MASTERE SPÉCIALISÉ EN
SYSTÈMES D'INFORMATIONS LOCALISÉES
POUR L'AMÉNAGEMENT DES TERRITOIRES

Elaboration d'une cartographie de l'occupation du sol à partir d'une image satellitaire :

Cas de l'Ile de SANTIAGO République du Cap-VERT

Xavier AUGUSSEAU

Promotion 1992 - 1993

Mémoire soutenu le 20 octobre 1993

MASTERE SPÉCIALISÉ EN
SYSTÈMES D'INFORMATIONS LOCALISÉES
POUR L'AMÉNAGEMENT DES TERRITOIRES

Elaboration d'une cartographie de l'occupation du sol à partir d'une image satellitaire :

Cas de l'Ile de SANTIAGO République du Cap-VERT

Xavier AUGUSSEAU

Promotion 1992 - 1993

Mémoire soutenu le 20 octobre 1993

ENGREF

E.N.S.A.M
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
PARIS-GRIGNON

Elaboration d'une cartographie de l'occupation du sol à partir d'une image satellitaire :

Cas de l'Ile de SANTIAGO
République du Cap-VERT

MÉMOIRE MASTÈRE SILAT - PROMOTION 1992 - 1993

SOUTENU LE 20 OCTOBRE 1993

Xavier AUGUSSEAU

JURY :

DESHAYES Michel	ENGREF Montpellier
GIRARD Michel - Claude	INAPG Paris Grignon
GUILLOBEZ Serge	INAPG Paris Grignon
REMY Jean-Claude	ENSA Montpellier
ROBBEZ-MASSON Jean-Marc	ENSA Montpellier
VINE Pascal	ENGREF Montpellier

Mémoire réalisé au sein du CIRAD CA - Montpellier

SOMMAIRE

.1.	Introduction	p 1
.2.	Le contexte de l'étude	p 2
.3.	Description du milieu	p 3
.3.1.	Le climat	p 5
.3.2.	La géomorphologie	p 7
.3.3.	Les sols	p 10
.3.4.	La végétation	p 10
.3.5.	L'occupation agricole et sylvicole	p 11
.3.6.	Les relations entre la végétation et le relief	p 15
.3.7.	Conclusion	p 17
.4.	Les données	p 18
.4.1.	Les données satellitaires	p 18
.4.2.	les données topographiques numériques	p 21
.4.3.	Les données cartographiques	p 22
.4.4.	Les données diverses	p 23
.4.5.	Conclusion	p 23
.5.	La méthode classique de traitement des images satellitaires	p 24
.5.1.	Les prétraitements	p 24
.5.2.	Les relations entre la radiométrie et le relief	p 24
.5.3.	Les corrections radiométriques du relief	p 27
.5.4.	Les segmentations	p 29
.5.5.	La classification dirigée	p 30
.5.6.	Résultats et conclusion	p 32
.6.	La méthodologie originale	p 36
.6.1.	Le principe	p 36
.6.2.	Le zonage physiographique de l'île	p 37
.6.3.	Optimisation de l'information satellitaire	p 40
.6.3.1	Utilisation des données exogènes	p 40
.6.3.2.	Les indices de végétation	p 40
.6.3.3.	L'analyse visuelle	p 42
.6.3.4.	Dans les zones arides	p 42
.6.3.5.	Dans les zones agricoles	p 42

.7.	Les résultats	p 47
.7.1.	La légende	p 47
.7.2.	Les zones arides	p 48
.7.2.1.	L'apprentissage	p 48
.7.2.2.	Conclusion	p 50
.7.3.	Les zones agricoles	p 52
.7.3.1.	La méthode pratique	p 53
.7.3.2.	Conclusion	p 54
.8.	Conclusion générale	p 56
	Bibliographie	p 58
	Annexes	p 60

FIGURES

1 situation géographique de l'île de SANTIAGO p 4

2 gradient pluviométrique et thermométrique sur l'île de SANTIAGO p 6

3 schéma des grands ensembles morphopédologiques de SANTIAGO p 8

4 image multispectrale SPOT XS du 06/11/92 p 19

5 effet de l'angle de visée et du relief p 20

6 effet d'angle d'incidence solaire p 26

7 effet d'ombre p 26

8 schéma des classes dans l'espace spectral p 30

9 schéma de la méthode de classification dirigée de l'image satellitaire p 31

10 RIBEIRA SECA : confusion entre le signal d'une plantation d'eucalyptus et d'autres zones de l'image p 33

11 plateau d'ASSOMADA : confusions après la classification de l'image p 34

12 schéma de la méthode de classification de l'occupation du sol p 37

13 zones physiographiques de SANTIAGO p 40

14 comparaison entre la composition colorée et l'image des NDVI p 41

15 graphe des distances en fonction de la taille des fenêtres p 45

16 comparaison entre la distance euclidienne et la distance PAPRI p 46

17 schéma de la classification PAPRI P 52

TABLEAUX

.1. calendrier cultural du système mais-haricots p 14

.2. listes des classes pour chaque zone p 49

.3. les parcelles de terrain de chaque zone p 50

.4. répartition des différentes classes d'occupation du sol pour les zones arides p 51

.5. les classes "hypercube" pour les zones agricoles p 54

.6. répartition des classes d'occupation pour les zones agricoles p 55

PHOTOGRAPHIES

.1. reboisements de *Prosopis Juliflora* sur la côte Ouest p 12

.2. paysage agricole dans la zone semi-aride p 13

.3. paysage agricole dans la zone humide p 14

.4. occupation du sol en fonction de la forme du versant p 17

.1. INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est l'élaboration d'une **cartographie de l'occupation du sol** de l'île de SANTIAGO, au Cap Vert, qui doit être intégrée dans la base de données géographiques d'un SIG, destinée à la gestion des potentialités agricoles et des contraintes du milieu.
Cette cartographie est basée sur l'interprétation d'une **image satellitaire multispectrale** SPOT XS , prise à la fin de la saison agricole.

L'analyse de données satellitaires dans un **milieu montagneux**, caractérisé par un **climat sahélien**, est délicate et source de confusions. Pour améliorer la classification nous disposons de données cartographiques et de données topographiques numériques qui nous seront utiles pour optimiser l'utilisation de l'information satellitaire.

Dans le présent mémoire, après avoir exposé une étude du milieu physique de cette île, nous décrirons les données à notre disposition puis nous développerons les différentes méthodes utilisées pour réaliser cette carte.
Enfin nous présenterons des résultats, qui sont partiels, car non validés, pour chaque zone physiographique de l'île, traitée indépendamment.

.2. LE CONTEXTE DE L'ETUDE

Dans le cadre d'un projet, intitulé "Prise en compte des facteurs morphométriques pour une meilleure valorisation des ressources naturelles de l'île de SANTIAGO", financé par la CEE, où interviennent le CIRAD-CA et l'INIDA, il s'agit de mettre à la disposition des autorités Cap-Verdiennes un outil informatique de gestion du milieu physique de l'île afin de valoriser au mieux le potentiel agricole.

Le présent stage s'est orienté sur la réalisation d'une cartographie de l'occupation du sol ; une carte thématique qui sera intégrée dans le système d'informations géographiques.

En se basant sur une image satellitaire prise à la fin de la saison agricole, il s'agit de distinguer plusieurs classes d'occupation :

- les périmètres irrigués
- les cultures pluviales
- les parcelles de reboisement
- les zones de végétation naturelle
- les zones de roche nue et infertiles
- les zones urbaines

Le choix de ces classes s'est fait en fonction des objectifs du SIG, destiné à l'aménagement rural. Ces six classes représentent les grands types d'occupation du sol, existant sur l'île, susceptibles d'être cartographiés avec les données à notre disposition.

L'objectif principal est de discriminer les classes d'occupation du sol à partir d'une image satellitaire et nous allons voir que dans les conditions de l'île de SANTIAGO l'utilisation des données satellitaires s'avère délicate.

.3. DESCRIPTION DU MILIEU

Elle est nécessaire pour guider par la suite la méthode d'interprétation de l'image satellitaire.

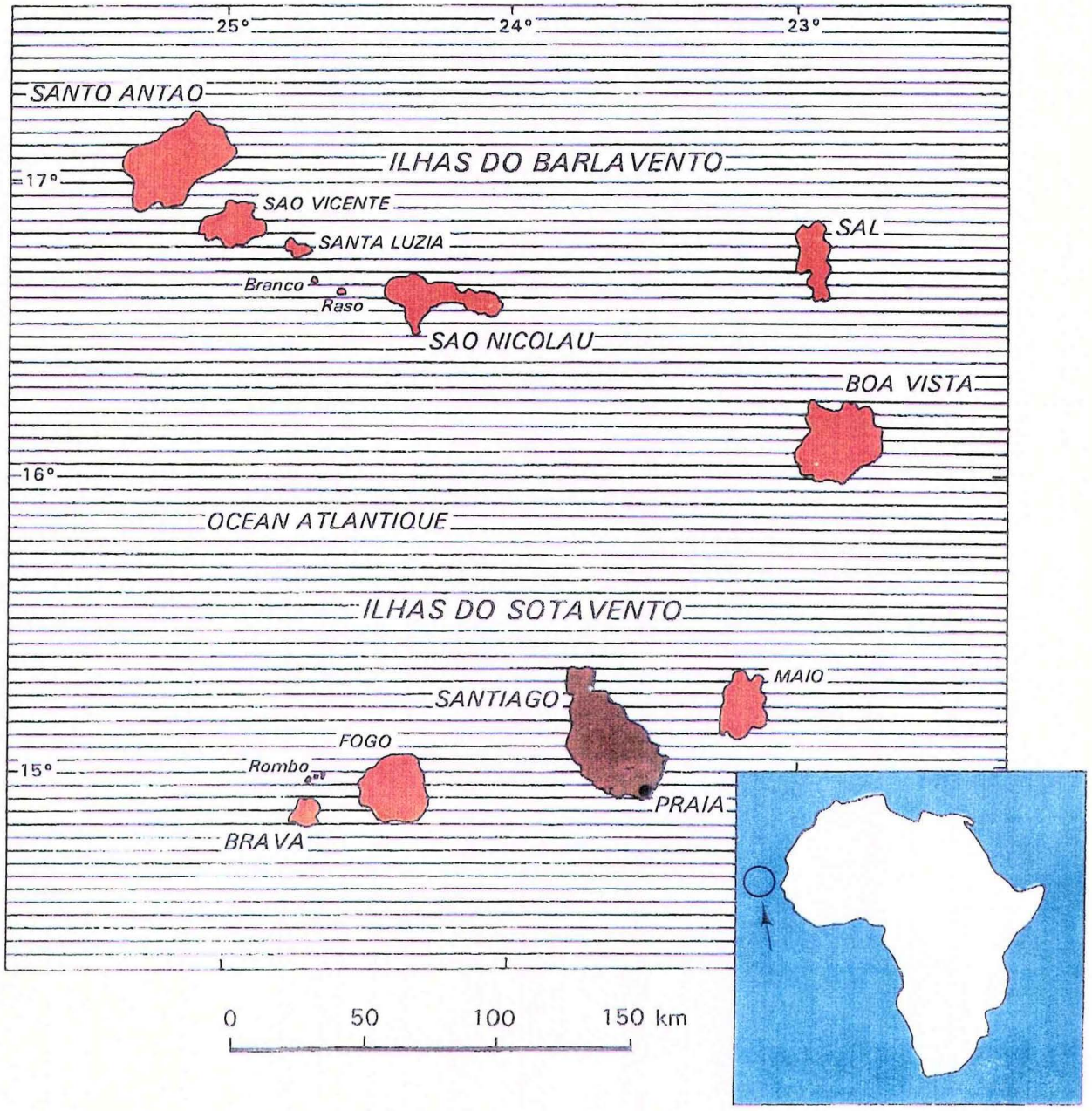
C'est une île située au Sud-Est de l'archipel du Cap Vert, à 500 km à l'Ouest de la côte de l'Afrique Occidentale, à la hauteur de Dakar (cf figure n°1).

Inhabitée à l'origine elle a été colonisée vers 1460 par des navigateurs portugais puis a servi d'escale maritime et de zone de transit pour le trafic d'esclaves. Depuis 1975 elle abrite la capitale de la jeune république du Cap Vert, PRAIA.

Peuplée de 170 000 habitants, elle est l'île la plus importante du Cap Vert avec près de 1 000 km² de superficie, environ 50 km de longueur et une vingtaine de kilomètres sur sa plus grande largeur. L'agriculture occupe plus de la moitié de la population mais n'assure que 40 % des besoins nationaux, en année climatique favorable.

FIGURE N°1

SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ILE DE SANTIAGO



.3.1. LE CLIMAT

La position géographique du Cap Vert, 15 ° de latitude Nord, et sa situation insulaire lui confèrent un climat particulier caractérisé par :

- une forte influence des **alizés nord-atlantiques**, vents maritimes humides, qui soufflent la majeure partie de l'année, venant du Nord, Nord-Ouest, et entraînent une humidité atmosphérique élevée (60 à 80 %) et des températures relativement fraîches (moyenne annuelle de 25°c au niveau de la mer et de 20 ° c dans les zones d'altitude). Cet air très stable n'apporte aucune pluie.

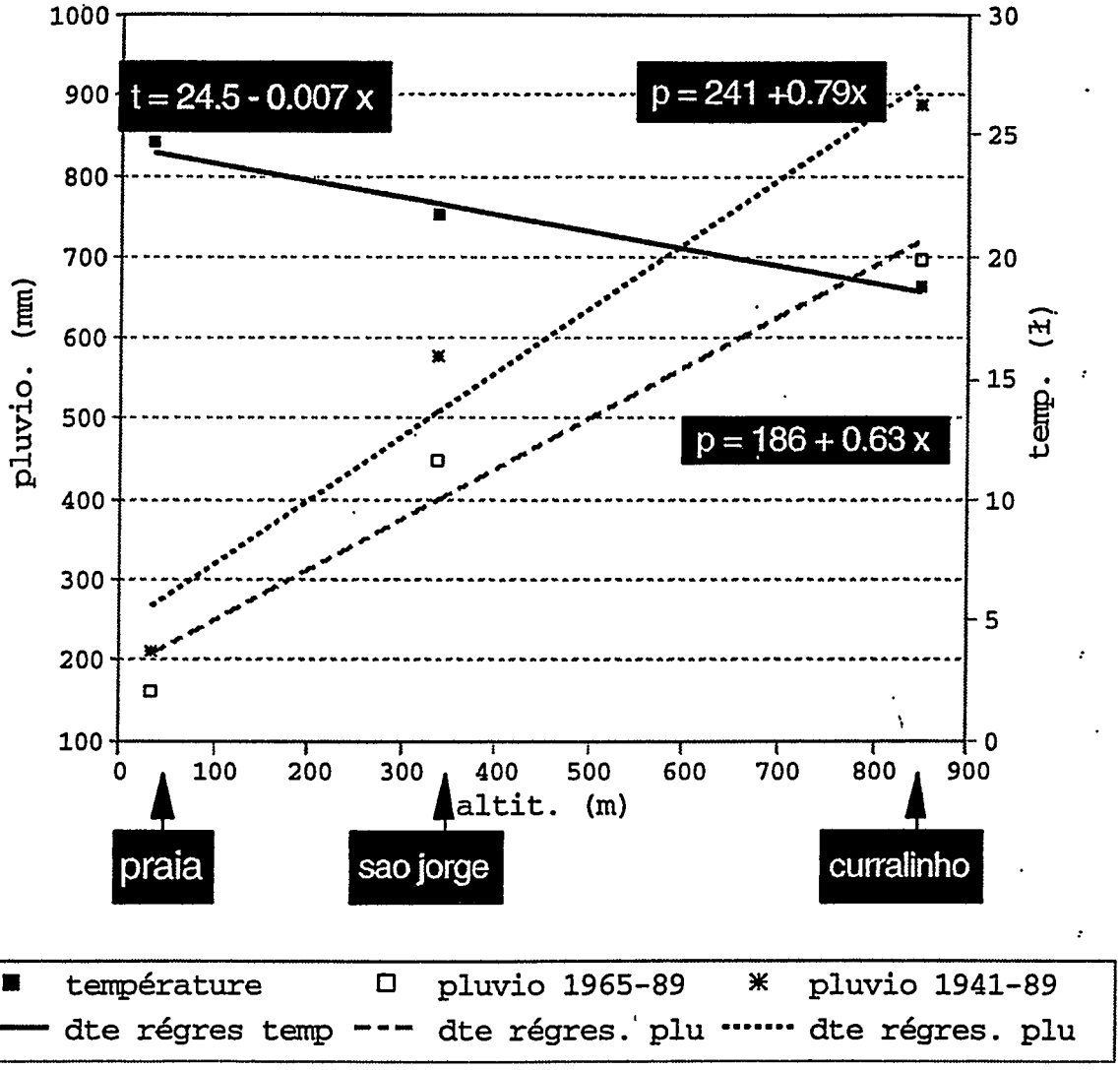
- un régime des pluies très aléatoire car l'archipel, situé en **zone sahélienne,** se trouve près de la position la plus septentrionale de la Zone de Convergence Intertropicale, zone de basses pressions équatoriales, qui arrose le continent Africain.
Pendant la saison des pluies, d'Août à Octobre, l'archipel ne bénéficie de précipitations que lorsque la ZCIT passe au Nord du Cap Vert, à la faveur de petites oscillations aléatoires .
Ainsi la pluviométrie ne dépasse pas 700 mm et se caractérise par une forte variabilité interannuelle (30 à 50 %).

Le relief de l'île -l'altitude varie de 0 à 1376 m- et la situation des deux massifs montagneux induisent un zonage climatique:

- on observe un **gradient altitudinal** important (cf figure n°2) sur la température, la pluviométrie, qui varie de 200 à 1 000 mm, et l'évapotranspiration. En outre, en altitude la présence quasi constante d'une couverture nuageuse provoque des précipitations occultes, non négligeables dans le bilan climatique.

FIGURE N°2

GRADIENTS PLUVIOMETRIQUE ET THERMOMETRIQUE SUR L'ILE DE SANTIAGO
(d'après Babau, Silva, Alvez, Mathieu, de Witt, Mannaerts, 1981, cités par F. MONTMASSON)



- un effet de l'**exposition** au vent synoptique, différencie la côte Est, "au vent", de la côte Ouest, "sous le vent", beaucoup plus aride, soumise à un effet de foehn. Il joue sur la pluviométrie mais aussi sur l'évapotranspiration.

Une stratification climatique avait été établie dès 1958, par TEXEIRA et BARBOZA, et définissait quatre zones bioclimatiques, en fonction de l'altitude et de l'exposition aux alizés. Basé sur un cycle climatique (1950-65), plus humide que maintenant, ce zonage donne des valeurs pluviométriques qui ne sont plus valables mais le découpage reste valide puisqu'il était basé sur la morphologie de l'île :

- **humide** : elle se situe à des altitudes supérieures à 600 m et en situation d'exposition favorable, bénéficiant des précipitations occultes. Elle correspond aux versants orientaux des massifs montagneux. La pluviométrie est supérieure à 700 mm

- **sub-humide** : sur les versants biens exposés elle se tient entre 300 et 600m alors que sur les autres elle commence à partir de 900m. C'est le plateau d'ASSOMADA, par exemple, où les précipitations varient entre 500 et 700 mm.

- **semi-aride** : à une altitude inférieure à 300 m en exposition propice et entre 400 et 900 m sur les versants mal orientés. Ce sont essentiellement les plateaux côtiers, avec des pluies variant entre 200 et 500 mm.

- **aride** : ce sont tous les versants mal exposés et d'altitude inférieure à 400 m : les plateaux de la côte occidentale, avec une pluviométrie inférieure à 200 mm.

