

## DECOUVERTE ET EXPLORATION DE LA STRUCTURE ET DE L'ORGANISATION D'UN ESPACE RURAL QUELCONQUE A PARTIR D'IMAGES SATELLITAIRES

---

ANDRIANASOLO H.<sup>1</sup>

### RESUME

*Une donnée satellitaire, en tant que modèle de représentation, contient et traduit potentiellement de l'information sur les composantes qualitatives, l'organisation spatiale et le fonctionnement d'un espace environnemental quelconque.*

*Potentiellement, car par l'hypothèse une image en tant que tel, avec ses attributs spatiaux, spectraux et temporels, constitue un système vérifiant le second principe de la thermodynamique, à savoir qu'il est dans son état le plus stable, celui n'indiquant aucune structure. Il y a absence d'information.*

*L'approche que nous présentons comporte deux phases:*

- *Structuration optimale de l'espace représenté par l'image, au sens d'absence d'a priori d'une part, et de production maximale d'information d'autre part. Pour ce faire l'image est structurée suivant différents niveaux de détails (échelles) emboîtés jusqu'à ce que l'entropie produite conduise à une bifurcation faisant tendre la structuration vers le chaos (trop grand nombre de classes) ou état de prolifération. On dispose alors d'un arbre adéquat.*
- *Analyse de la représentation des réalités spatiales ainsi obtenue en vue d'en permettre des études précises. Pour cela les classes obtenues lors de la phase précédente sont analysées tant du point de vue spectral que spatial (cette communication s'arrête au point de vue spectral).*

*Un objectif double est ainsi atteint à partir d'une image, prise à un moment précis de la vie de l'espace représenté, défini comme un système:*

- *Découverte et qualification des sous-systèmes le composant à des résolutions de plus en plus fines à partir de leur comportement physique de surface tel que perçu et modélisé, d'une part par les capteurs embarqués, et d'autre part par la méthodologie statistique utilisée.*
- *Fourniture d'éléments de connaissance des réalités spatiales. Eléments dont une des destination finale est de permettre une approche des réalités, suivant des objectifs définis a priori dans le cadre de problématiques données.*

*Les perspectives d'application incluent les approches multidates et multicapteurs de tout espace rural.*

---

<sup>1</sup>L.L.A - Télédétection ORSTOM - Bondy UR 3F Maitrise de la Sécurité Alimentaire

## INTRODUCTION

L'utilisation de la télédétection comme moyen de connaissance spatiale signifie qu'à priori on ne dispose d'aucune information sur l'espace, ou que si on en dispose elle est partielle.

Ainsi quelque soit la démarche et la discipline utilisatrices, le point de départ est tout au plus une nomenclature d'analyse, et quelques points (ou surfaces) localisés pouvant éventuellement servir de référence.

Si la démarche est non-dirigée, a priori on ne sait rien des réalités.

Si elle est dirigée, on doit disposer a priori de données initiales servant d'entraînement au processus de création de l'information. Auquel cas ces données doivent être complètes et sans biais. Ce qui suppose que le processus de leur élaboration intègre une connaissance systématique quantifiée et sans biais de l'espace: ce qui n'est pas vérifié dans la majorité des cas, une telle connaissance étant l'objectif.

Quelque soit l'approche, les connaissances disponibles et réellement utilisables a priori tendent à être négligeables, face au niveau d'élaboration compris dans les données satellitaires et aux objectifs affichés. Ceci est tout particulièrement vraie dans la forme de ces connaissances.

L'objet de la présentation est de découvrir et qualifier la structure et l'organisation d'un espace rural quelconque à partir, principalement des images satellitaires.

Elle comporte les deux phases de modélisation et d'organisation de l'espace.

L'hypothèse centrale est que la complexité de la réalité constitue un système organisé selon une structure emboîtée, dont les niveaux sont constitués d'éléments de plus en plus élémentaires, dont la configuration active résulterait et serait approchée (modélisée systématiquement) par les échanges (opérations) ayant lieu entre ces niveaux et ces éléments.

