIER (G.), TEZENAS DU MONTCEL (L.), MERSADIER (Y.), 1987. Transformation d'un système agro-pastoral soudano-sahélien (Bidi, Nord Yatenga, Burkina Faso). Communication au colloque "Dynamique des systèmes agraires" MRES, Paris, 16 - 18 novembre 1987. ORSTOM. Ouagadougou, 28 p.
- SERPANTIE (G.), TEZENAS DU MONTCEL (L.), VALENTIN, 1988. La dynamique des états de surface d'un territoire agro-pastoral subsahélien sous-aridification : Conséquences pour les systèmes de production. Proposition de publication dans l'ouvrage "zones arides" édité par le Réseau Zones Arides, juin 1988, ORSTOM Ouagadougou, 28 p.
- SERPANTIE (G.), TEZENAS DU MONTCEL (L.), SABATIER (S.), 1991. Cartographie des ressources végétales au Nord Yatenga (Burkina Faso) ORSTOM, ENGREF. 46 p.
- SOLTNER (D), 1978. Les bases de la production végétale. Tome I. 7è Ed. Coll. Sciences et techniques agricoles.
- TOUTAIN (B.), 1976. Notice de la carte des ressources fourragères au 1/50 000. IEMVT, GERDAT 60 p + bibl.

- TUINA (J.). 1992. Relation pluies-débits sur le bassin du bas-fond de Bidi-Gourga (Burkina Faso). Mémoire d'Ingénieur des Sciences et Techniques de l'eau. Université de Ouagadougou 77 p + annexes.
- VALENTIN (C.), 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3è cycle. Université de Paris VII, Etudes et Thèses, ORSTOM, 1985.
- VALENTIN (C.), 1986c. Effets of soil moisture and kinetic energy on the machanical resistance of surface crusts. in : Assessment of soil surface sealing and crusting-Proc. of symposium held in Ghent Belgium, 1985. CALLEBAUT (F.), GABRIELS (D.), DE BOOT (M.) Ed Flanders Research Center for Soil Erosion and soil conservation, pp 367-369.
- WHITE (F.), 1986. La végétation de l'Arrique. ORSTOM-UNESCO. Paris. 384 p + carte + légende.
- ZERBO (L.) 1991. Contribution à la caractérisation morpho-pédologique et structurale de trois bas-fonds de la province du Yatenga. Contraintes et aptitudes rizicoles. Mémoire de fin d'études, Université de Ouagadougou, ISN-IDR 128 p + annexes.
- ZIDA (M.), 1992. Conditions hydriques dans un bas-fond sahélien. Incidences sur les cultures vivrières (Bidi, Nord Yatenga, Burkina Faso).
- ZOMBRE (P.N.), 1991b. Caractérisation morpho-pédologique des bas-fonds dans la province du Yatenga. Rapport n° 2 : Monographie des sols des bas-fonds. Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au sahel, Projet Yatenga, ORSTOM Ouagadougou, 176 p + 10 graphiques.

ZOMBRE (P.N.), 1992. Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au sahel. Caractérisation morphologique des bas-fonds dans la province du Yatenga. Rapport n° 1. Généralités géomorphologie et morphopédologie régionale. ORSTOM-IDR, 1992.

# ANNEXES



Localisation des sections décrites



FICHE DE DESCRIPTION DES SURFACES ELEMENTAIRES

Date :.....Section :.....  
 Observateur :.....Portion :.....  
 Formation végétale :.....Relevé n° :.....  
 Unité géomorphologique :.....

Recouvrement herbacé | .....  
 ou cultural | .....  
 | .....  
 | .....

Microrelief	- Hauteur :.....	Mesofaune	- Placages :.....%
	- Degré d'obstruction :.....		- Fourmilières :..% .....%
			- Terricules de vers :.....%

Type de croûte:.....  
 (microhorizons) | .....  
 | .....  
 | .....  
 | .....

Sol : (1) Texture :  
 Blocs.....% Graviers.....% Sables.....% Argile....% Limons....%

(2) Structure :.....

