

# CARTOGRAPHIE DES UNITÉS D'OCCUPATION DES TERRES DU SUPER SITE CENTRAL EST (BANIZOUMBOU) DU PROGRAMME HAPEX-SAHEL

M. LOIREAU, J.M. D'HERBES

---

## INTRODUCTION

**Pourquoi une carte de l'occupation des terres dans le cadre du programme Hapex-Sahel ?**

La végétation est le descripteur le plus immédiatement perceptible au sol, aussi est-il fréquemment utilisé pour décrire la mosaïque du paysage. Les plantes ou groupes d'espèces qui se répètent statistiquement sont, de plus, indicateurs des conditions écologiques du milieu (humidité, richesse du sol, mode d'exploitation). (GODRON, 1965 ; LONG, 1974 ; BAUDRY *et al.*, 1986).

L'hétérogénéité du paysage perçue est au premier abord une hétérogénéité visuelle : diversité de structures horizontales et verticales qui se succèdent. La structure d'un paysage résulte de l'agencement dans l'espace de taches et de corridors (FORMAN et GODRON, 1981).

Cette diversité des types d'unités du paysage est en fait à la fois fonction des conditions climatiques (type de sol, relief, microclimat, alimentation en eau...), des facteurs biogéographiques (type de végétation), et des facteurs humains (techniques utilisées, pression sur l'occupation du sol...). Si chaque facteur, pris isolément, a un effet sur la mise en place de la mosaïque, ce qui nous intéresse essentiellement à l'échelle du paysage, ce sont les effets de combinaisons de facteurs qui déterminent significativement la nature des formations végétales (BAUDRY *et al.*, 1986).

---

<sup>1</sup>Orstom, Mission au Niger, B.P. 11416, Niamey, Niger.

La cartographie de l'occupation des terres est particulièrement bien adaptée à cette description du paysage. Ainsi, la réalisation de la carte au 1/50 000 du super site central est (20\*20 km<sup>2</sup> à 70 km environ à l'est de Niamey, l'une des zones d'étude identifiée par le programme Hapex-Sahel) a consisté non seulement à situer les objets du paysage dans une représentation de l'espace (GONDARD, 1988), mais aussi à les décrire selon des critères analytiques de disponibilité des ressources naturelles (formations végétales : recouvrement, stratification, espèces dominantes). Cette disponibilité se définit à un moment donné par une ou plusieurs combinaisons de facteurs environnementaux et par une occupation spécifique du sol par l'homme. Cette dernière détermine au Sahel en grande partie la dynamique temporelle des unités paysagères.

La description du paysage à travers la cartographie des unités d'occupation des terres sur le super site central est ainsi été réalisée dans un double objectif :

- pour servir de première base de spatialisation des données localisées, et tout particulièrement celles obtenues en 1992 sur le nombre réduit de WAB du programme Hapex-Sahel (2 champs de mil, 2 jachères, 1 station de végétation naturelle sur plateau cuirassé) à l'ensemble du super site central est (SSCE) puis à l'ensemble du degré carré de Niamey ;
- pour servir de support et de système de référence à d'autres recherches éco-géographiques participant à l'étude de la dynamique du paysage (bilan entre prélèvements —pâturage, récolte de bois, défrichements— et production des systèmes écologiques).

#### **Classification, spatialisation et transfert d'échelle : les difficultés conceptuelles de réalisation d'une carte d'occupation des terres.**

Le principe de l'échantillonnage privilégié par le programme Hapex-Sahel fait explicitement référence à des types d'occupation du sol, c'est-à-dire à des degrés d'anthropisation (ou d'artificialisation) : des champs de culture pluviale, des jachères (plus ou moins âgées), et des végétations *naturelles* de plateau, autrement dit non ou peu perturbées par les activités humaines.

Par ailleurs, les capteurs satellitaires n'identifient que des pixels dont les comptes numériques répondent aux réflectances combinées de constituants élémentaires au sol. Ces pixels peuvent être regroupés suivant des classifications basées uniquement sur ces comptes numériques.

La correspondance entre ces deux niveaux d'échantillonnage n'est pas immédiate. Elle suppose que les données satellitaires permettent de reconnaître et classer toute la zone d'étude Hapex à partir des WAB échantillonnés. Elle nécessite de rendre compatible les descripteurs au sol à la fois pour les pixels fournis par les satellites et pour les unités paysagères (WAB) instrumentées par les investigateurs au sol.

Pour ce faire, le choix des descripteurs au sol doit répondre à des critères analytiques simples, susceptibles d'être intégrés à différents niveaux de perception : le recouvrement des différents états de surface *sensu lato* répond à cette définition.

La démarche utilisée, allant du terrain à la télédétection et non l'inverse, a été choisie pour deux raisons principales.

La première est la volonté de mettre au point une méthode cartographique (transects) qui ne nécessite pas à la base une cartographie exhaustive au sol, unité par unité, et surtout, de valider une méthode cartographique applicable quelque soit l'échelle d'observation dans les zones sahéniennes agropastorales ayant les mêmes caractéristiques géomorphologiques.

La deuxième provient de la nécessité d'utiliser l'image satellitaire comme un outil de spatialisation *a posteriori* des données observées sur le terrain et non comme une représentation abstraite du paysage dont les différents éléments ne sont identifiés que selon leur signature spectrale et reliés coûte que coûte à une description cartographique du paysage réel au sol, avec tous les risques que cela comporte.

Cependant l'objectif est aussi de tenter une mise en relation entre **plusieurs** caractéristiques de terrain combinées (par exemple % de sol nu et diversité floristique...) et la signature spectrale perçue par le satellite. Si l'objectif est atteint, nous pouvons espérer ne plus avoir besoin de passer systématiquement par la phase préliminaire de relevés de terrain. Jusqu'à présent, il n'est pas prouvé que la télédétection, même à haute résolution spatiale, autorise cette démarche.

## UNE APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE À DEUX NIVEAUX

La méthodologie générale adoptée consiste donc, dans un premier temps, en une description cartographique au sol et dans un deuxième temps, en une spatialisation de ces données localisées grâce aux images satellites (Spot).