.3.2. LA GEOMORPHOLOGIE

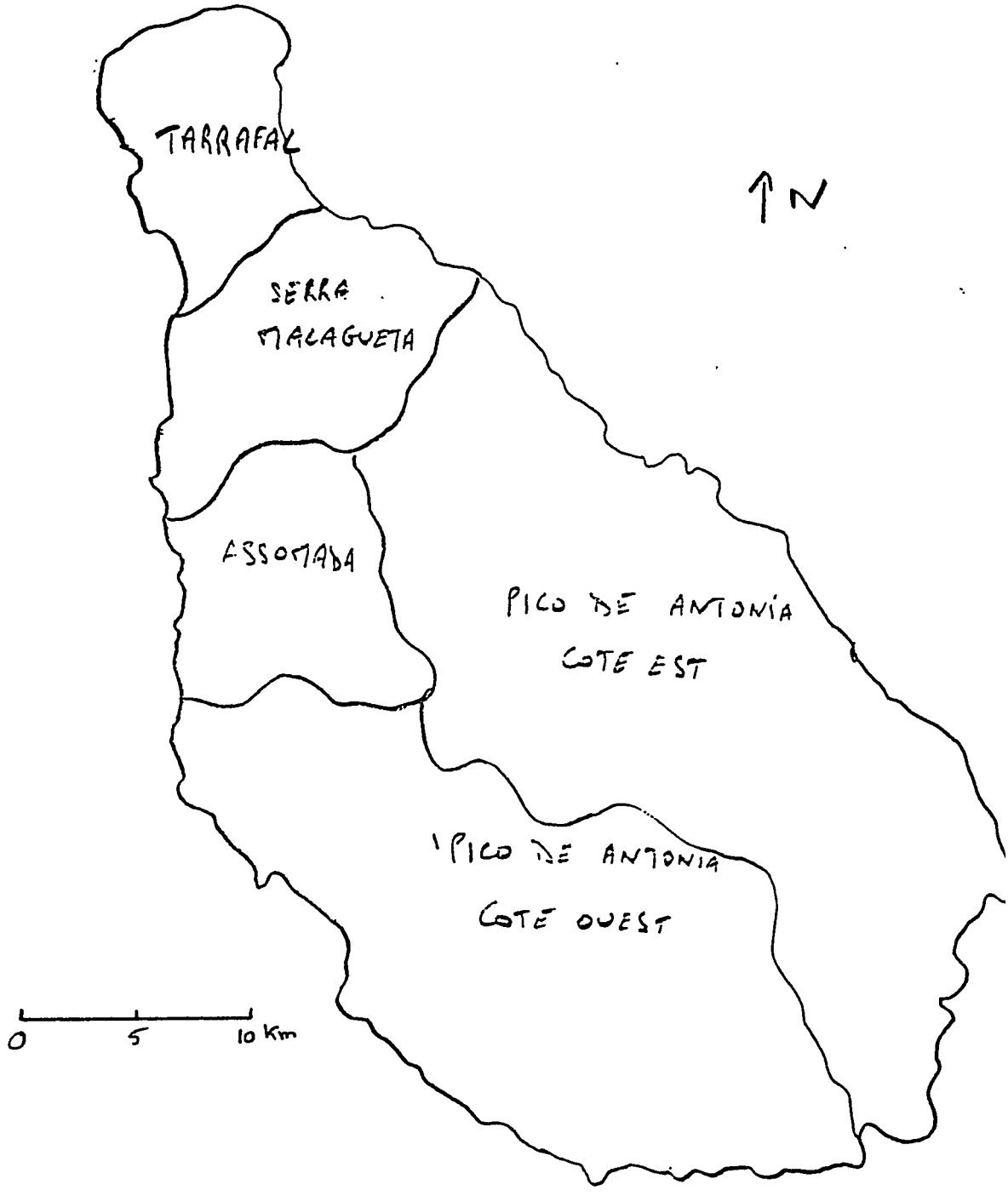
L'île de SANTIAGO, d'origine **volcanique**, est montagneuse, caractérisée par un relief très tourmenté. Elle s'est formée lors de différents épisodes volcaniques de l'anté-miocène jusqu'au quaternaire, intercalés par des phases de sédimentation et d'érosion.

Le soubassement de l'île, basaltique et basanitique, s'est constitué lors de l'ante-miocène, suivi par la phase dite de FLAMENGOS où d'importantes coulées basaltiques et phonolithiques constitueront des plateaux côtiers.

Les massifs montagneux de PICO DE ANTONIA ET SERRA MALAGUETA se sont formés lors d'une phase effusive, dite de PICO DE ANTONIA, au cours de laquelle les coulées recouvrent une large partie de l'île pour constituer en aval des planèzes ou "achadas" ainsi que la presqu'île de TARRAFAL, au Nord. Des épisodes paroxysmiques ont marqué la côte Ouest de l'île.

FIGURE N° 3

SCHEMA DES GRANDS ENSEMBLES MORPHOGEOLOGIQUES DE SANTIAGO



Le plateau d'ASSOMADA à l'intérieur de l'île, entre les deux massifs se formera par la suite.
Enfin la phase dite MONTE VACAS, du quaternaire, parsèmera des petits cônes volcaniques sur toute l'île.

Les périodes d'érosion intense qui s'intercalent entres ces diverses phases volcaniques remanieront les matériaux volcaniques, notamment, lors de la phase dite d'ORGAOS au cours de laquelle une épaisse formation continentale constituée de lahars, d'éboulis,... se développera essentiellement dans le bassin de RIBEIRA SECA.
Mais surtout elles façonneront le relief de l'île, à partir des massifs montagneux.

On peut distinguer en partant du Nord (cf figure n° 3) :

- la presqu'île de TARRAFAL dont le principal relief est constitué par le mont GRACIOSA et quelques cônes du Quaternaire.

- le massif montagneux de SERRA MALAGUETA, orienté Est-Ouest, qui se caractérise par le réseau de vallées alluviales qui divergent à partir du point culminant 1 064 m, situé au Sud, vers la côte Est.
La partie orientale est surtout marquée par les épisodes paroxysmiques de la période de PICO DE ANTONIA.

- le plateau d'ASSOMADA marque une rupture brutale entre les deux massifs. Il est constitué en amont d'un large plateau basaltique qui prend naissance au milieu de l'île et se prolonge à l'Ouest par plusieurs planèzes, entrecoupées de profonds canyons. Quelques édifices volcaniques accentuent le relief.

- enfin le massif de PICO DE ANTONIO constitue l'ossature de le l'île en se prolongeant du Nord au Sud. Comme pour SERRA MALAGUETA on retrouve l'influence du climat qui distingue les deux versants.
La partie orientale, de morphologie alluviale, avec un réseau très dense de vallées ou ribeiras qui prennent naissance dans des cirques escarpés et débouchent sur la mer sous la forme de larges vallées alluviales. C'est également dans cette région que l'on retrouve les formations hydro-volcaniques d'ORGAOS.

Sur la côte occidentale et sud, de morphologie volcanique, ce sont de vastes plateaux ou achadas, anciennes coulées basaltiques, qui naissent au pied du massif et se prolongent jusqu'à la mer. Ils sont divisés par quelques canyons.

.3.3 . LES SOLS

Issus d'un substrat de **roches basiques** ils sont marqués par le climat et le relief. On peut distinguer trois types :

- des sols évolués, dans les zones peu déclives, isohumiques, caractérisés par une teneur en MO élevée et une texture fine. Ce sont des sols chatains en zone humide et des siérozems en milieu plus aride.
En zone d'altitude sur des roches tendres on trouve des andosols.
Sur le substrat basaltique on observe la présence de croûte de battance et une importante pierrosité superficielle.

- Sur les versants, des formations de pente ou bien un substrat de roche altérée ou tendre (tufs volcaniques ou formations sédimentaires d'ORGAOS).

- des sols d'accumulation, dans les vallées avec des dépôts d'alluvions et dans les zones de piémont, des sols colluvionnaires.

.3.4. LA VEGETATION

En raison de la quasi anthropisation du milieu il est difficile de rencontrer des formations végétales bien établies.

La végétation naturelle est constituée de reliques des formations de type steppique existant lorsque l'île était inhabitée et d'espèces importées durant ces cinq derniers siècles. On peut distinguer :

- une **steppe à graminées**, très dégradée par les sécheresses successives et le surpâturage d'un troupeau de caprins, en pleine expansion. On la retrouve sur les plateaux périphériques et dans les zones arides.

- une **steppe arbustive**, composée d'arbustes très xérophiles, *Zizyphus mauritania*, et d'apports anthropiques *Prosopis*, *Parkinsonia*, *Ricinus communis*, ... sous lesquels pousse une strate herbacée (graminées, légumineuses, composées). Elle est plus fréquente dans les zones les plus favorables, imbriquée dans les cultures ou occupant les surfaces incultes. Les arbustes sont laissés dans les champs et régulièrement taillés, fournissant du feu de bois.
Il est assez rare de rencontrer des arbres de taille normale, excepté dans quelques fonds de vallée.

.3.5. L'OCCUPATION AGRICOLE ET SYLVICOLE

Elle a beaucoup évolué depuis 1979, année au cours de laquelle la SCET AGRI a réalisé une carte d'occupation des sols.

Avec une population de 170 000 habitants l'espace de l'île de Santiago est saturé. Les paysages sont pratiquement anthropisés, à l'exception des zones de crêtes, escarpées et sans végétation.

Les reboisements se sont développés de façon spectaculaire, essentiellement en zone aride et semi-aride, sur les plateaux côtiers.
On recense près de 40 000 ha soit 40 % de la superficie de l'île.
Ils sont constitués de deux espèces, xérophiles, bien adaptées aux conditions du Cap Vert :

Parkinsonia aculeata : légumineuse césalpinée originaire d'Amérique tropicale, elle constitue un bon fourrage pour le bétail.

Prosopis juliflora, une légumineuse mimosacée originaire d'Amérique tropicale, qui a une croissance rapide et produit du bois de feu. Seules ses gousses sont appétentes.
On trouve d'autres essences, *Acacia sp.*, *Atriplex* sp., *Pourgueira*, ...
En zone humide il y a quelques plantations d'*Eucalyptus*, *Pinus*, *Cupressus* et *Fourcreya foetida* qui recouvrent environ 1 600 ha.

On distingue deux types :

- le **reboisement pur** où les arbustes sont plantés sur des banquettes ou des demi-lune. Les espacements sont variables de 3 à 20 m ainsi que l'état des arbres qui évolue en fonction de la situation topographique (cf photo n°1).

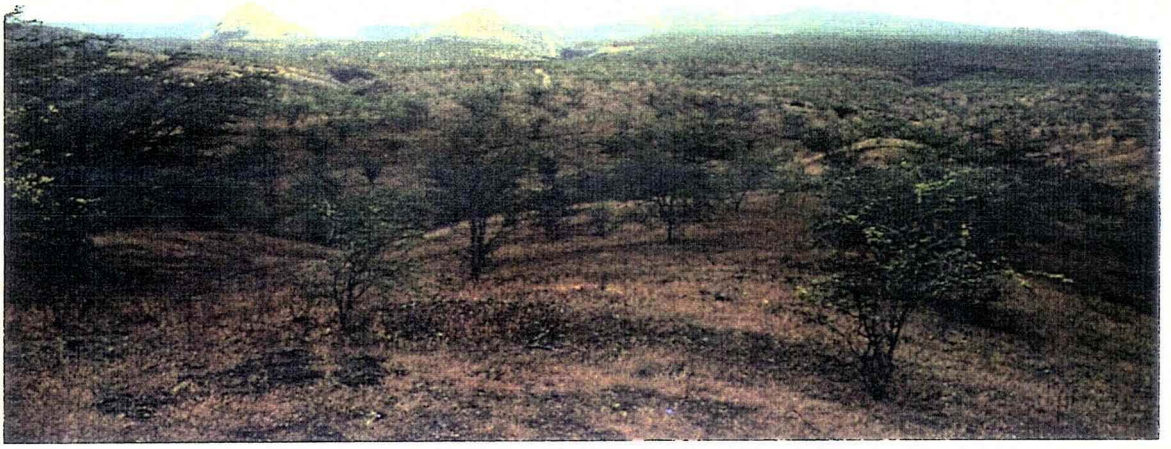
- le **reboisement mixte** : des lignes isohypses installées sur des aménagement anti érosifs ou bien des bosquets plantés dans les zones incultes, au sein de l'espace cultivé, principalement sur la côte Est.

Elles ont été réalisées dans le cadre des grands travaux d'état, sous la tutelle du service des forêts et avec le concours financier d'organismes internationaux tels que la FAO.

En parallèle, de nombreux versants ont été aménagés sur près de 2 500 ha soit avec des murettes de pierres, soit avec des haies vives. La plupart des lits des ribeiras ont été corrigés et de nombreuses digues de captation ont été construites.

PHOTO N°1 :

REBOISEMENTS DE PROSOPIS JULIFLORA SUR LA COTE OUEST



L'agriculture pluviale occupe les terres les plus favorables - la majorité des surfaces avec un peu de sol -, souvent dans des conditions climatiques et topographiques extrêmes.

On ne trouve qu'un seul système de cultures : une **association maïs- haricots** (*Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguilata*, *Phaseolus lunatus*,...) avec en zone plus humide, *Cajanus cajan*. Ces différentes espèces ont des cycles biologiques distincts qui diminuent sans doute les risques liés à la sécheresse (cf tableau n°1).
Le relief impose de cultiver manuellement. Les dates de semis sont très variables, liées à une pluviométrie aléatoire . Les densités sont faibles - les graines sont semées dans le même poquet avec une densité d'environ de 10 000 poquets/ha -.
Les rendements sont médiocres à nuls ; ils ne dépassent pas 2 000 kg/ha de grain pour le maïs, dans les conditions pédoclimatiques les plus favorables. Dans les parties semi-arides les chances de production sont très limitées mais la valeur marchande des résidus de cultures, qui sont vendus comme fourrage, est suffisante pour emblaver dans de telles zones.

Cependant l'occupation du sol est très marquée par les conditions du milieu : un climat semi-aride de type sahélien et un relief montagneux.
Ainsi pour le système de cultures pluvial, l'association maïs-haricots, nous allons rencontré des états de couverture végétale très variables.
En outre les parcelles sont entretenues de façon très variable : le nombre de sarclages est souvent lié à l'espérance d'un récolte.

Le parcellaire est très morcelé avec des contours imprécis, marqués par les arêtes de versant, escarpement rocheux, ravines ; quelquefois des cordons de pierre et des haies vives.

Enfin les limites entre le domaine cultivé et les zones de végétation naturelle sont très floues. On peut cependant définir deux situations :

- les **régions arides et semi-arides**: seules les zones pédoclimatiques favorables sont cultivées, et de fait sont marginales. On retrouve de la végétation naturelle sur des surfaces importantes, sous la forme de pâturages très dégradés (cf photo n°2).

- les **régions humides et sub-humides**: les cultures occupent quasiment tout l'espace (cf photo n°3). La végétation naturelle y est clairsemée dans le paysage agricole: - les ligneux sont intégrés dans l'espace cultivé et utilisés pour le bois de feu (*Zizyphus mauritania*, ...).

PHOTO N° 2

PAYSAGE AGRICOLE DANS LA ZONE SEMI-ARIDE

PHOTO N° 3

PAYSAGE AGRICOLE DANS LA ZONE HUMIDE

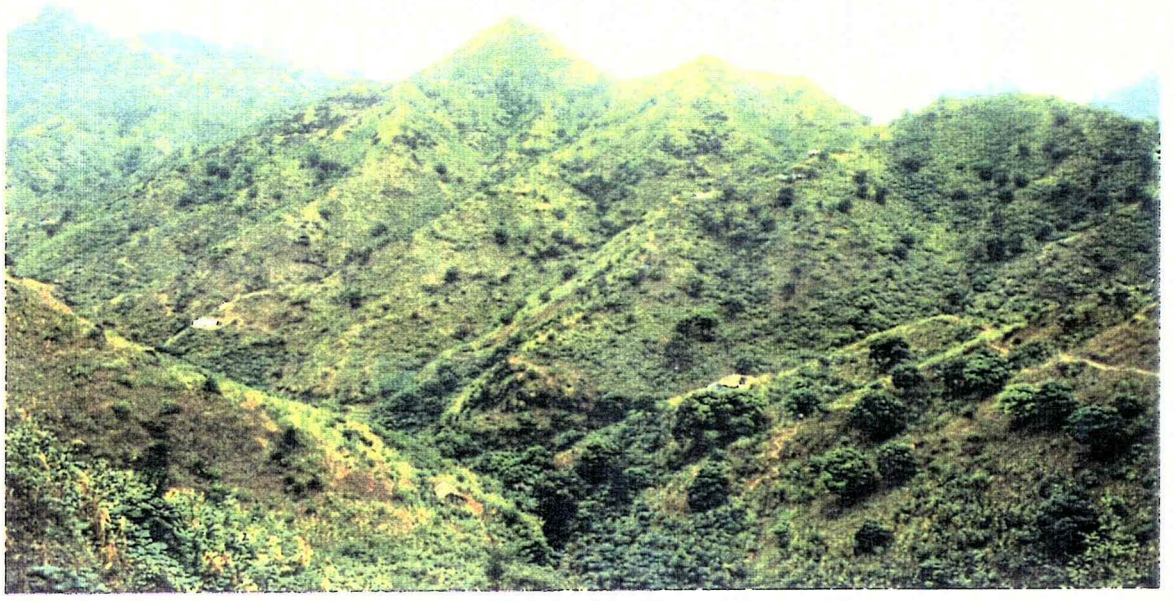


TABLEAU N° 1

CALENDRIER CULTURAL DU SYSTEME MAIS-HARICOT

zea maïs court	sem.			rec				
long					rec			
vigna ung. court	sem		rec					
long			rec					
phaseolus court	sem				rec			
long							rec	
lablab niger	sem			rec				
cajanus cajan	sem				rec			rec
MOIS	**juil**	**aout**	**sept**	**oct**	**nov**	**dec**	**jan**	**fev**

sem : semis
rec : récolte

N.B. : Ce calendrier correspond à un début des pluies en Juillet. Cependant l'occurrence de la première pluie utile est très variable (entre début Juillet et mi-Août) et le calendrier cultural est d'autant plus décalé.

Les périmètres irrigués occupent les fonds de vallée. Leur potentiel en surface et en production est limité par des ressources aquifères insuffisantes qui ont tendance à se tarir dans certaines régions. En 1979 la SCET AGRI avait recensé près de 1 000 ha cultivés. Il semble que depuis les surfaces ont augmenté, à la faveur des nombreux aménagements de ribeiras avec la construction de digues de correction torrentielle.
Les modes d'alimentation hydriques sont très variés et vont de l'irrigation par gravité, sur les terrasses aménagées, au pompage de nappe par des forages.

On peut distinguer :

- des périmètres, que l'on retrouve en aval des grandes vallées de la côte orientale, près de PEDRA BADEJO, sur des surfaces importantes et consacrées soit à la monoculture industrielle de la banane, soit à l'horticulture et fruiticulture - cocotiers, papayers, manguiers, ... -.

- une multitude d'aménagements sur des surfaces très réduites, installées dans la plupart des ribeiras de l'île ou bien sous la forme de terrasses sur les parties basses des versants, où la principale spéculation est la canne à sucre, puis des associations de fruitiers, de maraîchers et de tubercules.

