

# SOMMAIRE

	<b>Page</b>
<b>Remerciements</b>	
<b>RESUME</b>	
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : RAPPELS SUR LES PRINCIPES DE TELEDETECTION ET SUR LE SATELLITE SPOT</b>	<b>2</b>
1 - DEFINITION	
2 - LA CHAÎNE DE LA TELEDETECTION	
2.1 - Collecte de l'information	
2.1.1 - Rayonnements électromagnétiques mesurés	
2.1.2 - Les vecteurs	3
2.1.3 - Les capteurs	
2.1.4 - Le satellite SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre)	4
2.2 - Traitement de l'information	
2.2.1 - Prétraitement des données	
2.2.2 - Traitements dirigés et non dirigés	5
2.2.3 - L'interprétation	6
3 - COMPORTEMENTS SPECTRAUX DES VEGETAUX ET DES SOLS	
3.1 - Comportement spectral des végétaux dans le visible et le proche infra-rouge	
3.1.1 - Dans le visible, de 380 à 700 nm	
3.1.2 - Dans le PIR, de 750 à 1300 nm	7
3.2 - Comportement spectral des sols dans le visible et le PIR	
<b>CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b>	<b>8</b>
1 - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE	
2 - LE MILIEU PHYSIQUE	
2.1 - Le climat	
2.2 - Sols et sous-sols	
3 - MILIEU HUMAIN ET AGRICULTURE	9

4 - LA VEGETATION NATURELLE 10

5 - TRAVAUX MENES ANTERIEUREMENT SUR LA SCENE SPOT K50 J326 11

**CHAPITRE III : APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA CLASSIFICATION DE LA VEGETATION NATURELLE 12**

**CHAPITRE IV : MATERIEL ET METHODE 14**

1 - INVENTAIRE DES DONNEES DISPONIBLES CONCERNANT LA ZONE D'ETUDE

1.1 - Cartographie de base

1.2 - Données satellitaires

1.2.1 - Bandes magnétiques

1.2.2 - Tirages papiers couleur

1.3 - Photos aériennes basse altitude

1.4 - Photographies au sol

1.5 - Relevés de terrain et rapports de missions

15

2 - MATERIEL UTILISE

3 - METHODE

3.1 - Collecte des données:

3.2 - La photo-interprétation des photographies aériennes à basse altitude (PVA) 16

3.3 - L'analyse visuelle

3.4 - Digitalisation des bandes photo-interprétées 17

3.5 - L'analyse numérique

3.5.1 - La phase d'apprentissage

3.5.2 - La classification

3.5.3 - Evaluation de la classification et exploitation des résultats 18

19

**CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION 20**

1 - ANALYSE VISUELLE

1.1 - Stratification de la scène en zones d'apparence homogène

1.2 - Etude des comportements radiométriques de la végétation naturelle et des sols nus21

1.2.1 - Image de février

1.2.2 - Image de juin 22

1.2.3 - Image de septembre

1.3 - Conclusions sur les potentialités de l'analyse visuelle pour la cartographie de la végétation naturelle 24

2 - L'ANALYSE NUMERIQUE 25

2.1 -Analyses multispectrales monodates sur l'image de septembre	
2.1.1. - Choix des classes thématiques	
2.1.2 - Comparaison des courbes de réponses spectrales moyennes des divers classes thématiques	
2.1.3 - Des classes thématiques aux classes spectrales	
2.1.4 - Comparaison des courbes de réponses spectrales moyennes des classes spectrales	
2.1.5 - Histogrammes bidimensionnels des classes spectrales	29
2.1.6 - Classifications	30
2.1.7 - Conclusions sur l'image de septembre	33
2.2 - Analyses multispectrales monodates sur l'image de février	34
2.3 -Analyses multispectrales monodates sur l'image de juin	
2.4 - Analyses multidates (février, juin, septembre 1992)	
2.5 - Analyse multirate (septembre 1992 et septembre 1993)	35
2.6 - Propositions pour la cartographie de la végétation naturelle	
 <b>CONCLUSION</b>	 <b>36</b>

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXES**

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout particulièrement à remercier **Francis GANRY**, pour m'avoir accueilli au sein de son unité de recherche "Facteurs et conditions du milieu".

Mon travail de recherche a été orienté et suivi par **Gérard LAINE**. Je lui dois beaucoup pour tout ce qu'il m'a appris, tous ses conseils et le temps qu'il m'a accordé. Qu'il reçoive ainsi toute ma reconnaissance.

Je tiens également à remercier **Pierre FOL** pour son soutien technique lors de l'utilisation du logiciel DIDACTIM, **Christian GOUNEL** pour m'avoir appris les rudiments de la numérisation sous ARC INFO.

Que soient aussi remerciés **S. GUILLOBEZ**, **A. BEGUE**, **H.V. NGUYEN**, **N. JAN** et toutes les autres personnes qui ont, de près ou de loin, contribué au bon déroulement de ce stage.



---

Auteur : **NOUVELLON Yann**

Titre : **Etude de la végétation naturelle de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso à partir des données SPOT**

---

Région : **Montpellier, FRANCE**

Institution : **CIRAD-CA, TELEDETECTION**

Encadrants : **M.GANRY  
M. LAINE**

Mots clés : **Télédétection, SPOT, Végétation naturelle, analyse visuelle, traitement numérique dirigé**

### **ABSTRACT**

In Burkina Faso, intensive use and exploitation of natural resources has led to serious degradations of natural vegetation and soils.

Remote sensing with global and repetitive views of landscape provides useful informations on the state of the environment and its evolution, wich guide the planification of development projects.

Our present study aims to evaluate the potential of SPOT images, to identify then to map the various vegetation's types in the cottonbelt area of the Ouest of Burkina Faso.

Visual and radiometric analysis of satellite images obtained in february, june and september revealed that studied objects were not well distinguished on satellite images of february and june; on the contrary, september image was very useful for the identification and mapping of the various vegetation's types.

## **RESUME**

Au Burkina Faso, diverses pressions entraînent une dégradation importante des milieux naturels et du patrimoine foncier.

La télédétection, qui permet d'avoir une vue globale et répétitive, peut fournir des informations intéressantes pour suivre l'état de l'environnement, comprendre et analyser les mécanismes des divers changements et orienter les décideurs dans leurs actions de développement, de gestion et de planification.

Notre objectif a été d'étudier les potentialités des images SPOT prises à différentes périodes pour l'identification et la cartographie de la végétation naturelle de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso.

Les types de végétation à délimiter ont été définis selon les classifications de Yagambi et de l'UNESCO. Puis des segments aériens photo-interprétés ont servi de base pour l'analyse visuelle et numérique d'images SPOT prises en février, juin et septembre. Ces analyses ont permis d'identifier les thèmes distinguables pour chaque date et de mettre en évidence les sources de confusion entre thèmes. Elles ont montré que les images de février et juin présentaient peu d'intérêt. En revanche, l'image de septembre s'avère intéressante pour la discrimination des différents thèmes et leur cartographie. De meilleurs résultats sont encore obtenus en combinant les images de septembre de deux années consécutives. La classification dirigée effectuée à partir de cette combinaison montre que la végétation naturelle de cette région est principalement constituée de savanes arbustives ou arborées. Les savanes boisées sont également bien représentées et le taux d'occupation par les sols nus est loin d'être négligeable.

# INTRODUCTION

Le patrimoine foncier et sylvicole du Burkina Faso, à l'instar des autres pays sahéliens, subit depuis plusieurs décennies une dégradation sévère et continue (Ouadba , 1990).

La strate arborée est soumise à une pression croissante liée à la demande en bois de feu, à l'extension des surfaces cultivées, au surpâturage et aux brûlis (Defourny, 1990). Cette dégradation des formations ligneuses se traduit en terme de dégradation des sols, d'accélération du cycle de l'eau, et de modifications sensibles des microclimats. Au niveau agricole, cette évolution correspond à une détérioration des conditions de production.

Face à cette situation, il est nécessaire d'acquérir de nombreuses données permettant de comprendre et de suivre l'évolution des couverts végétaux, et d'élaborer des politiques de gestion adaptées.

Cependant, les méthodes conventionnelles de collecte et de traitement des données , de suivi de la végétation, ne sont pas à la mesure de l'échelle spatiale du phénomène de dégradation, et leur temps de réponse est peu compatible avec la vitesse d'évolution (Devineau, 1986; Defourny, 1989).

Vis à vis d'un tel problème, l'utilisation des données de la télédétection peut s'avérer d'un grand secours en raison de leur finesse, de leur répétitivité, et de leur caractère synoptique.

C'est ainsi qu'au Burkina Faso, les outils de télédétection prennent une importance croissante dans les activités de certains services de recherche et de développement.

Notre objectif a été d'évaluer et de comparer les potentialités des données satellitaires SPOT enregistrées à trois périodes différentes de l'année, pour la connaissance et la cartographie de la végétation naturelle de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso.

Plusieurs méthodes d'analyse et de traitement des données ont été expérimentées sur chacune de ces dates, ou combinaisons de dates.

Ces études ont porté sur l'analyse visuelle et sur l'analyse numérique des données.

Ces recherches nous ont permis de proposer des procédures de traitement dirigé (choix de l'algorithme de traitement, des canaux et néocanaux) permettant de produire une cartographie des thèmes étudiés.

Le document final obtenu est une image classée, représentant l'occupation des sols par le couvert végétal et les zones dénudées. Cette image pourra servir de référence pour des études ultérieures de suivi du couvert végétal.

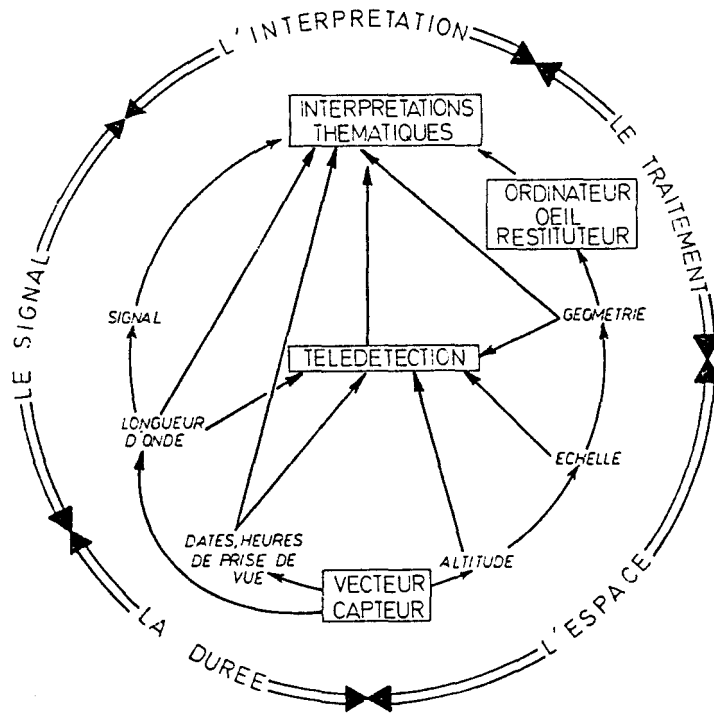


Figure 1 : Schéma général de la télédétection (d'après Girard et Girard, 1989)

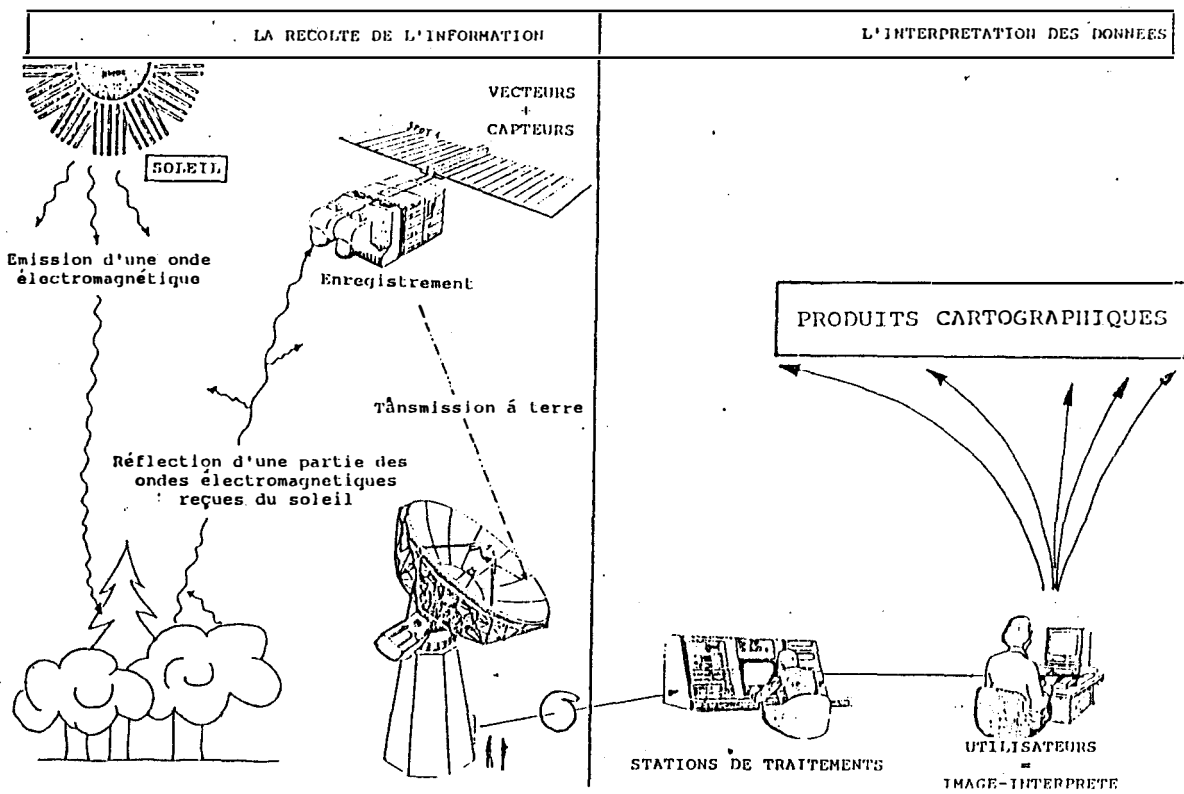


Figure 2 : La chaîne de la télédétection (d'après Léo et Dizier, 1988)

# CHAPITRE I : RAPPELS SUR LES PRINCIPES DE TELEDETECTION ET SUR LE SATELLITE SPOT

## 1 - DEFINITION

La télédétection est définie (J.O du 11 déc. 1980) comme << l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci >> (Girard et Girard ,1989).

Dans le cadre de cette étude, nous limiterons cette définition à l'ensemble des connaissances et techniques nécessaires pour interpréter divers objets par leurs comportements spectraux et leurs distributions spatiales à l'aide de mesures de caractéristiques spécifiques effectuées à distance (cf figure 1).

Ces techniques permettent donc de fournir des informations sur la surface de la terre à partir des signaux électromagnétiques issus de l'objet ou de l'ensemble d'objets étudiés.

Les données qui sont enregistrées dans une ou plusieurs bandes de longueur d'onde subissent ensuite divers traitements, afin de permettre une interprétation: c'est la chaîne de la télédétection.

## 2 - LA CHAINE DE LA TELEDETECTION (cf figure 2 )

Les opérations effectuées depuis l'acquisition de l'information jusqu'à son interprétation constituent les maillons de cette chaîne.

Les trois grandes étapes que nous avons distinguées (collecte de l'information, traitements et interprétations) font appel à différents moyens et concernent divers objets présentés dans le tableau 1.

### 2.1 - Collecte de l'information

Les systèmes de collecte de l'information comprennent des vecteurs (cf définition sur annexe 2 ) qui supportent les capteurs (cf annexe 2 ). Ils peuvent être associés à des émetteurs dans le cas des systèmes actifs de télédétection (ex: les radars).

#### 2.1.1 - Rayonnements électromagnétiques mesurés:

Les différents domaines du spectre électromagnétique utilisés en télédétection, les longueurs d'onde qui les délimitent et les divers types de récepteurs utilisés sont indiqués sur le tableau 2.

Le soleil ayant un maximum d'émission à 480 nm, il en résulte que dans le visible et le Proche Infra-Rouge (PIR), il constitue la principale source de rayonnement électromagnétique, et les récepteurs de télédétection enregistrent l'énergie solaire réfléchi par les objets de la surface terrestre (dans l'IR thermique, c'est la terre qui constitue la principale source de rayonnement).

Dans le cas de notre étude, les enregistrements sont effectués dans les domaines du visible et du PIR, et ces mesures correspondent donc à de l'énergie solaire réfléchi.

Entre l'objet et le récepteur, la présence d'atmosphère peut avoir une influence plus ou moins

**Tableau 1 : Les moyens et les objets de la télédétection (d'après Girard et Girard, 1989)**

	Moyen	Objet
— <i>Appareils</i>	Capteurs Vecteur	Longueur d'onde Altitude Echelle Date de prise de vues
— <i>Traitements</i> du signal des données	Œil Restituteur Ordinateur	Approche systémique et globaliste Géométrie Information élaborée
— <i>Thèmes</i> Interprétation		<ul style="list-style-type: none"> <li>. Connaissance de l'objet</li> <li>. Distribution dans l'espace</li> <li>. Comportement dans le temps</li> </ul>

**Tableau 2 : Le spectre électromagnétique (d'après Girard et Girard, 1989)**

Domaines spectraux	Longueurs d'onde	Appareils de télédétection
	290 nm (*)	
<i>Ultra violet</i>	400 nm	Scanneur ultra violet
<i>Visible</i>	700 nm	Photographies noir et blanc, couleur Infra-rouge noir et blanc } couleur Photographies multispectrales Scanneurs multispectraux
<i>Infra-rouge</i>	900 nm	Scanneur infra-rouge et Thermographie infra-rouge
	1 100 nm	
	Moyen réflectif {	
	1 500 nm	
	2 400 nm	
Moyen {	3 000 nm	
5 500 nm		
Thermique {	8 000 nm	
14 000 nm		
<i>Micro-ondes</i> ou hyper-frequences	K {	Radar S.L.A.R. Scanneur H.F. Radiomètre H.F.
	X {	
	C {	
	S {	
	L {	
	UHF {	
	P {	
0,75 cm		
2,4 cm		
3,75 cm		
7,5 cm		
15 cm		
30 cm		
100 cm		
136 cm		

(\*) L'unité internationale des longueurs d'onde est le mètre. Il est recommandé d'employer ses sous-multiples : mm = 10<sup>-3</sup> m, µm ou µ = 10<sup>-6</sup> m, nm = 10<sup>-9</sup> m.

grande sur le rayonnement électromagnétique qui sera enregistré (phénomènes de réfraction, absorption, diffusion, émission propre).

### 2.1.2 - Les vecteurs:

Ils peuvent être des mâts télescopiques, des ballons, ULM, avions, navettes spatiales, satellites.

Parmi les satellites, on distingue généralement (Naert, 1987) :

- les satellites géostationnaires qui tournent au même rythme que la terre sur une orbite haute (36 000 Km env.). Ils restent fixes par rapport à un point du sol qu'ils observent en permanence. Ils couvrent un champ étendu avec des prises de vues fréquentes et sont utilisés en météorologie et télécommunication.

- les satellites à défilement qui sont situés sur une orbite beaucoup plus basse (600 à 900 Km env.). Ils sont le plus souvent héliosynchrones : ils passent régulièrement à la verticale de chaque point à la même heure locale (même incidence solaire). Dans ce cas, la périodicité des passages varie légèrement selon les satellites; elle est de l'ordre d'une vingtaine de jours seulement. Le pixel (Cf définition sur l'annexe 2) est inférieur à 100 m.

### 2.1.3 - Les capteurs :

Il existe deux grands types de capteurs (Leo et Dizier, 1988): les capteurs photochimiques (films photographiques) et les capteurs électroniques.

- Les caméras exploitent l'émulsion photographique par une saisie instantanée de la totalité du champ couvert. L'expérience technique plus que centenaire de la photographie permet d'accéder à des matériels hautement performants sur le plan du pouvoir de résolution, mais toujours limités dans le domaine des longueurs d'onde du visible au très proche IR et soumis aux défauts d'optique.

- Les autres capteurs sont des radiomètres (capteurs électroniques). Ils permettent d'explorer un domaine de longueurs d'onde beaucoup plus étendu que les capteurs photochimiques et de saisir simultanément un nombre de canaux plus grand. Ce sont des systèmes à balayage (ex: Landsat MSS, Landsat TM), ou des systèmes à détecteurs en peigne (cf définition sur l'annexe 2) comme l'appareil "Haute Résolution Visible" (HRV) du satellite Français SPOT.

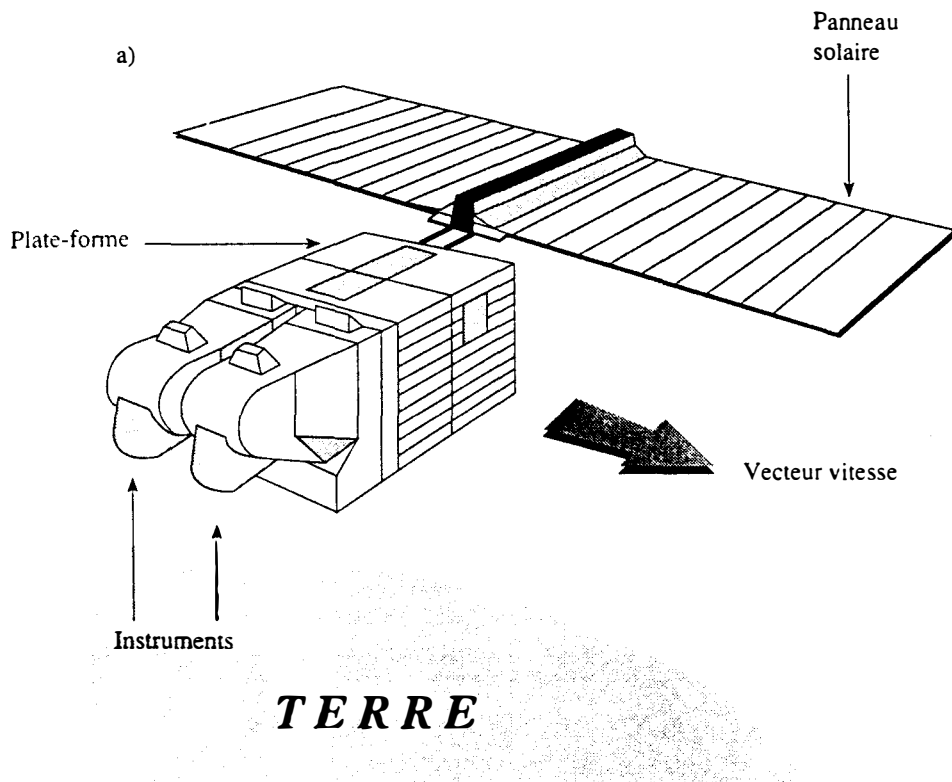
Le système à détecteurs en peigne ne présente pas de miroir oscillant, comme dans le cas des systèmes à balayage, mais une barrette de détecteurs perpendiculaire à la ligne d'avancement du satellite, qui analyse la scène observée. A un moment donné, chaque détecteur de la barrette "voit" une surface élémentaire sur la ligne analysée à l'instant t : les flux lumineux incidents provenant de ces surfaces élémentaires sont mesurés par les détecteurs dans leurs divers domaines spectraux.

Les signaux provenant des différents détecteurs sont soit transmis directement au sol (stations de réception satellitaires), soit stockés sur bandes magnétiques pour être ultérieurement transmis, traités et analysés.

Le tableau 3 permet de comparer quelques caractéristiques des récepteurs des satellites SPOT et Landsat.

**Tableau 3 : Comparaison de différents systèmes d'acquisition des données satellitaires (d'après Girard et Girard, 1989)**

	LANDSAT		SPOT
	MSS	TM	
Bandes Spectrales	4 500- 600 nm 5 600- 700 nm 6 700- 800 nm 7 800-1 100 nm	1 450-520 nm 2 530-610 nm 3 620-690 nm 4 780-910 nm  5 1.57-1.78 $\mu$ m 7 2.10-2.35 $\mu$ m 6 10.4-12.6 $\mu$ m	1 500-590 nm 2 615-680 nm 3 790-890 nm  P 510-730 nm
Résolution géométrique	56 m $\times$ 79 m	30 m $\times$ 30 m 120 m $\times$ 120 m (6)	20 m $\times$ 20 m 10 m $\times$ 10 m (P)
Champ de vision utile	180 km $\times$ 180 km	180 km $\times$ 180 km	60 km $\times$ 60 km



**Figure 3 : Schéma du satellite SPOT (d'après Bonn et Rochon, 1992)**



### **2.1.4 - Le satellite SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre)**

Il nous a semblé important de donner quelques précisions sur ce satellite et ses capteurs, puisque les images utilisées dans notre étude sont des images SPOT.

La figure 3 représente le satellite SPOT. Il est équipé de deux capteurs identiques HRV1 et HRV2, de deux enregistreurs des données sur bande magnétique permettant deux enregistrements de 23 minutes chacun, et d'un système de transmission vers la terre.

Les capteurs ont un champ de  $4,13^\circ$  et possèdent deux modes de fonctionnement (cf figure 4) : le mode panchromatique (noir et blanc (P)) et le mode multibande - couleur (XS).

Dans le cas du mode panchromatique, la bande spectrale est comprise entre  $0,51$  et  $0,73 \mu\text{m}$  et la résolution (taille d'un pixel) est de  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ . En visée verticale ( $60 \text{ Km} * 60 \text{ Km}$ ), il y a donc 6000 pixels par ligne.

Les 3 bandes du mode XS sont XS1 ( $0,50 - 0,59 \mu\text{m}$ : jaune-vert), XS2 ( $0,615 - 0,68 \mu\text{m}$ : rouge), et XS3 ( $0,79 - 0,89 \mu\text{m}$ : PIR). Pour ce mode, la résolution est de  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ . En visée verticale ( $60 \text{ Km} * 60 \text{ Km}$ ), il y a donc 3000 pixels par ligne.

Les détecteurs sont regroupés au sein de 4 barrettes pour le mode panchromatique, et de 3 fois 4 barrettes pour le mode XS. Ces 16 barrettes permettent d'analyser d'un seul coup la totalité d'une ligne du paysage perpendiculaire à la trace du satellite.

Les miroirs placés à l'entrée des capteurs sont orientables par télécommande (de plus ou moins  $27^\circ$ ), ce qui permet d'obtenir des images en visée oblique (Cf figure 5). Lorsque ces angles de visée sont de  $-1,8^\circ$  et de  $+1,8^\circ$  (cf figure 6), on observe alors à la verticale du satellite une bande de  $117 \text{ Km}$  de largeur (recouvrement de  $3 \text{ Km}$ ). Quant aux images latérales, elles peuvent être obtenues dans une région située dans un couloir de  $850 \text{ Km}$  autour de la trace du satellite. Pour un angle de  $27^\circ$ , la largeur de l'image n'est plus de  $60 \text{ Km}$ , mais de  $80 \text{ km}$ .

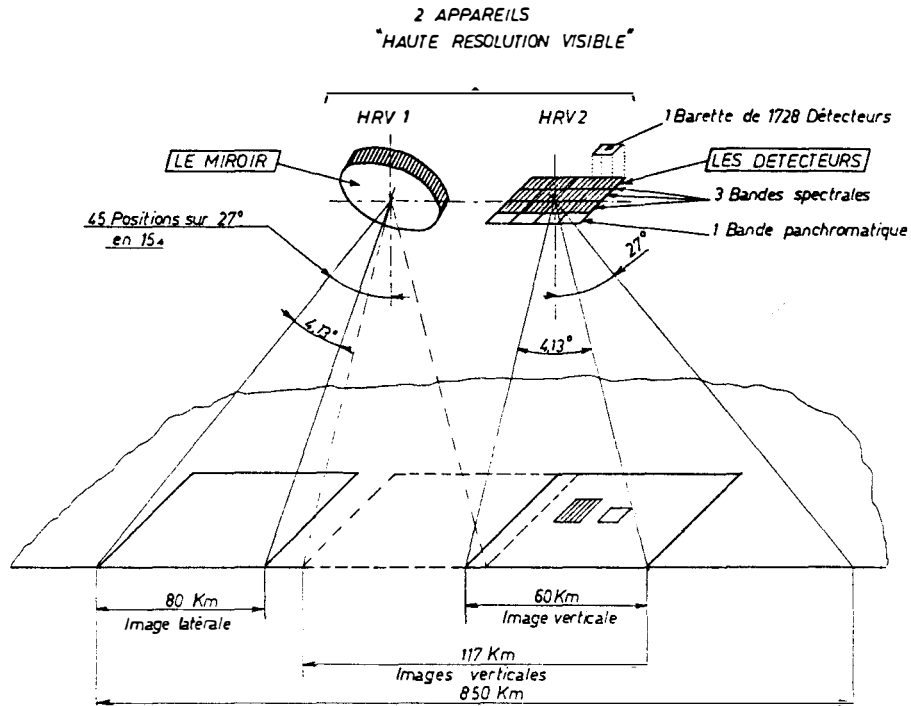
L'altitude du satellite à l'équateur est de  $818 \text{ Km}$ . Son orbite est héliosynchrone, c'est à dire que pour une même latitude, le satellite passe à la même heure locale. Son cycle est de 26 jours: il repasse sur la même trace tous les 26 jours, après avoir effectué 369 orbites. Mais heureusement, entre deux passages sur la même région, il est possible d'obtenir des images grâce aux visées latérales, qui améliorent ainsi la répétitivité (4 à 5 jours en moyenne à la latitude du Burkina Faso).

Enfin, notons que la programmation du satellite (angles de visée, mode de fonctionnement (P ou XS), instants de prise de vues) est réalisée à Toulouse en fonction des demandes et que la réception des données est assurée par Toulouse et par diverses autres stations réparties sur l'ensemble du globe.

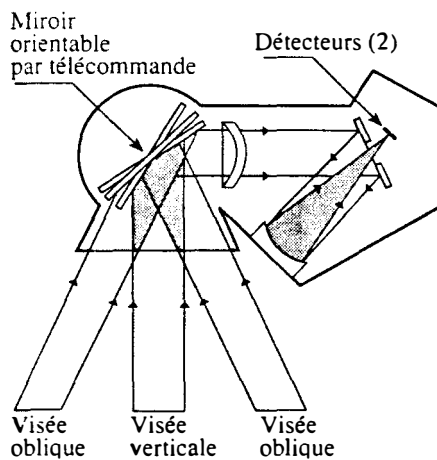
## **2.2 - Traitement de l'information**

### **2.2.1 - Prétraitement des données:**

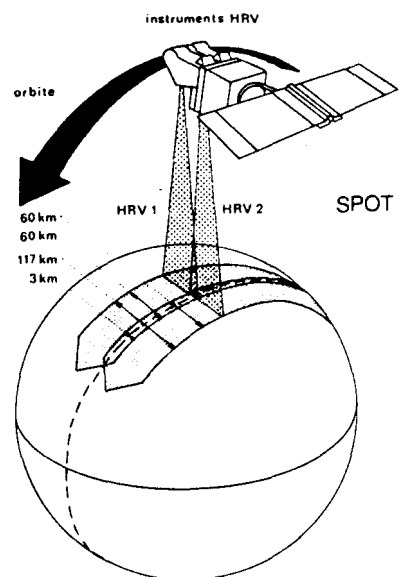
Les stations de réceptions assurent généralement la fabrication des images, et leurs prétraitements, qui consistent à en améliorer la présentation, et en faciliter leur usage. Différents produits sont alors fabriqués (cf figure 7).



**Figure 4 : Caractéristique des capteurs HRV de SPOT (d'après Girard et Girard, 1989)**



**Figure 5 : Coupe schématique dans un instrument du satellite SPOT (d'après Bonn et Rochon, 1992)**



**Figure 6 : Trace du satellite SPOT (d'après Léo et Dizier, 1988)**

L'image satellitaire est une image numérique, constituée d'une série de points ordonnés formant une matrice. Chaque point ou pixel est défini par ses coordonnées en ligne (Y) et en colonne (X), et il est caractérisé par des valeurs numériques indiquant sa réponse dans les différentes bandes spectrales.

Ainsi, contrairement aux photographies aériennes, l'image satellitaire est doublement échantillonnée, du fait de ce découpage de la zone en surfaces élémentaires, et du codage sur 8 bits du signal analogique enregistré par les détecteurs, à l'aide d'entiers compris entre 0 et 255 ( $2^8 = 256$  niveaux de luminance théoriques).

L'image étant numérique, son analyse peut être faite par traitement mathématique sur ordinateur. Les premiers traitements numériques effectués correspondent aux opérations de prétraitement qui permettent de rectifier les images sur le plan géométrique et radiométrique (filtrage, égalisation, dynamique...), d'optimiser la dynamique de l'enregistrement par rapport à celle d'un film, pour recréer une image "photographique" bien contrastée, d'ordonner les informations sur des bandes compatibles avec les ordinateurs (bandes CCT: "Computer Compatible Tape").