En dépit d'une homogénéité apparente et globale, critère principal du choix de cette zone par le programme Hapex, la zone agropastorale sahénienne, et plus précisément le super site central est, comprend un assez grand nombre de traits paysagés bien différenciés du point de vue structurel et fonctionnel.

Ces facteurs de différenciation sont de deux ordres :

- géomorphologique :
  - + plateau cuirassé,
  - + bas-fonds et dépressions,
  - + piedmonts et versants sableux d'origine éolien,
  - + cordons dunaires fixés, récents ou anciens,
- anthropique :
  - + champs plus ou moins intensément cultivés,
  - + jachères anciennes ou récentes,
  - + végétation naturelle plus ou moins dégradée.

Le relevé cartographique de terrain n'étant pas réalisé de façon exhaustive, l'échantillonnage des zones effectivement cartographiées au sol doit rendre compte au mieux de cette hétérogénéité.

La classification des structures des formations végétales de plateaux et surtout leur reconnaissance sur les images satellites constituant un programme en cours, les plateaux ont été considérés comme une unité cartographique indifférenciée. Sur le reste de l'espace, huit transects de 1 à 4 km de long ont été positionnés sur les photos aériennes disponibles (couverture IGN 1975) et les compositions colorées (images Spot d'octobre 1988 et de février 1991) de façon à représenter au mieux l'ensemble des grands découpages du paysage identifiés *a priori* (tableau 1).

Un transect cartographique est une ligne abstraite qui découpe une portion du paysage avec un point de départ et un point d'arrivée connus (coordonnées GPS — Global Positioning System — plus, si possible, une particularité sur le terrain facilement repérable — croisements de pistes ou de koris, gros arbre bien repéré, etc. — une direction et une longueur.

**Tableau 1**  
Caractéristiques des huit transects réalisés sur le SSCE

N° transect	Coordonnées GPS départ		Coordonnées GPS arrivée		Direction	Longueur (km)
	latitude	longitude	latitude	longitude		
1	13°30'47"	2°37'50"	13°31'18"	2°37'54"	360°	2
2	13°30'47"	2°40'10"	13°31'24"	2°37'30"	290°	4
3	13°31'50"	2°39'28"	13°32'12"	2°38'18"	300°	2
4	13°33'31"	2°41'15"	13°33'06"	2°40'24"	245°	2,5
5	13°33'31"	2°41'15"	13°31'42"	2°41'	185°	3
6	13°31'16"	2°47'33"	13°31'36"	2°49'	90°	3
7	13°31'17"	2°44'39"	13°31'12"	2°46'	90°	2,5
8	13°38'43"	2°39'18"	13°37'24"	2°39'18"	196°	2

Le long de chacun de ces transects, une description au sol du paysage est effectuée. À chaque changement d'unité cartographique correspond un relevé cartographique.

La première difficulté méthodologique consiste à déterminer les critères de transition d'une unité cartographique à l'autre. À l'échelle du 1/50 000, une unité cartographique est une surface définie par une combinaison spécifique des éléments du paysage. Elle ne correspond pas à des surfaces élémentaires mais à des associations de surfaces caractéristiques et courantes. Elle est une sous-unité des grandes unités paysagères. Sa détermination au sol est visuelle et, par la même, dépendante de l'observateur.

Les éléments descriptifs du paysage retenus sont :

- unité géomorphologique :  
versant sableux d'origine éolienne, dune, bas-fonds, glacis, plateau ;
- indications topographiques :  
pente, position dans la toposéquence ;

- type d'occupation du sol :  
distinction entre différents types de champs et de jachères en fonction principalement de leur âge et de leur utilisation ;
- couverture ligneuse (%), avec une différenciation en 6 classes de hauteur (m) :  
<0.25, ]0.25-0.5], ]0.5-1], ]1-2], ]2-4], >4 ;
- couverture herbacée (%), avec une différenciation en 3 classes de hauteur (m) :  
<0.25, ]0.25-0.5], >0.5 ;
- espèces herbacées et ligneuses dominantes ;
- principaux états de surface du sol (%) , avec une distinction entre les surfaces sableuses plus ou moins encroûtées, les surfaces caillouteuses et la litière (simplification de la classification proposée par CASENAVE et VALENTIN, 1989).

Les éléments descriptifs pourcentuels sont des estimations visuelles calibrées d'après des planches de recouvrement classique (par exemple *in* CASENAVE et VALENTIN, 1989).

De plus, la couleur des différents états de surface du sol a été notée suivant le code Munsell. Des observations *diverses* ont également été notées : présence de termitières, de pistes, de ravines, etc.

À partir de ces différents éléments descriptifs du paysage, 127 unités cartographiques ont été décrites le long des huit transects sélectionnés. La longueur du segment de transect intercepté par l'unité est mesuré au topofil.

Les relevés de terrain ont été effectués en septembre 1992, époque à laquelle la végétation est à son pic de production. Malgré le risque pour le satellite de distinguer plus difficilement les éléments du paysage en raison du fort taux de recouvrement des diverses formations végétales, le choix de cette période de l'année découle de la forte probabilité qu'au pic de production leur variation structurelle et phénologique interannuelle soit la plus faible.

## LE TRAITEMENT DES DONNÉES SOL ET DES DONNÉES SATELLITAIRES

### UNE TYPOLOGIE DES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES

Le premier traitement a pour objectif de regrouper les unités cartographiques à partir de toutes les informations de terrain obtenues, puis de les classer afin de pouvoir les utiliser facilement pour une identification paysagère rapide sur le terrain.

Un traitement statistique nous a permis de classer les 127 unités en un nombre réduit de classes, huit, décrites au travers de 9 éléments principaux : géomorphologie, type d'occupation du sol, taux de recouvrement des formations végétales

(sol nu + herbacées globaux + ligneux globaux = 100 %), taux de recouvrement des états de surface du sol (surface encroûtée + surface caillouteuse + surface sableuse + litière = 100 %).

Ce traitement des données consiste à utiliser parallèlement deux programmes du logiciel Addad : Cahvor (Classification Ascendante Hiérarchique, méthode des voisins réciproques) pour la classification proprement dite et Ancomp (Analyse en Composantes Principales) pour valider cette dernière et surtout l'explicitier.