.3.6. LES RELATIONS VEGETATION ET RELIEF

Une étude réalisée en 1990 (LOPEZ), dans le cadre du projet ESPACE, projet régional, en agroclimatologie, dans la zone sahélienne, n'a montré aucune corrélation entre la pluviométrie moyenne et la production agricole du maïs. Le zonage agroclimatique, en fonction de la topographie, réalisé par TEIXEIRA, a été utilisé pour mettre en évidence des relations entre des variables bioclimatiques et le rendement.

La végétation et son développement sont fortement influencés par le relief. On peut distinguer deux types de facteurs qui interviennent à différentes échelles:

- ceux à effet d'ordre climatique
- ceux à effet d'ordre pédologique et hydrique

Le plus important est **l'altitude** qui définit une stratification climatique. Comme nous l'avons déjà vu il intervient sur toutes les variables bioclimatiques.
Cependant ce zonage est modulé par l'exposition au vent synoptique, les alizés, qui viennent du Nord-Est.
Enfin on peut ajouter l'éclairement solaire, qui est antagoniste de l'orientation aux alizés.

La **déclivité** est un facteur déterminant puisque qu'elle conditionne le type de sol (des formations de pente sur les versants aux sols isohumiques des planèzes).
Cette différenciation se manifeste sur le fonctionnement hydriques des plantes. L'exemple le plus spectaculaire, déjà cité par BERTRAND, est celui des reboisements sur les achadas où les arbres plantés sur les versants sont beaucoup plus développés que ceux situés sur le plateau.
Ces derniers sont victimes de l'effet de croûte de surface, qui réduit l'infiltration de l'eau, et d'une évaporation importante car plus exposés au vent. Cet exemple montre également que dans les conditions du Cap Vert les capacités hydriques prime sur les qualités chimiques des sols.

L'état de la végétation varie en fonction de sa position sur la **toposéquence** car celle-ci induit une stratification pédologique mais aussi des reports d'eau, superficiels ou en profondeur, comme le montrent les résultats de LOPEZ, en 1990.

Enfin dans les régions arides et semi-arides, sur les parties concaves des versants on note la présence de sols profonds et de cultures alors que les zones convexes, crêtes et affleurements, sont incultes. Ce phénomène joue à une très grande échelle comme on peut le voir sur la photo n° 4.

PHOTO N° 4

OCCUPATION DU SOL EN FONCTION
DE LA FORME DU VERSANT

.3.7. CONCLUSION

Au regard de cette analyse, de fortes contraintes, propres au milieu, limitent les possibilités d'utilisation des données satellitaires dans le cadre précis des objectifs de cette étude.

- la topographie a une influence sur l'état de la végétation. Les deux principaux facteurs sont l'altitude et l'exposition aux alizés, qui conditionnent de nombreuses variables bioclimatiques.

- l'occupation du sol est constituée de classes peu différenciables entre elles, excepté les périmètres irrigués.
Ainsi les cultures pluviales, la végétation naturelle et les reboisements se caractérisent par de faibles densités et surtout une hétérogénéité, due au relief. Cette grande variabilité des états de couverture végétale risque de provoquer des confusions car il y a beaucoup de facteurs en jeu, décrits plus haut.

- les zones de reboisement, en raison de leur jeune âge et des conditions climatiques difficiles, ajoutées à de faibles densités, ne sont pas détectables sur les images satellites et nécessitent l'utilisation d'une carte.

Il est nécessaire de mettre au point une méthodologie visant à optimiser les données satellitaires en les combinant avec les données exogènes, que nous avons à notre disposition et, si cela est possible, en s'affranchissant de certains effets perturbateurs.

.4. LES DONNEES

Pour réaliser ce travail nous disposons de plusieurs données de nature différente :

.4.1. LES DONNEES SATELLITAIRES

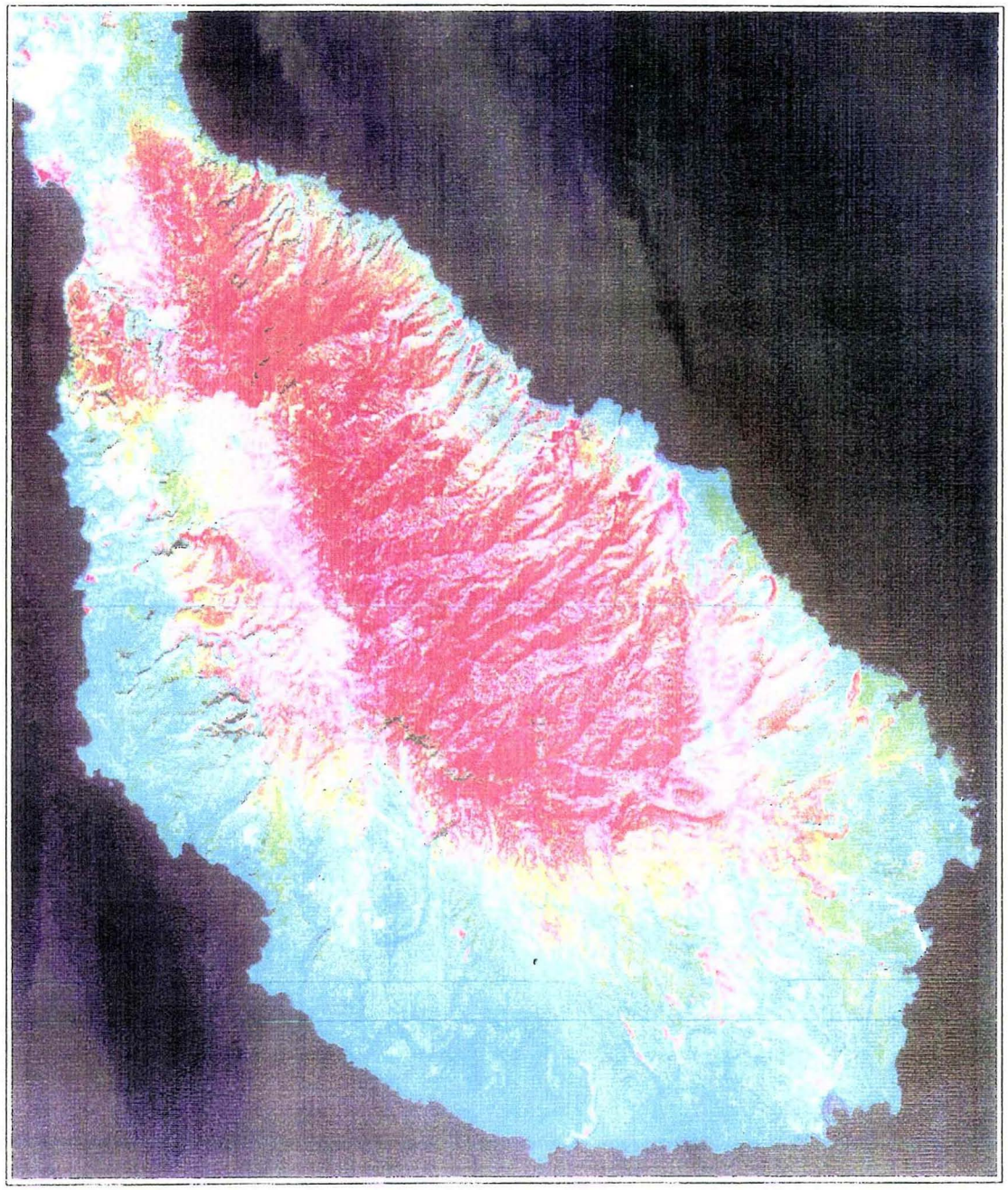
Deux images du satellite SPOT ont été choisies d'une part pour réaliser la carte d'occupation du sol, mais aussi, grâce aux possibilités de dépointage du satellite, pour constituer un couple stéréoscopique qui générera un modèle numérique de terrain, autre donnée que nous présenterons plus loin. Par conséquent elles ont des angles de prise de vue assez élevés.

Une **image panchromatique**, du 21/12/87, d'une résolution de 10 m et caractérisée par un angle d'incidence de 13,4°, sur la gauche.

Une **image multispectrale**, du 06/11/92, rééchantillonnée pour une résolution de 10 m, et d'un angle de 24,1°, à droite. Elle représente la base de notre interprétation et la date a été choisie car elle correspond à la fin de la saison des pluies (cf figure n°4).

FIGURE N°4

IMAGE MULTISPECTRALE SPOT XS DU 06/11/92
(image en composition colorée)



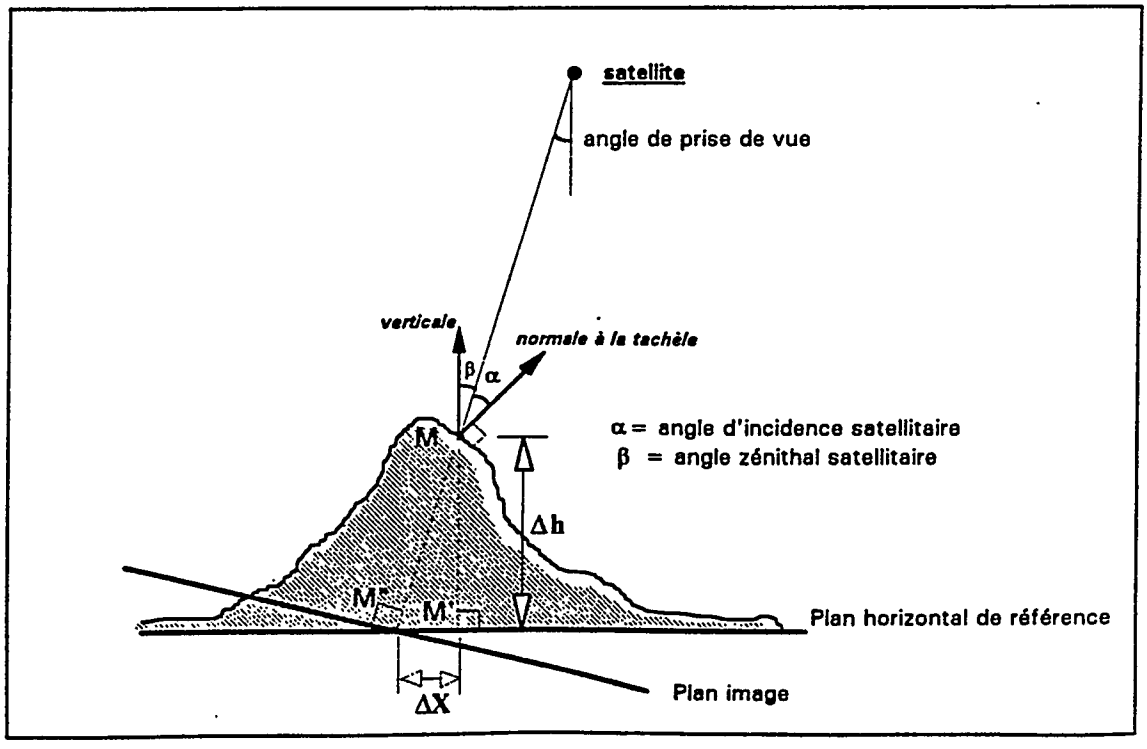
0 5 10 km

L'image multibandes, donnée de base de notre étude, a un angle de prise de vue important 24° et le dénivelé de l'île est conséquent, 1396 m, avec des variations brutales d'altitude. L'angle de la prise de vue et le relief ont pour effet conjoint de modifier la position d'un point au sol, sur l'image, par rapport à sa projection verticale (cf figure n°5, le point M se trouve projeté sur le point M", alors qu'en visée verticale il serait en M').

Ces effets, internes à l'image, consistent en un déplacement des pixels sur les lignes de l'image. En effet les dépointages du satellite SPOT sont perpendiculaires à sa trace.
Pour calculer la position de chaque pixel, qu'il aurait en visée verticale, il est nécessaire de connaître l'altitude et l'angle d'incidence satellitaire (cf figure n°5).
Pour réaliser ces corrections un modèle numérique de terrain et ses plans dérivés sont indispensables.
Les deux scènes ont été corrigées des **effets géométriques** du relief, et rectifiées selon la projection cartographique utilisé pour le fond topographique.
Ces ortho-images sont donc superposables entre elles et aux document cartographiques.
Ces corrections ont été réalisées par GEOIMAGE, un bureau d'étude spécialisé.

FIGURE N°5

EFFET DE L'ANGLE DE VISEE ET DU RELIEF



.4.2. LES DONNEES TOPOGRAPHIQUES NUMERIQUES

A l'aide des deux images SPOT, la société GEOIMAGE, a créé un **modèle numérique de terrain**, c'est à dire un représentation numérique du relief, sous la forme d'une grille régulière, constituée de pixels, chacun codé par une valeur altitudinale.
Il est difficile de connaître exactement le modèle de création d'un MNT à partir de scènes satellitaires, car les bureaux d'études sont assez jaloux de leurs méthodes. Cependant le principe est le suivant :

A partir de deux images, dont on connaît la position exacte du satellite au moment de la prise de vue, on cherche à déterminer les points homologues sur les deux images.

Ces attributs analogues peuvent être :

- des **lignes de contours**, obtenues grâce à des filtres, issues du relief et qui sont invariantes
- de **l'ensemble des pixels** de l'image, dont la radiométrie évolue dans le temps

On obtient ainsi deux images représentant la même région sous deux projections différentes dont on calculera les corrélations entre les points de chaque image.

Puis connaissant les paramètres géométriques et optiques de chaque prise de vue on peut calculer l'altitude de chaque point en fonction de ces corrélations.

Dans le cas précis de l'île de SANTIAGO, la grande différence de date de prise de vue, près de cinq années, avec un décalage par rapport à la saison agricole, un mois et demi, entre les deux images, a certainement été source d'imprécisions locales dans la réalisation du MNT. En effet dans le cas des corrélations au niveau du pixel, les variations de radiométrie ne seront pas dues seulement à la topographie.

Le MNT a une précision géométrique de 10 m, chaque pixel fait 10 m X 10 m, et d'une précision altimétrique d'environ 15 m.
Les valeurs sont codées sur 2 octets, permettant ainsi de calculer des plans dérivés. Cependant il peut aussi se présenter sous la forme d'une image "altitudes" qui pourra être traitée comme une scène satellitaire ; dans ce cas les valeurs sont codées sur 1 octet, avec un pas de 10 m, pour l'île de Santiago.

A partir du MNT nous pouvons obtenir d'autres caractéristiques du relief qui nous seront utiles :

- la pente
- l'azimut
- le cosinus de l'angle d'incidence solaire

Les deux premiers sont calculés avec le logiciel de traitement d'images MULTISCOPE. Le plan des cosinus AIS a été généré avec un logiciel, développé par le CEMAGREF, qui calcule d'abord la position de chaque pixel (en fonction de la pente et de l'azimut) puis le cosinus AIS en fonction de l'azimut et l'élévation solaire.
Bien entendu le MNT et ses plans dérivés se présentent sous la forme d'ortho-images et sont superposables aux données satellitaires.

.4.3. LES DONNEES CARTOGRAPHIQUES

Elles ont toutes été représentées à partir du fond topographique au 1/25000

- une carte géologique, au 1/25 000, établie par SARALHEIRO,

- une étude réalisée par la SCET AGRI en 1979, qui a cartographié au 1/25 000 l'occupation du sol et la vocation des sols.

Cependant la carte d'occupation des sols est basée sur une stratification liée à l'altitude, l'exposition aux alizés et la déclivité. Aussi pour l'espace cultivé elle n'est qu'une représentation d'un potentiel agricole en fonction de la topographie.

- une carte des projets de reboisements réalisée par le service national des forêts, au 1/25 000. La localisation et les limites représentées n'ont pu être validées car le document ne nous a été remis qu'à la fin de la mission. Exceptée la côte Est où il y a certainement confusion entre des véritables reboisements et des aménagements de versants, cette carte parait relativement précise.
Chaque parcelle reboisée est renseignée par la date de plantation.

- une carte des groupements de végétation au 1/50 000, établie en 1986 par l'INIA portugais

.4.4. LES DONNEES DIVERSES

- une mission terrain réalisée au mois de Juin 1993, pendant trois semaines, pendant laquelle des parcelles de référence ont été repérées et un zonage de l'île a été établi pour la classification de l'image SPOT.
La date de la mission correspondait à la fin de la saison sèche, lorsque toutes les parcelles sont nettoyées des résidus culturaux. Ainsi il a été difficile de pouvoir évaluer l'emprise de l'agriculture sur l'espace et, indirectement, les effets du relief sur l'état des cultures.

A l'aide des cartes topographiques, des images satellitaires imprimées, nous avons pu repérer des parcelles des différentes classes d'occupation, dans différentes situations topographiques. La grande difficulté a été de distinguer dans les zones humides à sub-humides la végétation naturelle des cultures.

Cependant toute l'île a été parcourue et un zonage a pu être établi ainsi que la définition de types de paysages agricoles.

- des rapports et études diverses sur le milieu, le climat, la pédologie, les systèmes agraires, ...

.4.5. CONCLUSION

Nous disposons de beaucoup d'informations sur l'île de SANTIAGO. Une grande partie de ces données est **géo-référencée**, sur le fond topographique, et représentée à la même échelle, et, par conséquent, peut être superposable, si nécessaire.

Cependant l'exploitation des données satellitaires se heurte aux problèmes suivants :

- l'image XS a un **angle d'incidence**, 24°, qui associé à une déclivité importante réduit la visibilité de la cible. Ainsi les routes principales de l'île ne sont vraiment distinguables que sur les zones planes. Chaque pixel représente en fait une surface plus importante sur les parties pentues.

- Sur cette image nous retrouvons les **effets de la topographie** sur la végétation, cités précédemment. Nous avons testé sur des parcelles, choisies sur l'image satellite, les relations entre un indice de végétation le NDVI (Normalised Difference Vegetation Index, XS3 - XS2/XS3 + XS2) avec l'altitude et avons trouvé un coefficient de corrélation de 0.77 avec $R^2 = 0.59$.
La radiométrie, fortement perturbée par les effets topographiques, représente avant tout un état de la végétation active, plutôt qu'une classe de l'occupation du sol.

Une segmentation de l'image en fonction de l'altitude et de l'éclairement permettrait de s'affranchir de cette influence du relief.

- Nous ne disposons que d'**une seule date** de prise de vue. Or les données satellitaires donnent des informations temporelles sur l'état de la végétation et nous ne pourrons bénéficier de cet aspect dynamique avec une seule image.

.5. LA METHODOLOGIE CLASSIQUE DE TRAITEMENT D'IMAGES SATELLITAIRES

.5.1. LES PRETRAITEMENTS

Afin d'éviter des confusions dans la classification il est indispensable d'atténuer les effets de la topographie sur l'image :

- par des **corrections radiométriques** pour diminuer l'influence de la topographies sur la valeur de compte numérique de chaque pixel.

- par des **segmentations** pour prendre en compte l'influence du relief sur la végétation elle-même

.5.1.1. LES RELATIONS ENTRE LA RADIOMETRIE ET LE RELIEF

La réponse spectrale d'un objet est fortement perturbée par plusieurs facteurs. Le principal est l'atmosphère avec plusieurs effets : absorption, diffusion, réflexion.

Dans une région telle que l'île de SANTIAGO, le relief modifie également le signal radiométrique de la cible.

Nous allons d'abord décrire ces effets topographiques en nous inspirant de l'étude de YANG.

Les principaux facteurs topographiques considérés sont l'altitude, la pente et l'azimut de la parcelle. Les deux derniers donnent l'orientation du pixel.

Le principal effet est celui de **l'angle d'incidence solaire** (AIS) qui est l'angle que fait le rayon solaire avec la normale d'un élément (cf figure n°6). L'orientation de la parcelle et la position du soleil définissent cet angle.