(3) Couleur : sec.....humide :.....

(4) Type de sol :.....Profondeur :.....(cm)

Type de surface élémentaire :.....  
 .....  
 .....  
 Variante :.....  
 .....  
 Relation hydrodynamique :.....  
 .....  
 Remarques :.....

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section A1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquence %
Guiera senegalensis	81	130	21,1
Combretum micranthum	57	91	14,8
Grewia bicolor	44	71	11,5
Ximemia americana	35	56	9,1
Acacia macrostachya	24	38	6,3
Anogeissus leiocarpus	22	35	5,7
Acacia ataxacantha	18	29	4,7
Piliostigma reticulatum	14	22	3,6
Combretum nigricans	13	21	3,4
Acacia seyal	12	19	3,2
Dichrostachys cinneria	12	19	3,2
Dalbergia melanoxylon	10	16	2,6
Pterocarpus lucens	6	10	1,6
Combretum aculeatum	5	8	1,3
Balanites aegyptica	5	8	1,3
Grewia flavescens	4	6	1,0
Securinega virosa	4	6	1,0
Prosopis africana	3	5	0,8
Feretia apodanthera	3	5	0,8
Sclerocarya birrea	3	5	0,5
Stereospermum kuntianum	2	3	0,5
Ziziphus mauritiana	2	3	0,5
Cadaba farinosa	2	3	0,5
Adansonia digitata	1	2	0,3
Acacia pennata	1	2	0,3
Tamarindus indica	1	2	0,3

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section A2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	85	142	31,6
Grewia bicolor	44	73	16,4
Balanites aegyptiaca	35	58	13,4
Commiphora africana	17	28	6,3
Boscia senegalensis	14	23	5,2
Acacia ataxacantha	13	22	4,8
Anogeissus leiocarpus	9	15	3,3
Combretum nigricans	9	15	3,3
Grewia flavescens	8	13	3,0
Pterocarpus lucens	8	13	3,0
Dalbergia melanoxylon	7	12	2,6
Piliostigma reticulatum	4	7	1,5
Adansonia digitata	3	5	1,1
Combretum aculeatum	3	5	1,1
Acacia macrostachya	2	3	0,7
Acacia pennata	2	3	0,7
Ximemia americana	2	3	0,7
Acacia senegal	1	2	0,4
Boscia angustifolia	1	2	0,4
Lanea microcarpa	1	2	0,4

Section A3

$$S^2 = (320 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur A3	/ha	
arborée	9	14	3,4
arbustive	26	41	5,3
sous-arbustive	289	452	32,2
couvert ligneux	324	506	40,9
couvert herbacé	-	-	66

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION A3

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
<i>Boscia senegalensis</i>	89	139	27,5
<i>Combretum micranthum</i>	79	123	24,4
<i>Acacia seyal</i>	58	90	17,9
<i>Grewia bicolor</i>	39	61	12,0
<i>Grewia flavescens</i>	24	37	7,4
<i>Pterocarpus lucens</i>	15	23	4,7
<i>Combretum aculeatum</i>	5	7	1,6
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	3	5	0,9
<i>Balanites aegyptiaca</i>	3	5	0,9
<i>Commiphora africana</i>	2	3	0,6
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	2	3	0,6
<i>Acacia ataxacantha</i>	1	2	0,3
<i>Adansonia digitata</i>	1	2	0,3
<i>Combretum nigricans</i>	1	2	0,3
<i>Feretia apodanthera</i>	1	2	0,3
<i>Piliostigma reticulatum</i>	1	2	0,3

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section B1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
<i>Combretum micranthum</i>	88	110	50,9
<i>Boscia senegalensis</i>	38	47	21,9
<i>Boscia angustifolia</i>	13	16	7,5
<i>Guiera senegalensis</i>	10	13	5,8
<i>Acacia ataxacantha</i>	8	10	4,6
<i>Pterocarpus lucens</i>	7	9	4,0
<i>Grewia flavescens</i>	5	6	2,9
<i>Grewia bicolor</i>	2	3	1,2
<i>Adansonia digitata</i>	1	1	0,6
<i>Cassia sieberiana</i>	1	1	0,6