Les produits "photographiques", dont le but est une interprétation visuelle peuvent être obtenus à des échelles variant du 1/50 000 au 1/200 000°. Ce sont des compositions colorées (cf définition sur l'annexe 2 ) qui sont réalisées à partir des 3 canaux bruts. Dans notre étude, nous avons utilisé de tels documents pour l'analyse visuelle.

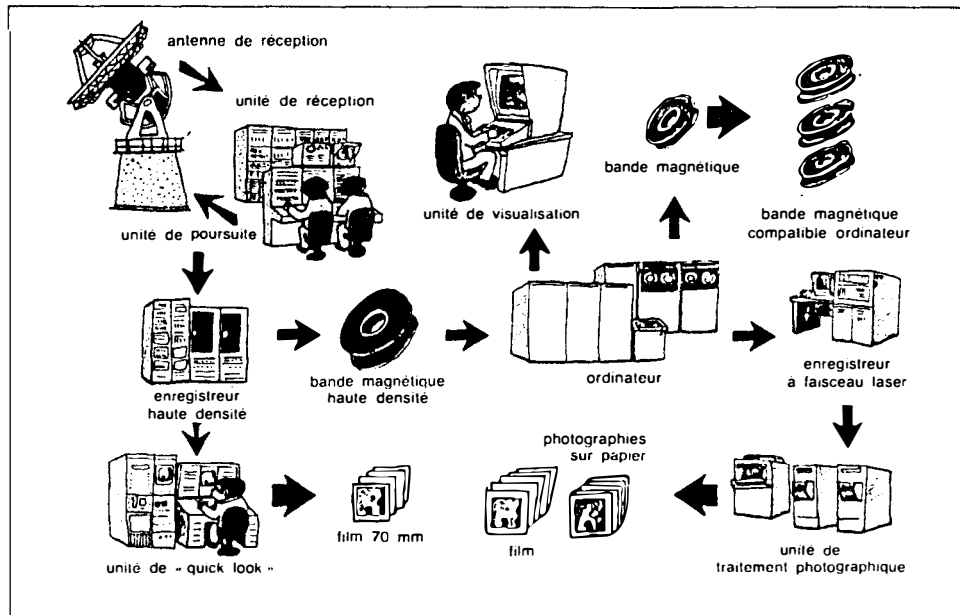
Nous avons également utilisé des bandes CCT qui permettent de procéder au traitement numérique des données à l'aide de logiciels spécialisés. Elles permettent également de réaliser sur écran des compositions colorées de son choix et de les restituer sur imprimante à différentes échelles.

### **2.2.2 - Traitements dirigés et non dirigés**

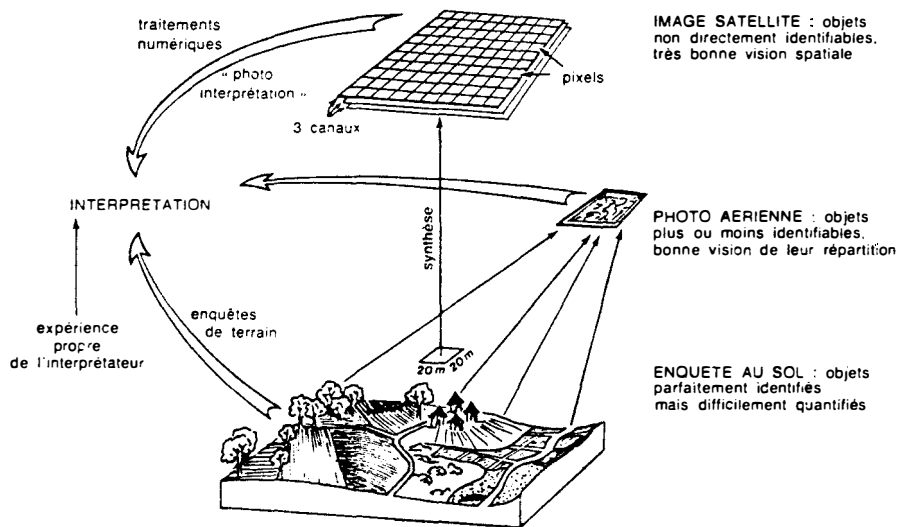
Dans la suite de ce rapport, nous reviendrons à ces traitements qui font suite aux prétraitements, et auxquels nous avons eu recours pendant notre étude.

- Le traitement non dirigé consiste à utiliser le calcul informatique pour classer les données selon une logique automatisable: seuillage en équidensités, en équipopulations, classification hiérarchique ascendante, etc... Dans ce cas, le rôle de l'utilisateur se borne à définir au préalable le nombre de classes qu'il juge utile. Une fois le résultat obtenu, il en évalue l'intérêt "à posteriori", et éventuellement remet en cause et sélectionne ou regroupe certaines classes en fonction de critères "de terrain".

- Le traitement dirigé exploite avant tout les connaissances préalables de l'utilisateur qui est en mesure de définir sur place des "secteurs d'apprentissage" représentatifs du paramètre qui l'intéresse. L'ordinateur sert à rechercher les pixels ayant une "signature" spectrale, temporelle et/ou spatiale comparable à celle des "secteurs d'apprentissage" fournis. Dans ce cas, le rôle de l'utilisateur consiste à vérifier la validité des résultats obtenus et à remettre éventuellement en cause la représentativité des données traitées .



**Figure 7 : Schéma d'une station de réception-rectification-distribution des images et présentation des divers produits obtenus (d'après Léo et Dizier, 1988)**



**Figure 8 : Les approches complémentaires utiles pour une bonne interprétation (d'après Léo et Dizier, 1988)**

### **2.2.3 - L'interprétation:**

La préparation de compositions colorées qui pourront être analysées visuellement, ou les divers traitements numériques ont pour but l'interprétation de l'image.

Celle-ci a pour principal objectif d'obtenir une carte: "ensemble de limites définies en extension et représentant des ensembles organisés d'objets qui sont caractérisés par un ensemble de contenus définis en compréhension" (Girard et Girard, 1989).

Comme nous l'avons suggéré précédemment, différentes approches sont nécessaires pour aboutir à une bonne interprétation (cf figure 8 ). Nous ne soulignerons jamais assez l'importance d'une bonne connaissance du terrain.

L'interprétation peut concerner des thèmes très différents. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à la végétation naturelle et aux sols nus de la scène étudiée. C'est pourquoi il nous a semblé important de rappeler quelques notions concernant les signatures spectrales de la végétation et des sols.

## **3 - COMPORTEMENTS SPECTRAUX DES VÉGÉTAUX ET DES SOLS**

Pour les différentes longueurs d'onde d'enregistrement, sols et végétaux présentent des propriétés optiques qui constituent, à une époque donnée, la réponse ou "signature" spectrale qui leur est caractéristique. La figure 9 donne quelques exemples de signatures spectrales.

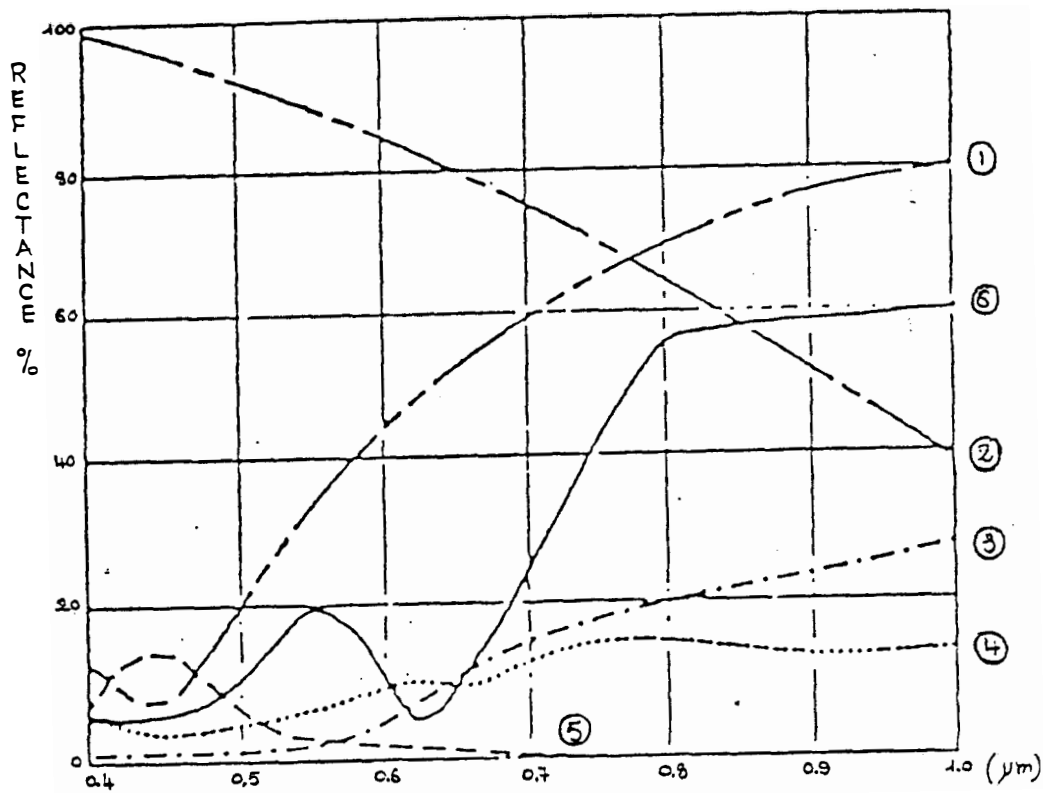
Dans cette partie, nous ne nous intéresserons qu'aux comportements des végétaux et des sols dans le visible et le PIR puisque les enregistrements SPOT sont réalisés à l'intérieur de ces domaines.

### **3.1 - Comportement spectral des végétaux dans le visible et le proche infra-rouge:**

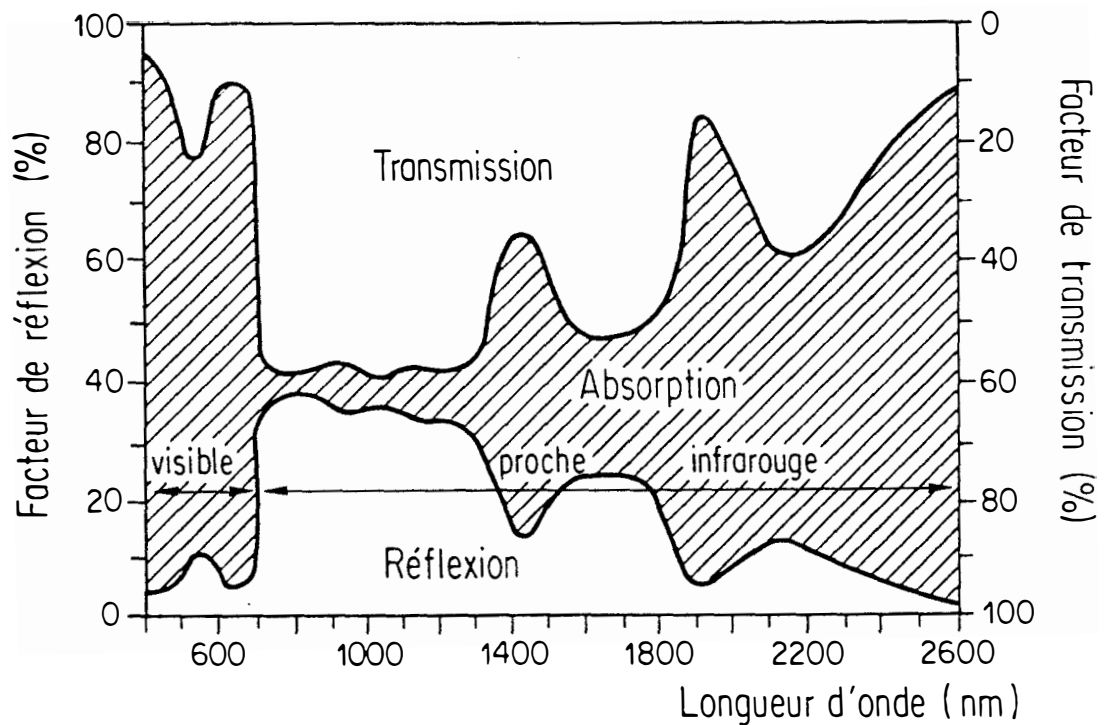
Le comportement spectral des végétaux varie suivant les espèces, suivant que l'on a à faire à un peuplement monospécifique ou plurispécifique, suivant l'état physiologique des plantes,... Mais on constate que si les valeurs de réflectance varient beaucoup, l'allure générale des courbes de réflectance est par contre assez constante (cf courbe 6 de la figure 9 ).

#### **3.1.1 - Dans le visible, de 380 à 700 nm:**

La réflectance ainsi que la transmittance des feuilles dans ce domaine sont très faibles à cause de la forte absorbance due aux pigments foliaires (notamment la chlorophylle, le carotène, la xanthophylle et les anthocyanes). La réflectance est particulièrement faible de 380 à 500 nm et de 600 à 700 nm du fait de l'absorption importante de la chlorophylle dans le bleu et le rouge. Entre ces valeurs, elle présente un maximum relatif dans le jaune-vert à 550 nm (d'où la couleur verte des végétaux).



**Figure 9 : Quelques signatures caractéristiques : 1 = calcaire; 2 = neige; 3 = cuirasse; 4 = sols nus; 5 = eau; 6 = végétation (d'après Guyot, 1989)**



**Figure 10 : Propriétés optiques d'une feuille verte : aspect type de variation fonction de la longueur d'onde, des facteurs de transmission, réflexion et absorption (d'après Methy, 1987)**

### **3.1.2 - Dans le PIR, de 750 à 1300 nm:**

Dans ce domaine, les pigments foliaires, ainsi que la cellulose des parois cellulaires sont transparentes, ce qui réduit la quantité de rayonnements absorbés par la feuille (<10%). Le rayonnement reçu est alors surtout réfléchi (la réflectance passe brutalement à près de 50%) ou transmis (cf figure 10).

Dans cette portion du spectre, c'est surtout la structure interne du feuillage qui est principalement responsable des différentes valeurs de réflectance.

Cuticule et présence d'un parenchyme lacuneux développé favoriseront une réflexion importante dans le PIR. La réflectance dans le PIR est alors perturbée lorsque les feuilles d'un végétal se dessèchent (maturation, vieillissement) et que le parenchyme lacuneux perd ainsi sa structure.

### **3.2 - Comportement spectral des sols dans le visible et le PIR:**

La courbe de réflectance d'un sol nu présente la particularité d'être régulièrement croissante et convexe depuis le visible (400 nm) jusqu'au PIR (1300 nm).

# CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

## 1 - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE:

La zone d'étude s'inscrit dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Elle correspond à la scène SPOT K50 J326, dont les coordonnées géographiques du centre théorique sont 12°01' Nord et 3°18' ouest, et qui est située au Nord-Est de Bobo-Dioulasso (cf figure 11).

Cette scène (60 km X 60 Km) est centrée approximativement sur le triangle Safané-Pompoi-Kona, et a été retenue pour différentes raisons:

- d'une part parce que de très nombreuses données de terrain (survolés aériens, relevés au sol) étaient disponibles,
- d'autre part parce que nous disposions des limites précises du domaine cultivé suite à une étude récente de Lainé et Paré (1994).

## 2 - LE MILIEU PHYSIQUE:

### 2.1 - Le climat:

La zone d'étude appartient au domaine Nord Soudanien. La pluviométrie moyenne des dix dernières années est d'environ 800 mm (cf figure 12). Ces précipitations ont lieu pendant la saison des pluies qui débute vers la mi-mai, s'achève vers la mi-octobre, et dure en moyenne 160 jours (cf figure 13).

### 2.2 - Sols et sous-sols:

Du point de vue géologique (cf figure 14), la zone étudiée est caractérisée par trois ensembles structuraux auxquels correspondent trois types de modelés bien distincts :

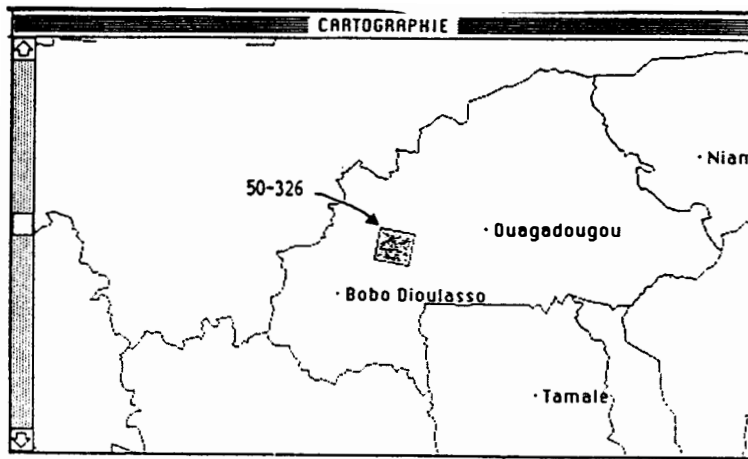
- le socle granito-gneissique caractérisé par un modelé d'aplanissement faiblement ondulé,
- les formations sédimentaires du précambrien supérieur qui reposent en discordance sur le socle cristallin et correspondent à un vaste plateau où subsistent quelques reliefs résiduels (buttes et collines de grès),
- l'ensemble birimien comprenant des formations volcaniques (roches vertes façonnées en collines à versants raides) et sédimentaires (schistes).

La région a été recouverte d'un niveau cuirassé. Il en reste des témoins (buttes et glacis) particulièrement nombreux dans la région birimienne et dans celle des grès.

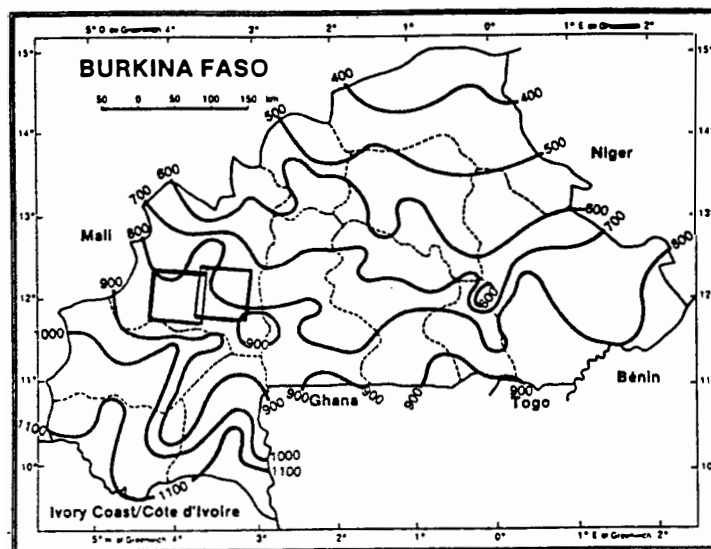
Au niveau des sols (cf figure 15 ), on rencontre:

- des lithosols et des sols peu évolués sur les reliefs gréseux,
- des lithosols avec placage de "limons gris" sur les surfaces cuirassées,
- des sols ferrugineux et des sols peu évolués sur les différents glacis,

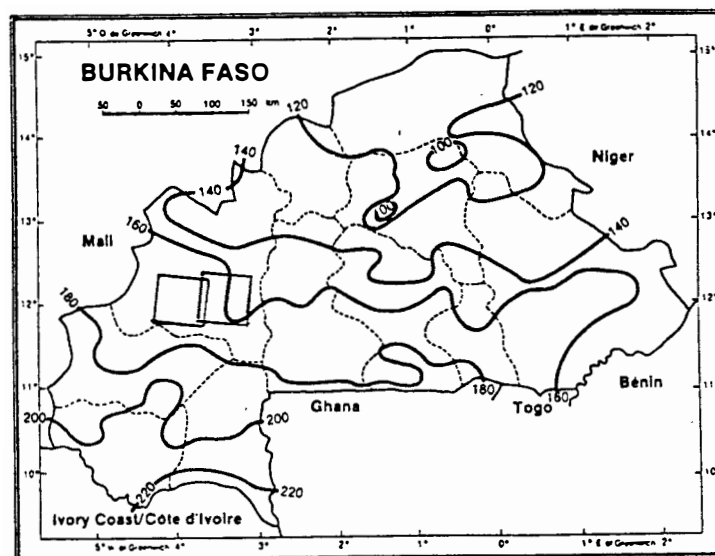




**Figure 11 : Localisation géographique de la scène SPOT K50 J326**



**Figure 12 : Pluviométrie moyenne (mm) au cours de la saison des pluies au Burkina Faso (d'après Agroclimatologie du Burkina Faso, Bull. n°23 ICRISAT 1987)**



**Figure 13 : Durée de la saison des pluies (jours) au Burkina Faso (d'après Agroclimatologie du Burkina Faso, Bull. n°23 ICRISAT 1987)**

- des sols hydromorphes dans les vallées alluviales.

Les sols cultivés non situés dans la zone alluviale sont essentiellement de type ferrugineux tropical et sont parfois gravillonnaires. Les parcelles sont souvent situées en aval des reliefs cuirassés, sur les bas glacis, avec une tendance à l'occupation croissante des bas fonds (Lainé, 1990; Berger et Sanou, 1990).

### **3 - MILIEU HUMAIN ET AGRICULTURE:**

Les deux principales ethnies présentes dans la zone étudiée (cf figure 16) sont les Bwa et les Marka (Dafing). On rencontre également des Nounouma dans la partie Nord-Est de la scène (Tcheriba).

La densité de population tend à s'accroître du fait d'un afflux de migrants originaires des zones Nord du pays.

Le taux d'occupation des sols est de l'ordre de 25 à 40% et tend lui aussi à s'accroître. Il en résulte que le recours traditionnel à de longues jachères est de plus en plus compromis, d'où certaines difficultés pour maintenir la fertilité des sols.

Dans cette zone cotonnière, les surfaces occupées par le coton sont variables suivant les sols et les ethnies. Ainsi les Nounouma pratiquent-ils peu la culture du coton comparativement aux Dafing et surtout aux Bwa.

Le sorgho est la culture vivrière principale, et le reste du domaine cultivé est partagé entre d'autres céréales (petit mil, maïs, riz de bas fond), et d'autres cultures (niébé, arachide,,...).

On distingue différents systèmes de cultures, allant des systèmes traditionnels, manuels, à des systèmes plus intensifs, mécanisés (attelés ou motorisés), avec un pourcentage de coton dans les cultures qui croît, généralement, avec l'intensification de celles-ci.

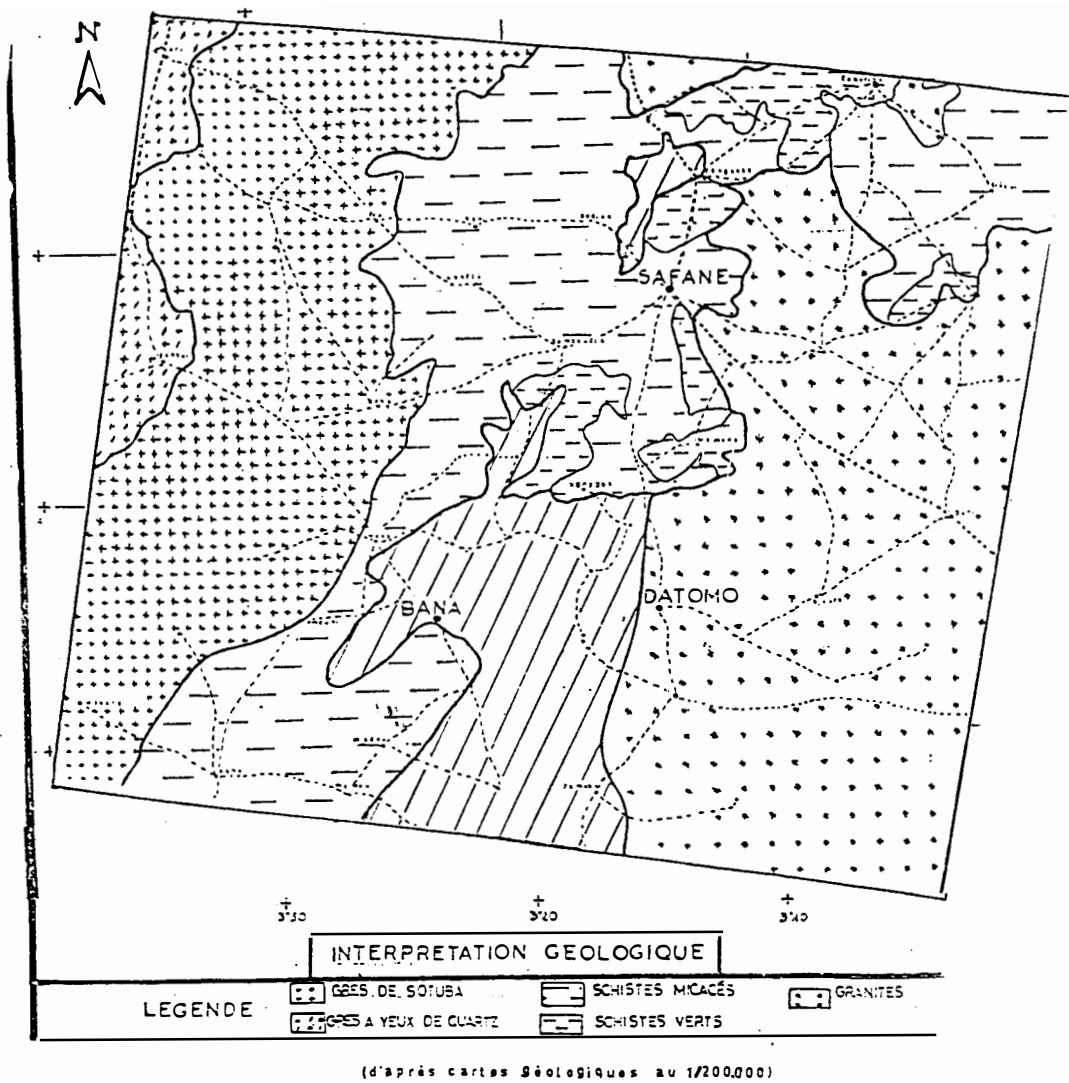
Ces différents systèmes respectent une certaine rotation entre coton et céréales : deux à trois ans de céréales pour un an de coton dans le système traditionnel, contre une rotation biennale coton-maïs dans les systèmes les plus intensifs (motorisés), qui sont peu représentés (2%).

La campagne agricole commence après les premières pluies (en mai-juin), et se termine en novembre-décembre.

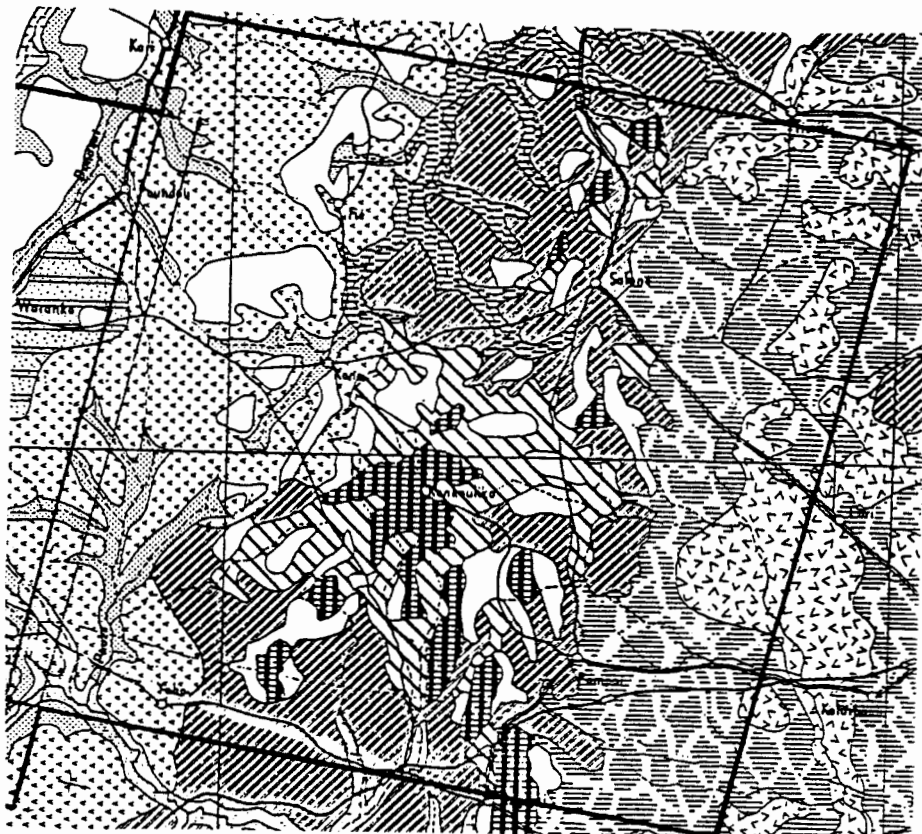
En septembre, les céréales sont en phase de sénescence et se distinguent donc, par télédétection, du coton encore en pleine activité chlorophyllienne.

Pendant la saison sèche, les parcelles de cultures sont à nu et se distinguent ainsi de la végétation naturelle. Elles sont cependant parfois mal individualisées.

Dans notre zone d'étude, l'élevage (sédentaire en association avec des Peuhls) y est assez important.



**Figure 14 : Unités géologiques de la scène SPOT (d'après Pare, 1992)**




**Figure 15 : Différents types de sols de la scène SPOT K50 J326 (légende en vis à vis; d'après carte pédologique au 1/500 000 ORSTOM)**


## LÉGENDE


### SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION LITHOSOLS


 Sur cuirasse ferrugineuse

### SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION RÉGIQUES


 Sur matériau gravillonnaire


 Association à lithosols sur cuirasse ferrugineuse

 Sur grès

 Association à lithosols sur grès

### SOLS A MULL DES PAYS TROPICAUX SOLS BRUNS EUTROPHES MODAUX


 Sur matériau caillouteux issu de roches basiques

 Association à sols bruns eutroques hydromorphes sur matériau remanié riche en éléments grossiers et à vertisols topomorphes grumosoliques modaux

**HYDROMORPHES**  
Sur matériau issu de roches basiques


 Association à vertisols topomorphes grumosoliques modaux


**VERTIQUES**  
Sur matériau argileux parfois graveleux issu de roches basiques ou neutres


 Association à lithosols sur roches basiques

### SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX PEU HUMIFÈRES A PSEUDOGLEY A TACHES ET CONCRÉTIONS

**FACIÈS STRUCTURÉ**  
 Sur matériau alluvionnaire de texture variable souvent argileuse

**FACIÈS MODAL**  
 Sur matériau limono-argileux à argileux


 Association à sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire

 Association à sols hydromorphes peu humifères à redistribution de calcaire, nodules calcaires sur alluvions argileuses


### SOLS A SESQUIOXYDES ET A MATIÈRE ORGANIQUE RAPIDEMENT MINÉRALISÉE (SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX)


**PEU LESSIVÉS**  
MODAUX  
 Sur sables éoliens


**A DRAINAGE INTERNE LIMITÉ EN PROFONDEUR**  
 Sur sables éoliens


 Association à sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire

**LESSIVÉS OU APPAUVRIS  
SANS CONCRÉTIONS**  
Sur matériau sablo-argileux à argilo-sableux issu de grès


 Association à sols ferrugineux lessivés hydromorphes sur matériau sablo-argileux à argileux


 Association à sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire et à lithosols sur cuirasse

**A TACHES ET CONCRÉTIONS**  
 Sur matériau argilo-sableux

 Association à sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire et à lithosols sur cuirasse

**HYDROMORPHES**  
Sur matériau sablo-argileux à argileux

 Association à sols ferrallitiques faiblement et moyennement désaturés

 Association à sols hydromorphes à pseudogley à taches et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux

Sur matériau limono-argileux à argileux

 Association à sols hydromorphes à pseudogley à taches et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux

**REMANIÉS  
APPAUVRIS**  
Sur matériau gravillonnaire et cuirasse ou altération de schiste:


 Association à sols ferrugineux remaniés indurés sur matériau gravillonnaire et à lithosols sur cuirasse

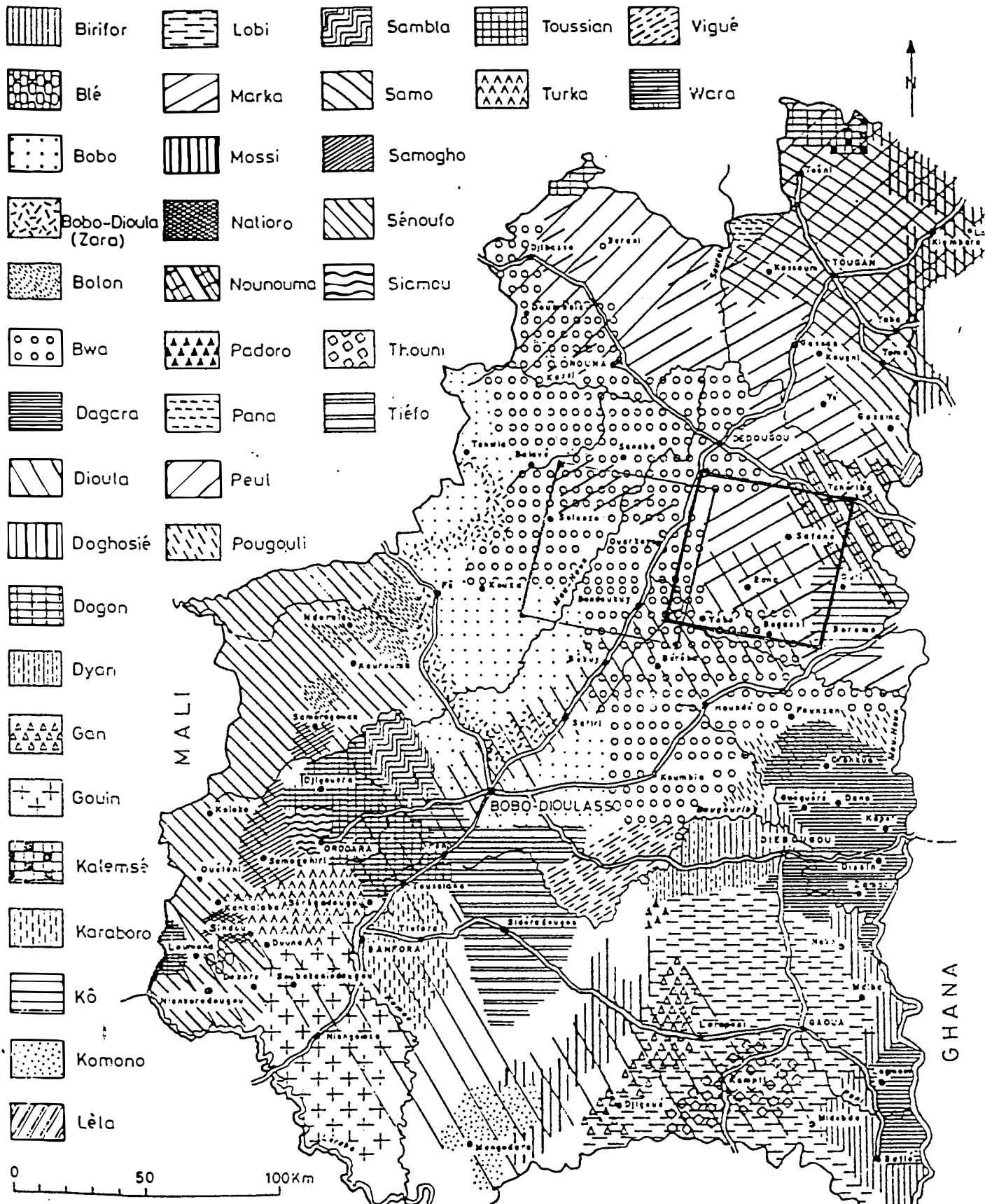
Sur matériau gravillonnaire et cuirasse ou altération kaolinitique:

 Association à sols régiques sur matériau gravillonnaire et à lithosols sur cuirasse

 Association à sols ferrugineux remaniés indurés sur matériau gravillonnaire

**INDURÉS**  
Sur matériau sableux à argilo-sableux à niveau gravillonnaire

 Association à sols ferrugineux lessivés hydromorphes sur matériau polyphasé sablo-argileux à argilo-sableux



D'après Carte ethnique établie en 1985 par la DGRST à partir de :  
 - Carte ethnique de G.LE MOAL, 1961-1962.  
 - Carte de D. PAGÈS, 1965.  
 - Enquête ASOL, 1980-1981.