L'effet d'ombre : on distingue deux types d'ombre (cf figure n°7):

- l'ombre propre lorsque la surface tourne le dos au soleil. Elle dépend de la pente de la parcelle et de la hauteur solaire

- l'ombre portée quand l'environnement proche masque le soleil

Elle n'est pas à négliger dans les régions où l'élévation solaire peut passer en dessous de 45 °.

A ces effets purement topographiques, viennent se surimposer des effets atmosphériques qui sont sensibles en zone de relief.

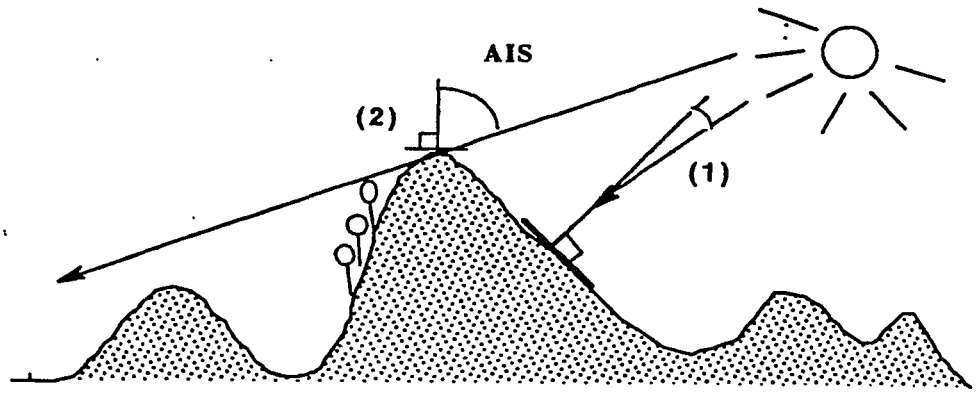
- l'effet **d'altitude** qui est marqué dans les zones de fort gradient altitudinal.

- l'effet de **l'éclairement diffus** qui varie avec la teneur en aérosols de l'atmosphère.

- l'effet de **l'environnement** qui est la part de l'éclairement venant du voisinage de la parcelle et qui n'est pas négligeable dans des vallées encaissées.

FIGURE N°6

EFFET D'ANGLE D'INCIDENCE SOLAIRE

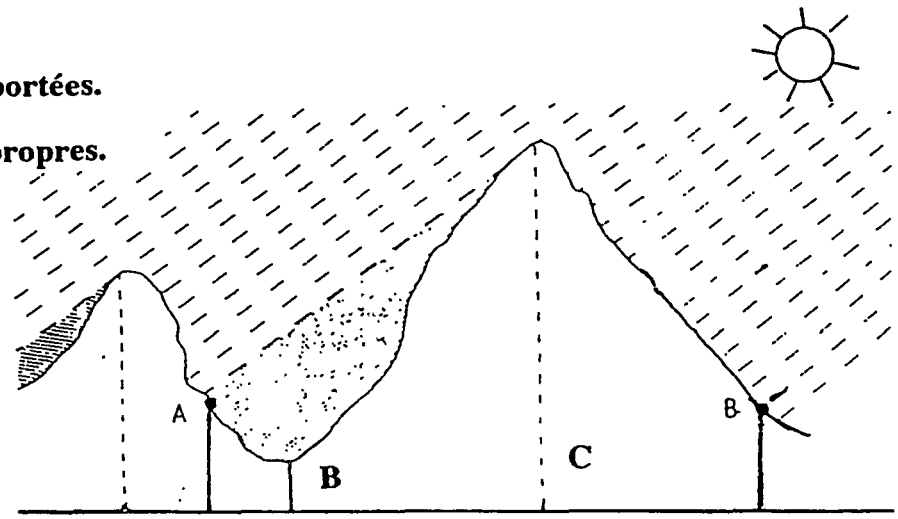


Cas (1) : soleil perpendiculaire = AIS petit
»»radiométrie élevée.
Cas (2) : soleil rasant = AIS grand »» faible radiométrie.

FIGURE N° 7

EFFET D'OMBRE

AB **: Ombres portées.**
bc **: Ombres propres.**



En conclusion l'importance de ces perturbations varie en fonction de l'atmosphère et de la longueur d'onde.
Le satellite SPOT a des détecteurs sensibles dans 3 bandes de fréquence:
le vert (500 - 590 ηm) et le rouge (615 - 680 ηm) dans le visible et le proche infrarouge (790 - 890 ηm). Le relief aura un effet différent suivant la bande.

Dans le cas de notre étude où l'occupation est déterminée par une classification de données satellitaires, ces perturbations radiométriques seront à prendre en compte afin d'éviter d'éventuelles confusions.

.5.1.2. LES CORRECTIONS RADIOMETRIQUES DES EFFETS DU RELIEF

Nous avons décrit les différents effets topographiques qui perturbent la radiométrie. Afin d'améliorer les résultats d'une classification, il est tentant d'utiliser les différents modèles de correction qui existent actuellement.

Nous avons testé le modèle de YANG, qui est le plus complet car il prend en compte les deux effets topographiques, l'angle d'incidence solaire et l'ombre, ainsi que les effets atmosphériques, à savoir l'éclairement diffus et la luminance de l'atmosphère.

La radiométrie est corrigée par la formule suivante :

$$Cnn = (CN-CNae) \frac{R + 1}{\cos(AIS)/\cos Z+\cos^2(P/2)[1+\sin(P/2)][1+\cos^2(AIS).\sin Z]} + CNae$$

Cnn	: compte numérique normalisé
CN	: compte numérique du pixel
Cnae	: compte numérique d'atmosphère et d'environnement
R	: rapport entre l'éclairement direct et l'éclairement diffus
S	: facteur d'ombre (S=0 si le pixel est à l'ombre)
AIS	: angle d'incidence solaire
P	: pente en °
Z	:angle zénithal solaire

Le Cnae représente la valeur la plus faible dans l'image à corriger et représente ainsi la luminance atmosphérique.

Sur les trois zones tests ces corrections n'ont donné aucun résultat visible.
Le modèle corrigeant d'emblée tous les effets nous ne pouvons avancer que des hypothèses pour expliquer cet échec :

- ce modèle a été utilisé avec succès uniquement dans des zones de couverts relativement homogènes, des forêts. Or au Cap Vert les états de surface se caractérisent par une grande hétérogénéité et une influence importante du sol, en raison des faibles densités. On sait que les effets topographiques varient suivant la nature du couvert.

- pour évaluer l'effet de l'atmosphère la méthode du pixel le plus faible est imprécise

- enfin pour calculer le rapport de l'éclairement diffus sur l'éclairement direct, on utilise des variables telles que l'épaisseur optique et la transmission atmosphérique. Nous avons utilisé les valeurs standards, proposées par l'auteur, qui ne correspondent certainement pas à la réalité, à la date de l'image.

Un autre type de correction, plus simple, qui prend en compte uniquement l'effet de l'angle d'incidence solaire. Il s'agit d'établir une relation entre la variation des valeurs du cosinus d'AIS et celle des comptes numériques des pixels sur un canal, sur des couverts homogènes (NGUETORA 1993).
Ce type de correction n'a donc pas pu être utilisé, faute de parcelles nécessaires à la calibration.

Nous avons également tenté d'utiliser le cosinus AIS pour effectuer une stratification de l'éclairement sur l'image, en prenant l'hypothèse d'un éclairement isotrope.
Sur un fichier image les valeurs du cosinus AIS, qui varient de -1 à +1, sont codées de 0 à 255. Nous avons choisi la valeur d'une surface plane, la mer, pour effectuer la segmentation de l'éclairement solaire.
Nous verrons plus loin dans quel contexte nous avons utilisé cette correction empirique.

Nous avions aussi tenté de réaliser une segmentation en seuillant l'image des pentes, en fonction de l'élévation solaire, et l'image des azimuts, en fonction de l'azimut solaire. Cependant le résultat n'était pas satisfaisant car il subsistait de nombreuses confusions entre des zones éclairées et à l'ombre.

Quant aux modèles de correction radiométrique, nous pouvons conclure qu'ils dont difficilement applicables dans des conditions telles que l'île de SANTIAGO. Ils nécessitent des données sur l'atmosphère qu'il n'est pas évident d'obtenir.

En outre ils restent incomplets car ils sont basés sur l'hypothèse de surface lambertienne et ne prennent pas en compte la nature de l'état de surface.
Enfin ils sont très délicats à utiliser car il faudrait dans le même temps pouvoir quantifier puis hiérarchiser les effets du relief sur la végétation.
Ainsi l'image idéale à corriger devrait être celle d'une région avec des états de surface identiques et homogènes.

.5.1.3. LES SEGMENTATIONS

Afin de prendre en compte l'influence du relief et de s'affranchir ainsi d'un effet topographique, comme par exemple le gradient altitudinal, il est possible de stratifier l'image suivant l'altitude.

Nous avons défini trois zones :
- 0 à 300 m
- 300 à 600 m
- plus de 600 m

On peut également distinguer les zones éclairées et non éclairées, grâce au plan image des cosinus d'angle d'incidence solaire, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent.

Ces stratifications ont été réalisées grâce aux plans images issus du MNT.

Cependant les segmentations ne sont vraiment intéressantes que dans un milieu où il y a une stratification de la végétation selon des espèces bien marquées et à une échelle raisonnable. Ce n'est pas le cas de l'île de SANTIAGO où l'espace agricole est pratiquement identique partout et la végétation, très dégradée, occupe des surfaces beaucoup trop petites pour être distinguée des cultures.

.5.2. LA CLASSIFICATION DIRIGEE

Une fois l'image prétraitée, on peut alors réaliser une classification sur les différentes bandes de l'image satellitaire

Le principe est de définir chaque pixel à une classe d'occupation, en fonction de leur position dans l'espace spectral, constitué les canaux du satellite ou des néocanaux - combinaison de canaux - (cf figure n° 8).
Ces classes sont définies par des parcelles de référence ou d'apprentissage, repérées sur le terrain (cf figure n° 9).

FIGURE N° 8

SCHEMA DES CLASSES DANS
L'ESPACE SPECTRAL

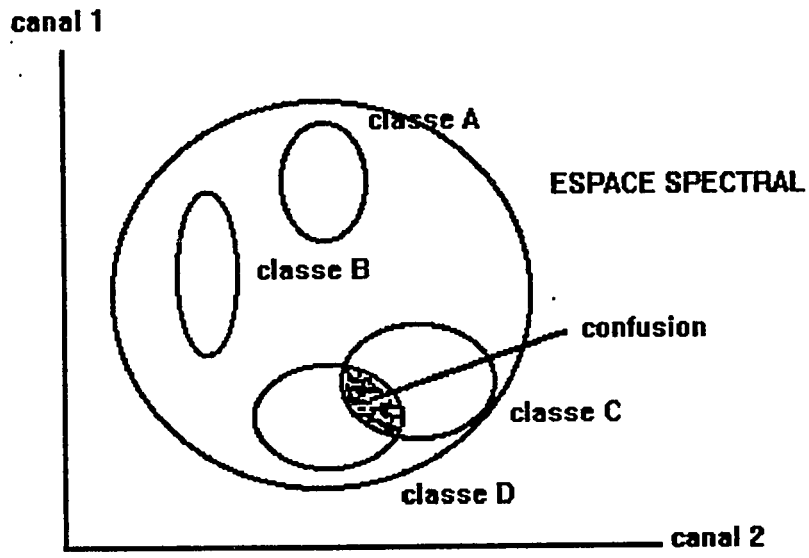
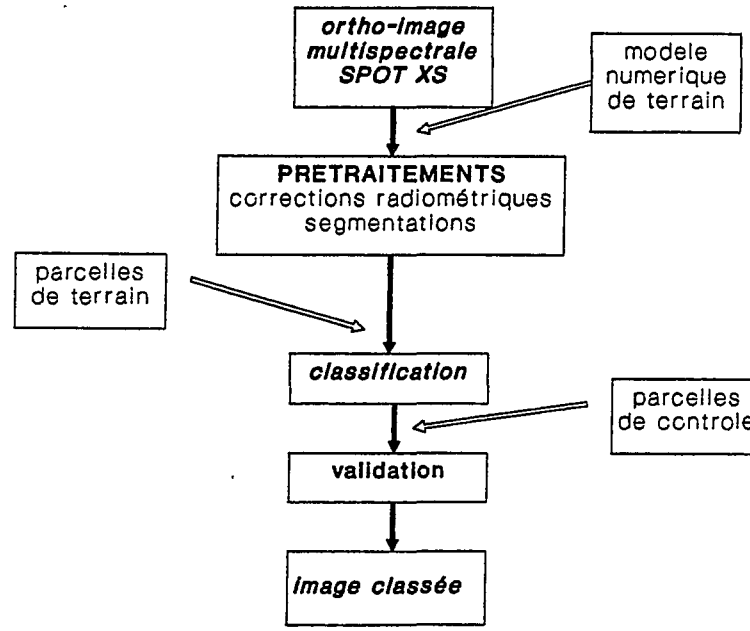


FIGURE N° 9

SCHEMA DE LA METHODE DE CLASSIFICATION DIRIGEE DE L'IMAGE SATELLITAIRE



<u>les parcelles d'apprentissage</u>

Comme indiqué dans le chapitre "données diverses", au mois de Juin 1993 une mission de trois semaines sur l'île de SANTIAGO a permis de repérer pour chaque classe d'occupation du sol des parcelles d'apprentissage. Nous avons considéré également le relief en prenant en compte l'altitude et l'éclairement.

la classification par maximum de vraisemblance

C'est une méthode de classification dirigée, paramétrique. Elle utilise des lois probabilistes, le théorème de BAYES, pour segmenter l'espace spectral. On fait l'hypothèse que les classes sont équiprobables et que leur distribution est gaussienne. Nous avons utilisé pour chaque classe leur moyenne et l'écart-type pour faire les calculs.
Chaque classe est définie à partir de parcelles de référence repérées sur le terrain lors de l'étape dite d'apprentissage.
Sur MULTISCOPE on peut visualiser la représentation dans l'espace spectral des histogrammes bidimensionnels de chaque classe et ainsi apprécier cette phase d'apprentissage.

Des parcelles de contrôle peuvent être également utilisées afin de évaluer le choix des classes. Une matrice de confusion est ainsi calculée et constitue une validation de la classification.
Enfin en établissant des seuils de probabilités, cette méthode définit un classe de pixels rejetés, permettant ainsi de vérifier la qualité de l'apprentissage et ainsi l'améliorer.
L'avantage de ce type de classification est de pouvoir définir les classes à partir de données exogènes, issues de la réalité du terrain, et de pouvoir obtenir une évaluation de la classification.

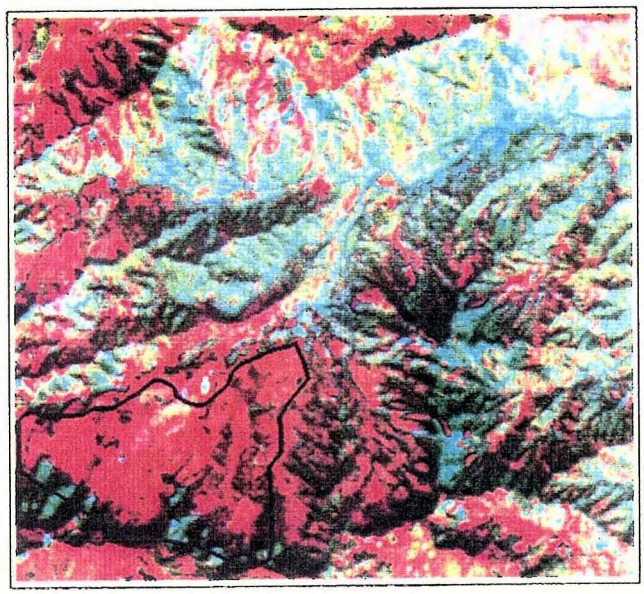
.5.3. RESULTATS ET CONCLUSION

Malgré les segmentations il y a de **nombreuses confusions** entre les différentes classes d'occupation. En outre un très grand nombre de pixels ne sont pas classés.
Les deux exemples de classification illustrent bien les problêmes rencontrés.

Sur la Ribeira Seca (cf figure n°10) les valeurs radiométriques des parcelles des plantations d'*Eucalyptus* se confondent avec des zones de végétation active .