## Section C1

$$S^2 = (310 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur C1	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	6	10	2
sous-arbustive	392	632	32
couvert ligneux	398	642	34
souches	23	37	
couvert herbacé			28

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION C1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	264	426	66,3
Boscia senegalensis	47	76	11,8
Gardenia sokotensis	38	61	9,5
Boscia angustifolia	15	16	2,5
Pterocarpus lucens	10	24	3,8
Guiera senegalensis	8	13	2
Acacia ataxacantha	6	10	1,5
Piliostigma reticulatum	4	6	1
Grewia flavescens	3	5	0,8
Commiphora africana	2	3	0,5
Grewia bicolor	1	2	0,3

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section C2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	112	185	34,5
Grewia bicolor	51	84	15,7
Acacia macrostachya	44	73	13,5
Boscia senegalensis	26	43	8
Grewia flavescens	26	43	8
Guiera senegalensis	14	23	4,3
Piliostigma reticulatum	12	20	3,7
Combretum aculeatum	10	17	3,1
Pterocarpus lucens	10	17	3,1
Acacia ataxacantha	5	8	1,6
Acacia seyal	3	5	0,9
Anogeisus leiocarpus	2	3	0,6
Dalbergia melanoxylon	2	3	0,6
Feretia apodanthera	2	3	0,6
Commiphora africana	1	2	0,3
Dichrostachys cinneria	1	2	0,3
Sclerocarya birrea	1	2	0,3
Combretum nigricans	1	2	0,3
Acacia nilotica	1	2	0,3
Tamarindus indica	1	2	0,3

Section D1

$$S^2 = (20 \times 300) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur D1	/ha	
arborée	1	2	0,4
arbustive	2	3	0,4
sous-arbustive	0	0	
repousse	8	13	0,1
couvert ligneux	11	18	0,9
couvert herbacé			0,9
résidus de recolte			12,7

COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION D1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Balanites aegyptiaca	4	6	36,3
Guiera senegalensis	3	5	27,3
Lanea microcarpa	2	3	18,2
Prosopis juliflora	1	2	9,1
Sclerocarya birrea	1	2	9,1

COMPOSITION FLORISTIQUE : section D2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Balanites aegyptiaca	6	10	33
Sclerocarya birrea	4	6	21
Adansonia digitata	2	3	11
Hyphaene thebaïca	2	3	11
Acacia seyal	1	2	6
Acacia nilotica	1	2	6
Acacia albida	1	2	6
Calotropis procera	1	2	6

## Section D3

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur D3	/ha	
arborée	3	5	1,4
arbustive	6	10	2,1
sous-arbustive*	280	467	3
couvert ligneux	289	482	6,5
résidu de culture			18

\* : repousses, hauteur = 0,7 m.

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION D3

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
<i>Piliostigma reticulatum</i>	159	265	55
<i>Guiera senegalensis</i>	102	170	35,3
<i>Parkia biglobosa</i>	4	7	1,4
<i>Adansonia digitata</i>	4	7	1,4
<i>Diospiros mespilisformis</i>	4	7	1,4
<i>Stereospermum kuntianum</i>	4	7	1,4
<i>Sclerocarya birrea</i>	3	5	1
<i>Cassia sieberiana</i>	2	3	0,7
<i>Balanites aegyptiaca</i>	1	2	0,3
<i>Hyphaene thebaïca</i>	1	2	0,3
<i>Magifera indica</i>	1	2	0,3
<i>Lanea microcarpa</i>	1	2	0,3
<i>Terminalia macroptera</i>	1	2	0,3
<i>Ziziphus mauritiana</i>	1	2	0,3
<i>Pterocarpus lucens</i>	1	2	0,3

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section E1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
<i>Guiera senegalensis</i>	117	146	74,5
<i>Boscia senegalensis</i>	16	20	10,2
<i>Combretum nigricans</i>	11	14	7,1
<i>Piliostigma reticulatum</i>	7	9	4,5
<i>Combretum micranthum</i>	4	5	2,5
<i>Calotropus procera</i>	1	1	0,6
<i>Maerua crassifolia</i>	1	1	0,6