La dernière étape pour cette typologie a consisté à reprendre le fichier initial des relevés de terrain, regrouper les individus de chaque classe et effectuer des moyennes. Une moyenne mathématique a été faite pour les données quantitatives (recouvrement des états de surface au sens large). Pour les données qualitatives, la notion de *moyenne* est beaucoup plus complexe. Nous avons choisi la méthode qui consiste à retenir la *qualité* la plus fréquemment représentée sur l'ensemble des individus de la classe.

Le tableau 2 présente cette typologie en huit classes (hors plateaux) qui distingue en fait deux types de champs et six types de jachères. Les chiffres ou les mots qui apparaissent en caractères gras correspondent aux variables les plus représentatives de chacune des classes.

C'est cette typologie issue uniquement des observations de terrain qui sera comparée à la classification obtenue à partir de l'imagerie satellitaire.

### **CLASSIFICATION ET SPATIALISATION : RÉALISATION D'UNE CARTE D'OCCUPATION DES TERRES À PARTIR DES IMAGES SPOT**

Notre objectif principal est donc d'extrapoler et de spatialiser de façon indépendante les données localisées au sol à l'ensemble du super site central est.

Pour réaliser la carte d'occupation des terres, nous avons utilisé l'image satellite Spot N°62322 du 05/10/92 comme support et le logiciel de traitement d'images Planètes comme outil. Cette image est une image de niveau 1B, c'est-à-dire avec des corrections radiométriques (effet de filé) et des corrections géométriques ligne à ligne du système (rotation de la terre, effet panoramique, angle de visée). La précision de localisation absolue est de 1 500 m en visée verticale.

La démarche méthodologique de traitement des données peut se subdiviser en quatre étapes principales :

#### *PRÉPARATION DE L'IMAGE*

+ Correction géométrique.

Étant donné la nécessité, pour une bonne cartographie, de pouvoir superposer des images et des cartes, d'avoir une bonne localisation dans une image et de pouvoir faire des mesures de surface, les corrections géométriques de l'image Spot font partie intégrante du traitement d'image.

**Tableau 2**  
Typologie des unités cartographiques fin septembre 1992

N° de classes	1		2		3		4		5		6		7		8		
Géomorphologie	Bordure de plateau haut de versant		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant et dunes		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant (dépôts éoliens)		Versant et dunes		
Occupation du sol	Végétation naturelle jachères anciennes		Champs mil ou mil/niébé		Polyculture		jachères récentes parfois semées		Jachères récentes		Jachères anciennes		Jachères anciennes		Jachères anciennes		
tx de recouvrement des formations végétales (%) (SN, HG, LIG)	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	Moy	Ecart	
	SN	65	13	67	17	60	13	20	9	29	10	21	6	24	9	23	8
HG	26	11	29	16	36	13	75	8	65	9	54	9	57	7	64	7	
LIG	9	4	4	3	4	3	5	2	6	3	25	4	19	4	13	3	
CR	44	13	6	7	5	6	15	5	38	8	25	9	50	7	18	7	
tx de recouvrement des états de surfac du sol (%)	CAL	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SAB	55	15	93	8	95	6	84	6	62	8	74	9	50	7	82	
	LIT	0	0	1	2	0	0	1	3	0	0	1	3	0	0	0	
Répartition verticale des ligneux	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	%	classes	
	>= 4m	2	1	20	3	18	3	30	4	18	3	10	3	2	1	11	3
	[2-4[	3	1	0	0	3	1	5	2	2	1	25	4	25	4	6	2
	[1-2[	40	4	10	3	9	2	20	3	35	4	35	4	50	5	36	4
	[05-1[	45	4	35	4	35	4	30	4	35	4	20	3	20	3	31	4
	[0.25-0.5[	10	3	35	4	35	4	5	2	10	3	10	3	2	1	16	3
<0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Répartition verticale des herbacées	>=0.5	20	3	60	5	60	5	65	5	50	5	55	5	50	5	55	5
	[0.25-0.5[	10	3	30	4	15	3	25	4	20	3	30	4	30	4	25	4
<0.25	70	5	10	3	25	4	10	3	30	4	15	3	20	3	20	3	
Ligneux dominants	Guiera senegalensis et Combretum micranthum		Gs et CG + PR,PA,AA		Gs et PR et CG		Gs et CG + PR, PA		Gs et CM et/ou CG		Guiera senegalensis et Combretum glutinosum		Guiera senegalensis et Combretum micranthum		Gs et CG + PR		
Herbacées dominantes	Zornia glochidiata		Mil, Niébé + ms, iv, jt		Mil, Niébé, oseille		diversifiée : wí, al, cb, ms		très diversifiée : ms, et, ce, zg, cm, al, wí		très diversifiée : ms, al, et, dg, cm		Ctenium elegans + iv, cm, spe,...		Cenchrus biflorus + al, ms, wí,...		
Couleur	SAB : 7.5YR7/6 CR : 7.5YR6/4 CAL : 2.5YR3/4		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 10YR6/6		SAB : 10YR7/6 7.5YR6/6		SAB : 10YR7/6 7.5YR7/4 CR : 10YR5/3, 7.5YR6/4		SAB : 10YR7/6, 7.5YR6/6 CR : 10YR4/3, 7.5YR5/4		SAB : 10YR7/4, 7.5YR7/6 CR : 10YR6/3, 7.5YR6/4		SAB : 10YR7/6 7.5YR6/6 CR : 7.5YR4/4		
Observations	présence de termitières et ravines		nombreuses pistes nombreuses haies				non sarclé non défriché				sentiers et pistes		termitières et fourmillières				

SN : Sol Nu ; HG : Herbacées Globaux ; LG : Ligneux Globaux

CR : Croûtes ; SAB : Sable ; CAL : Cailloux ; LIT : Litière

AA : Acacia alba ; al : Aristida longiflora ; cm : Cissia minoideae, cb : Cenchrus biflorus ; CG : Combretum glutinosum ; CM : Combretum Micranthum ; ce : Ctenium elegans ; dg : Digitaria pruriens ; et : Eragrostis tremula ; Gs : Guiera senegalensis ; iv : Ipomea vagans ; jt : Jacquemontia toxiifoliata ; ma : Mitracapus scaber ; PR : Ptilostigma reticulatum ; PA : Prosopis Africana ; spe : Spermatocoe spp ; wí : Waltheria indica ; zg : Zornia glochidiata

Grâce au programme Degré 1, une translation/rotation est effectuée sur l'image du 05/10/92 autour de trois points d'amers (coordonnées GPS prises au préalable sur le terrain). L'amélioration de la correction est ensuite vérifiée grâce à sept autres points d'amers répartis sur l'ensemble de l'image. Après correction, la dimension du pixel (tache élémentaire) est ainsi passée de 20\*20 m à 25,341 (latitude)\*24,896 m (longitude) en dimension réelle.