**Figure 16 : Position de la scène SPOT K50 J326 (à droite) par rapport à la répartition des ethnies (d'après Schwartz 1991)**

#### 4 - LA VEGETATION NATURELLE:

En fonction de la géomorphologie et des sols, on rencontre différents faciès de végétation (Badini, 1989):

- **Sur les collines birrimiennes ou gréseuses** (cf photo 1), on rencontre la savane arbustive, caractérisée par des épineux comme Acacia seyal, Acacia macrostachya, et d'autres ligneux comme Guiera senegalensis, Terminalia sp.. La strate herbacée est dominée par des annuelles comme Loudetia togoensis, Schizachyrium exilae et Ctenium elegans.

- **Les plateaux et buttes cuirassées avec des lithosols** sont recouverts soit par la savane herbeuse (cf photo 2), soit la savane arbustive.

Des bosquets arborés occupent les **corniches** où l'implantation des grands arbres est plus aisée dans les diaclases des blocs de cuirasse. Les espèces dominantes sont alors Parkia biglobosa, Butyrospermum paradoxum pour la strate arborée, Combretum micranthum, Strychros apinosa, Gardenia erubescens pour la strate arbustive et Andropogon pseudapricus, Loudetia togoensis, Cymbopogon shoenanthus pour la strate herbacée.

- **Sur les cuirasses présentant un léger recouvrement limoneux**, on rencontre des peuplements d'herbacées annuelles telles que Loudetia togoensis, Schizachyrium exilae.

- **Les talus de raccordement et les glacis versants**, à sols ferrugineux tropicaux, sont caractérisés par la savane arborée parfois arbustive.

- **Les bas glacis et les glacis versants en bordure des cours d'eau** supportent une végétation naturelle de type savane arborée (cf photo 3) ou savane boisée (cf photo 4). Les espèces les plus fréquentes sont:

-> pour la strate arborée : Terminalia sp., Anogeissus leiocarpus, Butyrospermum parkii, Vitellaria paradoxa;

-> pour la strate arbustive: Butyrospermum parkii, Combretum sp., Dichrostachys glomerata et Ximeria americana;

-> pour la strate herbacée: Andropogon pseudapricus, Cymbopogon shoenanthus, Andropogon gayanus.

On rencontre également des champs laissés à la jachère, et des jachères plus anciennes avec des espèces épargnées comme Vitellaria paradoxa, Parkia biglobosa et des arbustes tels Combretum sp., Piliostigma reticulata.

- **Les bas fonds à sols profonds et à texture argilo-sableuse ou argilo-limoneuse** supportent souvent une savane boisée:

-> Mitragyna inermis, Terminalia macroptera, Piliostigma reticulatum sont les espèces les plus représentées de la strate arborée;

-> Mitragyna inermis, Acacia seyal, Piliostigma reticulatum, Gardenia erubescens constituent l'essentiel de la flore arbustive;

-> enfin, les espèces dominantes de la strate herbacée sont: Andropogon pseudapricus, Andropogon gayanus, Andropogon ascinodis.

- **Les bas fonds inondables à sols profonds et à texture argilo-limoneuse ou argileuse** sont généralement l'habitat de la prairie humide (cf photo 5) dont les espèces caractéristiques sont Andropogon gayanus mais surtout Andropogon tectonum et Vitiveria nigritana.





**Photo 1** : Colline birrimienne de Bana (décembre 1993). En premier plan : Pennisetum pedicellatum (graminée jaunâtre) et Schizachyrium exilae (graminée rousse)



**Photo 2** : Prise de vue à basse altitude (octobre 1992)  
Savane herbeuse sur cuirasse (en bas à droite) avec graminées présentant un aspect jaunâtre (Loudetia togoensis) et graminées rouges (Schizachyrium exilae). La bordure de la cuirasse (corniche) est occupée par des bosquets arborés.



- Des formations ripicoles apparaissent le long des voies de drainage où les sols argileux et très profonds sont toujours ou temporairement gorgés d'eau.

La forêt galerie (cf photo 6) possède une strate arborée très haute (15 à 17 m), constituée essentiellement de Mitragyna inermis, Anogeissus leiocarpus, Ficus sp., Piliostigma thoningii. Entre ces arbres se développent quelques arbustes (surtout Nauclea latifolia). Les herbacées sont les mêmes que dans la prairie humide.

## 5 - TRAVAUX MENES ANTERIEUREMENT SUR LA SCENE SPOT K50 J326

Les études menées jusqu'à présent par Lainé et coll. (laboratoire télédétection du CIRAD) sur cette scène SPOT K50 J326 ont essentiellement porté sur la délimitation du domaine cultivé, et à l'intérieur de celui-ci, sur la discrimination entre céréales et coton. Ces travaux ont permis d'aboutir à une évaluation cartographique et statistique des surfaces cultivées en coton et en céréales sur cette scène SPOT.

Ces recherches ont fait appel aussi bien à l'analyse visuelle que numérique.

L'analyse visuelle avait essentiellement pour but:

-> de définir les thèmes différenciables, afin d'aboutir à une nomenclature (préalable indispensable à toute classification);

-> de déterminer les sources de confusion (certains thèmes ont, dans certains cas, des réponses radiométriques semblables) (Lainé, 1991);

-> de déterminer la période optimale pour la délimitation du domaine cultivé, puis la discrimination coton - céréales à l'intérieur du domaine cultivé.

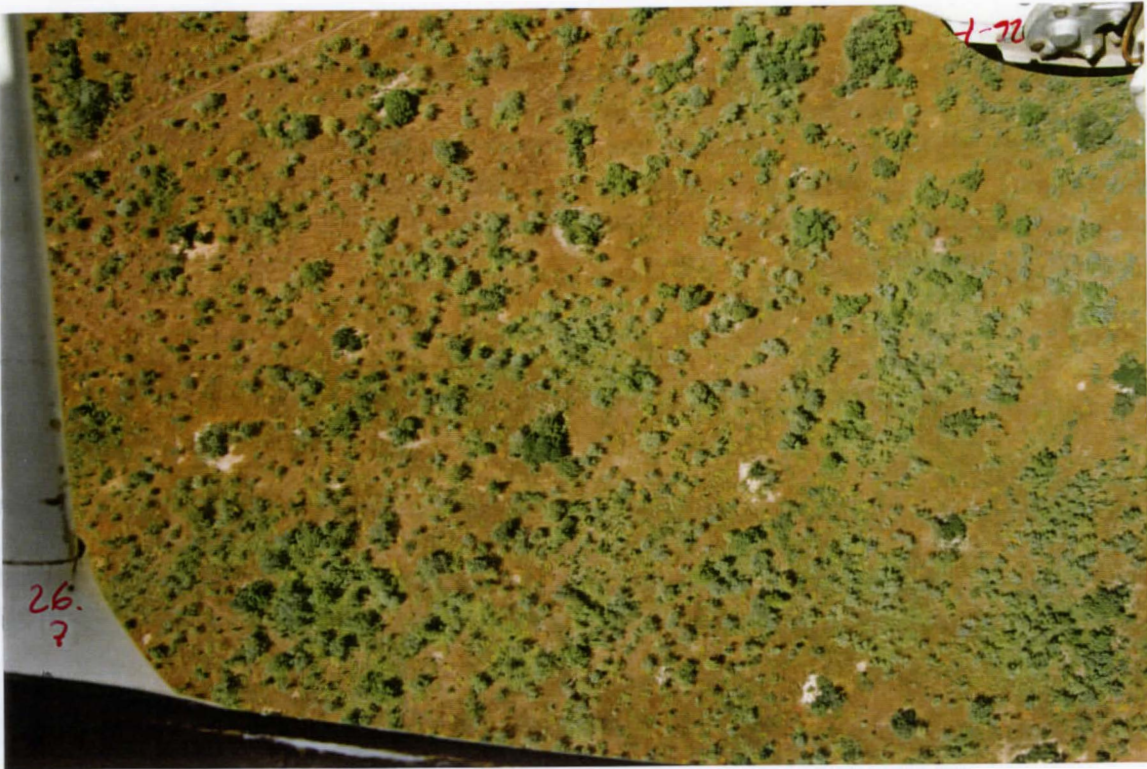
L'analyse visuelle a donc permis de préparer le travail d'analyse numérique.

La délimitation du domaine cultivé par traitement numérique ou PIAO (Photo-interprétation Assistée par Ordinateur) a été réalisée à partir d'une image multispectrale de début de campagne. A cette époque, les sols nus préparés se distinguent radiométriquement de la végétation naturelle. Cette délimitation du domaine cultivé a pu être améliorée en croisant les données XS avec les données panchromatiques, de meilleure résolution (Cances, 1991).

Une autre image XS, de fin de campagne est utilisée pour discriminer le coton des céréales. A cette période, le coton est toujours photosynthétiquement actif, contrairement aux céréales, et s'en distingue donc radiométriquement (couleur du coton sur les compositions colorées RVB: rose-rouge; céréales: cyan ou vert ou blanc).

Ces travaux réalisés antérieurement nous ont servis de fil conducteur du point de vue méthodologique. Par ailleurs, le domaine cultivé ayant déjà été cartographié, nous pouvions nous en servir comme masque, afin de ne travailler que sur le reste de l'image occupée par la végétation naturelle et les sols nus incultes.





**Photo 3** : Prise de vue aérienne à basse altitude : savane arborée sur bas glacis (octobre 1992)



**Photo 4** : Prise de vue aérienne à basse altitude (octobre 1992)  
Savane boisée sur bas glacis





## CHAPITRE III : APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA CLASSIFICATION DE LA VEGETATION NATURELLE

L'étude et la cartographie de la couverture végétale naturelle exigent au préalable que l'on définisse les types de végétation à délimiter ainsi que l'adoption de principes et concepts de classification adéquats.

Une revue sommaire des concepts et classifications de la végétation naturelle existants montre que, depuis Humboldt en 1805, de nombreux auteurs ont essayé de définir et classer les types de végétation avec des critères variés. Ces critères étaient principalement fondés:

- soit sur des caractères propres de la végétation elle-même tels que la physionomie et la flore des groupements végétaux (Béard, 1944; Aubreville, 1956);
- soit sur les caractères climatiques tels que la température et la pluviométrie (Aubreville, 1949);
- soit sur des caractères écologiques et dynamiques en montrant la relation entre la végétation et le milieu ainsi que l'action du facteur biotique (Champion et Seth, 1968).

Il apparaît que les critères de classifications sont peu nombreux et peuvent être regroupés et rattachés en quatre ordres de considérations qui sont physionomiques, écologiques, floristiques et évolutives (N'Guessan, 1990).

Par contre, on dénombre une multitude de systèmes de classification définis selon une terminologie propre à chaque auteur suivant un objectif particulier, créant ainsi une grande confusion dans la nomenclature des formations végétales.

Afin d'utiliser des systèmes de classification couramment employés et universellement reconnus et acceptés, des classifications internationales ont été définies. Pour le monde tropical, on distingue essentiellement:

- la classification de Yangambi (Trochain, 1957) fondée principalement sur des bases physionomiques mais également écologiques;
- la classification de l'UNESCO, basée sur la physionomie et la structure en liaison aux habitats ou environnements écologiques importants (UNESCO, 1973).

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes attachés à définir les types de formations végétales selon les classifications de Yangambi et de l'UNESCO.

L'action humaine est également considérée car les types de végétation sont classés en tenant compte de leur degré d'ouverture, donc en fonction de leur état de dégradation.

Afin d'éviter toute confusion dans leur interprétation, nous précisons ci-dessous la définition que nous avons retenu pour chacun des termes utilisés (cf figures 17 et 18) :

- **La forêt dense sèche** est un peuplement à strate arborée dense, fermée, décidue en saison sèche (pour la plupart des arbres). Le sous-bois arbustif est plus ou moins décliné, et le tapis graminéen discontinu (Trochain, 1957 ),

- **La forêt claire** est une forêt ouverte, présentant une strate arborescente décidue, de taille petite ou moyenne dont les cimes sont plus ou moins jointives, l'ensemble du couvert demeurant clair, mais tout de même supérieur à 40%. La strate graminéenne est plus ou moins dense,





**Photo 5 : Prise de vue aérienne à basse altitude (octobre 1992)**  
**Bas fond herbeux**



**Photo 6 : Prise de vue aérienne à basse altitude (octobre 1992)**  
**Forêt galerie**

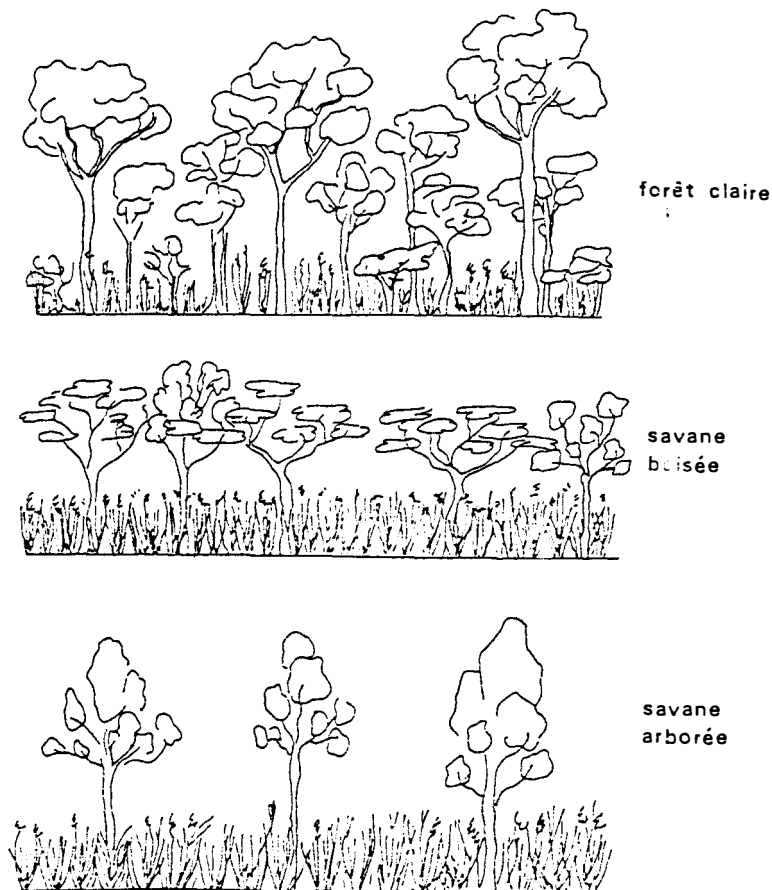
Les savanes sont des formations végétales herbeuses comportant une strate herbacée supérieure continue d'au moins 80 cm de hauteur. Les graminées, à feuilles planes, basilaires ou caulinaires, sont ordinairement brûlées annuellement. Des plantes ligneuses sont généralement présentes et permettent de définir:

- **La savane boisée** : le recouvrement par les ligneux (arbres et arbustes) est compris entre 20 et 40%;

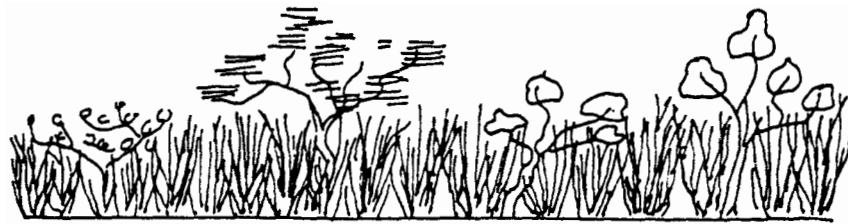
- **La savane arborée** : le recouvrement par les arbres et arbustes est compris entre 5 et 20%. Cette dissémination des ligneux est telle qu'un observateur, qui distingue nettement les arbres espacés autour de lui, croit voir à l'horizon, une lisière forestière qui recule au fur et à mesure qu'il avance. C'est une impression purement optique (Trochain, 1957);

- **La savane arbustive** : la strate ligneuse est formée uniquement d'arbustes et d'arbrisseaux disséminés dans le tapis herbeux, et son recouvrement est supérieur à 5%;

- **La savane herbeuse**, caractérisée par l'absence de strate ligneuse (ou son recouvrement est inférieur à 5%).



**Figure 17 : Profils de la forêt claire, de la savane boisée et de la savane arborée (d'après Trochain, 1957)**



savane arbustive



savane herbeuse

**Figure 18 : Profils de la savane arbustive, de la savane herbeuse  
(d'après Trochain, 1957)**

# CHAPITRE IV : MATERIEL ET METHODE

## 1 - INVENTAIRE DES DONNEES DISPONIBLES CONCERNANT LA ZONE D'ETUDE:

### 1.1 - Cartographie de base:

- > cartes topographiques IGB et géologiques BUMIGEB au 1/200 000;
- > carte des unités physiographiques IRAT au 1/100 000;
- > carte des ressources en sol ORSTOM au 1/500 000;
- > carte routière IGB au 1/100 000;

### 1.2 - Données satellitaires:

#### 1.2.1 - Bandes magnétiques :

- > XS du 08.02.92
- > XS du 06.06.92
- > XS du 13.09.92
- > XS du 26.09.93

#### 1.2.2 - Tirages papiers couleur:

- > XS du 16.09.91 : composition colorée au 1/100 000
- > XS du 08.02.92 : composition colorée au 1/100 000
- > XS du 06.06.92 : composition colorée au 1/100 000
- > XS du 13.09.92 : composition colorée au 1/100 000

### 1.3 - Photos aériennes basse altitude:

Ces prises de vue aériennes à basse altitude (PVBA), effectuées à la verticale, à une hauteur variant entre 1000 et 2000 pieds, ont été obtenues suite à deux missions aériennes, la première ayant été réalisée du 6 au 10 octobre 1992, et la deuxième du au octobre 1993.

Elles ont été réalisées dans le but de disposer de références de terrain: le taux d'échantillonnage prévu étant de 2% (1% pour l'apprentissage et 1% pour le contrôle), les enquêtes de terrain auraient dû porter sur une surface de 360 000 Ha (surface de la scène SPOT) X 2% = 7 200 Ha, ce qui n'était pas envisageable.

Pour conserver ce taux d'échantillonnage, l'équipe de Lainé a finalement opté pour une interprétation visuelle de photos aériennes de segments survolés à basse altitude. La méthodologie de tirage de ces segments est présentée en annexe 1, tandis que sur la figure 19, les bandes survolées correspondant aux prises de vue effectuées sont reportées sur la scène SPOT.

Les données mises à disposition suite à ces missions aériennes sont des tirages papiers couleur format 10X15 correspondant à 30 pellicules de 36 poses pour la mission d'octobre 1992, et 6 pellicules de 36 poses pour la mission d'octobre 1993 (chaque pellicule correspond à une bande d'environ 250 Ha).



FIGURE 5: PLAN DE SONDAGE

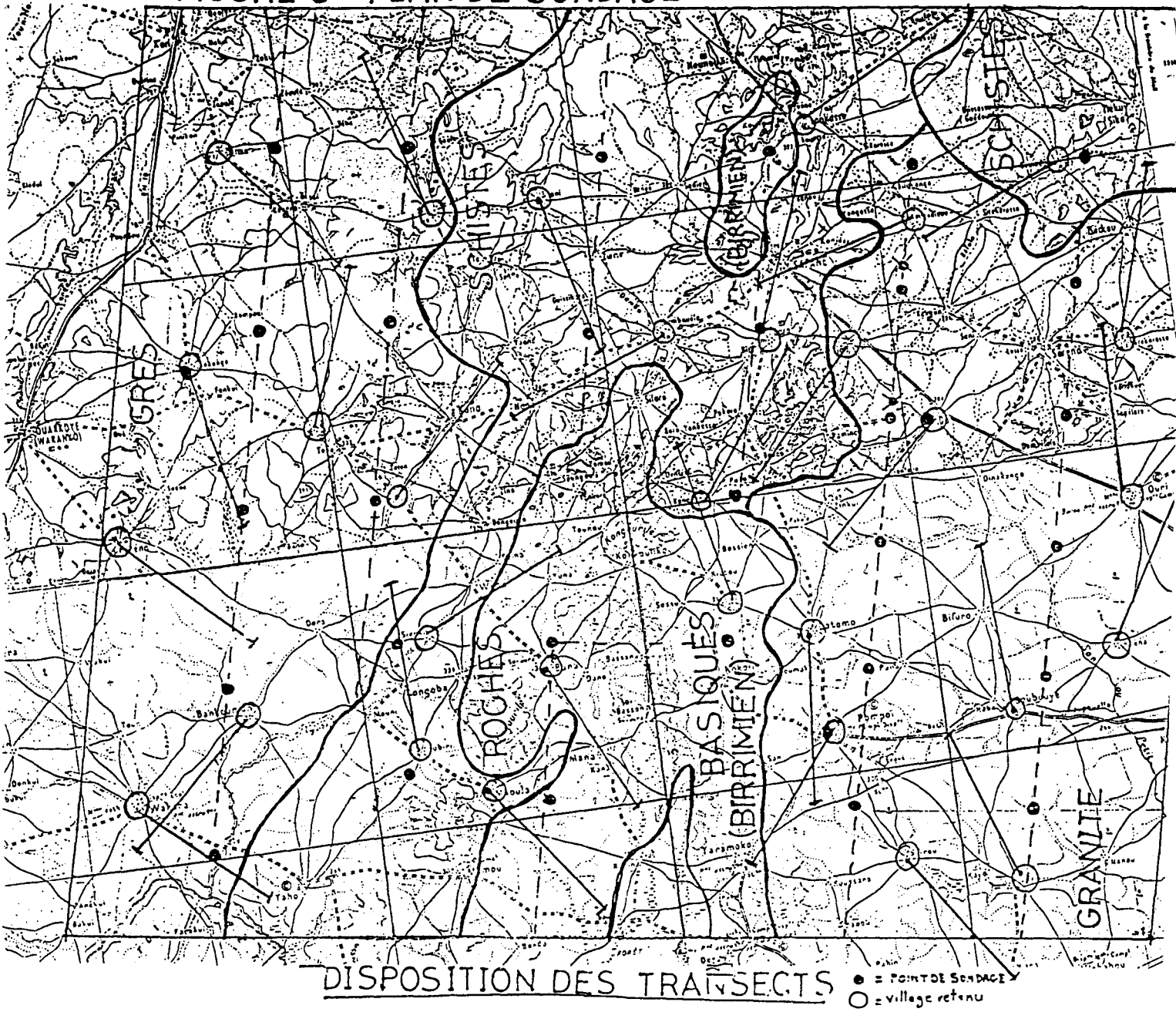


Figure 19 : Plan de sondage

Notons qu'il était prévu que ces prises de vue soient réalisées en septembre, afin de connaître l'état des couverts au moment des enregistrements SPOT (XS du 13.09.92 et XS du 26.09.93), mais cela n'a pas été possible en raison de fortes turbulences au cours de ces périodes.

#### **1.4 - Photographies au sol:**

Ce sont des tirages papier couleur, correspondant à 3 pellicules de 36 poses, obtenus lors des missions de terrain d'octobre 1992 et de Février 1993.

#### **1.5 - Relevés de terrain et rapports de missions:**

Lors des missions de terrain, des enquêtes au sol ont été réalisées, notamment sur les bandes correspondant aux PVBA, afin de disposer de références pour leur photo-interprétation. Ces enquêtes ont porté sur 2/5° de la surface correspondant à ces bandes, d'où un taux de sondage au sol de 0,8% (2% \* 2/5).

Divers relevés de terrain (botaniques, pédologiques, ect.) ont été effectués, sur ces bandes ou ailleurs et sont reportés avec d'autres observations dans plusieurs rapports de mission (Lainé 1992 et 1993).

## **2 - MATERIEL UTILISE**

Les traitements numériques d'images ont été effectués au laboratoire de traitement des données satellitaires du CIRAD, avec le logiciel DIDACTIM, sur compatible PC GOUPIL G5, équipé d'un dérouleur de bandes et d'une imprimante couleur à jet d'encre CANON FP510.

Par ailleurs, certains travaux de numérisation ont été effectués au laboratoire de cartographie du CIRAD, avec le logiciel ARC INFO, sur compatible PC GOUPIL G5.

## **3 - METHODE**

La méthode utilisée pour réalisée cette étude comprend les différentes phases suivantes:

### **3.1 - Collecte des données:**

L'acquisition des données satellitaires, des photographies aériennes et des informations de terrain a été réalisée antérieurement à cette étude.

D'autres données ont également été collectées de manière à avoir une connaissance meilleure et approfondie de la région: ce sont surtout des données bibliographiques sur les caractéristiques climatiques, géologiques, pédologiques, ainsi que sur la végétation naturelle et l'agriculture.

Nous avons ensuite reporté sur un calque la topographie au 1/100 000° de manière à pouvoir le superposer aux compositions colorées de même échelle. Sur ce calque, nous avons également représenté les bandes qui ont été survolées lors des missions aériennes destinées à obtenir des PVBA.

Nous avons aussi préparé un autre calque sur lequel ont été reportées les unités



physiographiques et la topographie au 1/200 000°, et qui peut être superposé aux tirages papier au 1/200 000° des images SPOT sur cette scène.

Ces calques étaient destinés à faciliter le repérage sur les images satellitaires, ainsi qu'à mettre en évidence d'éventuelles relations entre radiométries et unités physiographiques, et à savoir à quelles unités physiographiques correspondaient les bandes survolées lors des missions aériennes.

### **3.2 - La photo-interprétation des photographies aériennes à basse altitude (PVA):**

Les 2/5 des surfaces survolées ont ensuite été enquêtées au sol de manière à permettre la photo-interprétation des photographies aériennes. Ce travail avait été initié sur certaines bandes par Paré en 1993, et nous l'avons poursuivi au cours de notre étude.

Les contours issus de la photointerprétation des bandes ont ensuite été reportés précisément sur des calques superposables à des agrandissements au 1/60 000° de la composition colorée de septembre 1992.

Ces calques ont ensuite été photocopiés superposés à des agrandissements de même échelle des compositions colorées de juin et février. Ce travail a ainsi permis, lors de l'analyse visuelle, d'étudier la radiométrie des différents thèmes aux différentes dates (février, juin, septembre). Il a également facilité le travail de repérage des parcelles d'apprentissage lors de l'analyse numérique.

### **3.3 - L'analyse visuelle:**

Dans un premier temps, nous avons examiné dans leur ensemble les compositions colorées des tirages papiers SPOT aux différentes dates (année 1992) de manière à identifier de grandes zones d'apparence homogène, et de réaliser ainsi une stratification de la scène.

Nous avons ensuite étudié visuellement, grâce aux bandes photo-interprétées et reportées sur les agrandissements des images satellitaires, les comportements radiométriques des différents thèmes (types de sols nus et de végétations) aux différentes dates. Cette analyse a également permis d'identifier les thèmes distinguables pour chacune des dates, donc d'étudier les potentialités des images de février, juin, septembre.

Nous avons en outre cherché à identifier les sources de confusion entre thèmes.

L'identification des thèmes distinguables a permis d'aboutir à une nouvelle nomenclature adaptée à une photo-interprétation des images, cette dernière étant basée sur des critères de couleur, de texture et de structure. Le même travail a été effectué avec différentes combinaisons de dates, afin d'évaluer les potentialités d'une approche multidate.

Les résultats de cette analyse visuelle ont ensuite permis de faciliter et d'orienter l'analyse numérique, en particulier au niveau du choix de la nomenclature.

### **3.4 - Digitalisation des bandes photo-interprétées:**

Ce travail a été effectué grâce au logiciel ARC INFO et au moyen d'une tablette à digitaliser: il s'agit d'un périphérique d'entrée similaire à une souris travaillant sur une surface référencée dans les deux dimensions. Un curseur et un bouton de commande permettent de pointer des détails sur cette surface (points, extrémités des segments, ...), et d'en saisir ainsi les coordonnées X et Y.

Après digitalisation, le logiciel ARC INFO permet de fournir les surfaces de chacune des bandes, ainsi que celles des différents thèmes à l'intérieur des bandes (coton, céréales, forêts claires,...). Il permet donc d'obtenir des données statistiques sur l'occupation des sols.

Les fichiers contenant les bandes digitalisées ont ensuite été transformés en fichiers DIDCTIM de façon à pouvoir les visualiser à l'écran et à les superposer aux images des différentes dates. Il est alors devenu possible d'étudier, sur l'écran, la radiométrie des thèmes aux différentes dates, ou encore, en chargeant les images de 1991, 1993 (et à l'avenir celles de 1994, 1995,...), d'étudier l'évolution du domaine cultivé, de la végétation naturelle, des sols nus. On a ainsi pu mettre en évidence la mise en culture de portions de savanes,...(et notons que dans un autre axe de recherche, on pourrait ainsi facilement étudier les rotations culturales).

### **3.5 - L'analyse numérique:**

A la différence de l'analyse visuelle, il s'agit de regrouper les pixels à partir de critères quantitatifs.

Ce travail a été réalisé dans l'espace des radiométries (espace à n dimensions, dont n est le nombre de canaux ou néocanaux) en partant de l'hypothèse que des pixels de caractéristiques radiométriques voisines correspondent à une même thème (ou taxon).

Nous avons donc procédé à une classification des pixels de l'image en différents catégories en réalisant une partition de l'espace spectral ( ou espace radiométrique).

Cette classification a été réalisée de façon "dirigée" (ou "supervisée"). Rappelons que dans ce cas, les classes d'objets à discriminer sont fixées par le thématicien, d'après la taxonomie en vigueur dans sa discipline.