Section E2

$$S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur E2	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	4	5	1,1
sous-arbustive	205	256	25
couvert ligneux	209	261	26,1
souches mortes	39	49	
couvert herbacé			40

COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION E2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Boscia senegalensis	90		43,0
Combretum micranthum	55		26,3
Guiera senegalensis	29		13,9
Boscia angustifolia	10		4,8
Pterocarpus lucens	7		3,3
Combretum nigricans	6		2,9
Gardenia sokotensis	5		2,4
Acacia macrostachya	2		1,0
Grewia bicolor	2		1,0
Piliostigma reticulatum	2		1,0
Acacia laeta	1		0,5

Section E3

$$S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur E3	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	0	0	0
sous-arbustive	143	179	4
couvert ligneux	143	179	4
couvert herbacé			54

## Section F1

$S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur F1	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	0	0	0
sous-arbustive	27	34	1,25
couvert ligneux	27	34	1,25
couvert herbacé			0

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION F1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum glutinosum	22	28	81,5
Combretum micrantum	5	6	18,5

## Section F2

$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur F2	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	3	5	0,9
sous-arbustive	21	35	0,3
couvert ligneux	24	40	1,2
couvert herbacé			1,4

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION F2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Boscia senegalensis	15	25	63
Combretum micranthum	5	8	21
Balanites aegyptiaca	3	5	12
Piliostigma reticulatum	1	2	4



Section F3

$$S^2 = (500 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur F3	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	0	0	0
sous-arbustive	31	31	0,4
couvert ligneux	31	31	0,4
couvert herbacé			0,4

COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION F3

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	17	17	54,9
Combretum glutinosum	9	9	29,0
Pterocarpus lucens	3	3	9,7
Boscia senegalensis	1	2	3,2
Grewia bicolor	1	2	3,2

Section G1

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur G1	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	3	5	0,2
sous-arbustive	66	110	1,5
couvert ligneux	69	115	1,7
couvert herbacé			43
souches	24	40	

COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION G1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Boscia senegalensis	30	50	43,5
Combretum micranthum	13	22	18,8
Boscia angustifolia	8	13	11,6
Grewia flavescens	8	13	11,6
Guiera senegalensis	6	10	8,7
Grewia bicolor	2	3	2,9
Adansonia digitata	1	2	1,4
Combretum nigricans	1	2	1,4

## Section G2

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur G2	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	2	3	0,4
sous-arbustive	114	190	1,7
couvert ligneux	116	193	2,1
couvert herbacé			12
souches	66	110	

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION G2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Boscia senegalensis	65		56,0
Combretum micranthum	35		30,1
Commiphora africana	5		4,3
Pterocarpus lucens	3		2,6
Acacia ataxacanthas	2		1,7
Combretum nigricans	2		1,7
Baissea multiflora	1		0,9
Boscia angustifolia	1		0,9
Grewia flavescens	1		0,9
Guiera senegalensis	1		0,9

## Section G3

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur G3	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	1	2	0,1
sous-arbustive (h = 1,75m)	141	235	1,6
couvert ligneux	142	237	1,7
couvert herbacé			8

COMPOSITION FLORISTIQUE : section H1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Guiera senegalensis	131	219	82
Combretum micranthum	11	19	7
Piliostigma reticulatum	10	17	6
Balanites aegyptiaca	4	7	2
Dichrostachys cinneria	1	2	1
Combretum nigricans	1	2	1
Securinega virosa	1	2	1