- + Extraction du super site central est (programme Extrac) ;
- + Création d'une composition colorée (programme Colortool).

#### *LOCALISATION DES TRANSECTS*

Dans un premier temps, les huit transects cartographiques sont positionnés grossièrement sur la composition colorée, avec leur point de départ et d'arrivée, leur longueur et leur direction.

Dans un deuxième temps, ils sont positionnés visuellement, unité par unité (chacun des segments interceptés étant de longueur connue). Ce repérage précis se fait sur un agrandissement imprimé puis, sur écran grâce au programme Visutool.

Cette étape un peu besogneuse est essentielle ; c'est elle qui détermine la qualité de la classification.

#### *SÉLECTION DES ZONES TEST*

Autour de chaque subdivision cartographique des transects, une zone est tracée. Pour chacune de ces zones test, grâce au programme Statis, des statistiques (moyennes, écart type, minimum, maximum) dans chacun des trois canaux (XS1, XS2, et XS3) sont calculées. Les moyennes sont considérées comme étant les centres des classes, et les écarts types leur dispersion.

Les délimitations de ces zones sont difficiles à réaliser. En effet, étant donné que ces zones correspondent à des unités cartographiques repérées sur le terrain avec une organisation spécifique des différents états de surface (au sens large) qui les composent, elles sont représentées sur l'image Spot par un ensemble de pixels de valeurs différentes et non par une seule valeur de pixel.

Les critères de délimitation des zones test appliquées en définitive correspondent à un groupe de pixels ayant un écart type inférieur à 3 dans les trois canaux, et un nombre de pixels au minimum égal à 10. Seules 74 zones sur les 127 initiales, répondant à ces critères de choix, ont ainsi pu être retenues.

#### *CLASSIFICATION*

Le classement de l'image est réalisé par le programme Sebest d'après les statistiques des zones test. Cette classification est supervisée puisque les classes saisies dans le programme Sebest sont préalablement définies par l'utilisateur.

Ce programme n'accepte qu'un quota maximal de 32 classes. Deux sont formées d'office : d'une part les plateaux, à qui on donne une valeur aléatoire de 1 et, d'autre part les nuages, valeur 2 (l'image n'a pas été corrigée atmosphériquement ; cependant les nuages se trouvent localisés majoritairement sur les zones de plateaux).

Les 74 zones test ont donc été réduites en 30 nouvelles classes grâce au logiciel de Classification Ascendante Hiérarchique Cahvor (Addad)

Ainsi, après la classification de l'image par le programme Sebest, la dernière étape consiste en un regroupement dirigé, essentiellement visuel, des ces 32 classes.

Selon une approche cartographique, une dizaine de classes ont été considérées comme différenciables étant donné le degré de précision du travail à l'échelle du 1/50 000.

Les 30 classes (plateaux et nuages exclus) sont alors regroupées visuellement dans le programme Paletedit selon des critères de proximité spatiale, selon leurs caractéristiques statistiques et la description au sol correspondante. Une seule couleur représente l'ensemble des classes regroupées. Pour chacune des 30 classes, la moyenne des éléments de description au sol est calculée selon la méthode déjà décrite pour la réalisation de la typologie.

En opérant ainsi, pas à pas, selon des critères logiques de regroupement (positions topographiques, occupation du sol, recouvrements des états de surface, valeurs moyennes dans les canaux XS1, XS2 et XS3...), 11 classes (hors plateaux) ont été définitivement retenues.