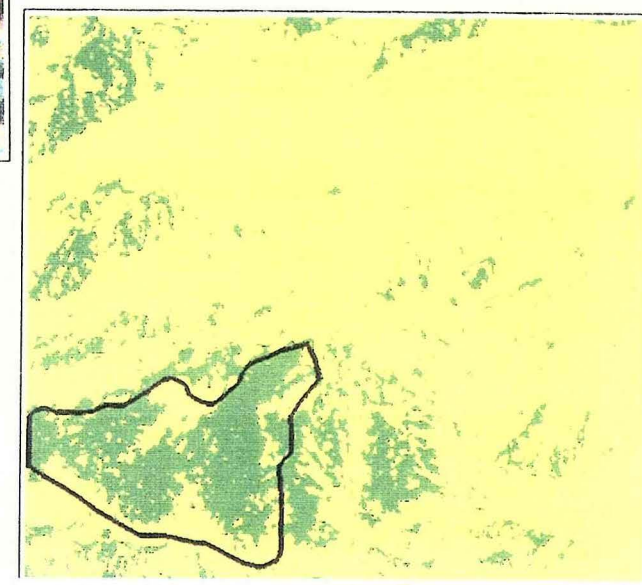
FIGURE N° 10

RIBEIRA SECA : CONFUSION ENTRE LE SIGNAL D'UNE PLANTATION D'EUCALYPTUS ET D'AUTRES ZONES DE L'IMAGE



Ribeira Seca - composition colorée

m
0 500



Ribeira Seca - classification boisement

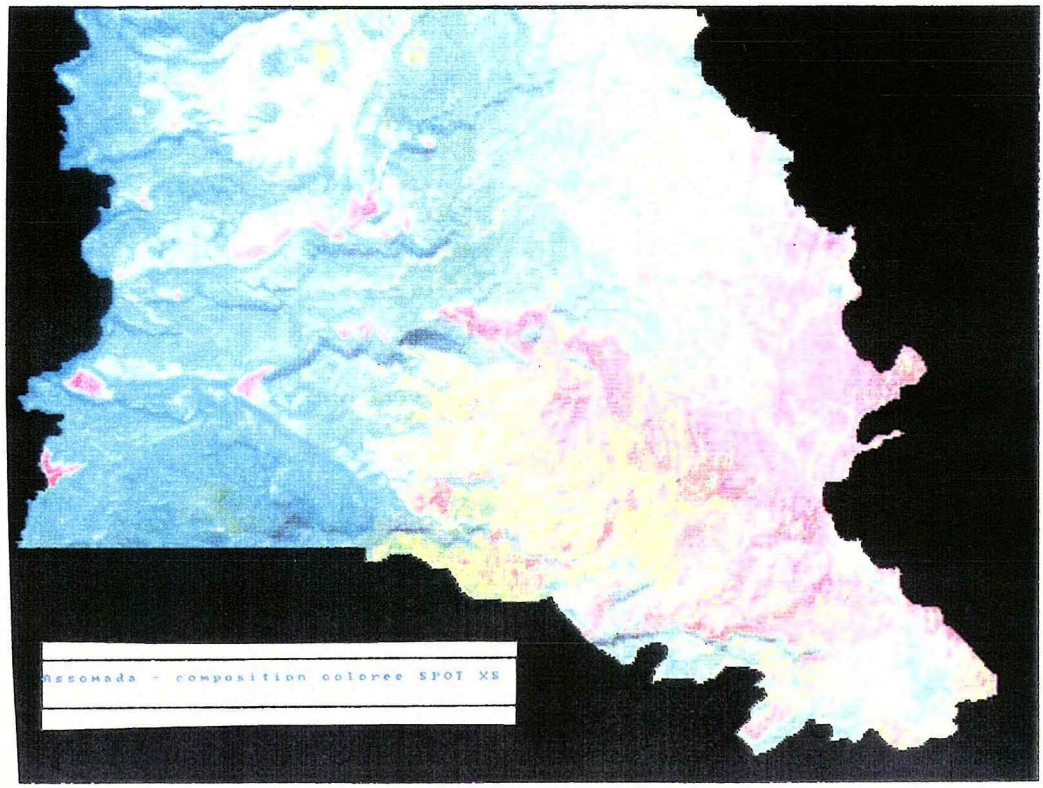
m
0 500

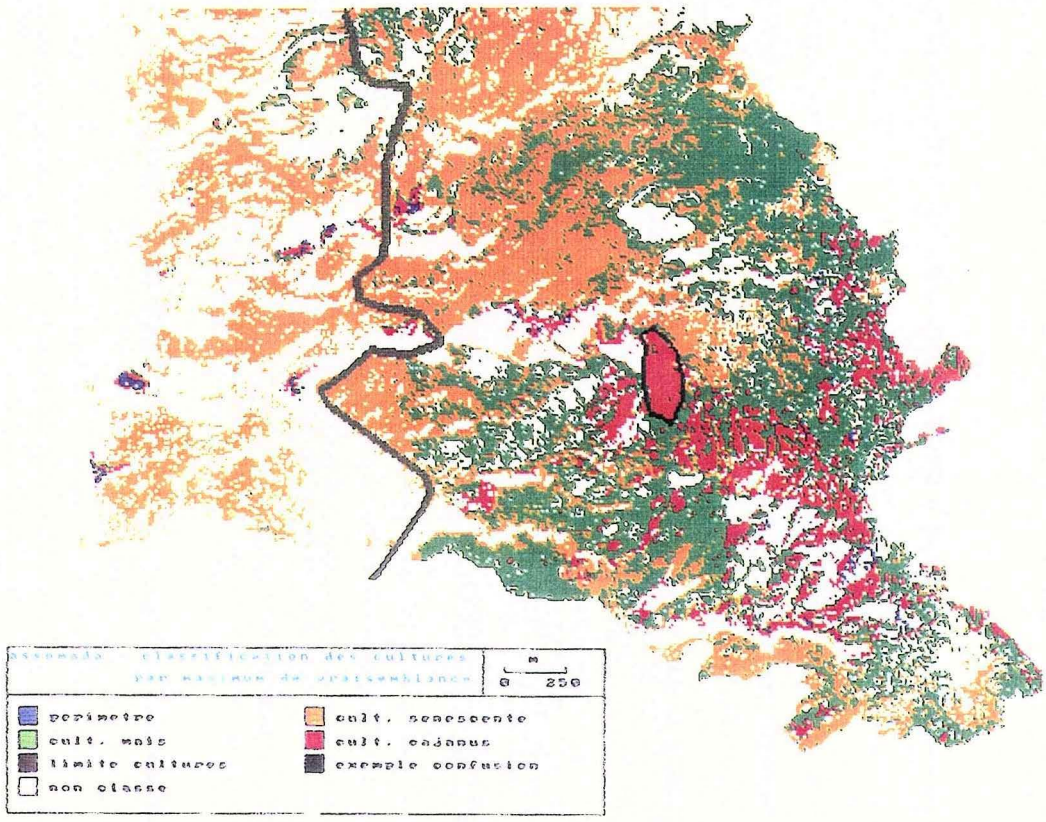
plant. eucalyptus
limites plantation
non classe

Sur Assomada (cf figure n° 11), région au relief peu marqué, trois classes de cultures ont été discriminées. On observe des confusions entre la végétation naturelle et les cultures en sénescence, et dans les cultures, entre des parcelles de maïs, cultivées sur des pentes, et des champs de *Cajanus cajan*.

FIGURE N° 11

PLATEAU D'ASSOMADA : CONFUSIONS
APRES LA CLASSIFICATION DES CULTURES





Les confusions sont dues :

- au fait que nous ne disposons que d'une **seule image**. Or, pour caractériser l'occupation du sol, on utilise souvent plusieurs dates de prise de vue afin de jouer sur la présence ou non de telle classe, à une période précise.

- aux très **faibles densités** des parcelles cultivées et reboisées dont les valeurs radiométriques sont influencées par celles du sol.

- à la très grande variété des **situation pédoclimatiques** qu'il est difficile d'appréhender par les parcelles d'apprentissage et qui, d'autre part, ont une influence prépondérante sur la réponse radiométrique d'une parcelle.

- à **l'occupation du sol** qui constitue un véritable patchwork, surtout en zone humide, sans véritable parcellaire.

- à la **pente** qui augmente le taux de couverture apparent des champs cultivés, vus du satellite .

Il est par conséquent impossible de distinguer radiométriquement les différentes classes d'occupation du sol à partir des données satellitaires dont nous disposons.

.6. LA METHODOLOGIE ORIGINALE

.6.1. LE PRINCIPE

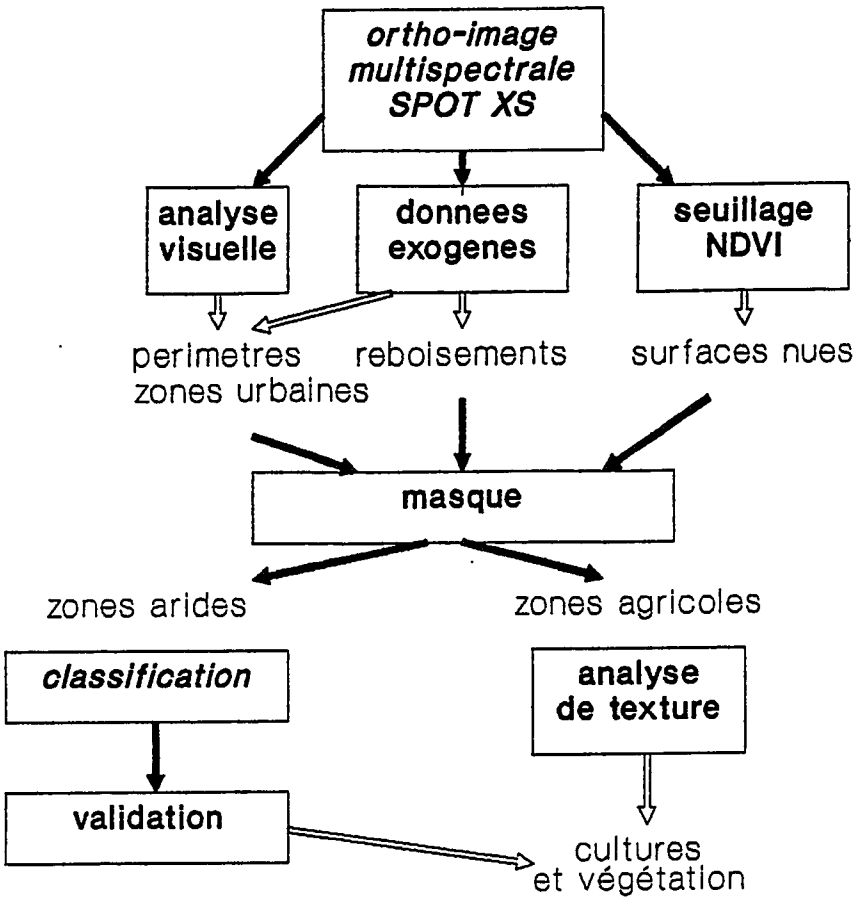
L'étude du milieu a montré que l'île se divise en situations très diverses. Un découpage de SANTIAGO, en **zones physiographiques** s'impose comme préalable. Chacune de ces zones sera traitée indépendamment.

Pour distinguer chaque classe, nous avons utilisé des méthodes différentes afin d'optimiser l'utilisation des données satellitaires voire de les substituer par d'autres type d'information (cf figure n°13) :

- les **reboisements** grâce à la carte du Service National de la sylviculture.
- les **périmètres irrigués** par analyse visuelle de l'image SPOT, en s'appuyant sur la carte de la SCET-AGRI
- les **centres urbains** par analyse visuelle
- les **surfaces nues** en seuillant un indice de végétation
- les **cultures et la végétation naturelle**, après avoir masqué les autres classes, seront discriminées suivant la zone physiographique, soit par classification radiométrique, soit par analyse de texture.

FIGURE N°12

SCHEMA DE LA METHODE DE CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL



.6.2. LE DECOUPAGE DE L'ILE

L'étude du milieu et la mission terrain ont permis de distinguer six grandes zones physiographiques, caractérisées par leur morphologie, leur situation climatique et le type d'occupation du sol.
En effectuant cette stratification nous pouvons ainsi mieux décomposer la problématique et résoudre ainsi une partie des contraintes et de pouvoir les hiérarchiser (cf figure n°13).

Le zonage a été réalisé sur l'image SPOT XS. Les limites ont été choisies sur des ruptures de relief : canyons, ligne de crête, ... Pour TARRAFAL, la partie la plus septentrionale, a été découpée par extraction de l'image principale, pour des raisons pratiques et parce que la transition avec le massif de SERRA MALAGUETA est très peu marquée.

TARRAFAL : située au Nord de l'île, c'est une région aride composée essentiellement de reboisements. Il y a peu de relief, excepté le mont GRACIOSA. Il existe très peu de cultures sauf dans les zones pédoclimatiques favorables mais marginales.

SERRA MALAGUETA : au Sud de TARRAFAL, ce massif montagneux qui culmine à 1 063 m, est très bien exposé aux alizés et bénéficie d'une situation climatique favorable.
On observe des cultures sur de nombreuses strates et la végétation naturelle est difficilement distinguable.
On trouve de nombreuses zones de reboisement, dont une partie se trouve en zone humide, composée principalement d'eucalyptus.
La plupart des périmètres irrigués ont été aménagés dans les vallées alluviales de la partie orientale.

ASSOMADA : c'est l'unique plateau de l'île, constituée de planèzes relativement larges. C'est une région avec un bon potentiel agricole et une situation climatique sub-humide, dans la partie amont. En aval, vers l'Ouest, les achadas se rétrécissent et sont entaillées par de profonds canyons.
La plupart des cultures pluviales se situe en amont et, dans la zone la plus favorable, sont disséminées au milieu d'arbustes. On trouve une opposition entre les zones planes et les zones de versant.
Plus vers la côte, le climat devient aride et c'est un steppe dégradée qui domine, avec quelques reboisements.

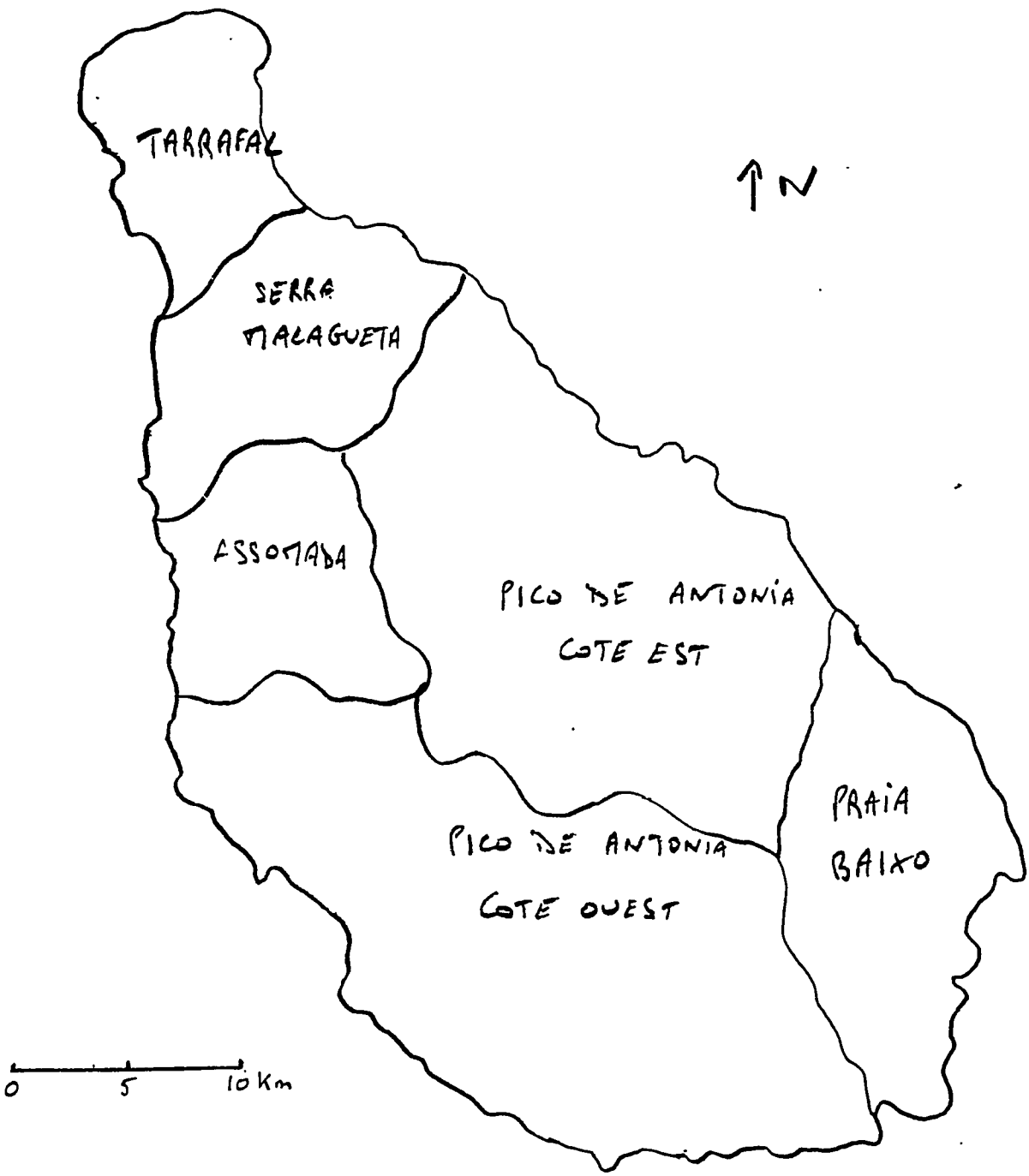
COTE EST DE PICO DE ANTONIO : C'est la partie orientale du massif du PICO DE ANTONIO, caractérisée par un réseau dense de vallées alluviales, orientées EST-OUEST. L'occupation du sol est marquée par le gradient altitudinal important, de 0 à 1396 m, de la steppe et des zones de reboisement des plateaux côtiers aux paysages agricoles composés de cultures sèches en complantation en aval des cirques d'érosion, au contrefort des sommets de la chaîne montagneuse.
En aval les vallées alluviales s'élargissent et sont occupées par des périmètres irrigués, sur de grandes surfaces (bananeraies, ...).

COTE OUEST DE PICO DE ANTONIO : Située sous le vent, elle est en opposition avec la côte orientale. Le climat, influencé par l'effet de foehn, est beaucoup plus aride. La morphologie est marquée par l'activité volcanique et constituée de vastes planèzes basaltiques qui se prolongent jusqu'à la mer.
Ces larges plateaux sont occupés par des reboisements et de la steppe dégradée. En altitude on retrouve des zones de cultures qui restent marginales.

PRAIA BAIXO : Cette partie méridionale de l'île représente la transition entre les deux zones précédentes puisqu'on retrouve des achadas et plus à l'Est quelques vallées alluviales. Cependant cette région est bien caractérisée par un relief peu marqué et un climat aride.
De vastes zones de reboisement, qui voisinent avec des pâturages dégradés, ont été plantées. Dans quelques parcelles des cultures sont emblavées. Enfin en aval des vallées de nombreux périmètres ont été aménagés.

FIGURE N°13

LES ZONES PHYSIOGRAPHIQUES DE SANTIAGO



.6.3. L'UTILISATION DE DONNEES EXOGENES

Les reboisements ne sont pratiquement pas visibles, en raison du jeune âge de la plupart et de leur faible couverture végétale, voire des échecs de plantation.
En outre pour l'aménagement rural il est important de connaître les limites exactes des zones, qui ont été désignées pour être boisées, mais qui ne peuvent être distinguées sur l'image satellite.
Aussi la carte des reboisements du service national des forêts a été numérisée puis, sous le logiciel ARCINFO, transformée du mode vectoriel - les entités de la carte sont représentées par de points, des arcs et des polygones - au mode raster GRID.

Le logiciel ARCINFO a converti cette couverture en fichier image ERDAS, qui a été transformé au format MULTISCOPE, grâce à une passerelle réalisée par le CEMAGREF.
Cette nouvelle image dont les informations ont été représentées sur le fond topographique, est dans la même projection que les deux scènes SPOT. Cependant des corrections géométriques ont été nécessaires pour pouvoir les superposer.
Pour cette étude nous nous sommes contentés d'intégrer telle quelle cette carte. Cependant, pour le SIG, il est prévu lors de la prochaine mission terrain, programmée en Novembre 1993, de valider les limites des zones de reboisement, puis dans chaque parcelle, de mettre au point un indice de l'état des plantations qui tiendrait compte de la date de plantation et utiliserait certainement un indice de végétation tel que le NDVI. Ainsi la base de données serait enrichie d'une couverture représentant l'état des reboisement.

.6.4. OPTIMISATION DE L'INFORMATION SATELLITAIRE

.6.4.1. LES INDICES DE VEGETATIONS

Les surfaces nues ont été distinguées à l'aide du NDVI, indice de végétation, que nous avons déjà décrit. Après avoir trouvé la valeur maximale de cet indice à partir de parcelles de références, reconnues lors de la mission terrain, nous avons fait une classification par hypercube en utilisant cette valeur seuil.

Nous avons choisi le NDVI, Normal Différence Vegetation Index, dont la formule est (PIR - R)/(PIR + R)

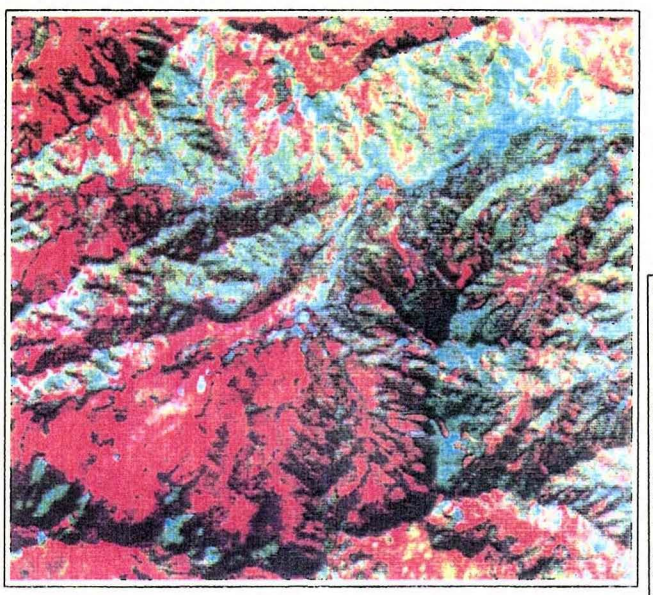
Outre sa facilité d'utilisation, il a plusieurs avantages :

- il caractérise bien la végétation chlorophyllienne active
- il reste efficace pour des couverts peu denses - jusqu'à 15%, pour des parcelles de blé, JACKSON,1983 -.
- enfin il s'affranchit d'une bonne part des effets de l'éclairement dus au relief (cf figure n°14)

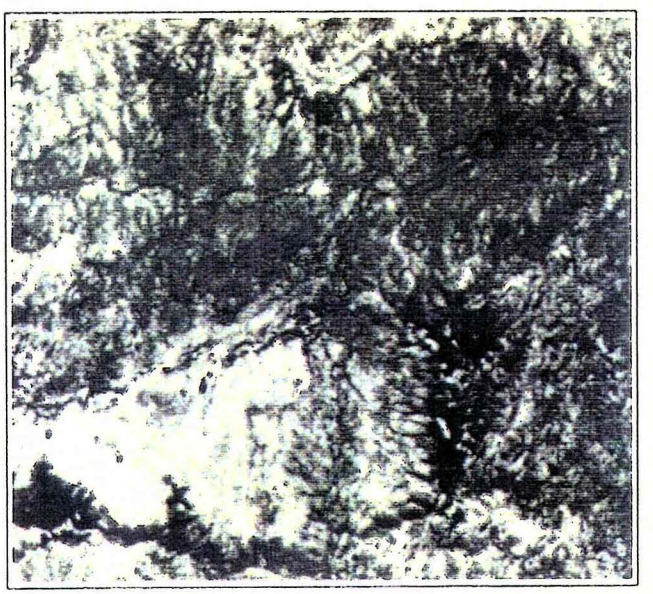
Nous l'avons utilisé car, dans le cadre de notre étude, il représente bien l'état du couvert végétal, et par conséquent c'est un bon indicateur des variables bioclimatiques et, indirectement, de la topographie.