La procédure de traitement a été décrite par de nombreux auteurs (Debessche et Lacaze, 1976, ...). Elle comporte trois grandes étapes:

#### **3.5.1 - La phase d'apprentissage:**

Elle a pour buts:

a/ de fournir les échantillons (polygones de plusieurs pixels = parcelles d'apprentissage) qui permettent d'initialiser la classification.

Dans le souci d'obtenir un échantillonnage représentatif, les parcelles d'apprentissage ont été prises sur un maximum de segments aériens (nous rappelons que les plans de vol ont eux-même été définis de manière à avoir un échantillonnage représentatif (cf annexe I). Le repérage sur l'écran des parcelles d'apprentissage a été facilité par le travail réalisé précédemment de reconnaissance des

thèmes sur les segment aériens.

Lors de la prise d'un échantillon, les valeurs radiométriques sont enregistrées et visualisées automatiquement sous forme d'histogramme de fréquence.

b/ de définir les classes d'objets discriminables (= classes spectrales)

Il n'y aura pas forcément concordance entre ces classes spectrales et les thèmes de la nomenclature de départ. On pourra cependant être amené à modifier la taxonomie définie par le thématicien (regroupement de taxons spectralement similaires, ou découpage de taxons spectralement trop hétérogènes). Chaque classe spectrale a été définie par 10 à 30 parcelles d'apprentissage.

A l'issue de l'étape d'apprentissage, un fichier est constitué, comprenant pour chaque classe spectrale:

- le nombre de parcelles d'apprentissage
- leurs coordonnées
- la distribution des valeurs radiométriques dans chacun des canaux bruts et néocanaux retenus. La fonction TRANSAPP de DIDACTIM nous a permis de reporter chacune des parcelles d'apprentissage sur les image de Juin et Février.

Des fichiers identiques pour ces deux autres dates ont ainsi pu être constitués.

La fonction EDICLA du logiciel DIDACTIM permet de fournir sous forme de tableau les caractéristiques des classes (effectif, valeur radiométrique moyenne, minima, maxima, écart-type pour chaque canal brut ou néocanal).

La qualité de l'apprentissage (dont dépend la qualité de la classification) sera évaluée:

- au niveau des échantillons (homogénéité des échantillons d'une même classe)
- au niveau des classes spectrales (séparabilité).

### 3.5.2 - La classification

Elle est effectuée par le logiciel DIDACTIM à partir des caractéristiques statistiques des classes par des canaux préalablement choisis. Cette étape nécessite que l'on se donne une règle de décision permettant de rattacher chacun des pixels à l'une des classes spectrales définies. Deux algorithmes (utilisant des règles de décision différentes) ont été testés (méthode hypercube et barycentrique).

- La classification est d'abord effectuée sur les pixels d'apprentissage afin de tester l'efficacité des différents algorithmes utilisés. Cette évaluation se fait par les matrices de confusion indiquant:

→ pour les pixels d'apprentissage de chaque classe, le pourcentage de ceux qui sont effectués dans les bonnes classes (diagonale de la matrice) et les pourcentages de ceux qui sont affectés dans les mauvaises classes: c'est la matrice des pixels bien reconnus.

→ pour les pixels affectés à chaque classes: le pourcentage de ceux qui proviennent bien des parcelles d'apprentissage de cette même classe (et les pourcentages de ceux qui proviennent des parcelles d'apprentissage de chacune des autres classes): c'est la matrice des pixels bien classés.

Ces matrices de confusion ont permis non seulement le choix du meilleur algorithme de traitement et des meilleurs combinaisons de canaux, mais aussi d'apporter des informations sur l'origine des confusions rencontrées.



Ces études ont été effectuées sur chacune des dates , séparément (analyse monodate), puis nous avons testé des classifications à partir de canaux de différents dates (analyse multodate).

- Après avoir retenu la classification donnant les meilleurs résultats, celle-ci a été appliquée à l'ensemble de l'image. On aboutit alors à une image classée, qui est légendée.

### 3.5.3 - Evaluation de la classification et exploitation des résultats

Une "mauvaise" matrice de confusion est signe d'une "mauvaise" classification. Par contre, une "bonne" matrice de confusion n'implique pas forcément une "bonne" classification. L'évaluation peut en effet être biaisée du fait que les statistiques qui ont servi à classer les pixels des parcelles d'apprentissage sont tirées d'elles-mêmes et que la représentativité de cet échantillon n'est pas toujours suffisante. On ne peut donc pas évaluer la classification finale (étendue à l'ensemble de l'image) à partir des matrices de confusion, ce qui implique le recours à d'autres méthodes:

- Ordinairement, on délimite, avant la classification, des parcelles de contrôle, en nombre égal aux parcelles d'apprentissage, pour chaque thème. Elles sont choisies selon leur représentativité thématique. Un deuxième fichier "parcelles de contrôle" est alors constitué, permettant d'évaluer la classification finale. Cette évaluation est donnée par une matrice d'évaluation: elle donne, pour chacune des parcelles de contrôle, le pourcentage des pixels affectés à chaque classe après l'application de l'algorithme.

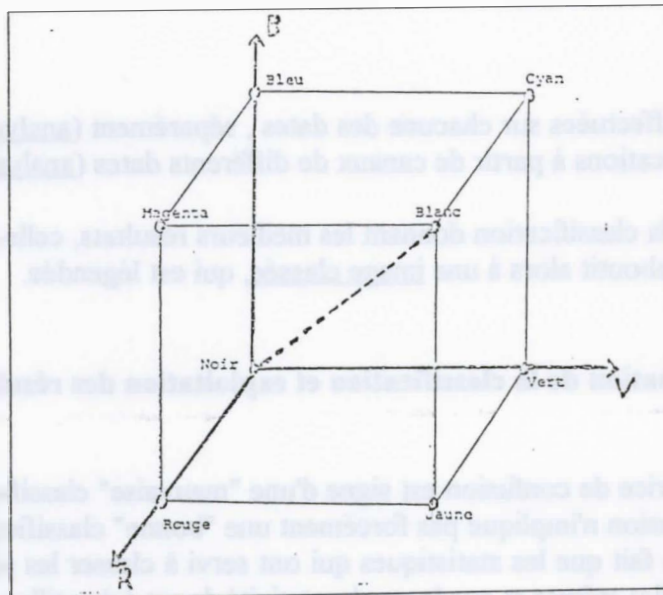
Dans la pratique, une matrice d'évaluation est bonne si, dans chaque classe, il y a plus de 70% de pixels bien affectés et si, pour l'ensemble des classes, il y a 90 à 95% de pixels bien classés.

Nous n'avons malheureusement pas pu recourir à cette méthode très pratique d'évaluation: pour les thèmes étudiés, les variabilités importantes de réflectance observées dans les divers canaux nous ont en effet conduit à conserver un nombre important de parcelles pour l'apprentissage. Nous avons ainsi choisi de privilégier la qualité de l'apprentissage (la représentativité des parcelles augmentant avec leur nombre) sur lequel se base la classification, au détriment de la facilité à évaluer la classification finale. On remarquera cependant que la qualité de l'évaluation par les matrices de confusion augmente avec la qualité de l'apprentissage.

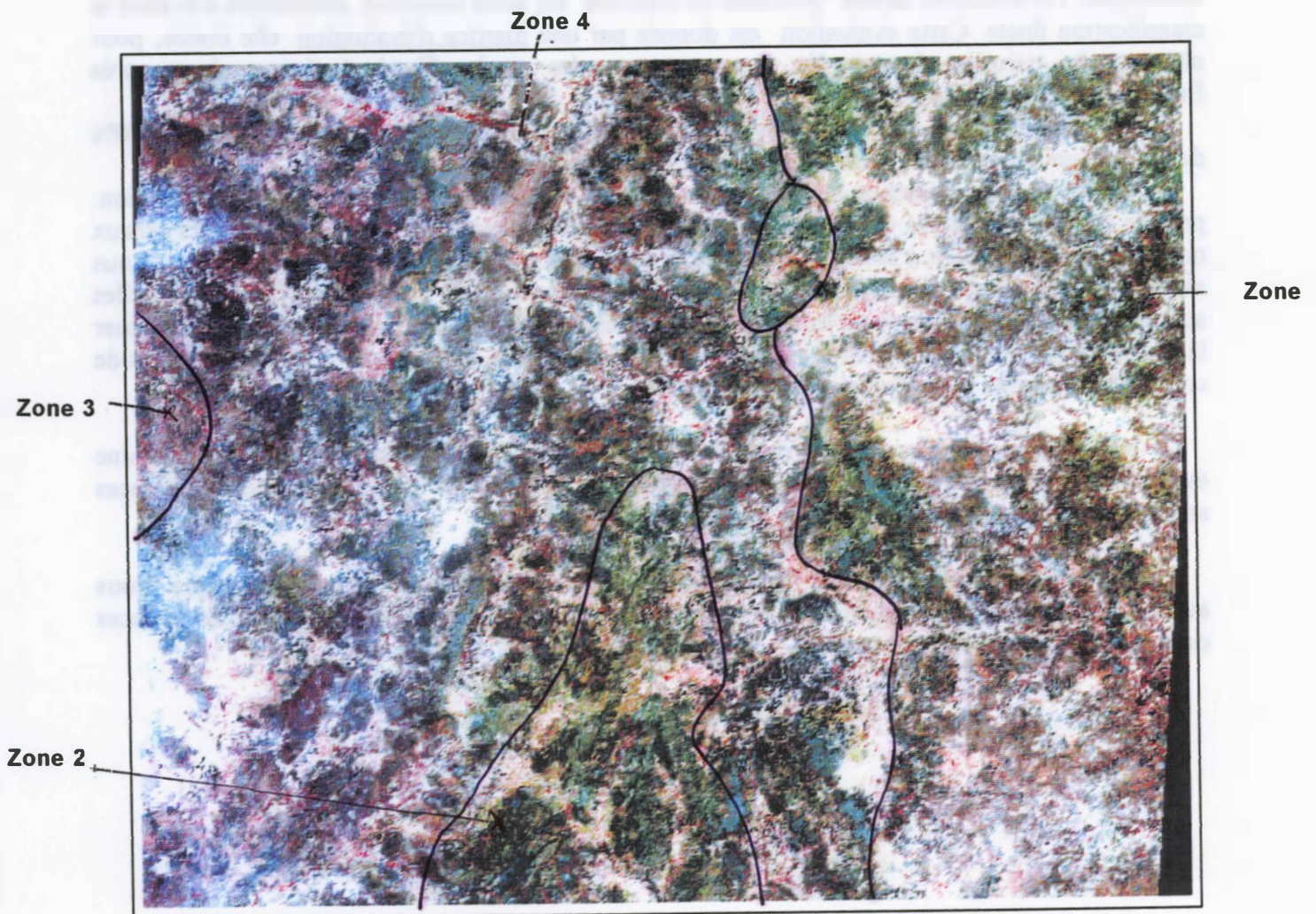
- L'évaluation par les parcelles de contrôle n'ayant pas été possible, nous avons opté pour une évaluation visuelle, compte tenu de la connaissance que nous avons de la région et des références solides dont nous disposons (PVBA).

Les informations fournies par l'image classée sont d'ordre statistique et cartographique. Nous avons imprimé une carte légendée, et le logiciel DIDACTIM nous a permis d'obtenir les surfaces occupées par chacun des thèmes.





**Figure 20** : Le cube des couleurs : le point de coordonnées RVB correspond à la teinte résultant de la combinaison d'un rouge d'intensité R, d'un vert d'intensité v et d'un bleu d'intensité B (d'après Stehle)



**Image 1** : Composition colorée RVB; ensemble de la zone (scène K50 J326); Février 1992 (échelle 1/376 000)



# CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION

## 1 - ANALYSE VISUELLE

### Remarque préliminaire pour l'interprétation des couleurs sur les compositions colorées standards

Sur les compositions colorées que nous avons analysées, la couleur de chaque pixel résulte de l'addition de trois couleurs primaires : le rouge, le vert, le bleu. La proportion de chacune de ces couleurs dans la composition obtenue dépend de la réflectance dans chacun des canaux bruts : à XS3 (PIR), on affecte la couleur primaire rouge, à XS2 (rouge) la couleur verte, à XS1 (vert-jaune) la couleur bleue (cf figure 20). On obtient donc des fausses couleurs.

Ainsi, la végétation active qui comporte une très forte réflectance dans le PIR ainsi qu'un pic dans le vert-jaune apparaîtra en rouge teinté de bleu, soit en rouge-magenta. Les sols nus très clairs, dont la réflectance est généralement élevée pour chacun des canaux apparaîtront en blanc, tandis qu'une zone à recouvrement gravillonnaire latéritique (ou un sol rougeâtre) apparaîtront en vert, etc.

#### 1.1 - Stratification de la scène en zones d'apparence homogène (cf images 1, 2, 3)

Objectif : Il s'agit de délimiter les zones qui apparaissent différentes sur la composition colorée. Ce travail permettra, dans un deuxième temps, de savoir si ces différences d'apparence résultent d'une occupation différente des sols, ou de comportements radiométriques différents des thèmes : si tel est le cas, les zones d'apparence homogène pourront être considérées comme des "zones d'égal raisonnement" vis à vis des futures classifications.

#### Résultats :

La simple observation des images permet de mettre en évidence la zone Est de la scène (zone 1). Elle se distingue du reste de la scène pour chacune des dates. Elle correspond essentiellement à une zone au sous sol granitique, excepté dans sa partie Nord où l'on trouve également un sous sol constitué de schistes micacés. En juin, le rouge domine, ce qui est le signe d'un redémarrage précoce de l'activité végétale. En septembre, par contre, le rouge apparaît moins prononcé que sur le reste de la scène, ce qui est le signe d'une activité végétale qui régresse plus précocement. On note par ailleurs que les parcelles apparaissent en général assez nettement (non confondues avec la végétation naturelle).

Dans le reste de la scène (centre et Ouest), deux autres zones peuvent être distinguées visuellement :

- la première (zone 2) correspond à la partie centre-sud de la scène, dont le sous sol correspond surtout à des roches basiques du birimien, mais aussi, dans une moindre mesure, à des schistes micacés. La couleur dominante en juin est le vert, tandis qu'en septembre un rouge très vif domine. La végétation semble donc démarrer tardivement mais rester encore très chlorophyllienne en septembre.

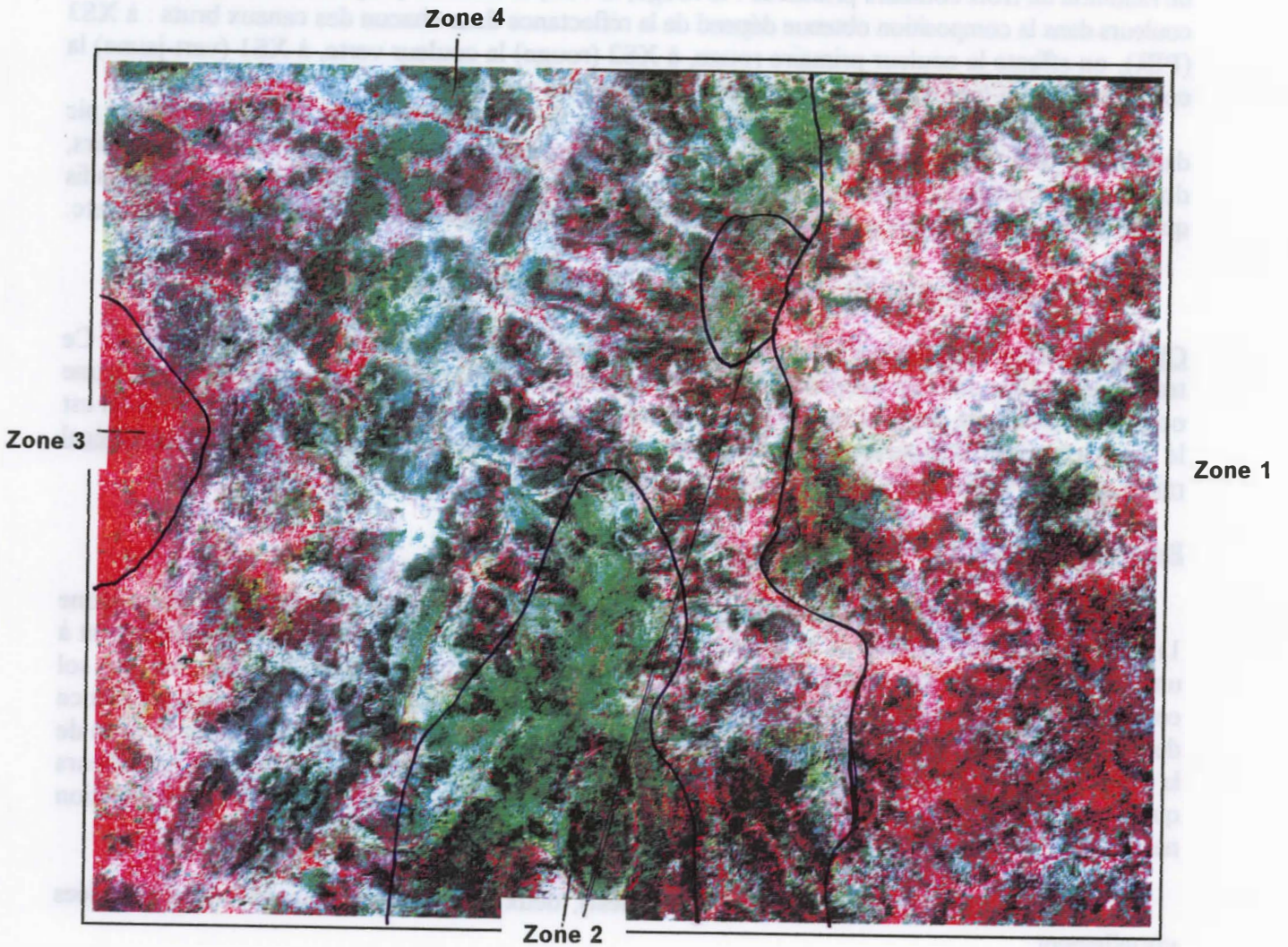
Dans cette zone, où les cultures sont très présentes, notamment la culture du coton, les parcelles se distinguent très mal, ou même pas du tout, de ce qui n'est pas cultivé.

- la deuxième zone (zone 3) correspond à la zone des grès à yeux de quartz à l'Ouest de la scène. Le rouge est très intense en juin, et se maintient avec toutefois moins d'intensité en septembre.



Il s'agit d'analyser visuellement les compositions des couleurs au sein des zones étudiées.

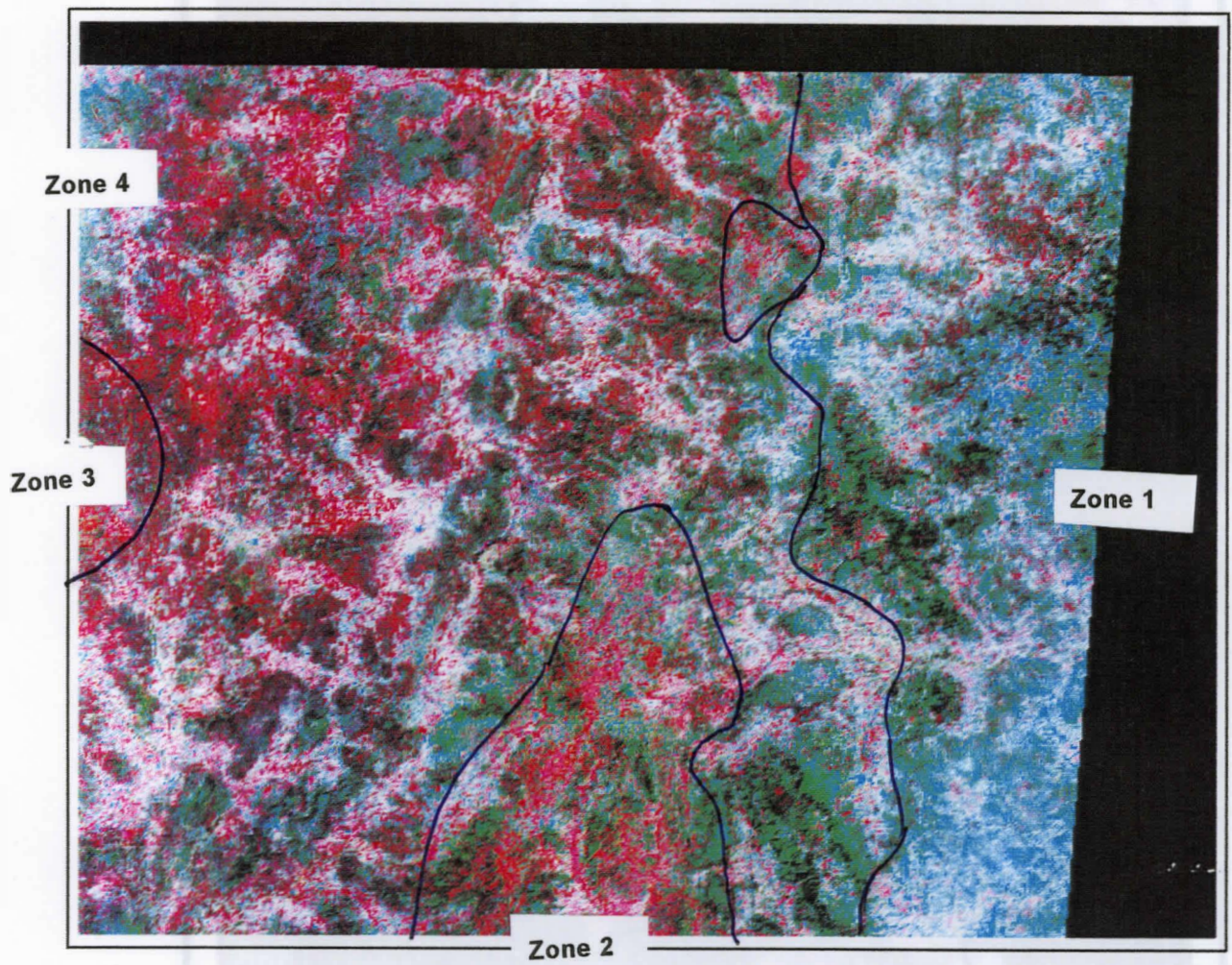
Pour les compositions colorées, nous avons analysé, le contour de chaque pixel résultant de l'addition de trois couleurs primaires : le rouge, le vert, le bleu. La proportion de chacune de ces couleurs dans la composition est mesurée à l'aide de la méthode de la couleur dite "à 255".



**Image 2** : Composition colorée RVB; ensemble de la zone (scène K50 J326); Juin 1992 (échelle 1/376 000)

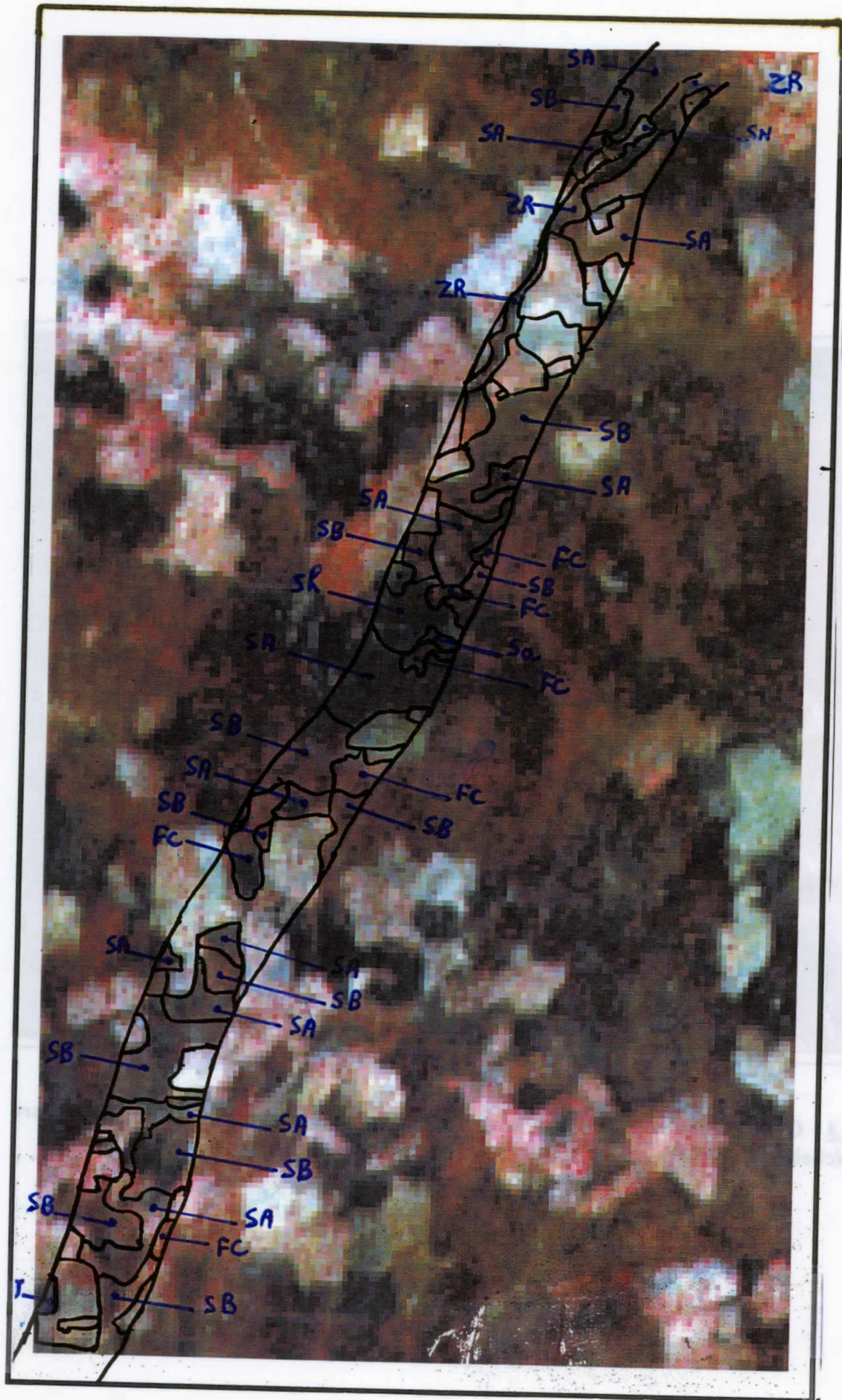
La composition colorée est obtenue à partir de la composition RVB. Elle est représentée par une image où les couleurs sont combinées de manière à donner une image en fausses couleurs. Cette image permet de visualiser les différences de végétation et de terrain. Les zones sont définies à partir de cette image et sont représentées par des contours noirs.





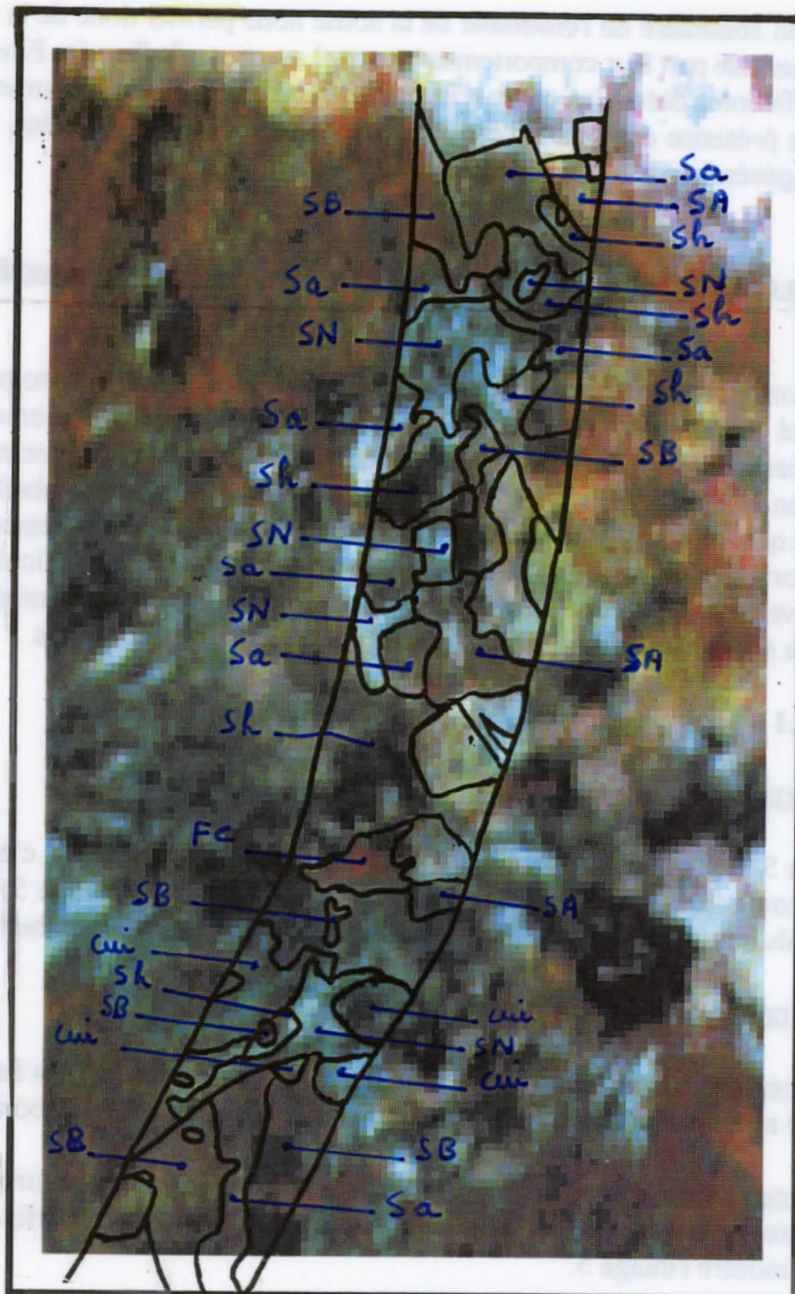
**Image 3** : Composition colorée RVB; ensemble de la zone (scène K50 J326); septembre 1992 (échelle 1/376 000)





**Image 4** : Extrait de la bande n°7 photointerprétée ; Février 1992  
(échelle : 1/21 000)





**Image 5 : Extrait de la bande n°8 photointerprétée ; Février 1992  
(échelle : 1/21 000)**

(Sn = sols nus; cui = cuirasse dénudée; Sh = savane herbeuse; Sa/A = savane arbustive ou arborée; Sb = savane boisée; Fc = Forêt claire; Zr = Zone ripicole)

L'observation sommaire de l'ensemble de la scène nous permet donc de la diviser en quatre zones qui se distinguent de part leur comportement spectral au cours de l'année. Elle permet en outre de repérer, aux différentes dates, les cours d'eau et les bas fonds qui les entourent : des lambeaux rouges indiquent la présence des cours d'eau, souvent bordés de forêts galeries, alors que les bas fonds apparaissent généralement très clairs en juin et février.

## **1.2 - Etudes des comportements radiométriques de la végétation naturelle et des sols nus**

Ces études ont porté sur l'ensemble des surfaces couvertes par les photographies aériennes. Nous avons d'abord cherché à savoir si entre les quatre zones d'apparence homogène, les thèmes étudiés (savanes herbeuses, forêts claires, ...) présentaient des comportements radiométriques différents. Nous en avons conclu que l'apparence différente des zones résulterait surtout de différences relatives quant à l'occupation des sols (proportions des différents thèmes). Il s'est en effet avéré difficile de corréler une zone avec un comportement radiométrique particulier des thèmes.

Cette observation nous a conduit, aussi bien pour l'analyse visuelle que numérique, à travailler sur l'ensemble de la scène, et non pas à l'intérieur des strates définies ci-dessus.

### **1.2.1 - Image de février (cf image 4 et 5)**

#### **a) Comportement radiométrique des sols nus et cuirasses dénudées**

Sur l'image 5, les sols nus apparaissent clairs, mais pas blancs comme c'est généralement le cas. On peut les confondre avec le domaine cultivé. Les cuirasses (cf image 5) apparaissent plus sombres que les sols nus. A cette date, on ne peut les distinguer des savanes herbeuses.

#### **b) Comportement radiométrique de la végétation naturelle**

- Les savanes herbeuses apparaissent généralement en noir du fait des feux de brousse. On peut les confondre avec des cuirasses, des savanes arbustives, des savanes arborées.

- Les savanes arbustives et les savanes arborées : On ne peut distinguer ces deux types de savanes. Dans les zones brûlée, elles apparaissent en noir. On les confond parfois avec des savanes boisées comme le montre l'image 5.