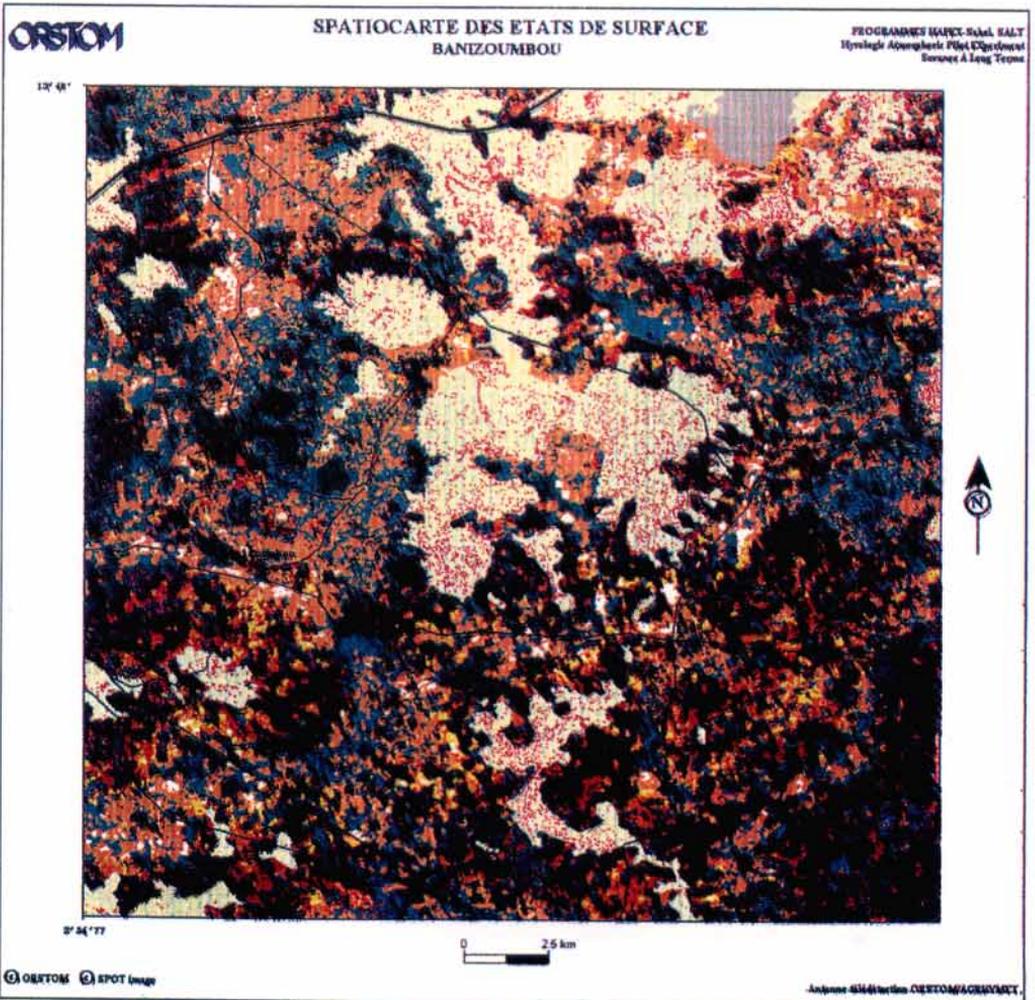
## LA CARTE D'OCCUPATION DES TERRES

Le tableau 3 présente la légende de la carte d'occupation des terres au 1/50 000 du super site central est ainsi obtenue.

Comme pour la typologie (tableau 2), sont en caractères gras les éléments les plus caractéristiques de chacune des classes. Les taux de recouvrement (tableau 4) sont codifiés selon les classes de recouvrement suivantes :

**Tableau 4**  
Codification des classes de recouvrement

Classes de recouvrement (%)	[0-5[	[5-10[	[10-15[	[15-25[	[25-50[	[50-75[	[75-90[	[90-100[
Codes	1	2	3-1	3-2	4	5	6	7



La carte d'occupation des terres

Tableau 3

Légende de la carte d'occupation des terres du SSCE de Banizoumbou au 1/50 000 (05/10/92)

	OCCUPATION DU SOL	SOL NU (%)	FORMATION VEGETALE		MICROHORIZONS AFFLEURANTS		ESPECES DOMINANTES	GÉOMORPHOLOGIE	SURFACE (ha)	
			H: herbacés; L: ligneux		A: argileux (croûtes d'érosion); S: sableux; LIT: lit					
							HERBACÉES	LISSINES		
1	champs de mil	<25	herbacée dense	H6 L2	encroûtée sableuse	A3 S5 LIT2	Mitracarpus scaber, Jacquemontia lamifolia, Cladium elegans mil, niébé/	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Pithecolobium reticulatum, Acacia abida, Prosopis africana Outera senegalensis/	système alluvial: bas-fonds, latasses sur 2 et 3ème niveau cultivés	12012
2	champs mûtrés	>50	herbacée claire	H4 L1	sableuse	A2 S7	embriatyllé	Acacia abida, Detarium microcarpum	système alluvial: bas-fonds	704
3	champs de cultures associées ou polyculture	>50	herbacée claire	H4 L1	sableuse	A2 S7	mil, niébé, oseille/	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Pithecolobium reticulatum, Acacia abida, Prosopis africana, Annona senegalensis	dépôts sableux éoliens: mi-versant, bas de versant et modelés dunaires	1297
4	champs de mil ou mûtrés dominants	>50	herbacée claire	H4 L1	sableuse	A2 S7	oseille, embriatyllé	Outera senegalensis/ Acacia abida, Detarium microcarpum	dépôts sableux éoliens: mi-versant, bas de versant et modelés dunaires	1298
5	champs de mil peu ou pas préparés (détiche, sarclage)	>50	herbacée claire	H4 L2	sableuse	A1 S7	Mitracarpus scaber, Cenchrus biflorus/ mil, Andropogon gayanus, Jacquemontia lamifolia, Ipomoea spargans	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Acacia abida	dépôts sableux éoliens: mi-versant, bas de versant et modelés dunaires	1296
6	jachères récentes pouvant être semées (mil)	25-50	herbacée assez dense	H5 L1	encroûtée	A4 S5	Mitracarpus scaber, mil, Aristide longiflora, Jacquemontia lamifolia, Cenchrus biflorus	Outera senegalensis/ Combretum glutinosum, Combretum micranthum	dépôts sableux éoliens: versants peu pentus et dunes	1053
7	jachères récentes ou peu anciennes	<25	ligneuse claire herbacée	H5 L3-1	sableuse encroûtée	A3 S6	diversifiées: Mitracarpus scaber, Aristide longiflora, Cenchrus biflorus, Waltheria indica, Zornia glochidata, Cassia mimosoides, Eragrostis tremula, Cladium elegans/	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Pithecolobium reticulatum, Prosopis africana	dépôts sableux éoliens: sur terrasses alluviales ou versants	5252
8	jachères récentes ou peu anciennes	25-50	ligneuse claire herbacée	H5 L3-1	sableuse encroûtée	A3 S6	Aristide longiflora, Cenchrus biflorus, Eragrostis tremula, Waltheria indica	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Pithecolobium reticulatum, Acacia abida, Prosopis africana, Annona senegalensis	dépôts sableux éoliens: sur terrasses alluviales ou versants	3258
9	jachères récentes ou peu anciennes à fort couvert herbacé	<25	herbacée dense	H6 L2	sableuse encroûtée	A3 S6	diversifiées: Waltheria indica, Cenchrus biflorus, Mitracarpus scaber, Eragrostis tremula, Jacquemontia lamifolia, Ipomoea spargans	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Pithecolobium reticulatum, Acacia abida, Prosopis africana	dépôts sableux éoliens: sur terrasses alluviales ou versants	4520
10	jachères anciennes	<25	ligneuse assez dense herbacée	H5 L3-2	sableuse encroûtée	A3 S6 LIT1	diversifiées: Aristide longiflora, Cladium elegans, Mitracarpus scaber, Cenchrus biflorus, Waltheria indica, Alysicarpus ovalifolius, Spermatocoe	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Pithecolobium reticulatum, Combretum nigricans, Combretum micranthum, Prosopis africana	dépôts sableux éoliens: versants peu pentus et dunes	17994
11	fort couvert ligneux: jachères anciennes ou végétation ripicole	<25	ligneuse dense	H4 L4	encroûtée	A4 S4 LIT2	très diversifiées: Aristide longiflora, Eragrostis tremula, Digitaria gayana, Cladium elegans, Cassia mimosoides, Ipomoea spargans, Waltheria indica, Mitracarpus scaber	Outera senegalensis, Combretum glutinosum/ Combretum nigricans, Combretum micranthum	dépôts sableux éoliens: versants peu pentus et dunes	1292