COMPOSITION FLORISTIQUE : section I1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	262	874	54,6
Guiera senegalensis	161	537	33,5
Combretum nigricans	15	50	3,1
Pterocarpus lucens	15	50	3,1
Gardenia sokotensis	8	27	1,7
Grewia flavescens	6	20	1,3
Cassia sieberiana	3	10	0,6
Acacia macrostachya	2	7	0,4
Dalbergia melanoxylon	2	7	0,4
Acacia ataxacantha	1	3	0,2
Acacia laeta	1	3	0,2
Boscia salicifolia	1	3	0,2
Combretum aculaetum	1	3	0,2
Dichrostachys cinneria	1	3	0,2
Piliostigma reticulatum	1	3	0,2

Section J2

VEGETATION

Ligneux : Combretum micranthum : 2  
 (sous-arbrisseaux) Piliostigma reticulatum : 1  
 souches : 6  
 recouvrement : 0 %

Herbacé : 31 %

Section J3

$$S^2 = (300 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Ligneux : Combretum micranthum  
 (sous-arbrisseaux) recouvrement = 0  
 Herbacé = 28 % (Schoenefeldia gracilis)

Section K1

$$S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur K1	/ha	
arborée	1	1	1,1
arbustive	2	3	0,4
sous-arbustive	304	380	8,5
couvert ligneux	307	384	10,0
couvert herbacé			31,0

COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION K1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Guiera senegalensis	178	223	58
Combretum glutinosum	61	77	20
Piliostigma reticulatum	29	36	9,4
Securinea virosa	13	16	4,2
Balanites aegyptiaca	12	15	3,9
Combretum aculeatum	3	4	1,0
Sclerocarya birrea	3	4	1,0
Maerua angolensis	2	3	0,7
Acacia laeta	1	1	0,3
Boscia angustifolia	1	1	0,3
Boscia senegalensis	1	1	0,3
Diospiros mespiliformis	1	1	0,3
Lanea microcarpa	1	1	0,3
Pterocarpus lucens	1	1	0,3

COMPOSITION FLORISTIQUE : section K2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	85	142	75,9
Combretum glutinosum	14	23	12,5
Cassia sieberiana	8	13	7,1
Balanites aegyptiaca	3	5	2,6
Acacia macrostachya	1	2	1,8
Piliostigma reticulatum	1	2	1,8

## Section K3

$$S^2 = (400 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur K3	/ha	
arborée	0	0	0
arbustive	2	3	0,7
sous-arbustive	109	136	8,3
couvert ligneux	111	139	9,0
souches	53	66	
couvert herbacé			13

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION K3

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	48	60	43,3
Guiera senegalensis	25	31	22,5
Boscia senegalensis	23	29	20,7
Combretum glutinosum	6	7	5,4
Boscia angustifolia	2	3	1,8
Grewia bicolor	2	3	1,8
Pterocarpus lucens	2	3	1,8
Dalbergia melanoxyton	1	1	0,9
Maerua crassifolia	1	1	0,9
Combretum nigricans	1	1	0,9

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section L1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Combretum micranthum	67	58,3	83
Combretum glutinosum	19	16,5	24
Piliostigma reticulatum	9	7,8	11
Boscia senegalensis	13	11,3	16
Boscia angustifolia	1	0,9	1
Acacia macrostachya	1	0,9	1
Grewia bicolor	1	0,9	1
Pterocarpus lucens	1	0,9	1
Pterocarpus erinacens	1	0,9	1
Cassia sieberiana	1	0,9	1
Adansonia digitata	1	0,9	1

## COMPOSITION FLORISTIQUE : section M1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Diospiros mespiliformis	79	76	59,9
Piliostigma reticulatum	11	11	8,3
Acacia nilotica	9	9	6,8
Balanites aegyptiaca	9	9	6,8
Combretum micranthum	6	6	4,5
Mytragyna inermis	6	6	4,5
Adansonia digitata	5	5	3,8
Acacia albida	4	4	3,0
Gardenia erubescens	1	1	0,8
Khaya senegalensis	1	1	0,8
Tamarindus indica	1	1	0,8

Section M2

$$S^2 = (200 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur M2	/ha	
arborée	3	8	4,8
arbustive	4	10	1,8
sous-arbustive	172	430	7,3
couvert ligneux	179	448	13,9
couvert herbacé			28