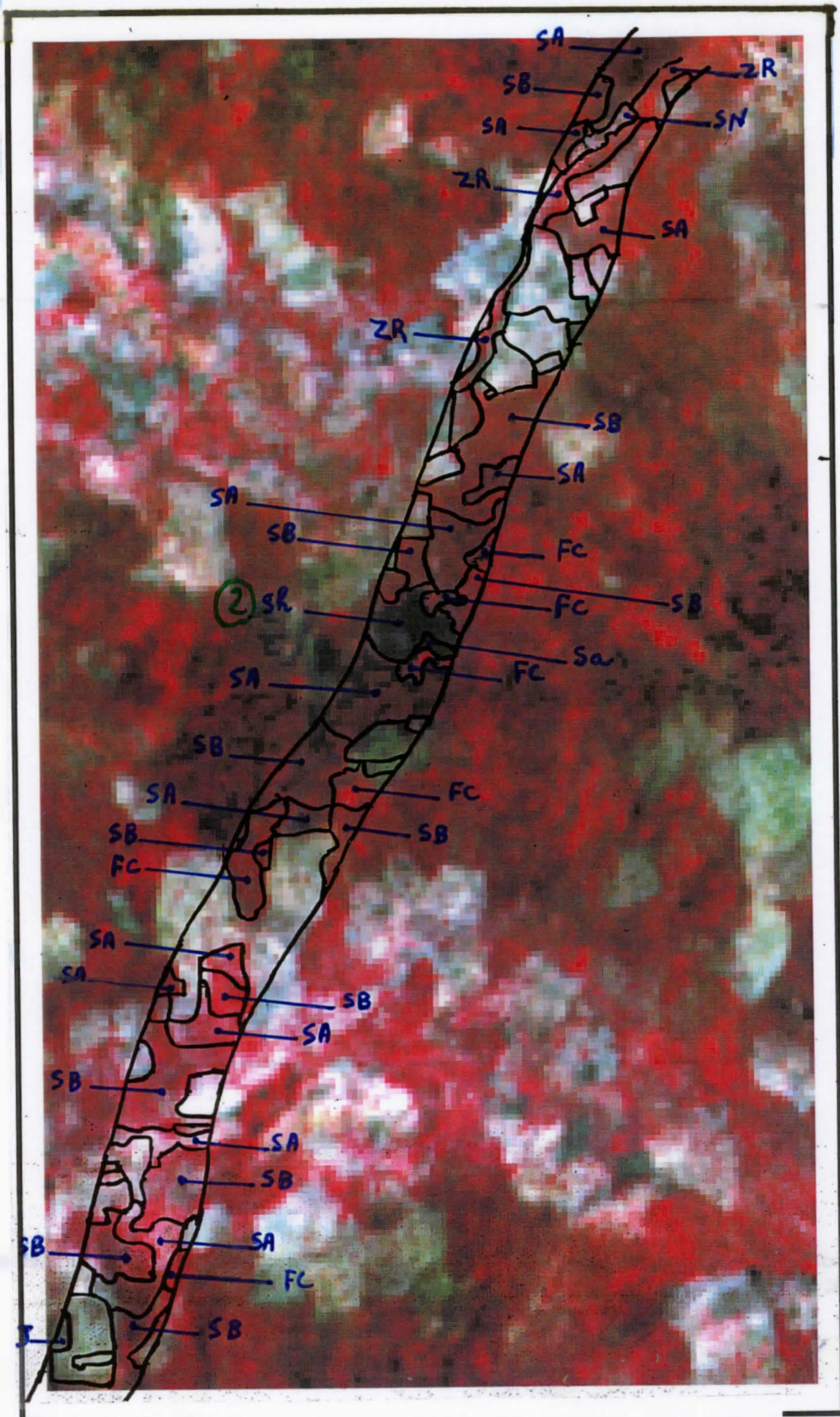
- Les savanes boisées : Bien qu'elles puissent parfois être confondues avec des savanes arbustives et arborées, elles apparaissent généralement plus rouges que ces dernière, en particulier dans les zones qui ont été brûlées.

- Les forêts claires : La réflectance dans le PIR est encore plus importante. Elles apparaissent donc, parfois, complètement rouges. Mais on les confond souvent avec les savanes boisées.

#### **c) Conclusion sur l'image de février :**

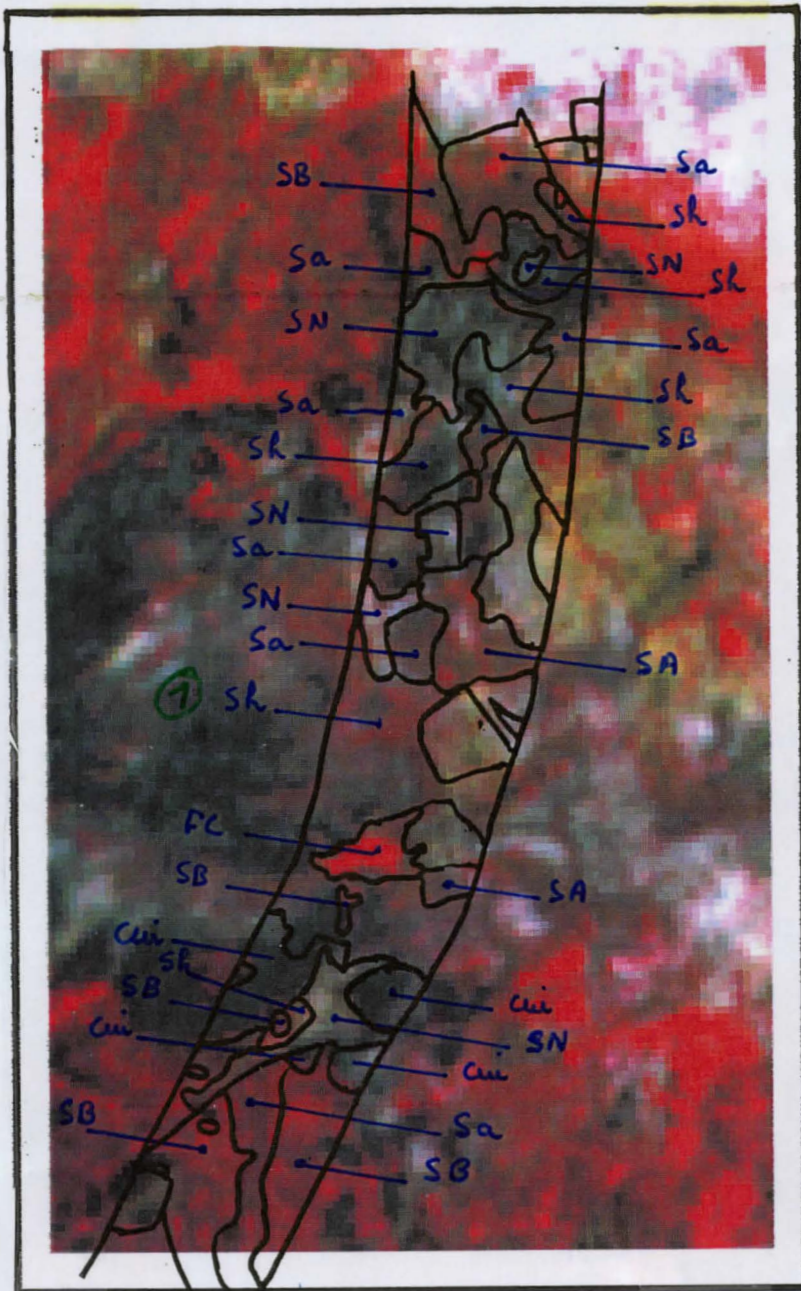
Cette image n'est pas intéressante pour distinguer les différents thèmes de la végétation naturelle. Certains ligneux sont toujours en activité en février, et ce sont donc les formations où ils sont le plus dense (forêts claires) qui apparaissent les plus rouges. Quant aux sols nus, on peut les isoler si l'on masque le domaine cultivé. Par contre, les cuirasses, qui apparaissent plus sombres se





**Image 6** : Extrait de la bande n°7 photointerprétée ; Juin 1992  
(échelle : 1/21 000)





**Image 7** : Extrait de la bande n°8 photointerprétée ; Juin 1992  
 (échelle : 1/21 000)

(Sn = sols nus; cui = cuirasse dénudée; Sh = savane herbeuse; Sa/A = savane arbustive ou arborée; Sb = savane boisée; Fc = Forêt claire; Zr = Zone ripicole)

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



confondent souvent avec les savanes herbeuses. On notera par contre que les parcs à Acacias albida sont aisément localisables.

### 1.2.2 - Image de juin (cf images 6 et 7)

#### a) Comportement radiométrique des cuirasses dénudées

Les cuirasses apparaissent toujours sombres, et se confondent alors avec des savanes herbeuses dont l'activité chlorophyllienne n'a pas encore repris.

#### b) La végétation naturelle

- Les savanes herbeuses: Les graminées des savanes herbeuses ont par endroit déjà recommencé à pousser, ce qui se traduit par du rouge sur la composition colorée (exemple : image 7, sh (1)).

Pour d'autres savanes herbeuses (cf sh (2) sur image 6), présentant des graminées à cycle court, la réflectance dans le PIR est encore très faible (absence de rouge sur la composition colorée). On les distingue alors bien du reste de la végétation naturelle.

- Les savanes arbustives et les savanes arborées : Leur comportement radiométrique ne permet pas de les distinguer. Elles présentent une grande variabilité quant à leur comportement radiométrique. Elles peuvent être confondues avec des savanes herbeuses dont les graminées ont déjà commencé à pousser. On peut aussi les confondre avec des savanes boisées.

- Les savanes boisées et les forêts claires apparaissent généralement plus rouges que les précédentes, mais il est difficile de les distinguer.

#### c) Conclusions sur l'image de juin :

On reconnaît bien les formations riches en ligneux, du fait de leur couleur rouge, mais on ne peut pas dire s'il s'agit de forêts claires ou de savanes boisées, ou même parfois, de savanes arbustives ou arborées.

Les savanes herbeuses dont les graminées n'ont pas encore démarré (cycle court) se distinguent sans problème du reste de la végétation naturelle, puisque le sol est nu. Elles sont évidemment confondues avec les cuirasses dénudées.

Par rapport à février, l'image de juin améliore le contraste entre les milieux dépourvus de strate ligneuse, et ceux pour lesquels cette strate est importante. Mais elle n'est globalement pas intéressante pour distinguer les différents thèmes de la végétation naturelle.

### 1.2.3 - Image de septembre (cf images 8 et 9)

C'est à cette date que les contrastes entre les différents thèmes sont les plus importants.

a) Comportement radiométrique des sols nus et des cuirasses dénudées : Les sols nus apparaissent généralement en blanc. Mais leur couleur varie beaucoup suivant la nature du sol. Ceux qui sont représentés sur l'image 9 apparaissent en bleuté sur la composition colorée. Les sols en question sont



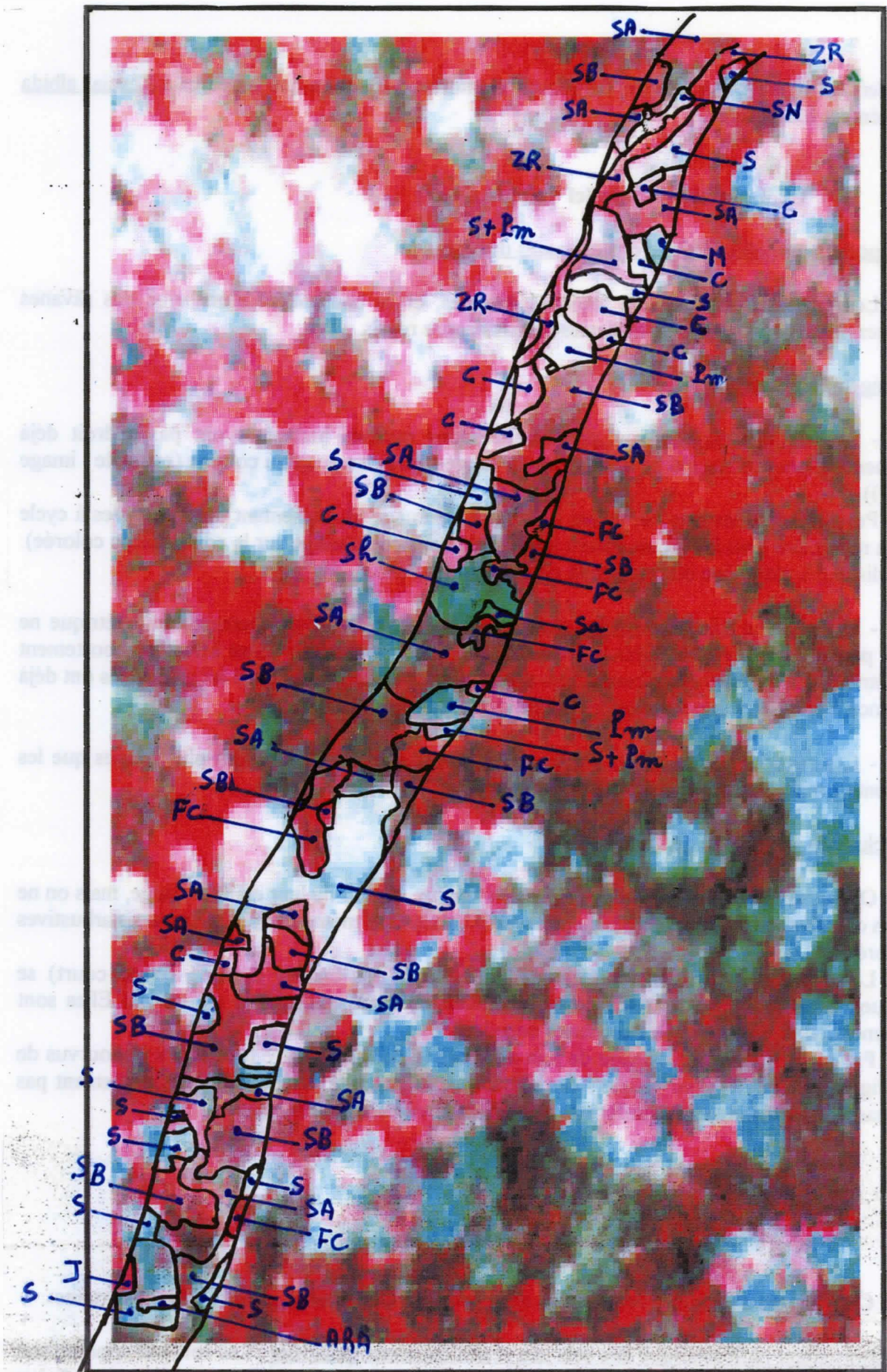


Image 8 : Extrait de la bande n°7 photointerprétée ; Septembre 1992  
 (échelle : 1/21 000)



des limons de couleur jaunâtre accumulés sur cette butte cuirassée.

Les cuirasses apparaissent cyan ou cyan-vert sur les compositions colorées. On les confond fréquemment avec des savanes herbeuses sèches.

b) La végétation naturelle :

- Les savanes herbeuses apparaissent le plus souvent en vert ou cyan, en particulier sur les cuirasses et sols gravillonnaires. Ces couleurs sont dues :

-> Pour le cyan : à la présence de graminées sèches jaunes telles que Loudetia togoensis (réflectance plus importante dans le canal 1),

-> Pour le vert : à la présence de graminées rousses (Schyzachyrium exilae) ainsi qu'à la radiométrie du sol latéritique ou gravillonnaire dans les zones peu couvertes par le tapis graminéen (réflectance plus importante dans le canal 2).

Nous notons cependant deux exceptions :

- L'image 9 met en évidence un comportement radiométrique particulier (et toujours très localisé) de la savane herbeuse (ex (1)) : celle-ci apparaît en rose, par endroits. Il s'agit de zones où la végétation est restée active plus longtemps. Selon PARE (LAINE, 1993), la persistance de la végétation herbacée serait liée, dans ces zones, à des recouvrements de la cuirasse par une couche limono-argileuse. La couche de sol plus importante permettrait alors le développement d'Andropogon pseudapricus qui a un cycle végétatif plus long que les Loudetia togoensis et les Schyzachyrium exilae.

- Certaines savanes herbeuses, cette fois-ci sur collines à roches basiques (birrimien) présentent aussi une réflectance dans le PIR encore importante en septembre. Nous pensons que les graminées impliquées seraient des graminées pérennes type Cymbopogon schoenanthus, dont seul le sommet est sec en septembre, mais dont les touffes très couvrantes sont encore vertes.

- Les bas fonds herbeux : (non représentés sur ces images)

On les distingue par leur couleur rose foncé : la réflectance dans le PIR est très élevée. Leur strate herbacée (dont les espèces dominantes sont : Andropogon pseudapricus, Andropogon gayanus, Andropogon aseinosis, Andropogon tectorum) présente des espèces à cycle long, à activité végétative encore importante en septembre.

- Les jeunes jachères peuvent être distinguées par leur couleur rose violacée sur la composition colorée.

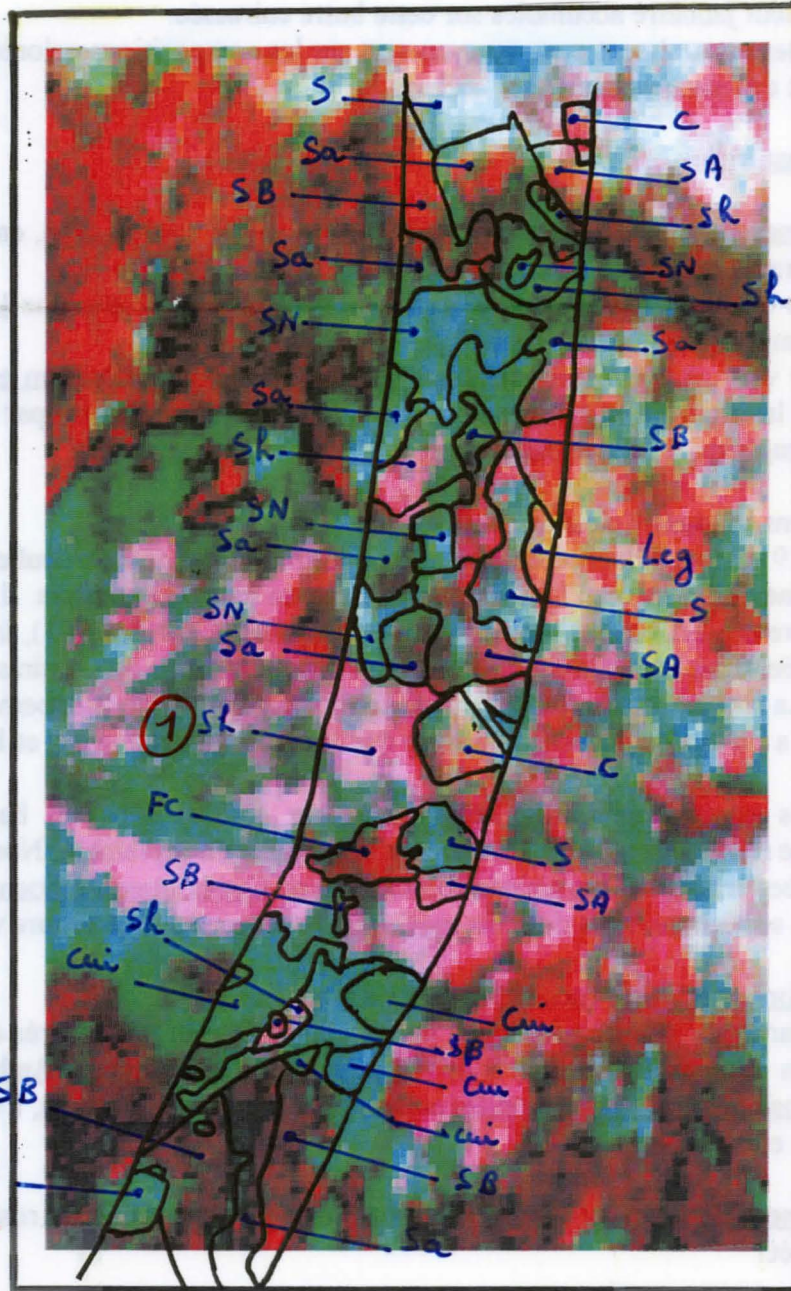
- Les savanes arbustives et les savanes arborées : Leurs comportements radiométriques sont très voisins. Ils sont généralement constitués de mosaïques de pixels rouges, cyans et verts. Certaines présentent aussi de nombreux pixels noirs (ex : savane arbustive au nord de l'image 9). Les pixels verts et cyans sont dus à la strate herbacée. Les pixels rouges sont principalement dus à la strate ligneuse.

- Les savanes boisées apparaissent généralement plus rouges que les précédentes (plus de pixels rouges, moins de pixels verts : la strate ligneuse est plus importante et masque moins la strate herbacée).

- Les forêts claires : On les confond facilement avec les savanes boisées, mais globalement, elles apparaissent encore plus rouges.

- Les bois (non représentés sur les images)





**Image 9** : Extrait de la bande n°8 photointerprétée ; Septembre 1992  
(échelle : 1/21 000)

(Sn = sols nus; cui = cuirasse dénudée; Sh = savane herbeuse; Sa/A = savane arbustive ou arborée; Sb = savane boisée; Fc = Forêt claire; Zr = Zone ripicole; C = coton; Lég = légumineuse; S = sorgho; M = maïs; Pm = petit mil)

Nous avons localisé certains bois (souvent à proximité des villages) qui apparaissaient complètement noirs sur la composition colorée. Ici, la rugosité du sol ne peut être responsable de cette couleur, qui résulterait donc de la rugosité due à la végétation. On pourrait les confondre avec certaines savanes arbustives ou arborées apparaissant en noir.

### c) Conclusions :

Les potentialités de l'image de septembre pour la reconnaissance des différents thèmes sont bien supérieures à celles des images de juin et de février.

Le principal intérêt de cette image réside dans la reconnaissance des savanes herbeuses. Non seulement on les reconnaît facilement, mais on peut aussi distinguer, sur les cuirasses, des savanes herbeuses qui sont localisées dans de petites dépressions où s'accumulent des limons. Cette plus grande richesse du sol permet l'installation d'espèces encore vertes en septembre. En juin, l'eau s'accumule dans ces dépressions, d'où une reprise plus rapide de la végétation herbacée. On entrevoit ici l'intérêt de la combinaison d'images de deux dates différentes pour une meilleure compréhension du fonctionnement de ces savanes. Cette combinaison nous a également permis d'identifier des savanes herbeuses qui se confondent avec des savanes boisées en septembre car elles apparaissent en rouge. Ces savanes sont localisées sur des cuirasses recouvertes de limons. Mais ce recouvrement est uniforme, non localisé dans des dépressions. En juin, elles ne bénéficient donc pas d'accumulation d'eau. Leur activité n'ayant pas encore repris, elles n'apparaissent pas rouges en juin, et se distinguent donc aisément des formations ligneuses.

### **1.3 - Conclusions sur les potentialités de l'analyse visuelle pour la cartographie de la végétation naturelle:**

Nos observations montrent qu'un thématicien s'intéressant à la végétation naturelle aura intérêt à acquérir une image de septembre plutôt qu'une image de février ou juin.

Sur des critères de couleur, l'image de septembre lui permettra de reconnaître:

- les sols nus et les cuirasses dénudées,
- les savanes herbeuses (et même différents "types" de savanes herbeuses),
- les bas fonds herbeux,
- les jachères jeunes,
- les "bois",
- le reste de la végétation naturelle rassemblant des savanes arbustives et arborées, boisées et des forêts claires.

A l'intérieur de cette dernière catégorie, il pourra en général reconnaître les savanes arbustives et arborées sur des critères de texture : celles-ci sont constituées d'une mosaïque de pixels verts, cyans, rouges et noirs, et la proportion de pixels rouges est beaucoup moins importante que pour une savane boisée. Les forêts claires, quant à elles, ne présentent pas de pixels verts ou cyans. Mais quoiqu'il en soit, la distinction de ces différents thèmes ne pourra jamais être parfaite : entre eux existe un continuum entre la formation au recouvrement ligneux le plus faible (savane arbustive), et celle dont le recouvrement est le plus élevé (forêts claires). A cette difficulté s'ajoute celle due au comportement des graminées dans ces formations, qui suivant la station (conditions pédologiques, ...) seront ou non sèches en septembre (ex : si dans une savane arborée, les graminées ne sont toujours pas sèches en septembre, la réflectance élevée dans le PIR entraînera une confusion avec des forêts claires).

L'analyse visuelle peut également utiliser des critères structuraux pour la reconnaissance des



thèmes de végétation naturelle : ainsi la disposition en cordon des forêts galerie permet de les reconnaître facilement. La prise en compte de ces caractères aide également à la reconnaissance des savanes herbeuses sur cuirasse : la cuirasse est bordée d'une zone de démantèlement, où les arbres se développent formant ainsi un liseré rouge vif facilement reconnaissable.

L'étude des savanes herbeuses en analyse visuelle nous a également permis de montrer que si les images de juin ou février globalement ne présentent pas un grand intérêt, elles peuvent apporter des informations améliorant la cartographie effectuée à partir de l'image de septembre.

Sur notre zone d'étude, l'analyse visuelle présente donc des potentialités certaines pour la cartographie de la végétation naturelle. Ses principaux atouts sont d'intégrer des critères texturaux et structuraux. Elle peut cependant s'avérer fastidieuse si on travaille sur la scène SPOT entière. Se pose également le problème de la subjectivité (appréciation des couleurs) du photo-interprète.

## **2 - L'ANALYSE NUMERIQUE**

Nous présenterons en premier les résultats obtenus avec l'image de septembre, sur laquelle a été réalisé l'apprentissage.

### **2.1 - Analyses multispectrales monodates sur l'image de septembre**

#### **2.1.1. - Choix des classes thématiques**

Les grandes classes thématiques que nous avons étudiées et chercher à reconnaître par analyse numérique ne sont pas exactement celles que nous avons définies au début de l'étude. En effet, l'analyse visuelle a mis en évidence :

- le comportement radiométrique particulier des bas fonds, des jeunes jachères et des bois : nous les avons donc considérés comme de nouvelles classes.
  - le comportement radiométrique très similaire des savanes arbustives et savanes arborées.
- Après vérification (visualisation des distributions radiométriques de plusieurs échantillons), nous avons regroupé ces deux classes en une seule classe "savane arbustive ou arborée".

Les classes retenues pour l'analyse numérique sont donc au nombre de neuf: "sol nu", "cuirasse dénudée", "savane herbeuse", "savane arbustive ou arborée", "savane boisée" "forêt claire", "bas fond herbeux", "jachère jeune" et "bois".

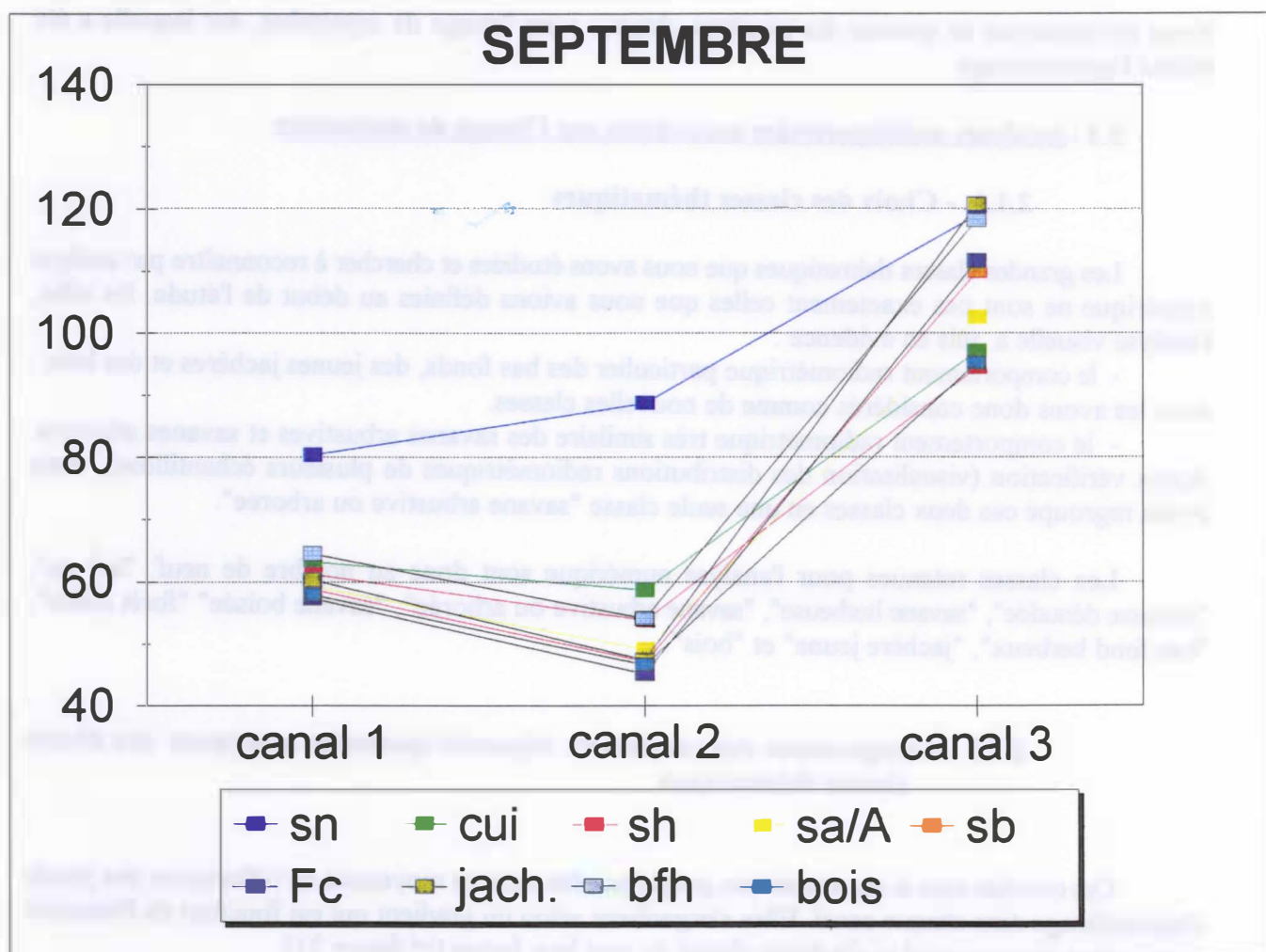
#### **2.1.2 - Comparaison des courbes de réponses spectrales moyennes des divers classes thématiques**

Ces courbes sont la représentation graphique des valeurs moyennes de réflectance des pixels d'apprentissage dans chaque canal. Elles s'organisent selon un gradient qui est fonction de l'intensité captée dans chaque canal et s'individualisent de part leur forme (cf figure 21).

- La courbe de la classe "sol nu" s'individualise bien des autres par des réflectances nettement supérieures aux autres courbes dans les canaux 1 et 2. Elle s'individualise également de part sa forme:

**Tableau 4 : Valeurs radiométriques moyennes des classes thématiques dans les trois canaux bruts**

	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois
<b>canal 1</b>	80.3	63.2	61.1	59.1	58.7	57.3	60.3	64.5	57.9
<b>canal 2</b>	88.7	58.6	53.7	49	47.1	45.1	47.3	54	46.6
<b>canal 3</b>	118.9	97	94.4	102.5	109.9	111.6	120.7	118.1	95.2



**Figure 21 : Courbes de réponse spectrale moyenne des divers classes thématiques en septembre**

entre les canaux 1 et 2, sa pente est en effet positive contrairement aux autres courbes.

- La courbe de la classe "cuirasse dénudée" s'individualise des autres courbes par une pente très faible entre les canaux 1 et 2. Cette faible pente est due à une réflectance importante dans le canal 2 (couleur rouge des cuirasses latéritiques). Cependant, la forme de la courbe spectrale de cette classe est très proche de celle de la classe "savane herbeuse". La principale différence réside dans les réflectances plus importantes pour les cuirasses.

- La courbe de la classe "bas fond herbeux" présente entre les canaux 1 et 2 une pente proche de celles des classes "jachère", "savane arbustive ou arborée", "savane boisée", "forêt claire" et "bois", mais elle s'individualise de ces courbes par des réflectances plus élevées dans le canal 1 et surtout le canal 2. Sa courbe se différencie de celle des cuirasses par une réflectance supérieure dans le canal 3.

- Les savanes herbeuses représentent également des réflectances assez élevées dans les canaux 1 et 2, mais elles se distinguent des bas fonds herbeux par des réflectances beaucoup plus faibles dans le canal 3.

- Les courbes des réponses spectrales moyennes des jachères semblent pouvoir être distinguées de celles des savanes arbustives ou arborées, savanes boisées, forêts claires et bois par leur réflectance très importante dans le canal 3.

- Entre les canaux 1 et 2, les courbes des classes savanes arbustives ou arborées, savanes boisées, forêts claires et bois sont parallèles. On remarquera le gradient suivant de réflectance pour ces deux canaux: savanes arbustives ou arborées > savanes boisées > forêts claires. C'est un résultat conforme à ce que l'on avait observé en analyse visuelle: au fur et à mesure que la couverture ligneuse augmente, la réflectance dans les canaux 1 et 2 diminue (les savanes herbeuses, dépourvues de strate ligneuse ont dans ces canaux des réflectances beaucoup plus importantes). Un gradient inverse est constaté dans le canal 3 ( $sh < sa/A < sb < Fc$ ).