FIGURE N°14

COMPARAISON ENTRE L'IMAGE DU NDVI
ET DE LA COMPOSITION COLOREE



RIBEIRA SECA - composition colorée | m 0 500



RIBEIRA SECA - indice NDVI | m 0 500

Sur la composition colorée les zones de végétation sont en rouge
Sur l'image des NDVI, les zones de végétation active sont claires

.6.4.2. L'ANALYSE VISUELLE

Les périmètres irrigués, surtout en zones arides, ont des caractéristiques radiométriques très variables. Un certain nombre d'entre eux ne sont plus exploités entièrement voire abandonnés, par manque d'eau.
La carte d'occupation du sol de 1979, de la SCET AGRI, localise ces périmètres dont une bonne partie a été repérée par interprétation de photos aériennes.
Comme pour la carte des reboisements, nous avons intégré ce document cartographique dans le logiciel MULTISCOPE.
Nous avons ainsi repéré par analyse visuelle de l'image multispectrale les périmètres de l'île en nous appuyant sur les informations de la carte de la SCET AGRI. Ils se repèrent assez facilement sur le lit des ribeiras, qui est toujours caillouteux.
Nous avons pu observer un certain nombre de différences : des périmètres localisés en 1979 ne sont plus en activité en 1992 et dans certaines vallées nous avons repéré des aménagements, déjà reconnus lors de la mission terrain, qui n'existaient pas en 1979.

Ceci est cohérent avec la localisation des ressources hydriques qui est irrégulière avec des excédents dans certains bassins versants et des déficits dans d'autres (étude SCET AGRI, 1979). En outre, depuis 1979, la plupart des lits des ribeiras a été aménagée avec des ouvrages correctifs, facilitant ainsi l'installation de périmètres.

Les zones urbaines ont été reconnues par photo-interprétation sur l'image multibande.

.6.4.3. LES ZONES ARIDES

Ce sont les régions périphériques de l'île, semi-arides à arides : TARAFAL, PRAIA BAIXO et la COTE OUEST caractérisées par :

- un climat semi-aride à aride
- un relief peu marqué, constitué par des plateaux basaltiques
- une occupation du sol caractérisée par des zones de reboisement et de la steppe dégradée sur des surfaces importantes. Les cultures, marginales, ne se retrouvent qu'en situation pédoclimatique favorable.

Dans ces trois régions la même méthode est utilisée pour distinguer la **végétation naturelle** et les **cultures**.
Une fois ces quatre classes obtenues, un masque est réalisé afin de ne garder de l'image multispectrale que les surfaces de l'espace cultivé et de la végétation naturelle.

Sur cette nouvelle image nous allons faire une classification supervisée (cf § n°5.2) en utilisant des parcelles d'apprentissage, reconnues lors de la mission terrain.

Pour chaque zone nous présentons les résultats de la classification supervisée dans le chapitre suivant.

.6.4.4. LES ZONES AGRICOLES

Dans les zones humides : SERRA MALAGUETA, ASSOMADA et la COTE EST, la végétation naturelle est intégrée **au paysage agricole**. Dans les conditions du relief et d'hétérogénéité de l'état des cultures, il est difficile de pouvoir les distinguer par la radiométrie.
Cependant l'image satellitaire met bien en évidence des paysages agricoles différents, que l'on peut distinguer par leur texture.

Sur une scène satellitaire on peut ainsi opposer l'information radiométrique, contenue dans le compte numérique d'un pixel, à l'information texturale, représentée par la configuration d'un groupe de pixels, de valeurs différentes, qui variera suivant la taille de la fenêtre d'analyse.
Le CIRAD dispose d'un logiciel d'analyse de texture et il était intéressant de le tester dans le cadre de cette étude.

La notion de texture peut se définir ainsi :

- un ensemble défini en extension d'éléments texturaux, caractérisés par une valeur identique (GIRARD)

- un élément textural est la zone continue et répétée dans laquelle aucun changement de caractère n'est pas décelable ou décelée (POSTAIRE, cité par BORNE)

La notion de structure est indissociable de la texture et se définit comme un ensemble d'éléments structuraux, définis par les relations répétées entre les éléments texturaux.

BORNE, qui a réalisé le logiciel PAPRI, envisage la texture selon le principe de niveaux de texture, où s'opposent les notions de primitive et la texture.
Ainsi alors que la primitive de niveau 0 est le pixel, une primitive de texture de niveau n est définie par l'arrangement de textures de niveau n-1 et une texture de niveau n est l'arrangement de primitives de niveau n.
La structure et la distribution qui définissent "l'arrangement" sont les propriétés de la texture.

Nous avons utilisé le logiciel PAPRI, écrit par BORNE, qui se base sur une approche statistique - c'est à dire la distribution -. Inspirée des travaux de ROGALA et de GIRARD, qui a mis au point la notion de multidensité, cette méthode s'appuie sur une image de départ qui est classée.

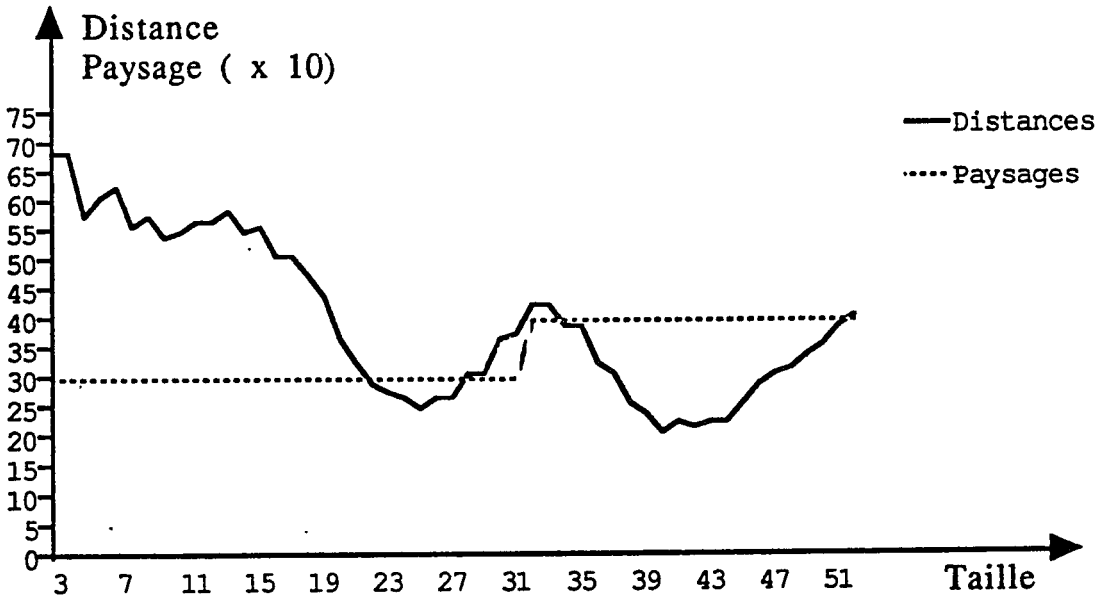
Nous avons choisi de transformer l'image en NDVI (cf § n°6.4.1) puis de la classer par la méthode dite de l'hypercube.

C'est une méthode de classification dirigée puisque l'utilisateur va déterminer des classes, définies par un minimum et un maximum, dans chaque plan image.
C'est une fonction non paramétrique où chaque classe est représentée par un hyperparallélépipède dans l'espace spectral. Nous avons défini les classes en visualisant l'histogramme des valeurs numériques de l'indice de végétation.

Sur l'image classée on sélectionne des paysages de référence, en délimitant des polygones qui sont choisis à partir de la connaissance du terrain et de la visualisation de l'image.

Chaque paysage théorique sera alors défini par un vecteur multidensité dont les composantes représentent les pourcentages des classes dans ce paysage.
Ensuite le logiciel calcule pour chaque pixel, à l'aide d'une fenêtre d'analyse, la composition et la distance qui le sépare des paysages de référence. En chaque point on fait varier la taille de la fenêtre d'analyse dans une fourchette, qui correspond à la taille des polygones définis par l'utilisateur.
Le paysage théorique retenu pour le pixel sera celui dont la distance est la plus petite (cf figure N°15).

FIGURE N°15
GRAPHIQUE DES DISTANCES EN FONCTION
DE LA TAILLE DES FENETRES



La distance utilisée, appelée distance texturale, correspond à la somme des différences des composantes d'un paysage (cf figure N°16) et reste toujours un nombre entier contrairement à la distance euclidienne.

Pour aboutir à des résultats cartographiquement intéressants, la version du logiciel que nous avons utilisé n'était pas entièrement satisfaisante. Cette version, sous station de travail, qui a l'avantage de calculer rapidement, n'est pas complète :

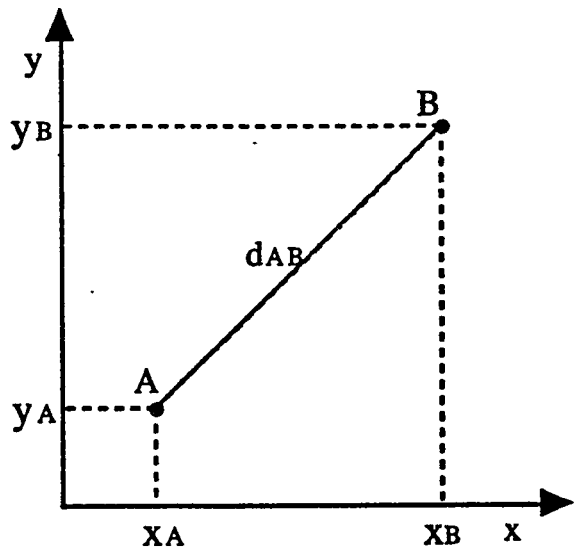
- il manque le module qui permet de préciser des seuils de rejet pour chaque paysage

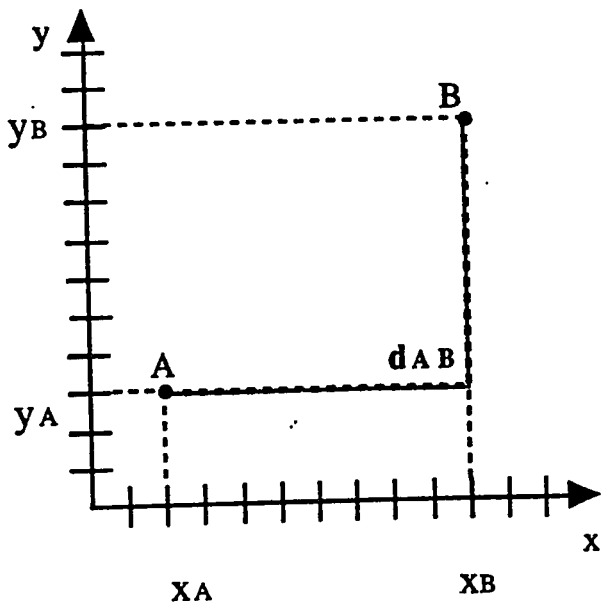
- la fourchette de taille de fenêtre d'analyse, choisie par le logiciel, est pour l'image entière.

La taille de la fenêtre est fondamentale pour le succès de la classification, puisqu'elle intervient dans la notion d'échelle, essentielle dans la définition d'un paysage.

FIGURE N°16

COMPARAISON ENTRE LA DISTANCE EUCLIDIENNE
ET LA DISTANCE PAPRI





La possibilité de déterminer l'échelle de chaque paysage, en choisissant une palette de taille de fenêtre devrait améliorer grandement la classification, notamment dans des régions montagneuses telles que le Cap Vert.

- enfin il aurait été intéressant d'utiliser le logiciel PAPOS qui permet de quantifier la variabilité spatiale d'une image et ainsi d'aider au choix des paysages de référence.
Il intervient en amont de PAPRI mais n'existe qu'en version PC à ce jour.

.7. LES RESULTATS

.7.1. LA LEGENDE

Elle sera utilisée sur toutes les zones :

1 : périmètre irrigué
20 : cultures pluviales zones périphériques
21 : espace cultivé des zones périphériques
22 : espace cultivé de la zone intérieure
3 : végétation steppique annuelle des régions périphériques
4 : cultures pluviales en conditions favorables
5 : cultures en complantation
6 : surface nue
70 : zone de reboisement pur
72 : zone de reboisement mixte
8 : pixels non classés
10 : zone urbaine

Par rapport à la légende prévue, à l'origine, nous avons voulu utiliser au mieux la principale information de l'image satellitaire qui est l'état de la couverture végétale. Aussi il est intéressant de pouvoir discriminer, pour les surfaces cultivées, différentes situations.

.7.2. LES ZONES ARIDES

.7.2.1. LES APPRENTISSAGES

Lors de cette phase de la classification nous avons pu tester et valider la place des différentes classes dans l'espace spectral. Pour prendre en compte, de façon empirique, les effets du relief sur la végétation nous avons créé des classes supplémentaires (cf tableau n°2) afin de partitionner au mieux l'espace spectral. Après la classification nous avons effectué un regroupement de certaines classes pour retrouver la légende.

En outre pour des raisons pratiques nous avons coupé la zone de la COTE OUEST en deux :
- COTWEST1
- COTWEST2

TABLEAU N° 2

LISTE DES CLASSES POUR CHAQUE ZONE

TARRAFAL	PRAIA BAIXO	COTWEST1	COTWEST2
cultures	cultures à l'ombre	cultures en zone favorable	cultures complantées
cultures et arbres	cultures au soleil	cultures complantées	cultures en zone favorable
végétation à l'ombre	cultures en zone favorable	cultures en zone moins favorable	culture en zone moins favorable
végétation au soleil	végétation dégradée	végétation sur escarpement	végétation sur escarpement
	végétation à l'ombre	végétation dégradée	végétation sur plateau basaltique
	végétation au soleil	végétation arbustive sur forte pente	végétation sur sol clair
	arbustes	végétation dégradée sur plateau basaltique	végétation sur plateau
	végétation sur escarpement		végétation sur versant de canyon
	végétation sur escarpement		végétation dégradée sur plateau basaltique

TABLEAU N° 3

LES PARCELLES DE TERRAIN DE CHAQUE ZONE

ZONE	nbre de parcelles	% apprentissage	% contrôle
TARRAFAL	35	70	30
PRAIA BAIXO	80	70	30
COTWEST1	75	70	30
COTWEST2	77	70	30

.7.2.2. CONCLUSION

Sur ces trois régions les résultats obtenus sont satisfaisants bien qu'il ait fallu pour éviter des confusions radiométriques, réduire la classification à seulement deux classes : les cultures et la végétation naturelle, en masquant les autres classes.

Nous avons pu également nous abstenir des corrections radiométriques et des segmentations.

Cependant ces résultats ne peuvent être considérés comme définitifs car les périmètres et surtout les limites de zones de reboisement doivent être validées.

TABLEAU N° 4

REPARTITION DES DIFFERENTES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL POUR LES REGIONS ARIDES (en %)

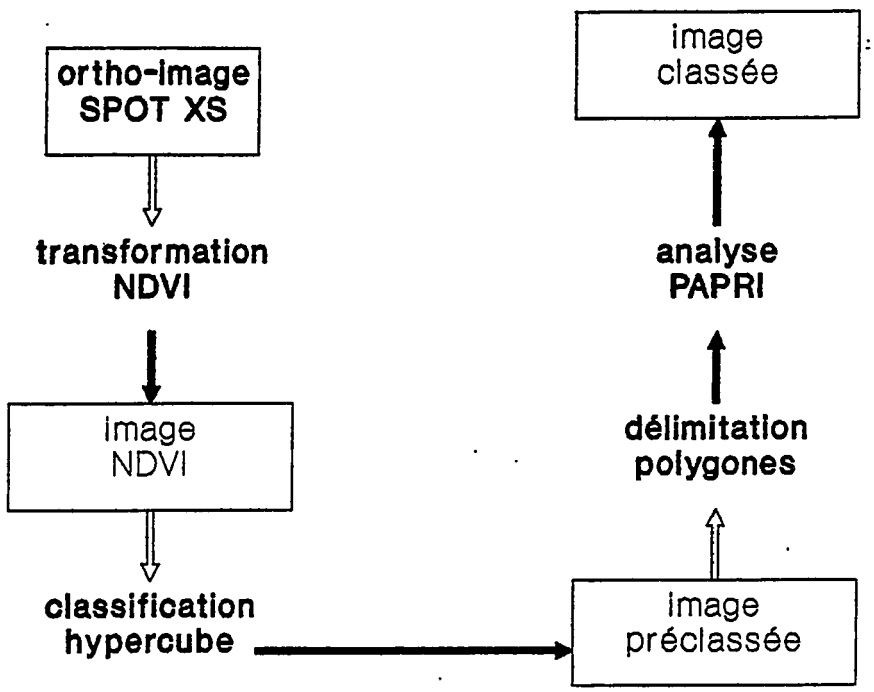
CLASSES	TARAFAL	COTWEST1	PRAIA	COTWEST2
périmètre	2.6	1.1	3.8	1.5
cultures	0.6	3.2	3.5	5.4
espace cultivé en zone périphérique				
espace cultivé en zone intérieure				
végétation	7.7	8	36.9	18.2
cultures en zone favorable	1.4	1.7	0.7	0.8
cultures complantées		1.2	2.4	0.7
surface nue	22.1	51.5	20.7	36.9
reboisement	58.3	31.9	27.5	30
reboisement mixte				
non classé	2.8	1.4	4.5	1.4
zone urbaine	4.5			5.1

.7.3. LES ZONES AGRICOLES

Elles sont constituées des trois zones physiographiques : SERRA MALAGUETA, ASSOMADA et COTE EST.

C'est dans ces régions que l'on retrouve l'essentiel de l'espace cultivé de l'île, concentré sur la partie intérieure de l'île.
Nous avons voulu expérimenter le logiciel d'analyse de texture PAPRI afin d'essayer de classer des paysages agricoles.
Nous allons expliquer la démarche pratique à partir d'une zone échantillon de SERRA MALAGUETA (cf annexe n°3) et selon la figure n°17.

FIGURE N° 17 :
SCHEMA DE LA CLASSIFICATION PAPRI



.7.3.1. LA METHODE PRATIQUE

La première étape a consisté à réaliser une image préclassée qui sera ensuite traitée par PAPRI.
Nous avons effectué une classification par hypercube sur chaque zone.