NON CLASSES

	plateaux non cultivés (bandes de végétation en rouge)								premier niveau cultivé	11876
	ruages									502

À titre d'exemple, H6L2 se lit donc de la façon suivante : 75 à 90 % d'herbacées et 5 à 10 % de ligneux (GODRON *et al*, 1968). Pour les recouvrements des formations végétales comme pour ceux des différents microhorizons affleurants, la codification est la même.

Étant donné l'extrapolation des données de terrain qui a été faite sur l'ensemble de la carte, nous ne pouvons raisonner qu'en classes de recouvrement et non en taux de recouvrement réels et précis (contrairement à la typologie).

L'examen de cette légende montre que, en octobre 1992, les recouvrements herbacées ne sont jamais inférieurs à [25-50 %], les recouvrements ligneux jamais supérieurs à [25-50 %], les microhorizons affleurants sableux jamais inférieurs à [25-50 %] et les microhorizons affleurants argileux jamais supérieurs à [25-50 %]. La classe de recouvrement n°4 apparaît donc comme une classe charnière dans la caractérisation des états de surface au sens large, tout au moins à cette époque de l'année. Cette remarque reflète une première caractéristique du paysage de cette aire d'étude.

En ce qui concerne les unités paysagères décrites, cinq types des champs cultivés et six types de jachères sont distingués, plateaux et nuages exclus.

Leur distribution spatiale sur une surface totale de 63 088 ha est la suivante :

- totalité des jachères : 53,8 % ;
  - + avec recouvrement ligneux >15 % : 30,6 % ;
  - + avec recouvrement ligneux compris entre 10 et 15 % : 13,5 % ;
  - + avec recouvrement ligneux <10 % : 9,5 % ;
- totalité des champs cultivés : 24,4 % ;
  - + avec un couvert herbacé dense : 19 % ;
  - + avec un couvert herbacé faible : 5,3 % ;
- totalité des plateaux (et des nuages) : 19,8 %.

## DISCUSSION : INTERÊT ET LIMITE DE LA CARTOGRAPHIE PAR TÉLÉDÉTECTION EN ZONE AGROPASTORALE SAHÉLIENNE

L'illusion aurait été de penser retrouver les mêmes classes dans la typologie des unités cartographiques sur le terrain et dans la légende de la carte d'occupation des terres.

En fait, 8 classes sont distinguées pour la typologie contre 11 classes pour la carte, hors plateaux : 6 types de jachères et 2 types de champs cultivés pour la typologie contre 6 types de jachères et 5 types de champs cultivés pour la carte.

La classe 5 de la typologie peut être rapprochée de la classe 6 de la carte, les classes 6 et 7 de la typologie des classes 8 et 10 de la carte, les classes 4 et 8 des classes 1, 9 et 7, la classe 2 des classes 2, 4 et 5, et enfin la classe 3 de la classe 3.

Ainsi, une des classes de la typologie peut regrouper plusieurs classes de la carte et *vice versa*. La correspondance n'est donc pas évidente entre les classes de la typologie et celles de la carte. D'autant plus que les traitements statistiques

nécessaires à la classification impliquent une simplification obligée des données de terrain. Les taux de recouvrements précis deviennent des classes de recouvrements, la stratification verticale des ligneux et des herbacées est abandonnée.

Ceci dit, les raisons majeures de cette différence entre la typologie et la carte d'occupation des terres peuvent être en partie expliquées par les difficultés liées à la télédétection et celles liées aux objets cartographiques eux-mêmes.

## DIFFICULTÉS LIÉES À LA TÉLÉDÉTECTION

### DIFFICULTÉS LIÉES À LA CLASSIFICATION

La difficulté majeure provient du fait que l'observateur sur le terrain décrit et différencie des unités cartographiques selon sa propre perception écopéographique du paysage (c'est-à-dire avec une hiérarchisation consciente ou inconsciente des critères de classification) alors que le satellite intercepte de façon systématique toutes les signatures spectrales des différents éléments au sol.

Autrement dit, l'un décrit le paysage à travers des unités cartographiques variables tant dans leur composition (certains éléments sont plus significatifs que d'autres suivant l'unité) que dans leur taille (échelle de la parcelle), et l'autre décrit ce même paysage au travers de pixels de 20\*20 mètres sur image Spot, chacun d'entre eux correspondant à une seule signature spectrale résultante de tous les éléments combinés au sol.

L'observateur sur le terrain et le satellite ne perçoivent donc pas les mêmes objets et les mêmes structures dans le paysage. Des exemples types peuvent être donnés :

- + en ce qui concerne les jachères :
  - un satellite Spot n'intercepte pas les taux de recouvrement ligneux inférieurs à 16 %. Or, la majorité des jachères ont justement une couverture ligneuse inférieure à 16 % (HUETE, 1986) ;
  - du point de vue de l'observateur, une jachère à fort couvert herbacée à *Cassia mimosoides* dominant ne sera pas forcément différente d'une autre alors que, du point de vue télédétection, cette espèce herbacée peut modifier du tout au tout la réponse spectrale de la jachère. Elle apparaît en effet en couleur très sombre après dessèchement et risque d'être confondue soit avec des brûlis, soit avec les jachères à fort couvert ligneux ou les zones de végétation naturelle qui apparaissent également en teinte très sombre. Dans ce dernier cas, on peut lever l'ambiguïté en recourant à un indice de végétation.
- + en ce qui concerne les champs cultivés (faible taux de recouvrement ligneux et herbacée) :
  - le satellite différencie un plus grand nombre de champs que l'observateur sur le terrain. Ceci peut provenir du fait que, sur ces parcelles cultivées à fort taux de recouvrement de sol nu, le satellite prend en compte la

signature spectrale de toutes les caractéristiques du sol nu (couleur, microrelief, mésorelief, rugosité) alors que l'observateur au sol a un pouvoir discriminatoire inférieur, et simplifie l'information rapportée à l'ensemble de l'unité.