Defourmy (1990) qui a également travaillé sur la végétation de cette région du Burkina avait aussi constaté cette relation entre le pourcentage de surface couverte par les ligneux et la radiométrie.

- Les bois échappent à la relation qui semble exister entre réflexion dans le canal 3 et couverture ligneuse. Leur réflectance dans le canal 3 n'est guère plus élevée que celle d'une savane herbeuse. Leur courbe de réflectance moyenne se distingue cependant de celle des savanes herbeuses par leur faible valeur radiométrique dans les canaux 1 et 2. Par contre, elle se rapproche de celle des savanes arbustives ou arborées. D'ailleurs, nous avons déjà constaté lors de l'analyse visuelle la similitude de comportement radiométrique entre les bois et certaines savanes arbustives ou arborées.

### Conclusion :

L'analyse des courbes des réponses spectrales moyennes des différentes classes thématiques ne permet évidemment pas de conclure sur leur séparabilité. Elle donne cependant une idée des principales difficultés que l'on risque de rencontrer.

On s'attend donc à des confusions entre cuirasses dénudées et savanes herbeuses, entre bois et savanes arbustives ou arborées. Et surtout, on s'attend à d'importantes difficultés pour discriminer savanes herbeuses et savanes arbustives ou arborées, savanes arbustives ou arborées et savanes boisées, savanes boisées et forêts claires : il n'existe pas de limites nettes entre ces classes, aussi bien d'un point de vue radiométrique que d'un point de vue biologique (la principale différence résidant



dans le pourcentage de recouvrement par les ligneux).

Les difficultés pour séparer ces différentes formations, liées à ce que les variations sont continues entre elles, ont déjà été évoqués par divers auteurs dont Montfraix B. (1988).

Cette analyse montre par ailleurs que bien qu'une certaine corrélation soit observée pour certaines classes entre le canal 1 et le canal 2, les possibilités de discrimination impliquent que l'on utilise l'information fournie par les trois canaux. L'utilisation de seulement deux canaux, ou pire un seul canal, réduirait considérablement ou même annulerait, pour certaines classes, tout espoir de discrimination.

### **2.1.3 - Des classes thématiques aux classes spectrales**

Pour une classe thématique donnée, les pixels d'une parcelle d'apprentissage forment un nuage de points dans l'espace radiométrique. Ce nuage de points a généralement une forme ellipsoïdique (distribution gaussienne des valeurs). Il peut être projeté sur des plans dont les axes sont constitués par deux canaux de l'image, et on obtient alors une ellipse.

Pour chaque classe thématique, nous avons ainsi visualisé les ellipses des parcelles d'apprentissage. Deux situations sont alors possibles :

- soit les ellipses sont regroupées, et on peut alors confondre toutes les parcelles dans une même classe spectrale,
- soit elles forment des groupes distincts, ce qui conduit à définir plusieurs classes spectrales.

C'est ainsi qu'à partir d'une classe thématique peut correspondre une classe spectrale ou plusieurs classes spectrales.

A partir de nos 9 classes thématiques, nous avons été amené à définir 20 classes spectrales (4 classes spectrales pour les savanes herbeuses, 4 pour les savanes arbustives ou arborées, 3 pour les savanes boisées et 4 pour les forêts claires).

En réalité, dans la plupart des cas, les "groupes d'ellipses" ayant conduit aux différentes classes spectrales n'étaient pas totalement distincts. Malgré ces recouvrements plus ou moins importants, nous avons tout de même décidé de créer différentes classes spectrales, afin de rendre compte au mieux des différentes valeurs radiométriques observées pour une classe thématique donnée: Léo et coll. (1990) ont déjà montré l'intérêt de déterminer plusieurs classes spectrales pour une culture en vue de sa reconnaissance par télédétection. Selon cet auteur, "une même culture présente souvent plusieurs faciès radiométriques liés à des sols ou à des pédoclimats différents". De telles variations peuvent également concerner la végétation naturelle.

### **2.1.4 - Comparaison des courbes de réponses spectrales moyennes des classes spectrales**

Nous avons effectué cette comparaison à l'intérieur de chaque classe thématique pour laquelle avaient été définies plusieurs classes spectrales.

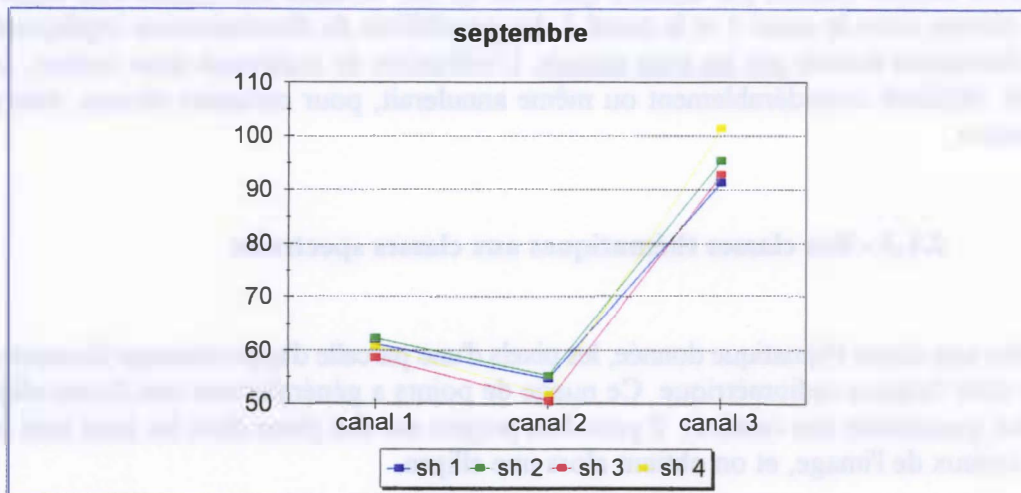
- Classe thématique "savane herbeuse": (cf figure 22)

Les courbes des réponses spectrales moyennes des classes sh2 et sh3 ont la même forme; la différence observée est une différence d'intensité.



**Tableau 5 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la savane herbeuse dans les trois canaux de SPOT en septembre**

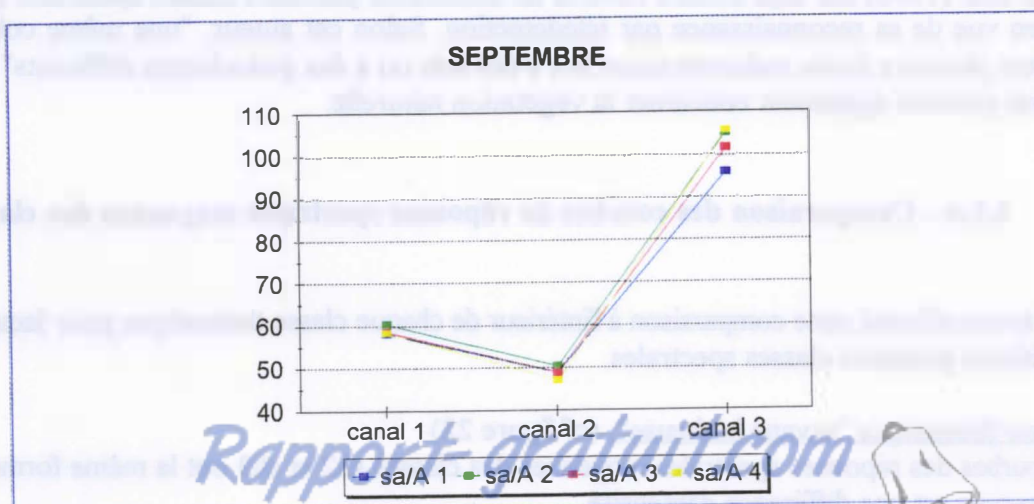
	sh 1	sh 2	sh 3	sh 4
canal 1	61.2	62.3	58.6	60.7
canal 2	54.6	55.2	50.3	51.6
canal 3	91.3	95.4	92.8	101.3



**Figure 22 : Courbes de réponse spectrale moyenne des classes spectrales de la savane herbeuse en septembre**

**Tableau 6 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales des savanes arbustives ou arborées dans les trois canaux de SPOT en septembre**

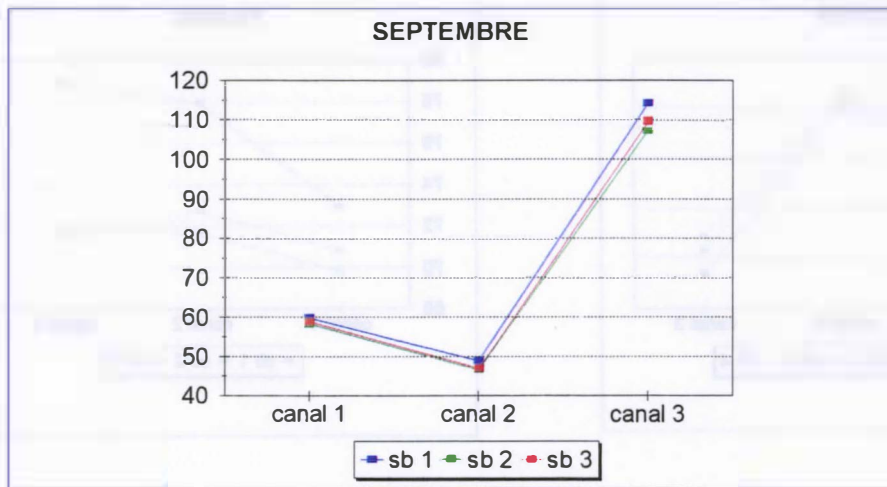
	sa/A 1	sa/A 2	sa/A 3	sa/A 4
canal 1	58.1	60.3	58.5	58.3
canal 2	48.8	50.3	48.8	47
canal 3	95.7	104.9	101.5	105.4



**Figure 23 : Courbes de réponse spectrale moyenne des classes spectrales des savanes arbustives ou arborées en septembre**

**Tableau 7 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la savane boisée dans les trois canaux de SPOT en septembre**

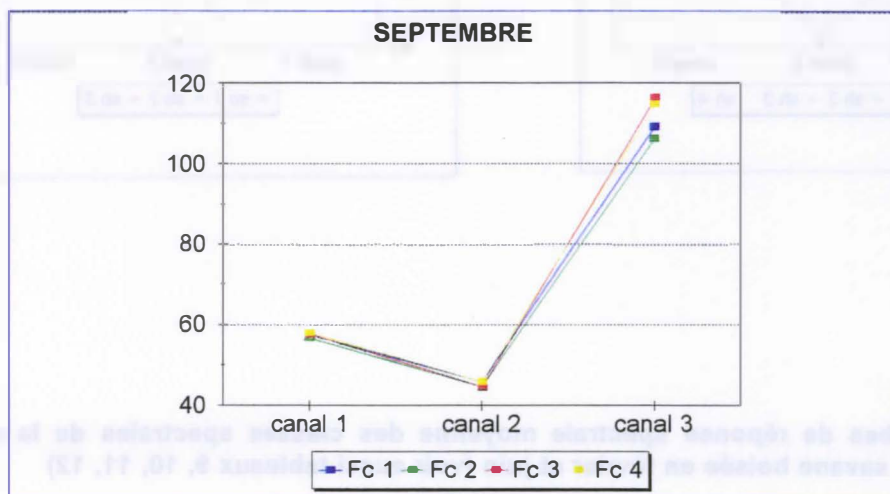
	sb 1	sb 2	sb 3
canal 1	59.7	58.2	58.7
canal 2	48.8	46.6	46.9
canal 3	114.3	107.3	109.8



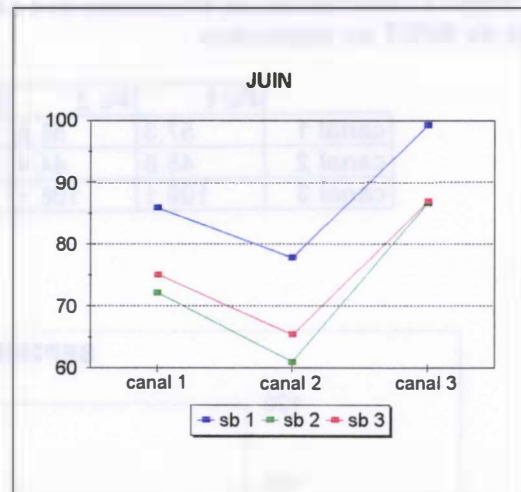
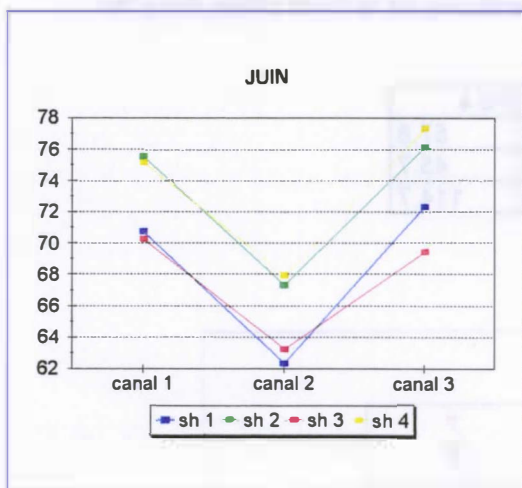
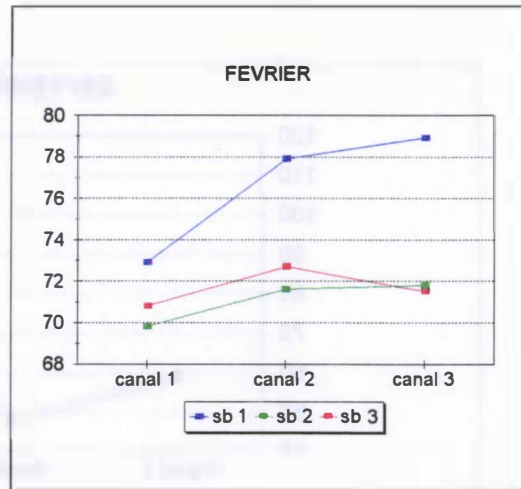
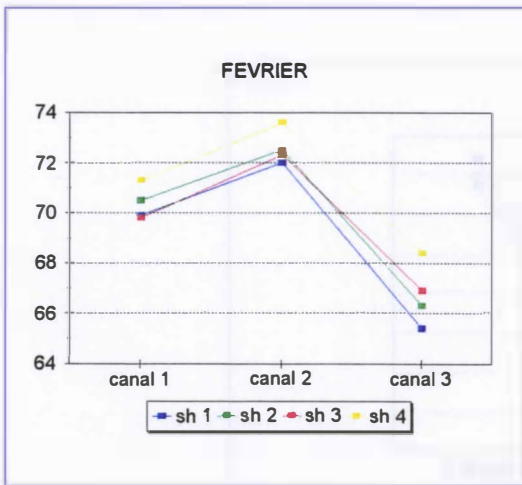
**Figure 24 : Courbes de réponse spectrale moyenne des classes spectrales de la savane boisée en septembre**

**Tableau 8 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la forêt claire dans les trois canaux de SPOT en septembre**

	Fc 1	Fc 2	Fc 3	Fc 4
canal 1	57.3	56.6	57.5	57.8
canal 2	45.8	44.4	44.5	45.7
canal 3	109.1	106.1	116.2	114.7



**Figure 25 : Courbes de réponse spectrale moyenne des classes spectrales de la forêt claire en septembre**



**Figure 26** : Courbes de réponse spectrale moyenne des classes spectrales de la savane herbeuse et de la savane boisée en février et juin (voir aussi tableaux 9, 10, 11, 12)

La sh1 a une réflectance relativement élevée dans le canal 2 et faible dans le canal 3 : la pente de sa courbe entre les canaux 2 et 3 est donc plus faible que celle des autres courbes.

A l'inverse, la sh4 a une réflectance relativement faible dans le canal 2 et élevée dans le canal 3 : la pente entre ces 2 canaux est donc plus importante que celle des autres courbes.

- Classe thématique "savane arbustive ou arborée": (cf figure 23 )

Les 4 classes spectrales "savane arbustive ou arborée" ne diffèrent que très faiblement entre elles de part leur forme ou leur valeur de réflectance. La sa/A1 présente cependant une valeur relativement faible de réflectance dans le canal 3.

- Classe thématique "savane boisée": (cf figure 24)

La forme des courbes est la même. La seule différence observée est une différence d'intensité.

- Classe thématique "forêt claire": (cf figure 25 )

On constate qu'il n'y a pratiquement aucune différences entre les différentes classes pour les réflectances dans les canaux 1 et 2. Les différences sont essentiellement des différences de réflectance dans le canal 3.

### Conclusion:

Les 4 classes thématiques citées ci-dessus présentent en septembre divers faciès radiométriques, ce qui nous a conduit à créer plusieurs classes spectrales. Nous nous sommes alors posé la question suivante: ces divers classes spectrales correspondent-elles à des sous classes thématiques?

Compte tenu de la connaissance que l'on a de la région, la comparaison des courbes des réponses moyennes des classes spectrales peut alors être très intéressante, car elle permet d'émettre des hypothèses tentant de rendre compte des faciès radiométriques observées. Ces hypothèses peuvent ensuite être rejetées ou acceptées après vérification sur la terrain.

- Pour les savanes herbeuses, nous avons émis l'hypothèse que les sh1 et sh3 présentant des radiométries plus faibles dans le canal 3 pourraient correspondre à des savanes herbeuses sur cuirasse : les graminées poussant sur ces milieux pauvres et arides sont en effet des graminées à cycle court, déjà sèches en septembre. Les sh2 et sh4 correspondraient au contraire à des zones où les sols plus profonds, plus riches, et qui permettraient ainsi aux graminées d'avoir un cycle plus long et de ne pas être complètement sèches en septembre.

Pour tester ces hypothèses, nous avons observé les parcelles de ces différentes classes sur les PVBA. Ces hypothèses se sont avérées correctes :

- Les classes spectrales sh1 et sh3 correspondent à une sous-classe thématique "savane herbeuse sur cuirasse"

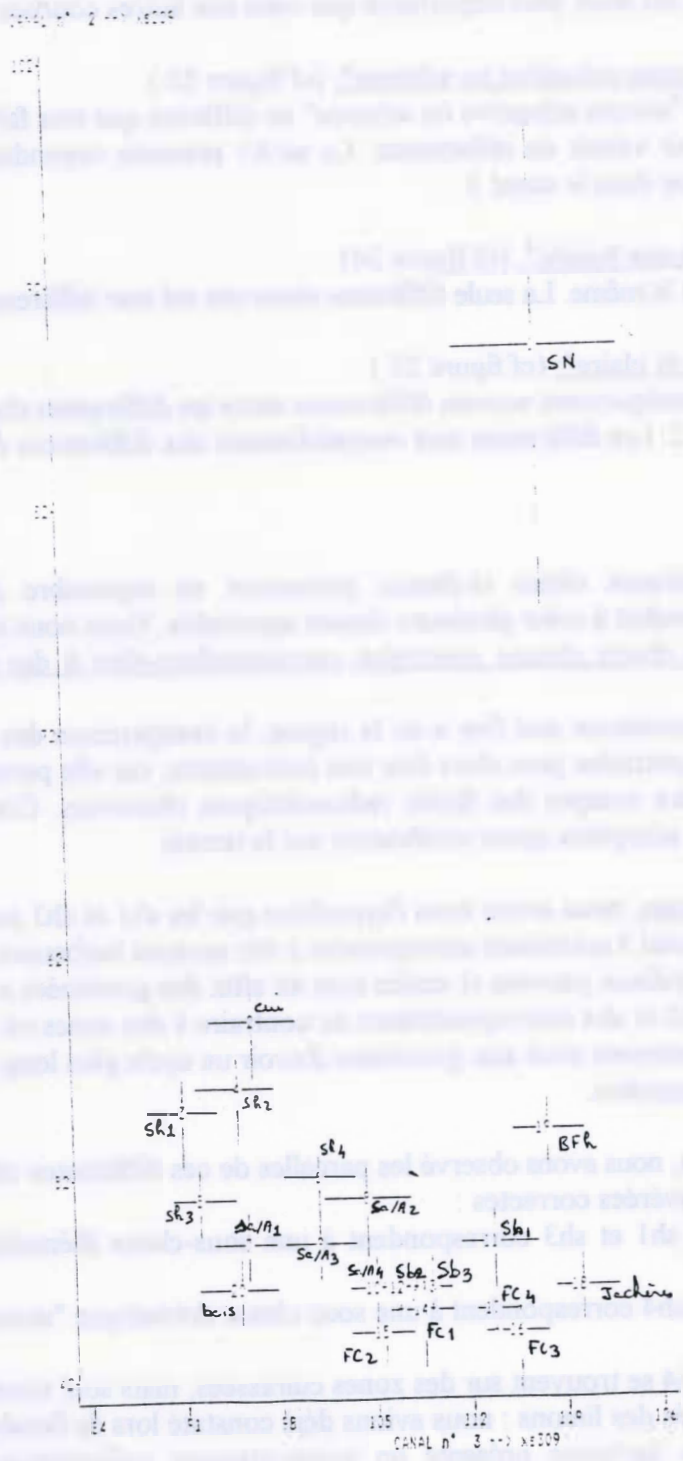
- Les sous-classes sh2 et sh4 correspondent à une sous-classe thématique "savane herbeuse sur sol non cuirassé"

Quelques parcelles de la sh4 se trouvent sur des zones cuirassées, mais sont situées dans des dépressions, où se sont accumulés des limons : nous avons déjà constaté lors de l'analyse visuelle, que dans ces zones, la savane herbeuse présente un comportement radiométrique différent (radiométrie plus importante dans le canal 3).

Comme ces classes spectrales correspondent à des sous-classes thématiques, il est possible qu'après report de leurs parcelles d'apprentissage sur les images de février et juin, elles expriment aussi, pour ces dates, des faciès radiométriques différents. Les courbes des réponses spectrales moyennes obtenues pour ces dates sont représentées sur la figure 26.



ETUDE DES MOYENNES ET ECART TYPE



**Figure 27 : Histogramme bidimensionnel des classes spectrales (avec XS2 et XS3)**

Les résultats obtenus pour février sont délicats à interprétés, à cause des feux de brousse qui peuvent masquer certaines différences importantes. On remarquera cependant que la sh4 se distingue par une plus grande réflectance dans les différents canaux.

Pour l'image de juin, une différence de comportement radiométrique apparaît entre les deux sous-classes de savane herbeuse : la réflectance moyenne dans les différents canaux de sh2 et sh4 est bien supérieure à celle de sh1 et sh3. Les deux sous-classes thématiques apparaissent ainsi bien différenciées : en juin, le couvert herbacé n'est pas encore bien développé (couverture faible du sol). L'influence du sol dans la radiométrie apparaît donc prépondérante. Or les sols cuirassés présentent généralement un aspect plus sombre que les sols non cuirassés, d'où ces différences de radiométrie observées entre ces deux sous-classes thématiques.

- En ce qui concerne les savanes boisées, l'observation de leurs courbes spectrales moyennes en février (cf figure 26) met en évidence une importante différence de comportement entre la sb1 et les sb2 et sb3. La réflectance est en effet bien supérieure pour cette classe, dans tous les canaux, que celle des deux autres. En juin, on observe toujours cette différence. De plus à cette date, le parallélisme observé entre ces courbes résulte sans doute de l'influence du sol. Nous avons donc émis l'hypothèse que les sb 2 et 3 correspondaient à des sb poussant sur cuirasse, et la sb1 à une savane boisée poussant sur sol non cuirassé. Après observation des parcelles d'apprentissage sur les PBVA, cette hypothèse s'est également révélée juste:

- La sb1 correspond à une sous-classe thématique "savane boisée sur sol non cuirassé"
- Les sb2 et 3 correspondent à une sous-classe thématique "savane boisée sur cuirasse"

Cependant, pour février, si seul le sol était impliqué dans les différences de réflectance, on aurait pu s'attendre à un parallélisme entre les courbes de réponse spectrale. Hors la savane boisée 1 présente une réflectance particulièrement importante dans le canal 3. Nous pensons que ce type de savane, poussant sur des sols plus riches que les cuirasses présenterait des ligneux qui seraient toujours en activité en février.

### 2.1.5 - Histogrammes bidimensionnels des classes spectrales

Si on visualise la moyenne et l'écart type des classes spectrales sur des plans constitués à partir des canaux XS1, XS2 et XS3, on constate que la combinaison de canaux séparant le mieux les classes est obtenue à partir des canaux XS2 et XS3 (cf figure 27 ).

La figure 28 montre que XS1 et XS2 sont positivement corrélés. Toutefois, dans les classifications qui suivent, nous avons conservé le canal 1 qui apporte un plus pour la séparation de certaines classes.

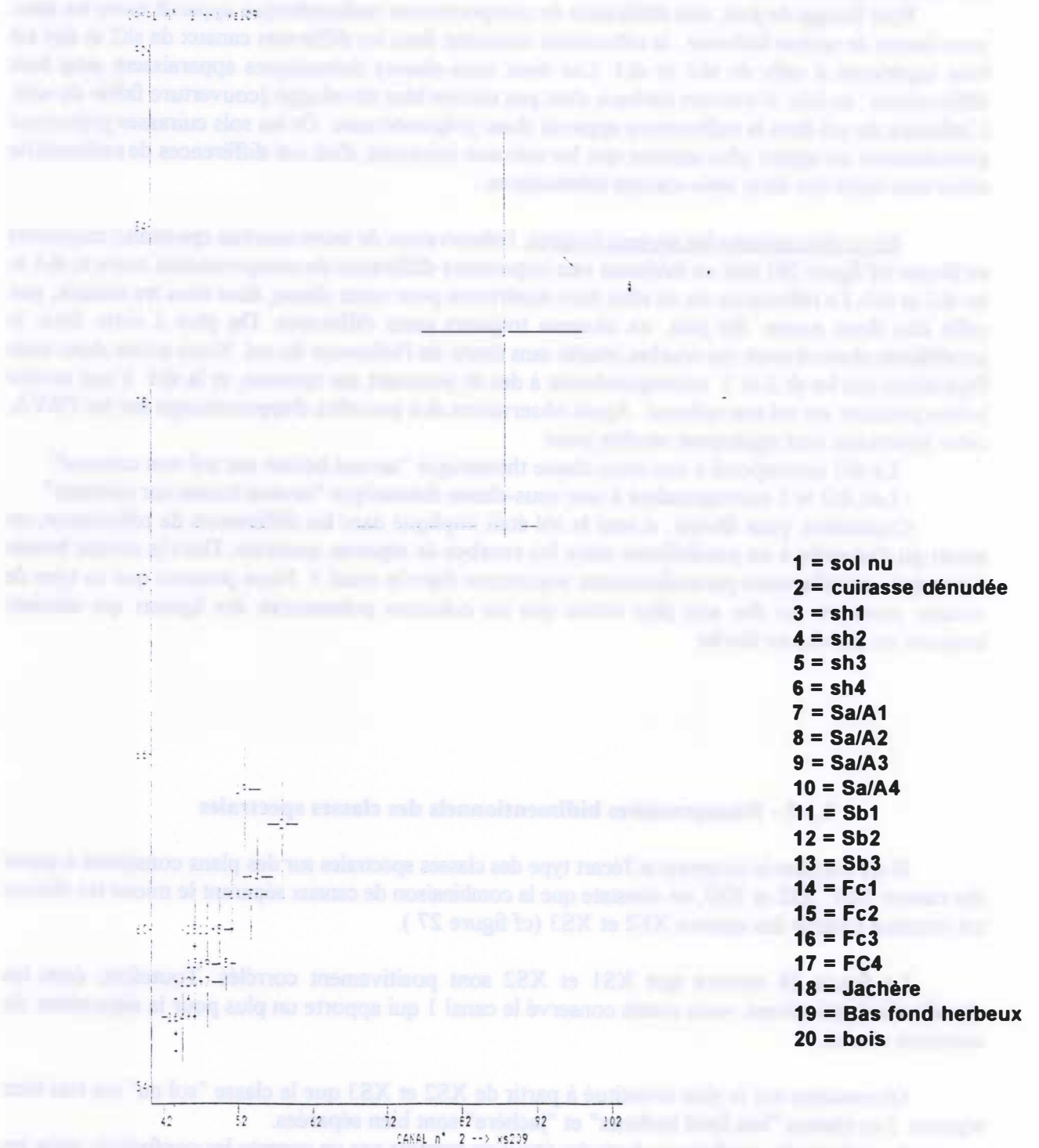
On constate sur le plan constitué à partir de XS2 et XS3 que la classe "sol nu" est très bien séparée. Les classes "bas fond herbeux" et "jachère" sont bien séparées.

Les principales confusions observées (nous ne prenons pas en compte les confusions entre les classes spectrales d'une même classe thématique) concernent :

- la classe "cuirasse dénudée" avec la classe sh2,
- la classe "bois" avec la classe Sa/A1,
- la classe sh4 avec la classe Sa/A2,
- les classes sb2 et 3 avec les classes Sa/A4 et FC1.



ETENDUE AVEC MOYENNE ET ECART TYPE



**Figure 28 : Histogramme bidimensionnel des classes spectrales (avec XS2 et XS1)**

### 2.1.6 - Classifications:

Rappelons qu'à ce stade de l'étude, deux impératifs se présentent à nous:

- a) tester l'efficacité des différents algorithmes de classification pour retenir celui qui permet d'obtenir les meilleurs résultats,
- b) choisir la meilleure combinaison de canaux ou de néocanaux utilisés pour la classification.

#### **Choix du meilleur algorithme:**

La simple observation des nuages de points des classes sur des plans formés par 2 canaux nous avait permis de penser que la méthode barycentrique donnerait de meilleurs résultats. Encore fallait-il le montrer.

Nous avons donc comparé les évaluations de classifications réalisées soit avec la méthode barycentrique, soit avec la méthode des hypercubes.

Les résultats obtenus avec une classification à partir des 3 canaux SPOT sont présentés sur les figures 29, 30, 31, 32.

- Matrices des sites bien reconnus: Elles montrent de manière évidente la supériorité, dans ce cas, de la méthode barycentrique. Pour cette méthode, les plus mauvais résultats obtenus sont de 35,8% de pixels mal reconnus (classe "cuirasse"). Dans le cas de la méthode hypercube, 100% des pixels de la classe "bois" ont été mal reconnus, 98,6% pour les jachères, 89,7% pour les savanes boisées, 89% pour les forêts claires, 80,6% pour les cuirasses,... Il s'en suivrait, si l'on réalisait avec cette méthode une classification sur l'ensemble des pixels de l'image, une très forte sous-estimation de certaines classes (ex: bois, bas fonds herbeux, forêts claires), une surestimation d'autres classes (ex: sols nus), des confusions très importantes.

- Matrices des pixels bien classés: A l'image des matrices des sites bien reconnus, ces matrices mettent en évidence les meilleurs résultats obtenus avec la méthode barycentrique. Si l'on effectue une comparaison classe par classe, on constate que cette méthode a donné de meilleurs résultats pour toutes les classes, à l'exception de 2 classes: les bas fonds herbeux et les jachères où 100% des pixels affectés à ces classes par la méthode hypercube étaient des pixels bien classés. Seulement, les matrices des sites bien reconnus nous montrent que ces pixels ne représentent que 51,5% et 1,4% des pixels d'apprentissage de ces classes. Cet exemple montre qu'on ne peut conclure sur la qualité d'une classification qu'après analyse des résultats des deux matrices de confusion.

#### **Conclusion:**

Les matrices de confusion concernant cette classification (ainsi que d'autres effectuées à partir de néocanaux) nous ont montré que dans le cas de notre étude, la méthode barycentrique permettait d'obtenir de meilleurs résultats, d'où le choix de cet algorithme: tous les résultats de classification présentés dans la suite de cette étude ont été obtenus avec cet algorithme.