Pour ASSOMADA, nous avions décrit l'opposition entre la partie intérieure composée de planèzes et la partie, vers la côte, au relief plus tourmenté. Nous avons choisi de classer l'image en fonction du NDVI et de la pente. Nous pouvons ainsi discriminer différents états de la végétation en fonction de la pente.
Les seuils des classes ont été choisis en fonction de l'histogramme de la distribution des valeurs sur chaque canal.

Pour COTEST et SERRA MALAGUETA, nous avons utilisé uniquement le NDVI,

L'image classée, en format MULTISCOPE, a été transformée au format ERDAS qui est un format "lignes-colonnes" que PAPRI peut lire.

Suivant la méthode PAPRI des parcelles de référence ont été choisies sur l'image. Même si théoriquement ce n'est pas vrai, en pratique la taille de ces polygones va influer sur la taille des fenêtres d'analyse lors des calculs. On retrouve ainsi la notion de "primitives". Aussi de nombreux essais sont nécessaires.
Après avoir défini les différents paysages théoriques, le logiciel propose une palette de tailles de fenêtre que l'utilisateur peut modifier. Là également plusieurs tests sont nécessaires car, comme nous l'avons déja expliqué, la taille est primordiale dans la définition du paysage.
Dans le cas présent nous avons opté pour des tailles variant entre 33 et 45.

L'image classée PAPRI est récupérée sous MULTISCOPE. De la même manière que pour la classification supervisée un regroupement de classes est nécessaire.

Des paysages agricoles sont ainsi définis. Pour les autres classes d'occupation du sol nous avons repris la même méthode que pour les zones arides car la problématique est identique.

L'image classée finale sera donc une agrégation des paysages agricoles définis par PAPRI et des autres classes obtenues suivant des méthodes décrites dans la partie n° 6 de ce rapport.

TABLEAU N°5

LES CLASSES "HYPERCUBE" POUR LES ZONES AGRICOLES

ASSOMADA		COTE EST SERRA MAL.
NDVI	PENTE (°)	NDVI
138-143	0-5	0-135
144-149	6-10	136-137
150-155	11-45	138-140
156-255		141-143
		144-146
		147-149
		150-153
		154-155
		156-160
		161-164
		165-170
		171-180

N.B. : les valeurs de NDVI sont les valeurs des comptes numériques des pixels

.7.3.2. CONCLUSION

Les résultats obtenus (cf tableau n°6) sont partiels car non validés. Nous avons déja montré les limites du logiciel PAPRI dans sa version UNIX.
En outre nous n'avons aucun moyen statistique de valider les résultats obtenus. Si la définition des paysages parait cohérente leurs limites ne sont pas évidentes à évaluer ainsi. Seule une mission sur le terrain devrait permettre d'apporter une conclusion.

Enfin l'utilisation d'un logiciel d'analyse de texture implique de travailler à une échelle qui est nécessairement plus petite qu'en travaillant sur la radiométrie. Il y aura donc un décalage entre les zones arides et les zones agricoles. La carte d'occupation du sol ne sera pas d'une précision homogène et nécessite alors une révision de la légende.

Toutefois nous présentons pour chaque zone une classification provisoire de l'occupation du sol (cf ANNEXE N°4).

TABLEAU N°6

REPARTITION DES CLASSES DE L'OCCUPATION DU SOL PAR ZONE AGRICOLE

CLASSE	ASSOMADA	SERRA MALAGUETA	COTE EST
périmètre	1.6	0.5	3.5
cultures			
espace cultivé zone périphérique	14.3	10.8	5.8
espace cultivé zone intérieure	9.7	27.3	15.2
végétation	5.2		1.3
cultures en zone favorable	7	2.7	9.4
cultures complantées	15.5	19	17.5
surface nue	32.9	16.8	8.3
reboisement	8.6	21.9	13.3
reboisement mixte			24.9
non classé	1.3		0.4
zone urbaine	3.9	1	0.4

.8. CONCLUSION GENERALE

- A l'issue de cette étude nous n'avons pas obtenu de résultats définitifs et valides pour réaliser la cartographie de l'occupation du sol de l'île de SANTIAGO.

- Néanmoins la problématique a été développée et une méthodologie proposée :
L'utilisation de données satellitaires se heurte à des conditions du milieu difficiles, liées au relief accidenté et au climat sahélien de l'île.
Les méthodes de correction radiométrique des effets topographique ne sont pas opérationnelles en raison de l'hétérogénéité des états de surface. Seul le NDVI, indice de végétation verte, s'est révélé efficace.

Le découpage de l'île en zones physiographiques a permis de mieux décomposer la problématique et de traiter une partie de l'île.

Disposant d'un certaines nombre de données géographiques, représentées dans la même projection, nous avons pu les combiner et, notamment, remplacer l'information satellitaire, par exemple pour les reboisements.

Nous avons essayé d'utiliser l'information contenue dans la texture de l'imagerie satellitaire avec le logiciel PAPRI. Cependant les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants au niveau cartographique.
En outre en combinant l'analyse de texture et la classification radiométrique, il y a un risque de réaliser une carte dont la précision ne sera pas homogène.

- Pour la réalisation de la cartographie :

Il serait intéressant d'utiliser le même logiciel d'analyse de texture, selon un processus inverse, c'est à dire de réaliser une stratification de l'île en définissant des zones homogènes, puis de réaliser des classifications dans ces zones. Ce serait une nouvelle méthode pour s'affranchir des différents effets topographiques.

Nous avons, en utilisant des données exogènes, limiter l'espace spectral à deux classes : les cultures et la végétation naturelle, qui se confondent dans les zones climatiquement favorables. Une mission terrain est prévue au mois de Novembre, période du calendrier agricole qui correspond à la date de l'image SPOT.

Il serait possible de valider une classification, utilisant l'indice NDVI, des différents paysages agricoles. De cette manière toute l'île serait carthographiée selon la même méthode. Les résultats et leur précision seraient plus homogènes.

- Dans les conditions du Cap-Vert l'utilisation de photos aériennes aurait été plus judicieuse et permettrait de cartographier l'île avec une certaine précision.
Il serait possible de mieux discriminer les zones incultes, les paysages agricoles, c'est à dire de définir une occupation "pérenne" car induite par la topographie.
L'information satellitaire montre l'état de la végétation. Notamment elle met en évidence une stratification agroclimatique. Elle viendrait ainsi compléter l'information géographique des photo-aériennes en apportant une dimension dynamique et temporelle, qui pourra enrichir la base de données géographique.

BIBLIOGRAPHIE

CAP-VERT

F. MONTMASSON - 1990. Dynamique et situation actuell du système agraire de l'île de SANTIAGO, mémoire pour le diplôme d'agronomie approfondie. INA-PG

JM. LOPEZ - 1990. Contribution à l'élaboration de modèle agrométéorologique simple de prévision de rendement pour la culture du maïs au Cap-Vert, CIRAD - INIA - Coopération Française

JM LOPEZ - 1991. Evaluation et suivi de la production agricole en fonction du climat et de l'environnement, CIRAD - INIA - Coopération Française

SCET AGRI - 1981. Esquisse de shéma directeur de développement rural des îles du Cap-Vert, Coopération Française - Ministère du Développement Rural

R. BERTRAND - 1993. Etude des sols dans les paysages du haut bassin versant de RIBEIRA SECA, CIRAD-CA

A. SARRALHEIRO - 1976, a geologia da ilha de Santiago, Cabo Verde junta de investigacoes do Ultramar, Lisboa

DA SILVA TEXEIRA, GRANVAUX BARBOSA - 1958, a agricultura do arquipelego do Cabo Verde. Cartas agricolas, problemas agrarios, Junta de Investigacoes Cientificas Algodoeira. Memorias e trabalhos n° 26

MNT, CORRECTIONS RADIOMETRIQUES, TELEDETECTION

Journée modèles numérique de terrain,actes - 1992, ENGREF-LCT Montpellier

S. LAUDRET - 1991, télédétection et forêts : correction radiométrique des effets du relief, mémoire de fin d'études, INA-PG LCT CEMAGREF-ENGREF

P. VINE - 1992, le traitement des données satellitaires, support de cours, Mastère SILAT

L. GABET - 1992, automatic product of DEM, ISTAR, Valbonne

C.J. YANG - 1990, correction radiométrique des effets topographiques sur les images satellitaires, thèse, LCT CEMAGREF-ENGREF, Montpellier

BARIOU, LECAMUS, LE HENAFF - 1985, indices de végétation, dossiers de télédétection, centre régional de télédétection , Université de Rennes

F. BORNE - 1990, Méthodes numériques de reconnaissance de paysages, application à la région du lac Alaotra, Madagascar, Thèse, CIRAD - Université Paris VII

M.C. et C.M. GIRARD - 1989, Télédétection appliquée zones tempérées et intertropicales, coll. sciences agronomiques, MASSON

J.L. DIZIER, O. LEO - 1985, télédétection techniques et applications cartographiques, FORHOM BDPA

D. BLAMONT, C.MERING - 1987, cartographie par télédétection de la végétation et de l'occupation des sols en région de montagne, ORSTOM-CNRS

M. NGUETORA - 1993, contribution au suivi de la régénération forestière après incendie sur le bassin versant du REAL COLLOBRIER, mémoire de DEA hydrologie, ENGREF-LCT-USTL

F. BONN, G. ROCHON - 1992, Précis de télédétection. vol. 1, Principes et méthodes. Pressses Universitaires de Québec/AUPELF

ANNEXES

ANNEXE N°1

RESULTATS DES CLASSIFICATIONS SUR LES ZONES ARIDES

TARRAFAL

MATRICE DE CONFUSION
(valeur en %)

	1	2	3	4	rejet
cultures	96.8	1.6			1.6
cult. et arbres		92.6			7.4
vég. à l'ombre			100		0
vég. au soleil	0.4	2	10.4	85.2	2

REGROUPEMENT DES CLASSES ET LEGENDE

classification supervisée	N° de légende
cultures	cult. zone périphérique
cultures et arbres	culture complantée
vég. à l'ombre	végétation
vég. au soleil	végétation

PRAIA BAIXO

MATRICE DE CONFUSION
(valeur en %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	REJET
cult. à l'ombre	95.7									4.3
cult. au soleil		95.7								4.3
cult. zone favora.			79.4					2.9	17.6	
vég. sur escarpe				92.3						7.7
veg dégradée					100					3.7
veg. à l'ombre						91.3	0.9	3.7		0
veg. au soleil							87	8.8		0.9
veg. sur escarpement						36		64		4.2
arbustes								2.8	87.2	10.1

REGROUPEMENT DES CLASSES ET LEGENDE

CLASSE	N° DE LEGENDE
culture à l'ombre	culture
culture au soleil	culture
culture en zone favorable	culture zone favorable
végétation dégradée	végétation
végétation à l'ombre	végétation
végétation au soleil	végétation
arbustes	culture complantée
végétation sur escarpement	culture complantée
végétation sur escarpement	culture complantée

COTWEST1

MATRICE DE CONFUSION
(valeur en %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	REJET
cult. zone favor	90	1.6	5.8	1.3						0.3
cult. complantée		97.7								2.3
cult. moins favor			68.3	2.4						29.3
cult. sur forte pente			3.6	93.3						3
vég sur escarpement					67.1					0
vég. dégradée	0.7					97.9				1.4
vég. arbust. sur forte pente		1	4.7		8.4		78.8			7.2
vég. sur plateau basaltique					16				84	0

REGROUPEMENT DES CLASSES ET LEGENDE

CLASSE	N° DE LEGENDE
cult. zone favor.	culture zone favor.
cult. complantée	culture complantée
cult. zone moins favor.	cult. zone favorable
cult. sur forte pente	cult. zone favorable
vég. sur escarpement	végétation
vég. dégradée	végétation
vég. arbustive sur forte pente	culture complantée
vég. arbustiv. sur escarpement	culture complantée
vég. dégradée sur plateau basaltique	végétation

COTWEST2

MATRICE DE CONFUSION
(valeur en %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	REJET
cult. complantée	92.9										7.1
cult. zone favor.	6	88	3	3							0
cult. zone moins favorable			100								0
vég. escarpement	4.7	1.9		79.2							14.2
vég. plateau basaltique			1.7		87.6						10.7
vég. sol clair					3.6	75					21.4
vég; sur plateau	2.3		4.7				93				0
vég. sur vesrant de canyon			1.2					74.5	13.7		10.6
vég. dégradée sur plateau basaltique									80.5		3.1
vég. arbust. sur plateau										85	15

REGROUPEMENT DE CLASSES ET LEGENDE

CLASSE	N° DE LEGENDE
cult. complantée	culture complantée
cult. zone favorables	culture zone favorable
cult. zone moins favo.	cult. zone périphérique
vég. sur escarpement	culture complantée
vég. sur plateau basaltique	végétation
vég. sur sol clair	végétation
vég. sur versant de canyon	culture complantée
vég. sur plateau	végétation
vég. sur versant de canyon	végétation
vég. dégradée sur plateau basaltique	végétation
vég. arbustive sur plateau	végétation

ANNEXE N° 2

RESULTATS DES CLASSIFICATIONS DES ZONES AGRICOLES

(REGROUPEMENT DES CLASSES ET MISE EN LEGENDE)

ASSOMADA

classe PAPRI	légende
2	surface nue
3	culture complantée
4	espace cultivé zone péri.
5	surface nue
6	espace cultivé zone péri.
7	espace cultivé intérieur
8	culture zone favorable
9	culture zone favorable
10	culture zone favorable

SERRA MALAGUETA

classe PAPRI	légende
2	surface nue
3	espace cultivé zone péri
4	espace cultivé intérieur
5	culture zone favorable
6	culture zone favorable
7	culture complantée

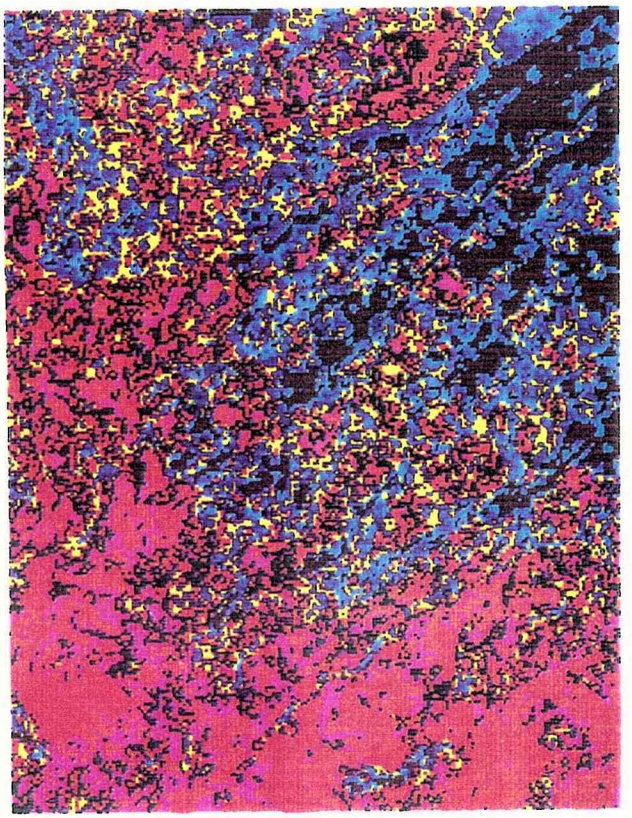
COTE EST

classe PAPRI	légende
2	surface nue
3	espace cultivé zone péri
4	espace cultivé intérieur
5	culture zone favorable
6	culture complantée
7	culture complantée

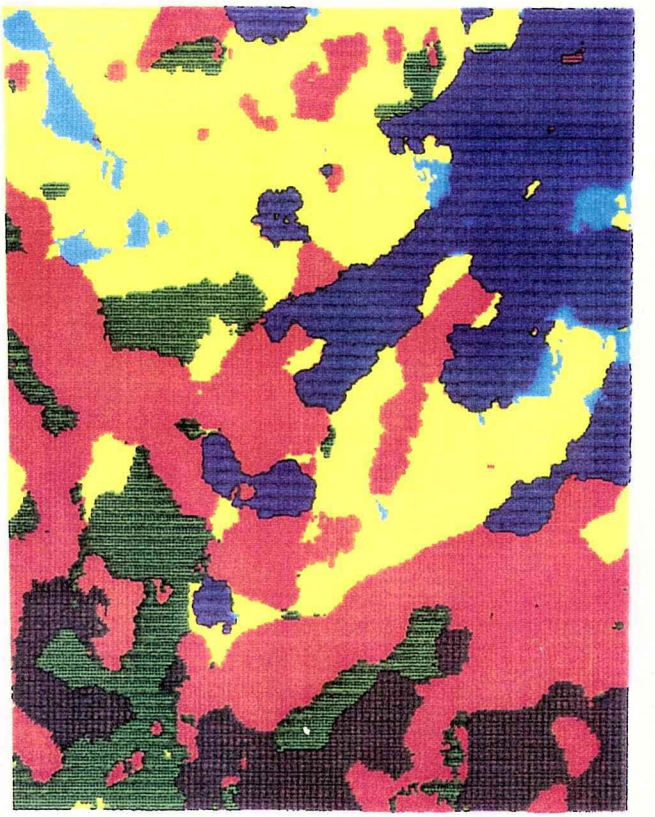
ANNEXE N°3

CLASSIFICATION DES ZONES AGRICOLES

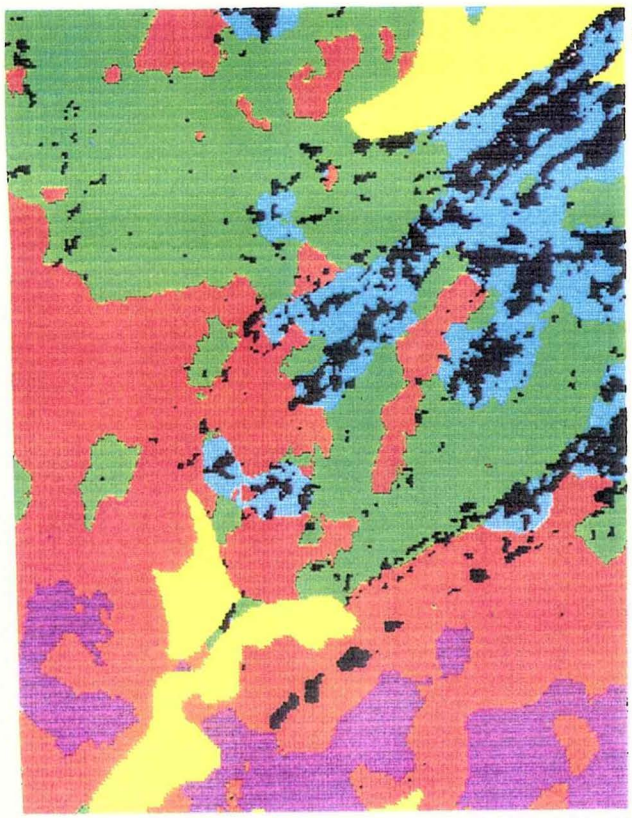
illustration avec un extrait de SERRA MALAGUETA