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION M2

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Guiera senegalensis	60	150	33,5
Piliostigma reticulatum	55	138	30,7
Boscia senegalensis	16	40	8,9
Combretum micranthum	11	28	6,1
Acacia laeta	9	23	5,0
Ziziphus mauritiana	6	15	3,4
Combretum aculaetum	5	13	2,8
Acacia macrostachyaon	3	8	1,7
Vitex doniana	3	8	1,7
Acacia albida	2	5	1,1
Lanea acida	2	5	1,1
Acacia nilotica	1	2	0,6
Byturospermum paradoxa	1	2	0,6
Cassia sieberiana	1	2	0,6
Feretia apodanthera	1	2	0,6
Gardenia erubescens	1	2	0,6
Maerua angolensis	1	2	0,6
Sclerocarya birrea	1	2	0,6

## Section M3

$$S^2 = (250 \times 20) \text{ m}^2$$

## VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur M3	/ha	
arborée	5	10	7,6
arbustive	4	8	1,1
sous-arbustive	254	508	35,1
couvert ligneux	263	526	43,8
couvert herbacé			53

## COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION M3

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Guiera senegalensis	120	240	45,6
Piliostigma reticulatum	50	100	19,0
Boscia senegalensis	31	62	11,8
Feretia apodanthera	21	42	8,0
Combretum micranthum	14	28	5,3
Balanites aegyptiaca	8	16	3,0
Acacia seyal	5	10	1,9
Commiphora africana	2	4	0,8
Pterocarpus lucens	2	4	0,8
Terminalia macroptera	2	4	0,8
Acacia macrostachya	1	2	0,4
Acacia senegal	1	2	0,4
Combretum aculeatum	1	2	0,4
Ficus gnaphalocarpa	1	2	0,4
Khaya senegalensis	1	2	0,4
Lannea microcarpa	1	2	0,4
Securinega virosa	1	2	0,4
Ziziphus mauritiana	1	2	0,4

Section N1

$$S^2 = (500 \times 20) \text{ m}^2$$

VEGETATION

Strate	Nombre d'individus		Recouvrement en %
	sur N1	/ha	
arborée	1	1	0,6
arbustive	2	2	0,5
sous-arbustive	441	441	21,4
couvert ligneux	444	444	22,5
couvert herbacé			38

COMPOSITION FLORISTIQUE SECTION N1

Espèces	Effectifs	Densités/ha	Fréquences %
Guiera senegalensis	141		31,8
Combretum micranthum	111		25
Boscia senegalensis	60		13,5
Piliostigma reticulatum	46		10,4
Acacia seyal	38		8,6
Feretia apodanthera	23		5,2
Grewia bicolor	5		1,1
Ziziphus mucronata	4		0,9
Balanites aegyptiaca	3		0,7
Acacia senegal	2		0,5
Acacia macrostachya	1		0,2
Acacia laeta	1		0,2
Anogeissus leiocarpus	1		0,2
Calotropus procera	1		0,2
Combretum aculeatum	1		0,2
Commiphora africana	1		0,2
Gardenia erubescens	1		0,2
Lanea acida	1		0,2
Mytragyna inermis	1		0,2
Pterocarpus lucens			0,2
Sclerocarya birrea			0,2



# **TABLES DES MATIERES**

## TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	1
AVANT-PROPOS	2
RESUME	4
ABSTRACT	5
LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX	7
INTRODUCTION	9
CHAPITRE I : LE CADRE D'ETUDE	
I. LA PROVINCE DU YATENGA	12
II. LA ZONE D'ETUDE	12
2.1 Situation géographique	12
2.2 La géologie	12
2.3 La géomorphologie	15
2.4 Le réseau hydrographique	18
2.5 La pédologie	20
2.6 Le climat	20
2.6.1 Le déterminisme sous-régional	20
2.6.2 Données pluviométriques à la station synoptique de Ouahigouya.	23
2.6.3 Données météorologiques à la station de Bidi.	23
2.7 Le contexte phytogéographique	27
2.8 L'homme et ses activités	28
2.8.1 Historique	28
2.8.2 Population actuelle	30
2.8.3 Activité socio-économique	30
CHAPITRE II : METHODOLOGIE GENERALE	
I. : QUELQUES DONNEES GENERALES	33
1.1 Les surfaces élémentaires	33
1.1.1 Définition	33
1.1.2 Processus et facteurs de réorganisation superficielle.	34
1.1.2.1 Les processus	34
1.1.2.2 Les facteurs de réorganisation	35
1.1.3 Implication de la réorganisation superficielle sur l'hydrodynamique.	36
1.1.4 Simulation de pluie	36