#### **Choix des canaux et néocanaux:**

##### **- classification obtenue à partir des trois canaux de SPOT**

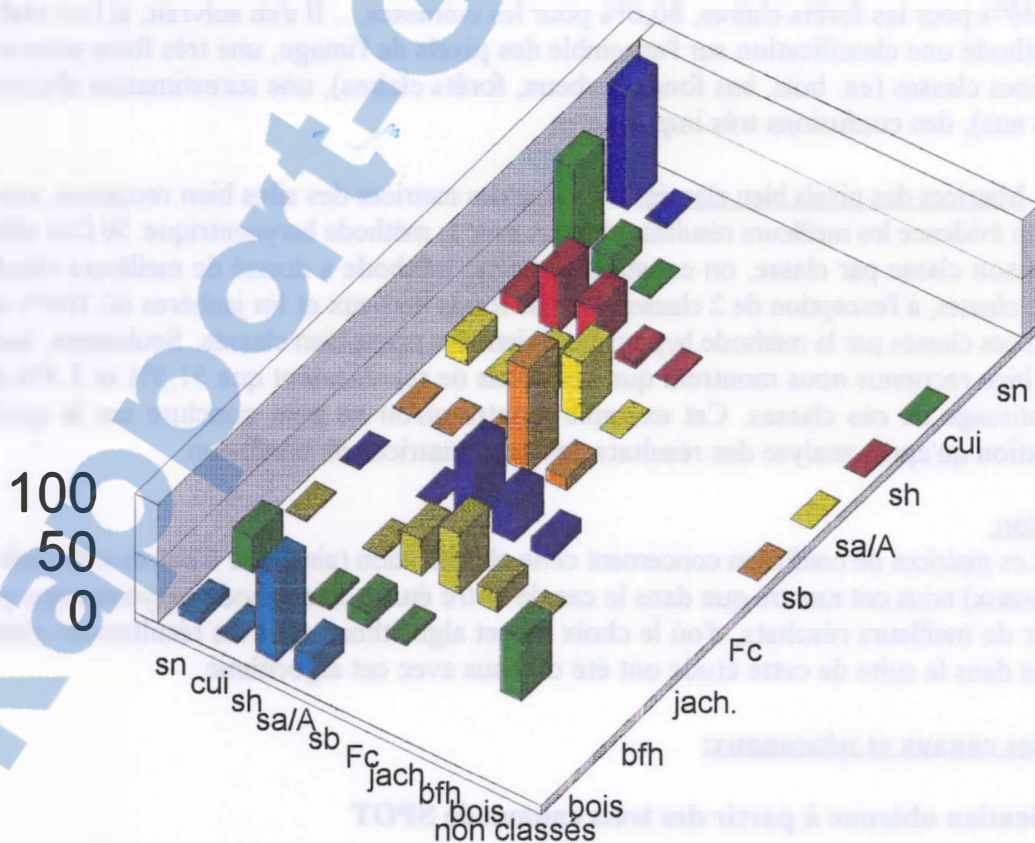
Nous analyserons ici plus en détail les informations fournies par les matrices de confusion des figure 30 et 32. Elles montrent :

- que le pourcentage de pixels non classés est faible,
- que dans l'ensemble, les classes sont assez bien séparées,
- mais que les sols nus sont les seuls à être distingués sans ambiguïté (98,6% de pixels bien

**Tableau 13 : Classification hypercube à partir des 3 canaux bruts de l'image de Septembre; matrice des sites bien reconnus**

	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois
sn	99.1	79.1	11.7	17.7	1.1	0.6	1.4	29.4	6.7
cui	0.9	19.4	48.3	1.6	0.2	0	0	0	1.3
sh	0	1	35.1	31	1.3	0.9	0.7	2.9	73.3
sa/A	0	0	4.4	49	86.9	56.3	30.5	13.2	18.7
sb	0	0	0.3	0.4	10.3	31.2	50.3	2.9	0
Fc	0	0	0	0	0	11	15.6	0	0
jach.	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0
bfh	0	0	0	0	0	0	0	51.5	0
bois	0	0	0	0	0	0	0	0	0
non classés	0	0.5	0.3	0.3	0.2	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### hyp (3 canaux; sept.)



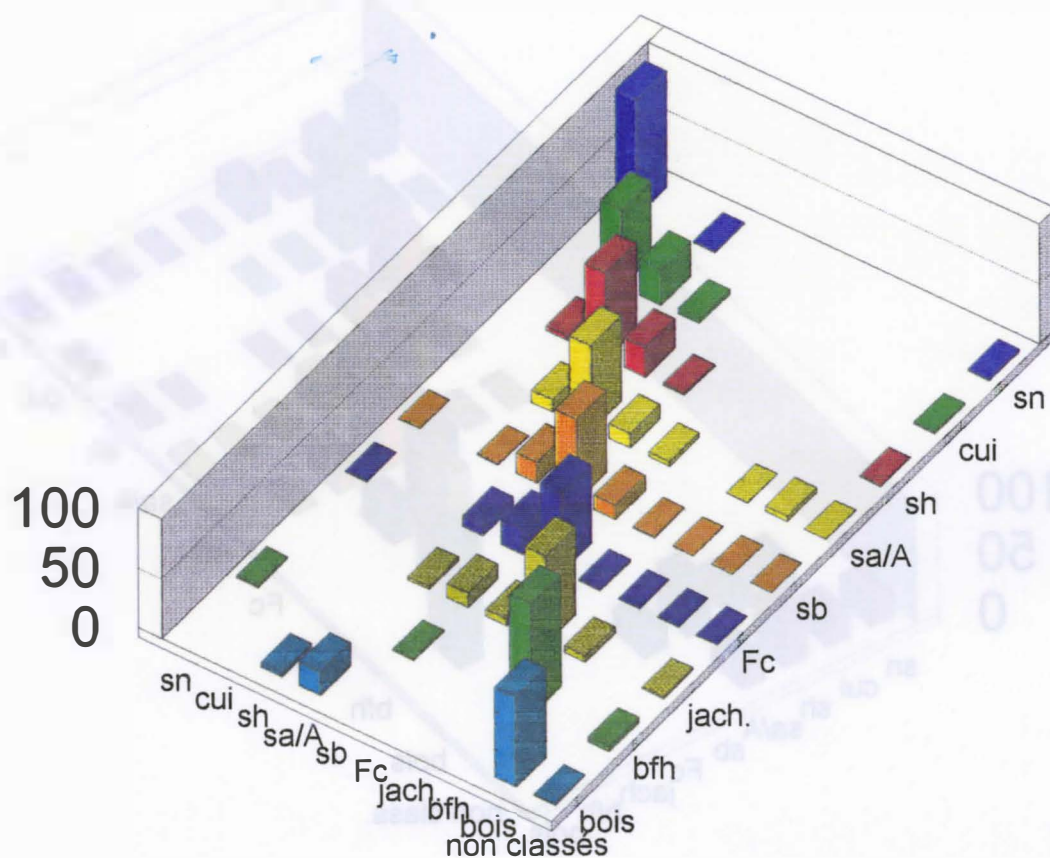
**Figure 29 : Représentation graphique de la matrice de confusion des sites bien reconnus; classification hypercube à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre**



**Tableau 14 : Classification barycentrique à partir des 3 canaux bruts de l'image de Septembre ; matrice des sites bien reconnus**

	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois
sn	97.3	0.0	0.0	0	0.2	0.2	0	1.5	0
cui	0	64.2	4.3	0	0.0	0.0	0	0	0
sh	0.9	29.9	71.2	10	0.6	0.0	0	0	4
sa/A	0	4.5	24.2	70.3	17.3	8.9	2.8	0	20
sb	0	0.0	1.9	12.4	68.5	21.6	12.1	1.5	0
Fc	0	0	0	3.9	12.2	66.2	5.7	0	0
jach.	0	0	0	0	0.9	2.0	73	0	0
bfh	0	0	0	0.2	0.2	0.4	5	92.6	0
bois	0	0	0	4	0	0.4	0	0	74.7
non classés	1.8	1.5	0.3	0.3	0	0.4	1.4	4.4	1.3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### bar (3 canaux; sept.)

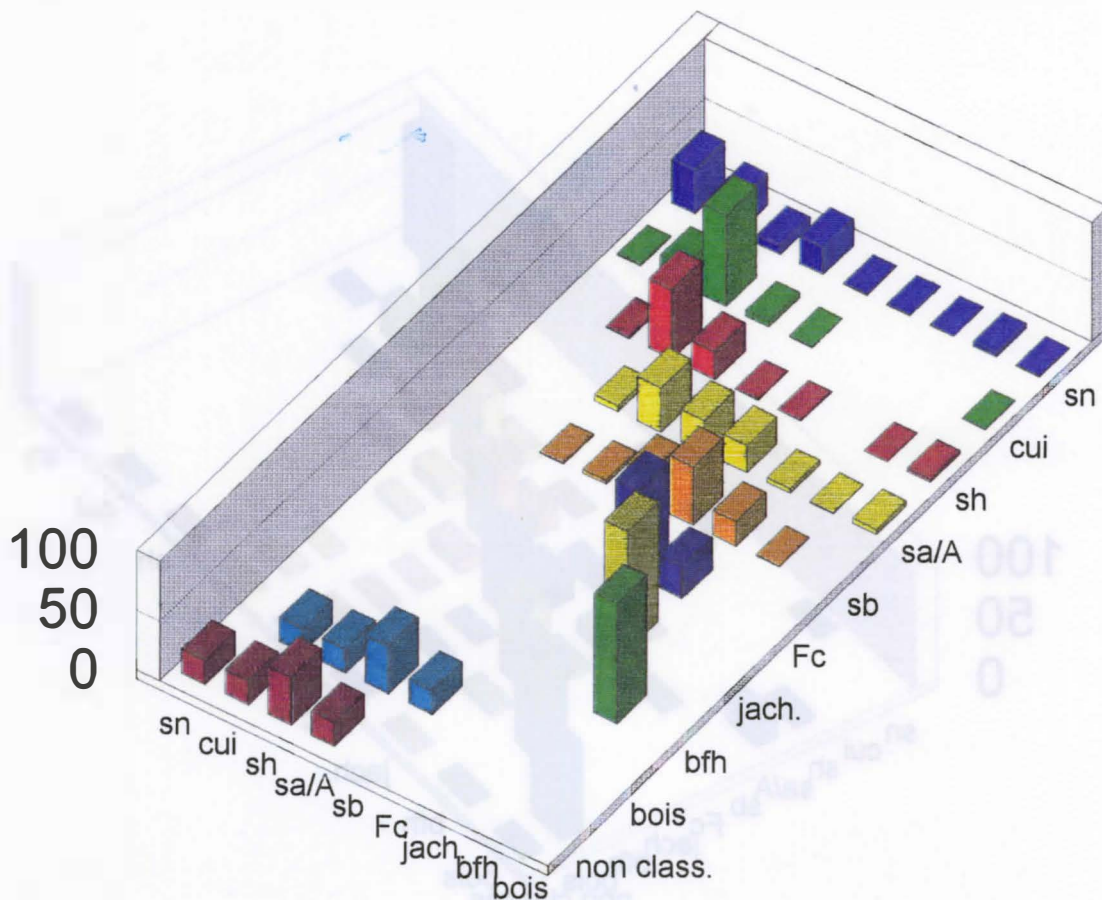


**Figure 30 : Représentation graphique de la matrice de confusion des sites bien reconnus; classification barycentrique à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre**

**Tableau 15 : Classification hypercube à partir des 3 canaux bruts de l'image de Septembre; matrice des pixels bien classés**

	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois	non class.
sn	36.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	20
cui	26.9	16.7	1.2	0.0	0	0	0	0	0	20
sh	7.3	76.5	57.8	4.7	0.7	0	0	0	0	40
sa/A	23.0	5.1	23.4	36.7	3.4	0	0	0	0	40
sb	0.8	0.4	0.3	27.0	26.2	0	0	0	0	20
Fc	0.5	0	0.3	22.9	49.2	72.7	0	0	0	0
jach.	0.3	0	0	3.6	20.2	26.3	100	0	0	0
bfh	3.4	0	0.1	0.6	0.2	0	0	100	0	0
bois	0.8	0.4	2.8	4.3	0	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### hyp (3 canaux; sept.)



Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



**Figure 31 : Représentation graphique de la matrice de confusion des pixels bien classés; classification hypercube à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre**



classés).

Les principales confusions observées concernent:

- les cuirasses dénudées avec les savanes herbeuses : 29,9% des pixels d'apprentissage de la classe "cuirasse dénudée" sont classés dans la classe "savane herbeuse".

- les savanes herbeuses avec les savanes arbustives ou arborées: 24,2% des pixels d'apprentissage de la classe "savane herbeuse" sont classés dans la classe "savane arbustive ou arborée" et 10% des pixels d'apprentissage de la classe "savane arbustive ou arborée" sont classés dans la "savane herbeuse".

- les savanes arbustives ou arborées avec les savanes boisées: (pourcentage de pixels des savanes arbustives ou arborées classés dans les savanes boisées: 12,4%; pourcentage de pixels des savanes boisées classés dans les savanes arbustives ou arborées: 17,3%).

- Les forêts claires avec les savanes boisées, et dans une moindre mesure avec les savanes arbustives ou arborées (surtout dans le sens: pixels d'apprentissage des forêts claires -> savanes boisées).

- Les bois avec les savanes arbustives ou arborées (surtout dans le sens: pixels de la classe "bois" -> savanes arbustives ou arborées).

Ces résultats concernant les confusions confirment les hypothèses que nous avons avancées à l'issu de l'étude des courbes de réponses spectrales moyennes des différents thèmes.

Par ailleurs, nous avons complété l'évaluation par les matrices de confusion par une évaluation visuelle à partir des références de terrain dont nous disposons et l'image classée obtenue (cf images 10, 11, 12). Cette évaluation a permis de confirmer les bons résultats obtenus globalement.

Conclusion sur cette classification: Les trois canaux SPOT nous permettent une assez bonne discrimination des différents thèmes. Parmi les confusions citées ci-dessus, certaines sont compréhensibles et en partie inévitables (ex: "savane boisée" avec "forêt claire") (la définition de ces thèmes se base en partie sur l'importance de la strate ligneuse, soit un critère quantitatif, continu). Par contre, la confusion entre bois et savanes arbustives ou arborées apparaît entre deux thèmes très différents. Dans le but d'éviter ce type de confusion, et d'essayer d'améliorer globalement la discrimination des thèmes, nous avons testé différents indices ou autres néocanaux.

#### **- Classifications obtenues à partir des canaux SPOT et de néocanaux**

##### **a) Classification à partir de trois canaux SPOT et de l'indice de brillance (cf tableaux 17 et 18)**

L'indice de brillance (IB) est le résultat d'une combinaison entre les canaux rouge et PIR. Son calcul s'effectue selon la formule suivante :

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

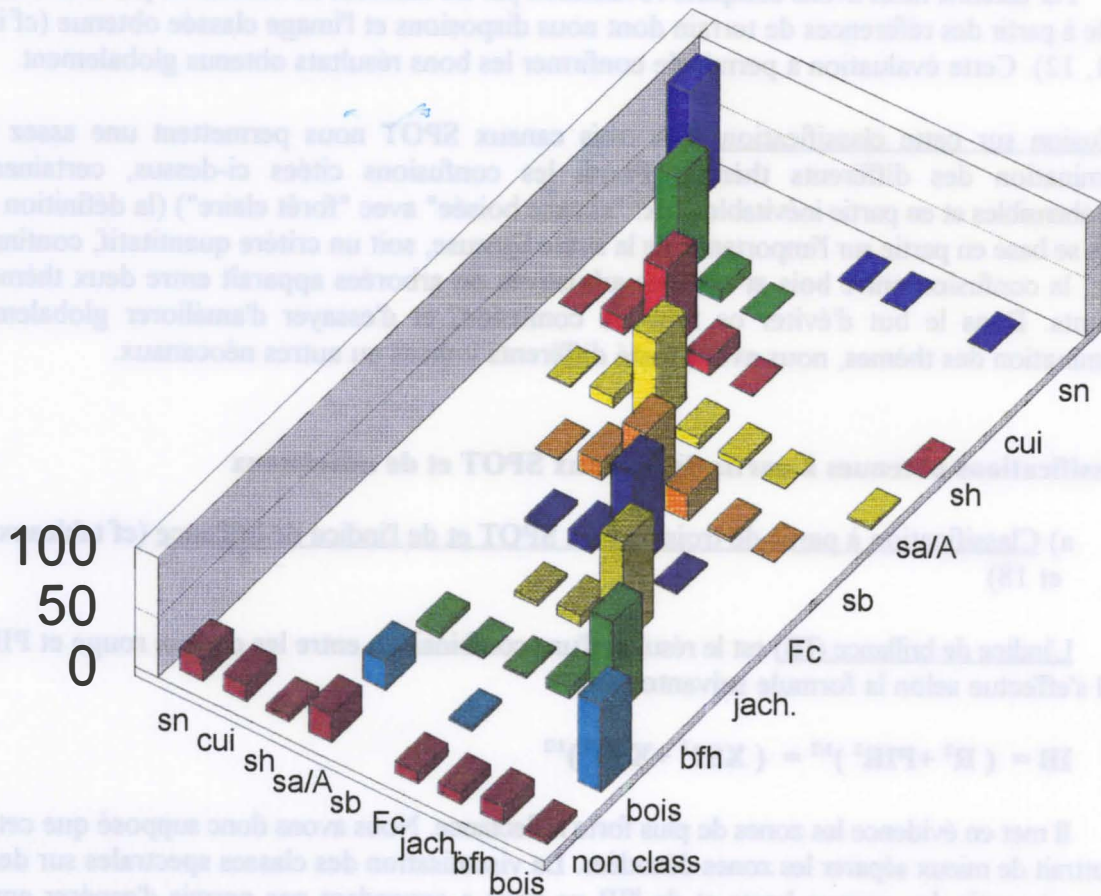
Il met en évidence les zones de plus forte réflectance. Nous avons donc supposé que cet indice permettrait de mieux séparer les zones dénudées. La visualisation des classes spectrales sur des plans obtenus à partir des canaux bruts et de l'IB ne nous a cependant pas permis d'espérer améliorer beaucoup la séparation des classes, excepté une légère amélioration de la séparation entre cuirasses dénudées et savanes herbeuses.

L'analyse des matrices de confusion confirme que l'utilisation de l'indice de brillance n'apporte

**Tableau 16 : Classification barycentrique à partir des 3 canaux bruts de l'image de Septembre ; matrice des pixels bien classés**

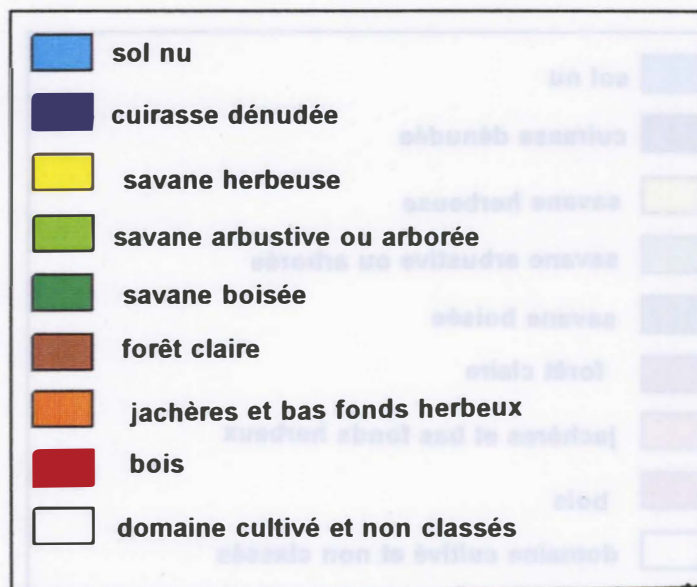
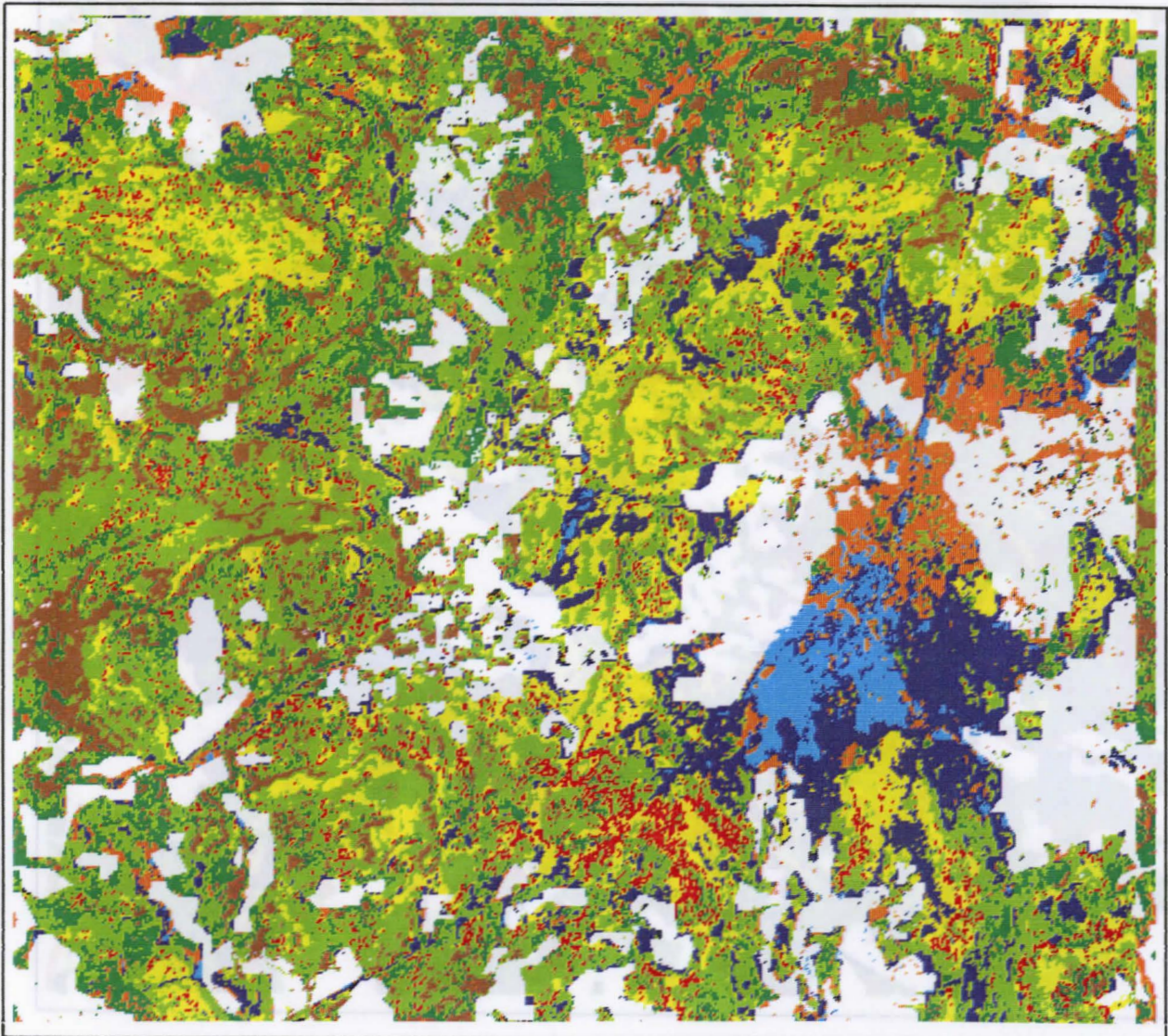
	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois	non class
sn	98.6	0	0.6	0	0	0	0	0	0	19
cui	0	88.3	13.8	1.3	0	0	0	0	0	14.3
sh	0	11	71.4	9.3	1.2	0	0	0	0	4.8
sa/A	0	0.7	13.1	73.7	15.5	3.4	0	5.2	24.7	23.8
sb	0.5	0	0.5	8.7	56.7	10.9	3.4	1.3	0	0
Fc	0.5	0	0	5.3	21.9	83.9	9.3	2.6	2.6	9.5
jach.	0	0	0	0.5	2.9	1.8	87.3	9.1	0	9.5
bfh	0.5	0	0	0	0.1	0	0	81.8	0	14.3
bois	0	0	0.5	2.2	0	0	0	0	72.7	4.8
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

### bar (3 canaux; sept.)



**Figure 32 : Représentation graphique de la matrice de confusion des pixels bien classés; classification barycentrique à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre**



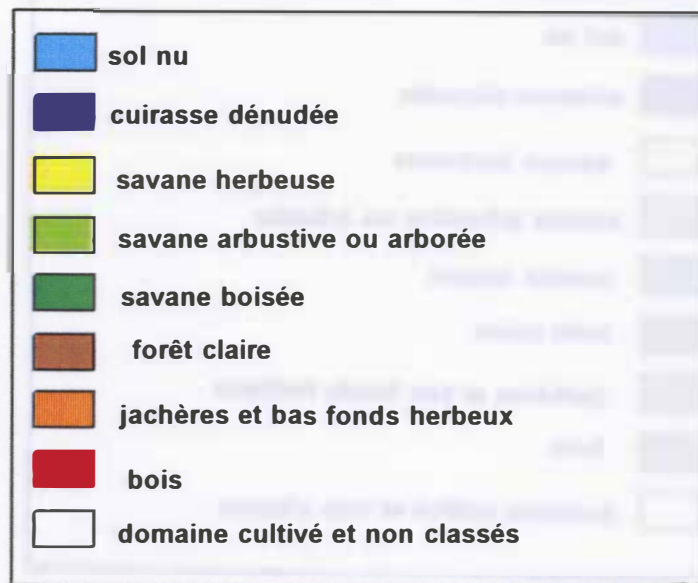
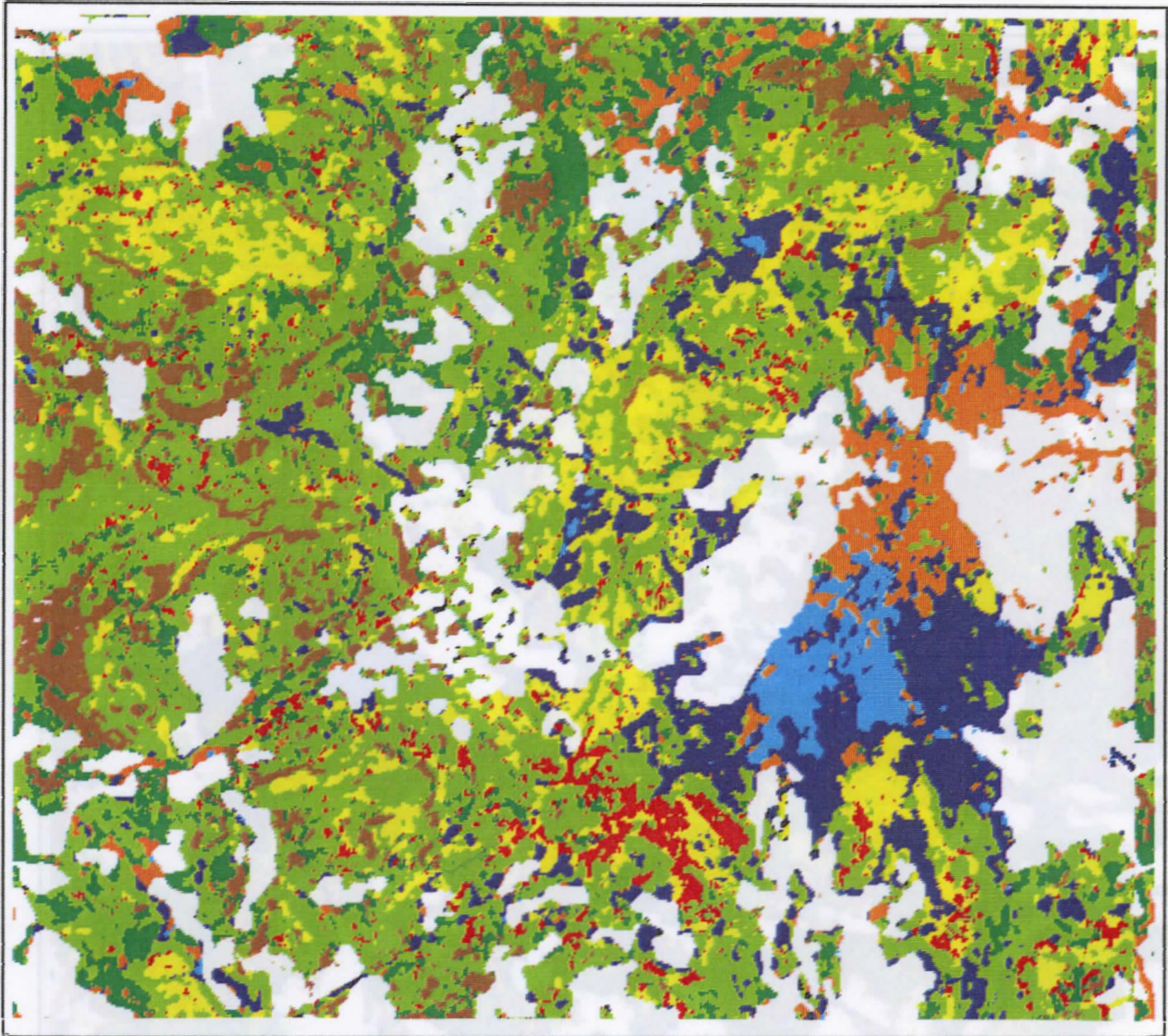


**Image 10** : Image classée; Zone de Safané Ouest, classification barycentrique à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre 1992 (sans lissage)

(Pour améliorer la visibilité de l'image, nous avons donné la même couleur aux jachères et bas fonds)

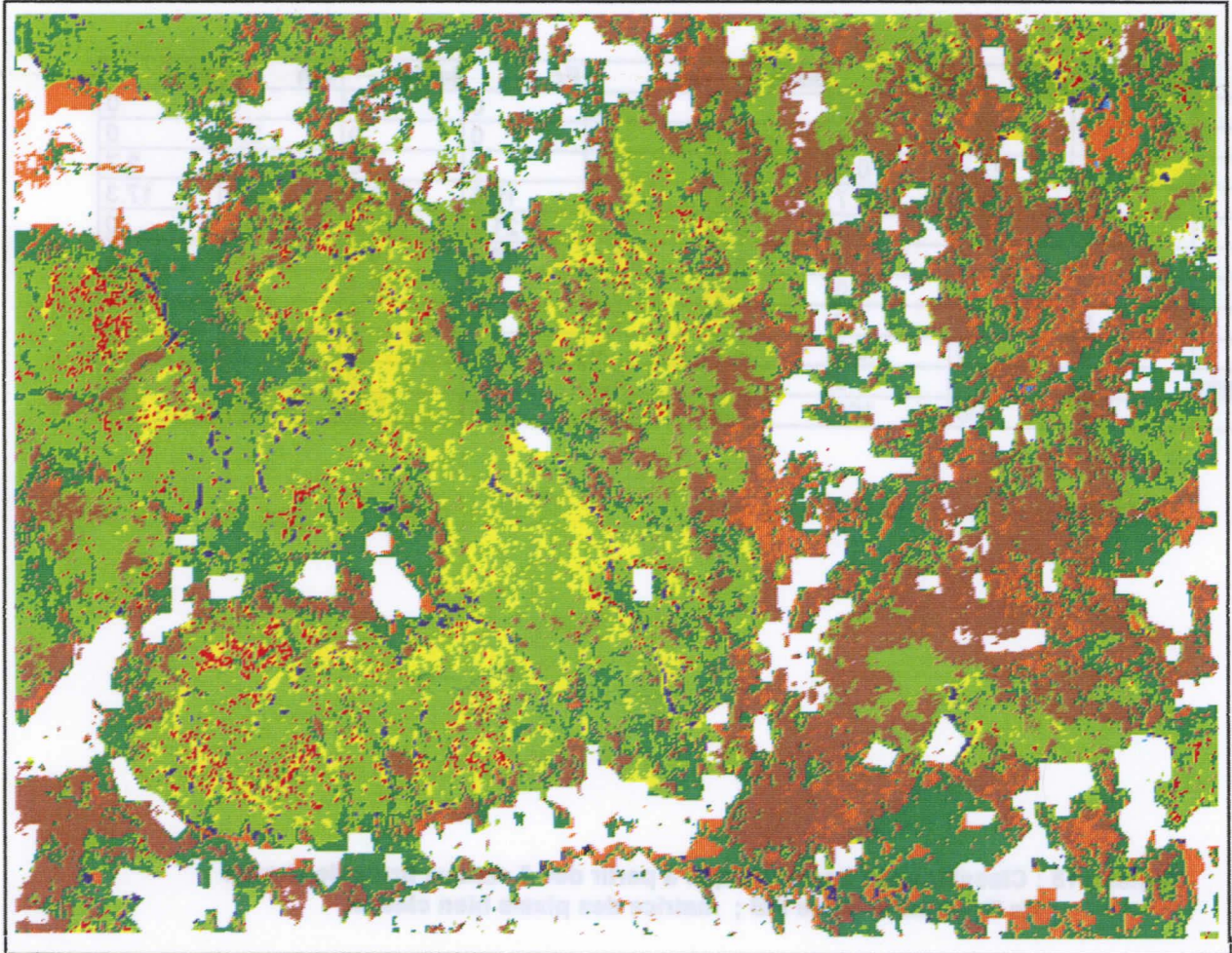
Les zones cuirassées sont aisément reconnaissables (recouvertes le plus souvent par des savanes herbeuses ou arbustives, elles sont entourées par des corniches ou l'on trouve beaucoup d'arbre : cette structure apparait bien sur l'image classée)





**Image 11** : Image classée; Zone de Safané Ouest, classification barycentrique à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre 1992 (avec lissage)





**Image 12 :** Image classée; Zone de grès de Sotuba; classification barycentrique à partir des trois canaux bruts de l'image de septembre 1992





pas, globalement, d'amélioration notable par rapport à la classification effectuée à partir des trois canaux bruts.