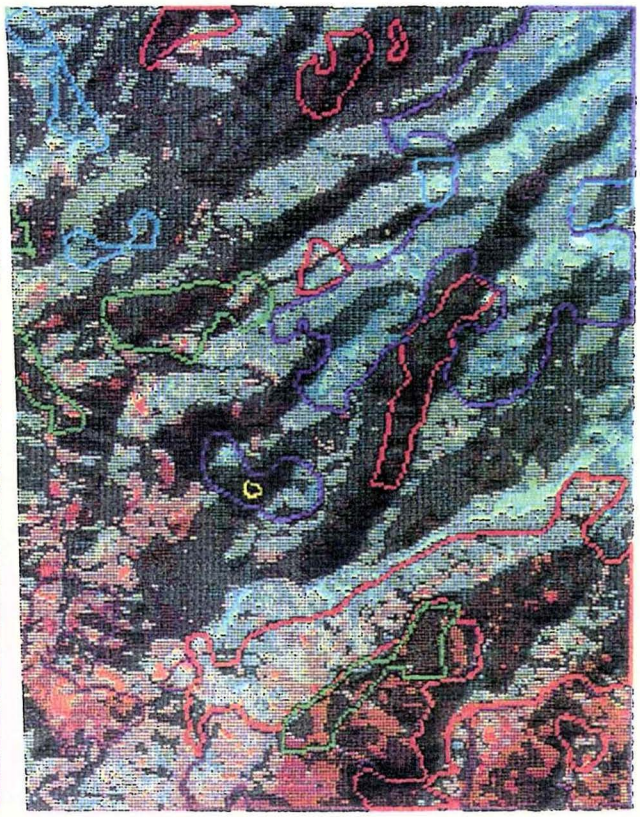
préclassification NDVI



classification PAPRI



occupation du sol



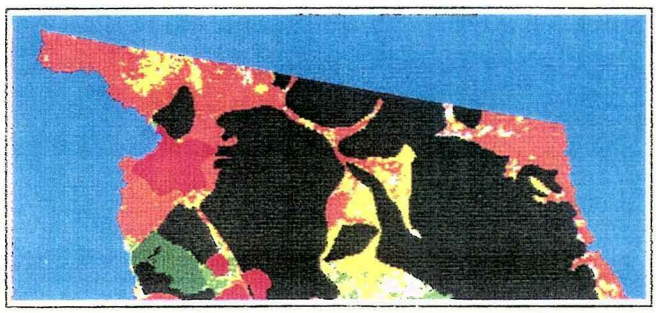
composition colorée de l'image XS
et polygones issus de la classification
PAPRI

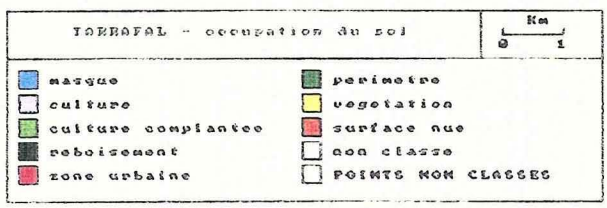
ANNEXE N°4

REPRESENTATION DE L'OCCUPATION DU SOL POUR CHAQUE ZONE PHYSIOGRAPHIQUE

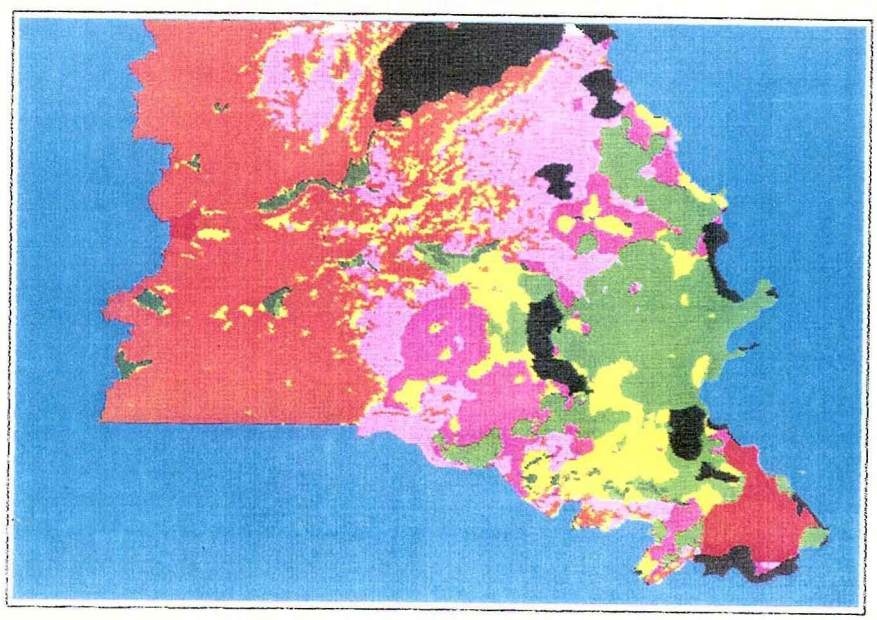
N

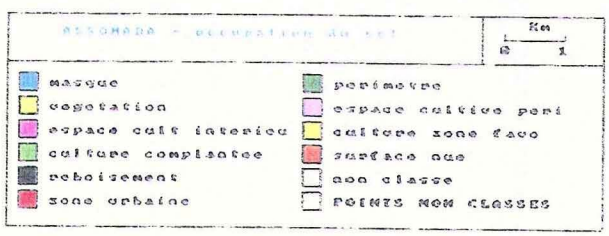
TARRAFAL



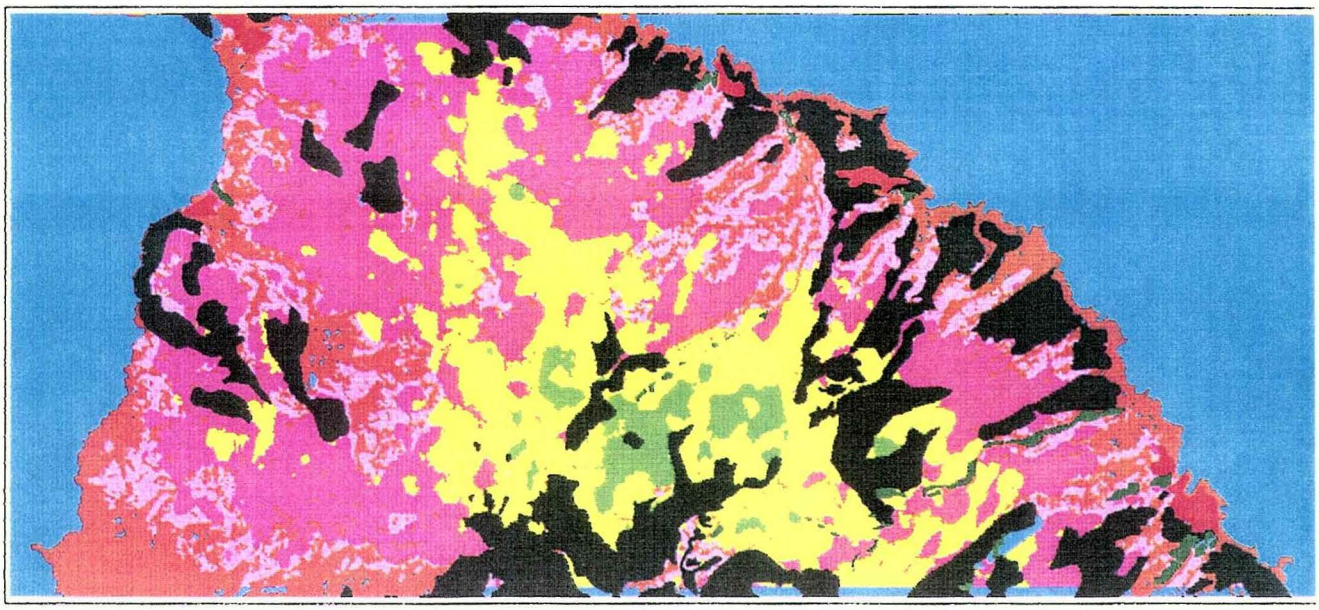


ASSOMADA





SERRA MALAGUETA



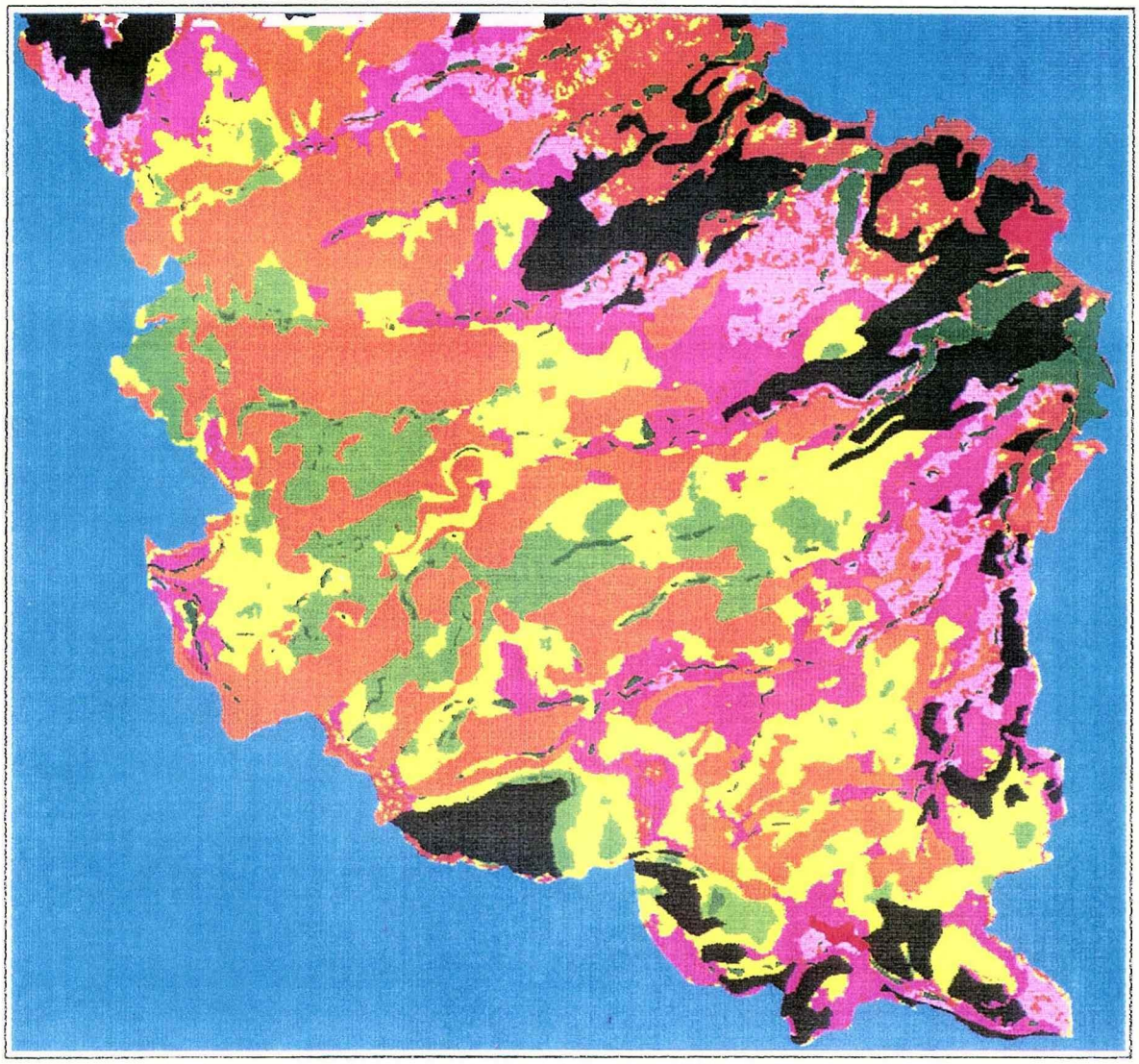
SERRA MALAGUETA - occupation du sol

Km
0 1

- masque
- espace cultive peri
- culture zone favor
- surface nue
- zone urbaine
- POINTS NON CLASSES
- perimetre
- espace cultive inter
- culture complantee
- reboisement

N

COTE EST



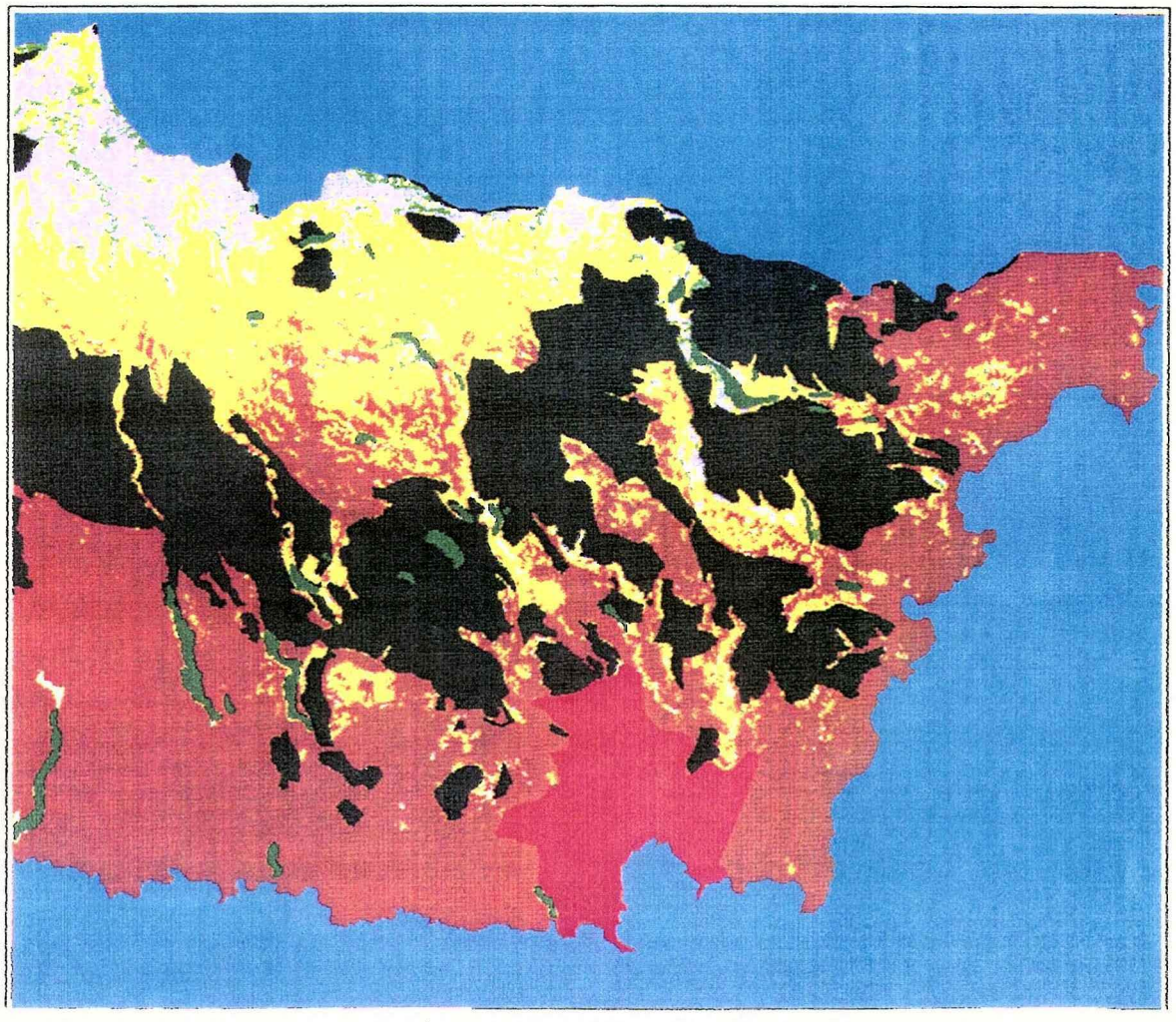
COTE EST - occupation du sol
Km
0 1
masque
vegetation
espace cult interieu
culture complantee
reboisement
non classe
POINTS NON CLASSES
perimetre
espace cultive peri
culture zone favo
surface nue
reboisement mixte
zone urbaine

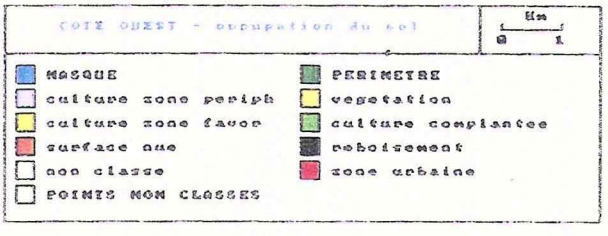
COTWEST1

COTEWEST1 - occupation du sol
Km
0
1
masque
culture zone peri
culture zone favo
surface nue
non classe
perimetre
vegetation
culture complantee
reboisement
POINTS NON CLASSES

N

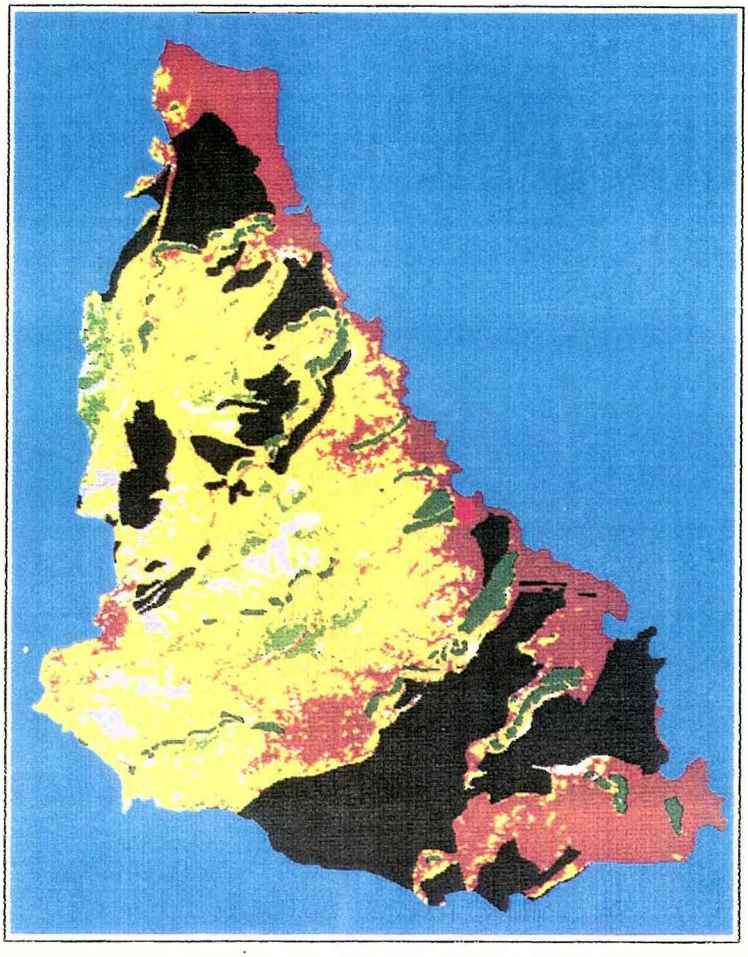
COTWEST2

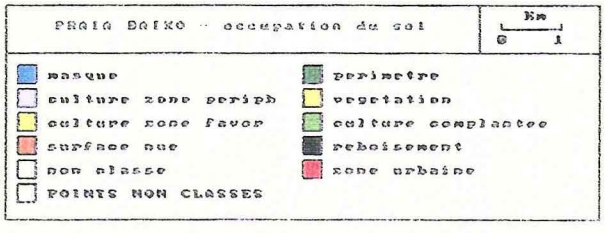



COTE OUEST - occupation du sol
Km
0
1
MASQUE
culture zone periph
culture zone favor
surface nue
non classe
POINTS NON CLASSES
PERIMETRE
vegetation
culture compliantee
reboisement
zone urbaine

N

PRAIA BAIXO




PRAIA BAIXO - occupation du sol
Km
0
1
nasque
culture zone periph
culture zone favor
surface nue
non classe
POINTS NON CLASSES
perimetre
vegetation
culture complantee
reboisement
zone urbaine

N