1.1.5	Mise au point terminologique	38
1.1.6	Les principaux descripteurs de surfaces élémentaires.	39
1.1.7	Clef de détermination des surfaces élémentaires.	39
1.2	La végétation	41
1.2.1	Les formes biologiques	41
1.2.1.1	Les phanérophytes	41
1.2.1.2	Les chaméphytes	42
1.2.1.3	Les hémicryptophytes	42
1.2.1.4	Les géophytes	42
1.2.1.5	Les hélophytes	42
1.2.1.6	Les hydrophytes	43
1.2.1.7	Les thérophytes	43
1.2.2	Les types de végétation ou formations végétales	43
1.2.3	Les groupements végétaux	43
1.3	La télédétection satellitaire	43
1.3.1	Définition et principe de la télédétection	43
1.3.2	Acquisition des données de la télédétection	47
1.3.3	Diversité des satellites	48
1.3.4	Les spécificités de SPOT	48
1.3.5	Procédure d'acquisition des images SPOT	49
1.3.6	Les prétraitements	50
1.3.7	Principes et objectifs des traitements	51
1.3.8	Quelques types des traitements numériques	51
1.3.8.1	Les néocanaux	51
1.3.8.2	Les filtrages	52
1.3.8.3	La composition colorée	52
1.3.8.4	Les classifications	53
1.4	Télédétection et végétation	54
II	METHODE ADOPTEE POUR L'ETUDE	55
2.1	Organigramme de l'étude	55
2.2	Le matériel utilisé	55
2.2.1	L'image SPOT	55
2.2.2	L'ordinateur	55
2.3	Traitements non supervisés	57
2.3.1	Détermination des canaux et néo-canaux devant servir pour la classification.	57
2.3.2	Les classifications	57
2.3.3	La composition colorée	57
2.4	L'échantillonnage des sections	59

2.5 La mission de terrain	60
2.5.1 Répérage des sections	61
2.5.2 La taille des sections	61
2.5.3 Procédure de description des sections	62
2.6 Les dépouillements	64
2.6.1 Le couvert herbacé	64
2.6.2 Le couvert ligneux	65
2.6.2.1 La strate arborée	65
2.6.2.2 La strate à arbustes et sous-arbrisseaux.	65
2.6.3 Les surfaces élémentaires	66
2.7 Les critères de classification de la végétation et des états de surface.	66
2.7.1 La végétation	66
2.7.2 Les états de surface	67
2.8 Traitements supervisés	69
CHAPITRE III : OBSERVATIONS DE TERRAIN ET CLASSIFICATIONS	
I. OBSERVATIONS	
1.1 Présentation des données	73
1.2 Les surfaces élémentaires	73
1.2.1 Les surfaces cultivées	73
1.2.1.1 Le type cultural I (CULT I ou CI)	74
1.2.1.2 Le type cultural II (CULT II ou CII)	74
1.2.1.3 Le type cultural III (CULT III ou CIII)	75
1.2.2 Les surfaces à forte activité mésofaunique	77
Le type termite (TERM)	
1.2.3 Le type dessication (DES)	78
1.2.4 Les surfaces de type "structurale"	79
1.2.4.1 Le type structurale à 2 microhorizons (STII)	79
1.2.4.2 Le type structurale à 3 microhorizons (STIII)	80
1.2.5 Le type d'érosion (ERO)	81
1.2.6.1 Le type décantation	82
1.2.6.1 Le type décantation I (DECI)	82
1.2.6.2 Le type décantation II (DECII)	83
1.2.7 Le type grossier (GRO)	84
1.2.8 Le type cuirasse (CUIR)	85