#### *DIFFICULTÉS LIÉES À LA SPATIALISATION*

L'autre grande source de désaccord entre la typologie et la carte d'occupation des terres (au 1/50 000) provient de la spatialisation des données localisées de terrain à l'ensemble du super site central est.

En effet, la spatialisation implique le risque d'ignorer des unités paysagères pourtant très spécifiques du paysage mais peu représentées en superficie. L'exemple le plus frappant est celui de la classe 1 (jachères anciennes) de la typologie qui n'apparaît absolument pas sur la carte alors qu'elle est très repérable sur photos aériennes ou sur le terrain. En effet, ces jachères anciennes ou dégradées situées juste en dessous des plateaux cuirassés occupent peu de place en superficie. Lors de la spatialisation, elles semblent avoir été absorbées dans une ou plusieurs autres classes.

Le fait d'avoir retenu une trop large définition des grandes unités géomorphologiques accentue le problème.

#### *DIFFICULTÉS LIÉES AUX OBJETS CARTOGRAPHIÉS*

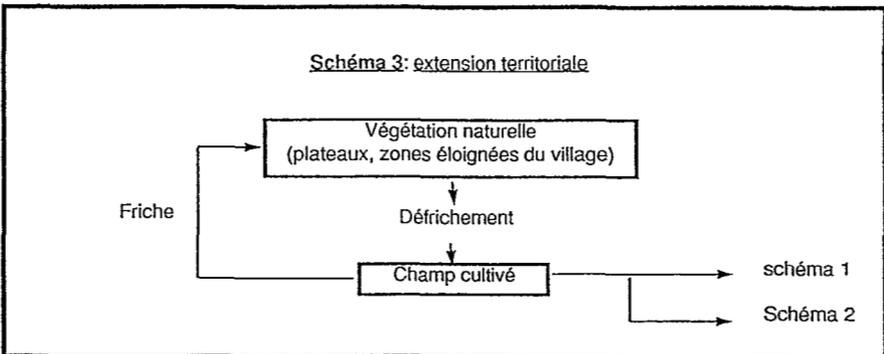
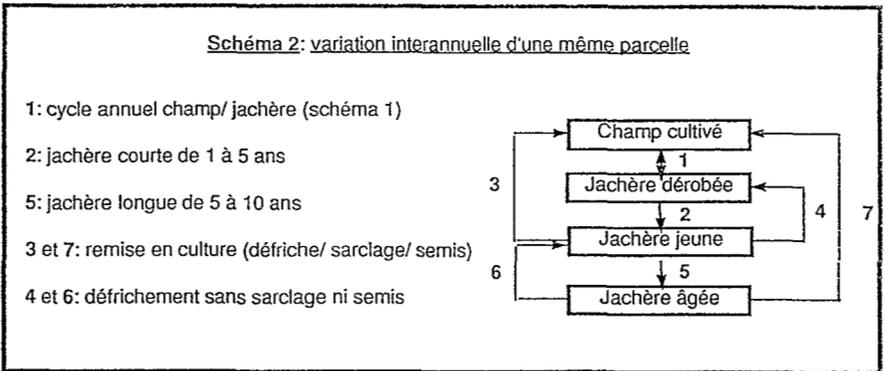
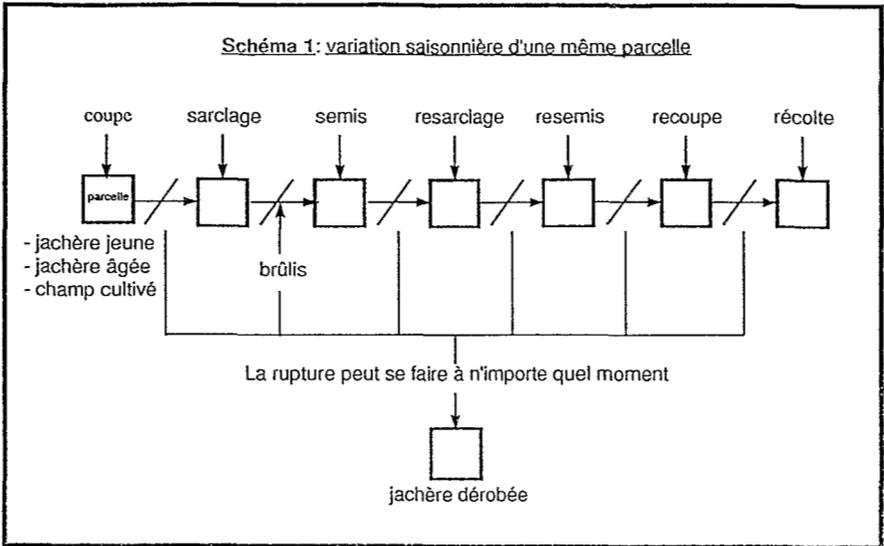
La classification proposée ici est instantanée, c'est-à-dire qu'elle ne rend compte que d'un état des lieux de la mosaïque du paysage à un moment donné (fin de saison des pluies 1992). Des traitements sont en cours pour prendre en compte d'autres époques de l'année et d'autres années.

Nous abordons ici une des grandes difficultés méthodologiques de cartographie en zone sahélo-nigérienne. En effet, les unités cartographiques, telles qu'elles ont été situées et définies (à l'échelle de la parcelle) sur cette première carte d'occupation des terres en saison des pluies 1992, ont une grande mouvance intersaisonnière et interannuelle.

Tout bouge, que ce soit le contenu des unités cartographiques comme leur contenant (figure 1). Il faut alors faire preuve de prudence pour faire une nouvelle carte à une autre date donnée sans refaire une campagne de terrain.

Une analyse multodate est donc en cours pour repérer les éléments invariants et rendre compte quantitativement et qualitativement de cette mouvance temporelle. Pour ce faire, des images Spot de 1988, 90, 91, 92 (février, juin, août, septembre et octobre) et 1993 sont disponibles ainsi que des relevés de terrain réalisés en saison sèche 91, en août 92 et octobre 93.