Si l'on effectue une comparaison classe par classe, on constate:

- Une meilleure discrimination entre la classe "savane arbustive ou arborée" et la classe "bois":

Avec la classification basée uniquement sur les trois canaux SPOT, 4% des pixels d'apprentissage de la classe "savane arbustive ou arborée" sont classés dans la classe "bois", et 20% des pixels d'apprentissage de la classe "bois" sont classés dans la classe "savane arbustive ou arborée". Ces pourcentages sont de 2,1% et 17,3% lorsqu'on utilise l'indice de brillance.

- Une plus faible confusion entre les classes "cuirasse dénudée" et "savane herbeuse": (29,9% des pixels d'apprentissage de la classe "cuirasse dénudée" sont classés dans la classe "savane herbeuse" avec la classification avec les trois canaux SPOT, contre 22,4% si l'on utilise aussi l'indice de brillance).

- Par contre, la confusion augmente entre la classe "sol nu" et "cuirasse dénudée" (6,8% de pixels de la classe "sol nu" sont classés dans la classe "cuirasse dénudée", contre 0% pour la classification sans indice de brillance, d'où une diminution du pourcentage de pixels bien classés pour la classe "cuirasse dénudée": ce pourcentage passe de 88% à 80,8%).

- Les sols nus et les bas fonds herbeux sont moins bien discriminés.

- Les confusions entre forêts claires et savanes boisées et entre forêts claires et jachères augmentent.

Conclusion sur cette classification: Globalement, l'utilisation de l'indice de brillance n'est pas très intéressante. Son principal intérêt est qu'elle permet de réduire les confusions entre savanes arbustives ou arborées et bois, et entre les classes "cuirasse dénudée" et "savane herbeuse". Cependant, les sols nus sont moins bien discriminés. Cette classification pourrait donc être utilisée dans la procédure suivante:

- 1) classification avec les trois canaux bruts pour isoler la classe "sol nu",
- 2) après masquage de la classe "sol nu", classification à partir des 3 canaux bruts + l'indice de brillance pour isoler les classes "cuirasse dénudée" et "bois",
- 3) Masquage des trois classes précédemment isolées, puis nouvelle classification avec les trois canaux bruts pour discriminer les autres thèmes.

Cette procédure permettrait d'améliorer la séparation des classes thématiques. Elle présente cependant une certaine lourdeur du fait de la répétition des manipulations.

b) classification à partir des trois canaux bruts et de l'indice de végétation (cf tableaux 19 et 20)

Nous avons vu dans le chapitre "comportement spectral des végétaux dans le visible et le PIR" que la végétation active comporte une très forte réflectance dans le PIR par rapport à celle des canaux du visible. L'indice de végétation normalisé se calcule alors selon la formule suivante:  $IV = (PIR - R) / (PIR + R)$ , ce qui revient, dans les canaux SPOT, à  $IV = (XS3 - XS2) / (XS3 + XS2)$ .

Nous avons pensé que cet indice associé aux trois canaux bruts, permettrait de mieux séparer les classes se différenciant par l'importance de leur végétation active.

Mais là aussi, l'analyse des matrices de confusion (cf figure ) ne permet pas de conclure à une amélioration globale de la discrimination des thèmes. On constate cependant une moindre confusion entre la classe "cuirasse dénudée" et la classe "savane herbeuse". De plus, cette classe "cuirasse dénudée" ne se confond pas avec la classe "sol nu" (contrairement à la classification utilisant l'indice de brillance). Par contre, on observe:

- Une augmentation des confusions entre sols nus et bas fonds herbeux (5,5% des pixels





d'apprentissage de la classe "sol nu" sont classés dans la classe "bas fonds herbeux".

- Une augmentation des confusions entre forêts claires et savanes boisées, entre jachères et forêts claires, et entre bas fonds herbeux et savanes boisées.

Conclusion sur cette classification: L'utilisation de l'indice de végétation ne semble intéressant que pour améliorer la discrimination de la classe "cuirasse dénudée". La procédure suivante peut être proposée:

- 1) classification à partir des 3 canaux bruts + indice de végétation pour isoler les cuirasses,
- 2) classification à partir des 3 canaux bruts + indice de brillance pour isoler les bois,
- 3) classification à partir des 3 canaux bruts seuls pour discriminer les autres thèmes.

Cette démarche nous permet d'améliorer la discrimination des cuirasses dénudées, mais multiplie le nombre de manipulations.

#### c) Classification à partir des 3 canaux SPOT et de néocanaux issus de l'ACP:

Lorsque l'on représente l'information contenue dans une image multispectrale dans l'espace des canaux, le nuage de points obtenu s'étire selon des axes de direction quelconques par rapport aux axes du repère. Le premier axe de l'ACP (Analyse en Composante Principale) est la droite pour laquelle la dispersion des projections des points est maximale (inertie maximale). L'axe secondaire est perpendiculaire au précédent.

L'ACP consiste donc à effectuer une projection selon ces nouveaux axes de référence, de façon à étaler au maximum les classes pour les éloigner au mieux les unes des autres.

Après calcul de l'axe principal par ACP, il s'est avéré qu'il contenait 90% de l'information présente (si l'on considère que la variance est représentative de l'information présente).

Nous avons retenu cet axe en tant que néocanal, et l'avons associé aux trois canaux SPOT pour une nouvelle classification. Cependant, l'analyse des matrices de confusion ne nous a pas permis de conclure à une amélioration dans la discrimination des thèmes.

De telles classifications ont également été réalisées à partir des deuxième et troisième axes principaux ou de combinaisons des axes principaux, et là aussi, aucune amélioration n'a été mise en évidence.

### **2.1.7 - Conclusions sur l'image de septembre:**

L'algorithme de traitement le plus adapté est basé sur la méthode barycentrique. A partir des 3 canaux SPOT, il permet d'obtenir une assez bonne discrimination des différents thèmes. La moins bonne discrimination concerne les savanes boisées avec 57% seulement de pixels bien classés. Pour tous les autres thèmes, ce pourcentage dépasse les 71%.

La prise en compte de néocanaux (axes principaux de l'ACP, indice de brillance, indice de végétation) n'ont pas permis d'améliorer globalement la discrimination des thèmes. L'indice de brillance et l'indice de végétation apportent cependant un plus pour discriminer certains thèmes (bois et cuirasses dénudées), ce qui permet d'envisager leur utilisation dans des procédures où seraient effectuées des classifications successives: à chaque étape, un ou plusieurs thèmes sont isolés.

Cependant, ces procédures ne permettent pas de très fortes améliorations, et nous sommes donc amené à étudier les potentialités des images des autres dates.

**Tableau 21 : Classification barycentrique à partir des 3 canaux bruts de l'image de février; matrice des sites bien reconnus**

	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois
sn	78.5	0	0	0	0	0	0	0	0
cui	14.2	74.6	4.5	0.4	0.2	0.2	0	2.9	0
sh	0.9	20.9	74.3	5.9	0.4	0	0	0	0
sa/A	0.5	3.5	18.7	73.9	19.3	8.0	5.0	11.8	44.0
sb	0	0	1.1	7.6	52.5	20.6	19.1	5.9	1.3
Fc	0	0	0.3	2.6	22.3	62.9	45.4	0	0
jach.	0	0	0	0	1.1	6.8	30.5	0	0
bfh	5.9	1	0	1.4	1.7	0	0	77.9	0
bois	0	0	1.1	6.4	0.2	1.1	0	1.5	54.7
non class	0	0	0	0	2.2	0.4	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tableau 22 : Classification barycentrique à partir des 3 canaux bruts de l'image de février; matrice des pixels bien classés**

	sn	cui	sh	sa/A	sb	Fc	jach.	bfh	bois	non class.
sn	100	15.1	0.6	0.1	0	0	0	14.9	0	0
cui		73.2	12.0	1.0	0	0	0	2.3	0	0
sh		8.3	75.4	8.0	0.5	0.1	0	0	2.9	0
sa/A		1.4	11.6	70.4	14.2	3.9	0	12.6	48.0	83.3
sb		0.5	0.5	8.9	56.5	16	5.9	9.2	1.0	16.7
Fc		0.5	0	4.7	22.7	68.2	43.5	0	5.9	0
jach.		0	0	0.8	5.4	11.8	50.6	0	0	0
bfh		1	0	1.6	0.4	0	0	60.1	1	0
bois		0	0	4.9	0.2	0	0	0	40.2	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



## **2.2 - Analyses multispectrales monodates sur l'image de février (cf tableaux 21 et 22)**

L'analyse visuelle montrait que sur l'image de février, la distinction de certains thèmes était plus difficile, et que globalement, les potentialités de février étaient faibles par rapport à septembre. Encore fallait-il le vérifier numériquement.

Les matrices de confusions obtenues suite à une classification à partir des 3 canaux SPOT montrent que pour la plupart des classes, de moins bons résultats sont obtenus. Les seules améliorations concernent les pourcentages de pixels bien reconnus pour les savanes arbustives ou arborées, savanes herbeuses et cuirasses dénudées (par rapport à septembre ces différences sont respectivement de 3,6%, 3,1% et 10,4%). Cependant, pour ces classes, la matrice des pixels bien classée nous montre que seul pour la savane herbeuse on obtient une réelle amélioration de la discrimination.

Ces résultats décevants pourraient être dus au fait qu'à cette saison, la plupart des végétaux sont en phase de repos. Les classes qui se différençaient bien en septembre grâce à leur différence d'activité végétale ne se différencient donc pratiquement plus.

## **2.3 - Analyses multispectrales monodates sur l'image de juin**

Les matrices de confusion obtenues après classification barycentrique avec les trois canaux SPOT sont présentées sur les tableaux 23 et 24. Elles mettent en évidence de très mauvaises discriminations entre les différents thèmes. Seuls pour les classes "cuirasse dénudée", "sol nu" et "bas fonds herbeux" on obtient des pourcentages de pixels bien reconnus supérieurs à 41%.

On aurait pourtant pu s'attendre à de meilleurs résultats puisqu'à cette saison l'activité des ligneux redémarre (ce qui devrait permettre de distinguer certains thèmes suivant leur proportion de ligneux). Cependant, à cette date, certaines zones peuvent être en avance sur d'autres, ce qui pourrait entraîner des confusions entre thèmes présentant une strate ligneuse importante mais peu en avance, et des thèmes pauvres en ligneux mais où l'activité végétale a déjà bien repris. Les risques de confusion peuvent encore être exacerbés par le développement, dans certaines zones, de la strate herbacée.

**Conclusion:** Les classifications réalisées à partir des canaux SPOT des images de juin ou de février, associés ou non avec des néocanaux (axes de l'ACP, indice de brillance, indice de végétation) ne se révèlent pas intéressantes par rapport à celles obtenues avec l'image de septembre. Il n'est cependant pas à exclure que ces images contiennent des informations susceptibles d'améliorer la classification à partir des canaux de septembre. C'est ce que nous avons voulu savoir à partir des **analyses multidates**.

## **2.4 - Analyses multidates (février, juin, septembre 1992)**

Nous avons ainsi effectué des classifications à partir de combinaisons des canaux bruts ou de néocanaux (indice de brillance, indice de végétation, axes principaux de l'ACP) de septembre et de février, de septembre et de juin, ou des trois dates. Cependant, ces différentes combinaisons n'ont pas permis d'apporter des améliorations par rapport aux résultats obtenus avec septembre seul.



## **2.5 - Analyse multidate (septembre 1992 et septembre 1993)**

Nous avons d'abord effectué une classification à partir des trois canaux bruts seuls de septembre 1993. Les résultats obtenus ne sont pas meilleurs qu'avec septembre 1992, mais pas moins bons non plus, ce qui montre la qualité de notre apprentissage.

Puis nous avons effectué une classification en combinant les 3 canaux bruts de septembre 1992 et ceux de septembre 1993 (cf tableaux 25 et 26). Cette combinaison permet une amélioration importante des résultats de la classification (+ 9,4% de pixel bien classés pour les savanes boisées, + 9,6% de pixels bien classés pour les bas fonds herbeux, et pas de diminution dans les autres classes). Ces résultats non seulement montrent la qualité de l'apprentissage, mais il permettent aussi de vérifier que les différentes classes spectrales correspondent à des sous classes thématiques.

Nous avons par ailleurs vérifié la qualité de la classification visuellement à partir de l'image classée et des références de terrain (cf image 13). Les surfaces occupées par chacun des thèmes nous ont été fournies par le logiciel DIDACTIM et sont représentées sur le tableau 27.

## **2.6 - Propositions pour la cartographie de la végétation naturelle**

Le thématicien peut s'intéresser:

- soit à un thème particulier dont il désire connaître la répartition et les surfaces,
- soit à l'ensemble des thèmes qu'il désire cartographier afin de connaître l'occupation des sols (cartes de la végétation naturelle).

Les résultats obtenus précédemment nous permettent de lui proposer une démarche pour la cartographie du (des) thème(s) étudié(s) :

**- Pour la cartographie d'un thème donné**, nous lui proposons les classifications représentées dans le tableau 28 (ces propositions ne concerne que des choix effectués à partir des trois images étudiées : nous ne connaissons pas les potentialités des autres dates).

**- Pour la cartographie de l'ensemble des thèmes**,

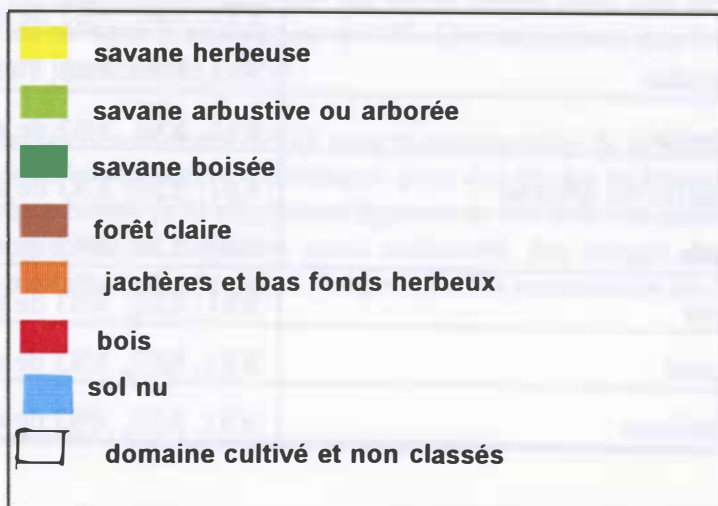
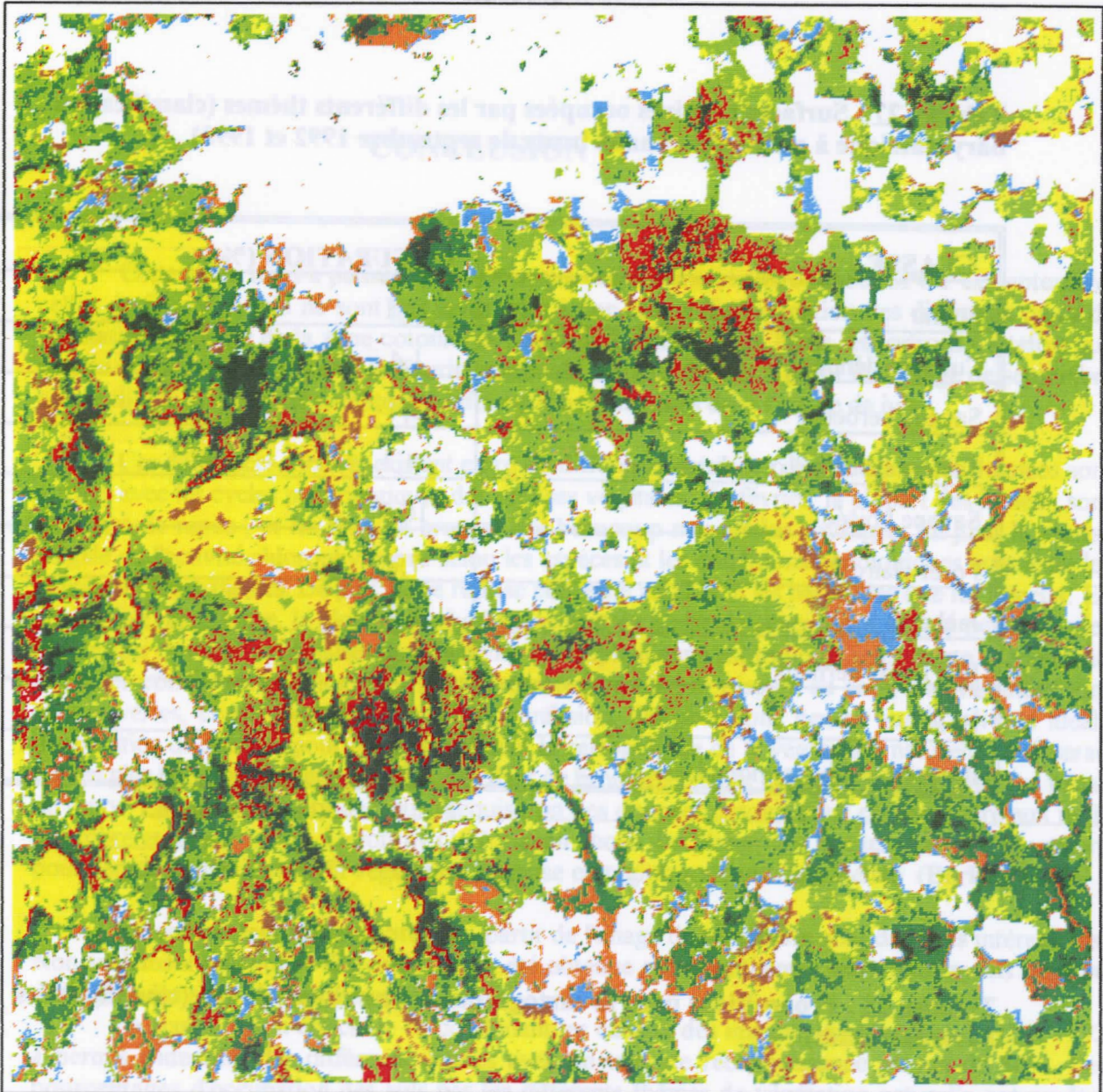
Si le thématicien dispose d'images de septembre de deux années consécutives, nous lui conseillons d'effectuer une classification en combinant les canaux bruts de ces deux dates après avoir vérifié que les parcelles d'apprentissage n'ont pas changé d'affectation d'une année à l'autre (ex : déboisement).

S'il ne dispose que d'une seule image de septembre, la méthode proposée est la suivante:

- a) masquage du domaine cultivé,
- b) classification à partir des trois canaux bruts de septembre pour isoler les sols nus,
- c) masquage des sols nus, puis classification à partir des trois canaux bruts de septembre + IV, pour isoler les cuirasses dénudées,
- d) masquage des thèmes précédemment isolés puis classification à partir des trois canaux bruts de septembre + IB pour isoler les bois,
- e) classification avec les trois canaux bruts de septembre pour discriminer les autres thèmes.







**Image 13** : Image classée; Zone de Safané Ouest, classification barycentrique à partir canaux bruts des images de septembre 1992 et 1993



## BIBLIOGRAPHIE

**AUBREVILLE A.**, 1956. Essai de classification et de nomenclature des formations forestières africaines avec extension du système proposé à toutes les formations forestières du monde tropical. Dactylographié.

**AUBREVILLE A.**, 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'édition géographique, maritime et coloniale, Paris.

**BADINI O.**, 1989. Etude des zones pastorales de trois terroirs villageois de la boucle du Mouhoun. INERA, 116 p.

**BEARD J.S.**, 1944. Climax vegetation in tropical America. Ecology, n°25.

**BERGER M., SANOU P.**, 1989. Carte des états de surface de la région de Satiri (Burkina Faso). CIRAD-INERA, Notice d'accompagnement, 14 p.

**BONN F. et ROCHON G.**, 1992. Précis de Télédétection; Principes et Méthodes. Ed. AUPELF, Québec, 485 p.

**CANCES M.**, 1991. Combinaison des données SPOT P et XS pour isoler les parcelles cultivées dans la zone cotonnière du Burkina Faso. Mémoire de DESS Télédétection. Univ. Paul Sabatier. Centre d'étude spatiale des rayonnements (Toulouse), 38 p.

**CHAMPION H.G. et SETHS.K.**, 1968. A revised survey of the forest types of India. Delhi.

**DEFOURNY P.**, 1990. Méthode d'évaluation quantitative de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne à partir des données Landsat TM (Burkina Faso). In Télédétection et sécheresse. Ed. AUPELF-UREF, Paris, p.63-74.

**DEFOURNY P.**, 1990. Etude dynamique de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne (Burkina Faso) à partir des données LANDSAT MSS. Photo-interprétation, n°2, fasc. 4.

**DEVINEAU J.L.**, 1986. Impact écologique de la recolonisation des zones libérées par l'onchocercose des vallées burkinabè. Rapport final. Convention O.M.S./ORSTOM, Vol 1, 109 p.

**FOURNIER A.**, 1991. Phénologie, croissance et productions végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variations selon un gradient climatique. Ed. ORSTOM, Paris.

**GIRARD M.C. et GIRARD C.M.**, 1989. Télédétection appliquée; Zones tempérées et intertropicales. Ed. MASSON, Paris.

**GUYOT G.**, 1989. Signatures spectrales des surfaces naturelles. Paradigme-Caen, Collection Télédétection Satellitaire, n°5, 178 p.

**LAINÉ G., BERGER M., SANOU P.**, 1990. Carte au 1/30 000° des surfaces cultivées en coton



# **ANNEXES**

## ANNEXE I : LEXIQUE

(D'après "Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale; Société Française de photogrammétrie et de télédétection, Bulletin n°112, 1988)

► **capteur** :

instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable

► **capteur en peigne** :

capteur dont le détecteur est constitué par de nombreuses cellules détectrices alignées qui reçoivent simultanément l'énergie radiative en provenance de la scène

► **composition colorée** :

représentation significative obtenue par une ou plusieurs combinaisons de couleurs

► **détecteur** :

composant sensible du capteur

► **fausses couleurs** :

couleur volontairement modifiée pour donner à l'observateur humain une perception colorée d'une scène différente de celle qu'il aurait naturellement

► **image**

1/ représentation plane obtenue à partir d'une enregistrement structuré de données (image potentielle) saisies par télédétection aérospatiale

2/ par extension, l'enregistrement qui permet d'obtenir cette représentation

► **néocanal** :

canal spectral créé par combinaison ou un nouveau filtrage de bandes spectrales de radiométrie(s) ou de scanneur(s).

► **pixel** :

1/ plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage

2/ forme abrégé de "picture element" (en américain, "picture" est souvent abrégé en pic ou pix)

► **réalité de terrain** :

connaissance de caractéristiques de la scène étudiée, à partir d'observations et de mesures (enregistrées ou non) réalisées in situ

► **réponse spectrale** :

résultat de l'interaction, en fonction de la longueur d'onde, d'un rayonnement incident donné et de la cible irradiée qui intervient par ses caractéristiques physiques

► **résolution** :

Terme général employé pour évoquer :

(terroir de Bala) + notice explicative. Publication CIRAD / INERA, 13 p.

**LAINE G.**, 1991. Analyse visuelle de l'image SPOT du 27.09.90 en vue d'estimer la répartition coton-céréales dans la région de Solenzo. Rapport de mission. Doc. CIRAD-IRCT, 69 p.

**LAINE G.**, 1992. Evaluation cartographique et statistique des surfaces cultivées en coton et en céréales dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. Rapport de mission au Burkina Faso, Convention FAC CIRAD-INERA, 41 p.

**LAINE G., CANCES M., PARE S., TOLLET A.**, 1993. Evaluation statistique et cartographique des surfaces cultivées en coton et en vivrier dans l'ouest du Burkina Faso. Apport de la combinaison des données P et XS. 16<sup>e</sup> symposium Canadien sur la télédétection, Sherbrooke (Québec), p.615-620.

**LAINE G., PARE S.**, 1994. Carte des surfaces cultivées en coton et en vivrier de la région de Safané. Echelle 1/75 000°. Convention FAC CIRAD-INERA (à paraître).

**LEO O. et DIZIER J.L.**, 1988. Télédétection, Techniques et applications cartographiques. Ed.FORHOM, Paris, 275 p.

**METHY**, 1991. La notion de signature spectrale. Eléments de bases physiques de la télédétection. In Télédétection pratique. Ministère des affaires étrangères, France. Ministère de l'agriculture d'Algérie. Ed. INRA, p. 24-32.

**MONTFRAIX B.**, 1988. Etude préliminaire à un projet d'aménagement d'une forêt classée de 80 000 ha :LAFAYA au Mali. Rapport de stage, CNEARC, 70 p.

**N'GUESSAN K.E.**, 1990. Etude de l'évolution de la végétation du "V Baoulé" (Contact forêt/savane en Côte d'Ivoire) par télédétection. In Télédétection et sécheresse. Ed. AUPELF-UREF, Paris, p.181-196.

**NAERT**, 1991. Des potentialités et contraintes de la télédétection, à la mise en oeuvre d'un outil d'analyse, de décision et de recherche sur le milieu naturel. In Télédétection pratique. Ministère des affaires étrangères, France. Ministère de l'agriculture d'Algérie. Ed. INRA, p.12-23.

**OUADBA J.M.**, 1990. Un exemple de suivi diachronique de milieux soudano-sahélien au Burkina Faso par télédétection. In Télédétection et sécheresse. Ed. AUPELF-UREF, Paris, p.209-218.

**PARE S.**, 1993. Evaluation cartographique et statistique des surfaces cultivées en coton et en céréales dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. Rapport d'activité. Convention FAC CIRAD-INERA.

**SCHWARTZ A.**, 1991. L'exploitation agricole de l'aire cotonnière burkinabe. Document de travail ORSTOM.

**TROCHAIN J.L.**, 1957. Accord inter-africain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. Bulletin de l'Institut d'Etat de Centre-afrique, nouvelle série n°13 et 14, p.55-93.

**UNESCO**, 1973. Classification internationale et cartographie de la végétation. UNESCO, Paris.



- 1/ dans le cas d'un système de mesurage, l'aptitude à séparer deux niveau d'un signal
- 2/ dans le cas d'une image, l'aptitude à rendre distincts deux points voisins

► **scanneur** :

radiométrie pourvu d'un dispositif de scannage qui procède à l'extrapolation séquentielle d'une scène, par balayage afin d'en obtenir une image

► **scène**:

surface dont le gabarit résulte des propriétés de champ du capteur

► **scène SPOT** :

Ensemble constitué par

- les données issues d'un canal de données et organisées en 6 000 lignes de balayage (mode I) ou en 3 000 lignes de balayage obtenues dans chacune des trois bandes spectrales simultanément (mode XS)
- les données auxiliaires SPOT correspondantes

► **seuillage** :

mise en oeuvre de traitements destinés à seuiller

► **seuiller** :

déterminer et / ou situer les valeurs limites destinées à séparer des classes

► **signature spectrale** :

ensemble des caractéristiques conditionnant l'interaction du rayonnement électromagnétique avec la matière, nécessaires et suffisantes pour identifier une surface déterminée

► **téledétection** :

ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci

► **vecteur** :

véhicule aérien ou spatial utilisé pour transporter une plate-forme et sa charge utile

## ANNEXE II : ETABLISSEMENT DU PLAN DE SONDAGE (PVBA)

Rappelons que le taux d'échantillonnage prévu a été de 2%, ce qui correspond à 7200 ha pour une scène de 360 000 ha (60 Km X 60 Km).

### 1) Calcul du nombre de segments

Les unités d'échantillonnage sont des unités aréolaires de forme quelconque. Chaque segment a une taille moyenne de 50 ha. Pour avoir un taux d'échantillonnage de 2%, il fallait donc disposer de 144 segments.

Les segments étaient destinés à être photointerprétés. Pour disposer de références pour cette photointerprétation, il a été nécessaire d'enquêter au sol les 2/5 de ces segments.

### 2) Tirage des segments

Dans le cas d'un tirage aléatoire classique (simple ou systématique), le travail d'enquête au sol restait encore trop lourd en raison des nombreux déplacements à effectuer et du temps de repérage des différents segments. De plus le repérage de segments isolés à partir d'un avion, même équipé d'un système GPS, n'ayant pas donné toute satisfaction lors d'un essai précédemment effectué dans la région, le principe de tirage aléatoire des segments a été abandonné.

Nous avons retenu un système à deux niveaux :

#### **1er Niveau :**

- construction d'une grille;
- tirage aléatoire d'un point à l'intérieur de chaque carré de la grille;
- repérage du village le plus proche qui a constitué l'origine d'une bande de territoire d'environ 10 Km de longueur et 500 m de largeur. Une telle bande correspond en effet approximativement à la superficie couverte par 36 photos avec recouvrement prises le long d'un axe de survol aérien basse altitude.

#### **2ème Niveau :**

Les 144 segments à interpréter ont été tirés à l'intérieur de ces bandes de territoire.

Les bandes ont toutes été survolées au départ d'un village ce qui a présenté un avantage : le point de départ était bien défini pour l'avion.

La direction de ces bandes ont été tirées aléatoirement parmi les directions des principales pistes de ce village. Ceci a permis d'optimiser le travail de terrain et de faciliter le dépouillement des photos prises à basse altitude. L'expérience des années précédentes nous avait en effet montré qu'il était fréquemment long et difficile de positionner les photos sur l'image SPOT.

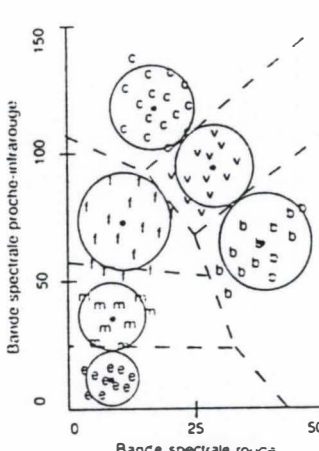
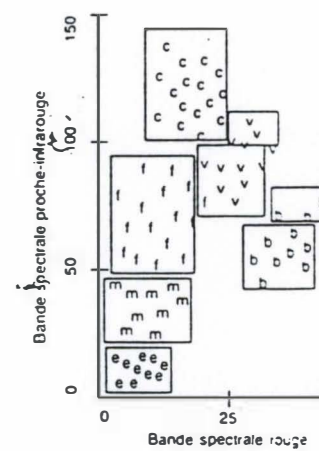
Afin d'optimiser les survols aériens et de réduire au maximum le travail au sol, il a été convenu que 5 segments soient interprétés à l'intérieur de chaque bande. En conséquence d'après

ce qui a été dit ci-dessus, deux d'entre eux ont été enquêtés. Ceci a donc permis de réduire très nettement le temps d'enquête et de dépouillement mais il faut noter que le problème de l'accessibilité des segments puis du repérage des photos s'est reposé dès que la bande s'éloignait de la piste. Le centre de ces segments a été tiré aléatoirement à partir de l'origine de la bande donc du centre du village.

Le calcul du nombre de bandes à survoler et donc le nombre de carreaux de la grille a été effectué : dans le cas d'une grille unique (une seule strate), nous avons obtenu  $144/5 = 29$  bandes.



## ANNEXE III : PRINCIPE DES METHODES BARYCENTRIQUES ET HYPERCUBES DE CLASSIFICATION

<b>METHODE BARYCENTRIQUE</b> (méthode géométrique)	<b>METHODE HYPERCUBE</b> (méthode arithmétique)
<p>On suppose que la population de la classe a la forme d'une <u>hypersphère</u> dont le barycentre est déduit des moyennes des valeurs de réflectance des pixels d'apprentissage dans les différents canaux, et dont le rayon est déduit des écarts types.</p> <p><u>Règle</u> : Si un pixel à classer appartient à la sphère, il est affecté à la classe.</p> 	<p>Les classes sont définies uniquement par des bornes sur chaque canal. On définit donc en réalité des <u>hyperparallèles</u> ou <u>hyperboîtes</u>.</p> <p><u>Règle</u> : Si un pixel à classer appartient à l'hyperboîte, il est affecté à la classe.</p> 

## ANNEXE IV

**Tableau 9 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la savane herbeuse dans les trois canaux de SPOT en Février**

	sh 1	sh 2	sh 3	sh 4
canal 1	69.9	70.5	69.8	71.3
canal 2	72	72.5	72.3	73.6
canal 3	65.4	66.3	66.9	68.4

**Tableau 10 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la savane herbeuse dans les trois canaux de SPOT en juin**

	sh 1	sh 2	sh 3	sh 4
canal 1	70.7	75.5	70.2	75.13
canal 2	62.3	67.3	63.2	67.9
canal 3	72.3	76.1	69.4	77.3

**Tableau 11 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la savane boisée dans les trois canaux de SPOT en février**

	sb 1	sb 2	sb 3
canal 1	72.9	69.8	70.8
canal 2	77.9	71.6	72.7
canal 3	78.9	71.8	71.5

**Tableau 12 : Valeurs radiométriques moyennes des classes spectrales de la savane boisée dans les trois canaux de SPOT en juin**

	sb 1	sb 2	sb 3
canal 1	85.8	72.1	75
canal 2	77.7	60.9	65.3
canal 3	99.2	86.6	86.9