II. CLASSIFICATION DE LA VEGETATION : LES FORMATIONS VEGETALES ET LES GROUPEMENTS VEGETAUX	86
2.1 Les zones dégradées peu végétalisées (sections F1, F2, F3)	86
2.2 Le domaine cultivé (sections D1, D2, D3)	87
2.3 La steppe herbeuse (sections E1, E2, E3)	88
2.4 La steppe sous-arbustive	89
2.5 La steppe arbustive à fourrés : "la brousse tigrée" (sections B1 et C1).	91
2.6 Les jachères à fourrés sous-arbustifs (section I1)	93
2.7 Les cordons ripicoles	95
2.8 La steppe arbustive et arborée exondée (section C2)	97
2.9 La steppe arbustive et arborée temporairement inondée (section A2).	98
2.10 La forêt claire d'épandage des eaux (section A1)	99
Conclusion	100
III. CLASSIFICATION DES ETATS DE SURFACE	102
3.1 Les états de surface des sommets	102
3.1.1 Les sommets peu végétalisés	102
3.1.1.1 Lessurfaces cuirassées	102
3.1.1.2 Les surfaces à graviers abondants (F2 + F3)	103
3.1.2 Les sommets fortement végétalisés	104
3.2 Les états de surfaces des hauts et moyens versants	104
3.2.1 Les steppes à strate sous-arbustive sur sols gravillonnaires (K1 et K2)	104
3.2.2 Les surfaces sablo-gravillonnaires	105
3.2.2.1 Les zones peu végétalisées (J1 et J2)	105
3.2.2.2 Les steppes sous-arbustives (L1)	106
3.2.2.3 Les brousses tigrées - section B1 et C1	107
3.2.2.4 Les jachères à fourrés d'arbrisseaux (section J1)	109
3.3 Les états de surfaces des bas-versants	110
3.3.1 Les bas-versants gravillonnaires et sablo-gravillonnaires	110
3.3.2 Les bas-versants sableux	111
3.3.2.1 Les états de surface du domaine cultivé	111
3.3.2.2 Les états de surface de la steppe herbeuse des bas et moyens versants.	112

3.4 Les états de surface des bas-fonds (argileux à argilo-sableux).	113
3.5 Les états de surface des plaines	115
3.5.1 Les plaines argilo-sableuses	115
3.5.1.1 Les surfaces en dégradation (G1 + G2 + G3)	115
3.5.1.2 Les états de surface des steppes arborées et arbustives exondées.	117
3.5.2 Les états de surface des plaines argilo-sablo-limoneuses.	118
3.5.2.1 La steppe arbustive et arborée temporairement inondée.	118
3.5.2.2 Les surfaces des forêts claires d'épandage des eaux (section A1).	119
Conclusion	120

## CHAPITRE IV : RESULTATS DES TRAITEMENTS NUMERIQUES ET DISCUSSIONS

Introduction	121
I. LES RESULTATS DES TRAITEMENTS NON SUPERVISES	121
1.1 Etude monospectrale	121
1.2 La classification des canaux XS3 et IVN	121
1.3 La classification des deux premières composantes principales.	122
1.4 La composition colorée	122
II LES TRAITEMENTS SUPERVISES	123
2.1 Les parcelles d'entraînements ou zones tests	123
2.2 Matrice de corrélation	123
2.3 Les classifications	124
2.3.1 Les formations végétales	124
2.3.2 Les états de surface	128
2.4 Conclusion	133
III DISCUSSION	134
3.1 Mérites et limites des méthodes adoptées	134
3.1.1 La méthode d'évaluation du ruissellement	134
3.1.2 La méthode de cartographie	135
3.2 Apport de la télédétection pour l'intervention en milieu rural.	136
CONCLUSION GENERALE	137
BIBLIOGRAPHIE	140
ANNEXES	I
TABLES DES MATIERES	