Toutefois, si cette mouvance temporelle n'est pas quantifiée à l'heure actuelle, ses causes et sa dynamique peuvent être schématiquement exposées (figure 1).



**Figure 1 :**  
 Représentation schématique de l'évolution annuelle et interannuelle d'une unité d'occupation des terres.

Le sort d'une parcelle dépend de son utilisateur/propriétaire dont la décision dépend à son tour de facteurs exogènes :

- régularité des pluies dans la saison : le paysan peut semer jusqu'à huit fois dans l'année sur un même champ ;
- précocité des pluies : le paysan peut décider des parcelles les plus aptes à valoriser l'espérance d'une bonne saison des pluies ou les risques d'une mauvaise saison ;
- capacité économique du paysan : abandon par manque de semences ;
- présence de main d'œuvre : une famille peut avoir des membres expatriés en ville à la recherche de capitaux extérieurs ;
- système foncier : le paysan peut défricher sa jachère sans la mettre en culture, uniquement dans le but de marquer son territoire.

Ces différentes décisions expliquent la variabilité temporelle des objets cartographiques mais aussi multiplient le nombre d'unités cartographiques différenciables à un moment donné (quel rapprochement peut-il y avoir, à titre d'exemple, entre le WAB jachère Hapex, jachère de 10 ans sur versant sableux avec un couvert ligneux de 17 %, et la jachère semée sans même avoir été défrichée ni sarclée, ou encore la jachère de 10 ans au pied des plateaux cuirassés abandonnée car très dégradée).

Nous sommes ici en face d'une difficulté conceptuelle : la définition et l'identification d'objets cartographiques constituent déjà un problème à un moment donné (est-ce un champ ou une jachère ?) ; de plus, ce qui était valable au moment de la classification peut ne plus l'être dans le temps.

Nous pouvons espérer que cette limitation conceptuelle sera réduite lorsque nous discriminerons non plus des parcelles, mais des ensembles de parcelles (unités paysagères majeures), avec une indication pourcentuelle de ses différentes composantes (jachères/champs/végétation naturelle).

### **LA CARTE D'OCCUPATION DES TERRES AU 1/50 000 : UN DOCUMENT INTERMÉDIAIRE**

La carte d'occupation des terres au 1/50 000 du super site central est (fin septembre, début octobre 1992) n'est pas, en sa forme actuelle, un produit fini. Elle doit être considérée comme un document intermédiaire pour les raisons suivantes :

- une amélioration dans la définition et la distinction des unités cartographiques peut être apportée grâce, d'une part, à une étude comparative plus fine entre la typologie de terrain et la légende de la carte et, d'autre part, à une meilleure définition des unités géomorphologiques. La réalisation d'une carte géomorphologique est en cours de réalisation (1994) ;

- une validation *a posteriori* doit être faite à partir des photos aériennes (C130) prises en septembre 1992 ;
- un complément d'échantillonnage sur plateaux cuirassés et, éventuellement, dans la zone nord-est du super site central est permettra d'affiner et de compléter l'information existante ;
- la carte, à l'heure actuelle, n'est en fait qu'une spatiocarte, autrement dit, son unité élémentaire est toujours le pixel. La prochaine étape consiste à réaliser une carte d'occupation des terres réelle, c'est-à-dire avec de grands ensembles cartographiques bien identifiés et délimités. Pour ce faire, il faudra résoudre un problème méthodologique majeur : celui de la *moyenne* ou du transfert d'échelle. Le problème est lié à la télédétection (passage d'un ensemble de pixels Spot à un pixel NOAA ?), mais aussi au caractère des éléments cartographiés.

Pour conclure, le travail qui a été réalisé à l'heure actuelle pour la caractérisation de l'espace et des ressources sur le super site central est apparaît incomplet mais, il permet toutefois une première appréhension du milieu (unités paysagères types, répartition dans l'espace, superficie).

L'usage immédiat de cette carte comme base de spatialisation des données localisées du programme Hapex-Sahel est à considérer avec précaution suivant les remarques exposées ci-dessus. C'est sous sa forme numérique qu'elle sera nécessairement utilisée par les chercheurs participant au programme Hapex désireux d'extrapoler et spatialiser leurs données. Les comptes numériques ont été, en effet, versés à HSIS début 1994. Une version sur support papier peut être obtenue sur demande au centre Orstom Niamey, unité télédétection.

Son usage immédiat dans la poursuite des travaux hors Hapex du groupe phyto-écologie de Niamey est :

- la quantification et la qualification des ressources sur le SSCE. Des mesures de biomasses effectuées en saison des pluies 1992 seront remplacées sur la carte ;
- la superposition de cartes thématiques prélèvements multiéchelle ;
- l'analyse spatiale des structures paysagères, fonctions des prélèvements et des populations.

**BIBLIOGRAPHIE**

- BAUDRY J., *et al.* 1986. Ordre topo-écologique dans un espace rural, les niches paysagiques. *C.R. Acad.SC.Paris, t, 302, Série 3, 20*: 691-696.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. *Éd. de l'Orstom*. 229p.
- FORMAN T.T.R., GODRON M., 1981. Articles patches and structural components for a landscape ecology. *Biological Science, 31*: 733-740.
- GODRON M., 1965. Application de la théorie de l'information à l'étude de l'homogénéité et de la structure de la végétation. *Oecologica Planta, 1*, 187-197.
- GODRON M., DAGET P., IMBERGER I., LE FLOC'H E., POISSONET J., SAUVAGE C., WACQUANT J.P., 1968. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. *Éditions du CNRS. Paris* : 169 p.
- GONDARD P., 1988. Des cartes, discours pour une méthode. Cartographie de l'utilisation actuelle des sols et des paysages végétaux dans les Andes équatoriennes. *Collection « études et thèses » de l'Orstom*. 156p.
- HUETE A., 1986. Separation of soil plant spectral mixtures by factors analysis. *Rem.Sens.Env., 19*, 237-251.
- LONG G., 1974. Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire, Principes généraux et méthodes. *Masson et Cie Éditeurs, 1*, 252p.