Les données satellitaires sont un modèle de représentation de la réalité dont le prototype est "l'état de surface". Elles rendent compte de ce prototype à travers des dimensions spectrales, spatiales et temporelles. Dans l'absolu et indépendamment de toute problématique, elles constituent une donnée sur certains aspects de la réalité physique, ou même de la réalité tout court.

## I. MODELISATION DE L'ORGANISATION

(La présentation détaillée de la modélisation fera l'objet d'une communication spécifique).

Le projet est d'aboutir à la représentation suivante, en arborescence emboîtée de la réalité (figure 1), tel que pratiquée aujourd'hui dans l'approche systémique des phénomènes complexes.

L'ilage entière représente la réalité de l'espace (le système), modélisée par l'arborécescence, dans laquelle les noeuds représentent des sous-systèmes et les arcs induisent les échanges et relations.

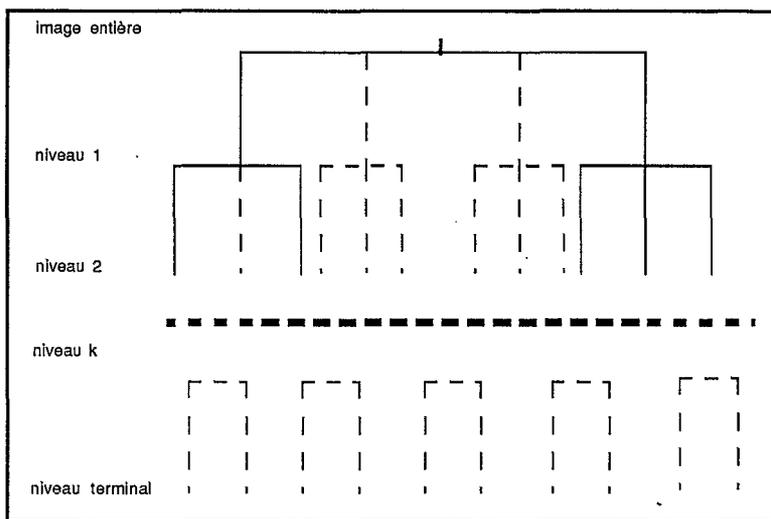


Figure 1 - Modélisation en arborescence de systèmes emboîtés

La complexité de la réalité telle que perçue par une donnée satellitaire se traduit par un ensemble desordonné (absence d'ordre) de pixels. Ceci car les données brutes, au même titre que l'espace brut, sont d'incertitude maximale, l'entropie est à son maximum et il y a absence d'information. En termes de probabilité l'état ainsi recouvert est l'état le plus probable du système. C'est son état stable, le point d'équilibre vers lequel il tendra. Une organisation quelconque obtenue par regroupement des particules élémentaires constitue la création d'une forme d'ordre, et donc induit une diminution de l'entropie. Il y a création d'information. L'état ainsi obtenu est instable. Sa probabilité est inférieure à celle de l'état d'équilibre. Plus le nombre de classes de regroupement est faible, plus on s'éloigne de l'état d'équilibre et plus l'entropie est faible.

La construction de la hiérarchie structurelle et fonctionnelle de l'espace, intègre ces notions de probabilité et d'entropie.

Chaque niveau de la hiérarchie constitue la partition la plus probable en termes de nombre de classes, et au sens de la minimisation de  $W$  dans la relation de décomposition de la variance:  $T=W+B$ .

Le nombre total de niveaux, et donc le nombre total de sous-systèmes modélisant le système spatial à travers la hiérarchie, est déterminé par l'entropie de telle façon que la quantité d'information obtenue soit associée à un nombre d'états  $E$ , tel que  $E$  se situe à un point de bifurcation de l'entropie où celle-ci passe d'une vision à l'échelle "macroscopique" (information liée à la notion de classes homogènes), à une vision à l'échelle "microscopique" (information liée à la notion de texture) (cf figures 2 et 3), l'information subissant l'attrait de ces deux pôles.

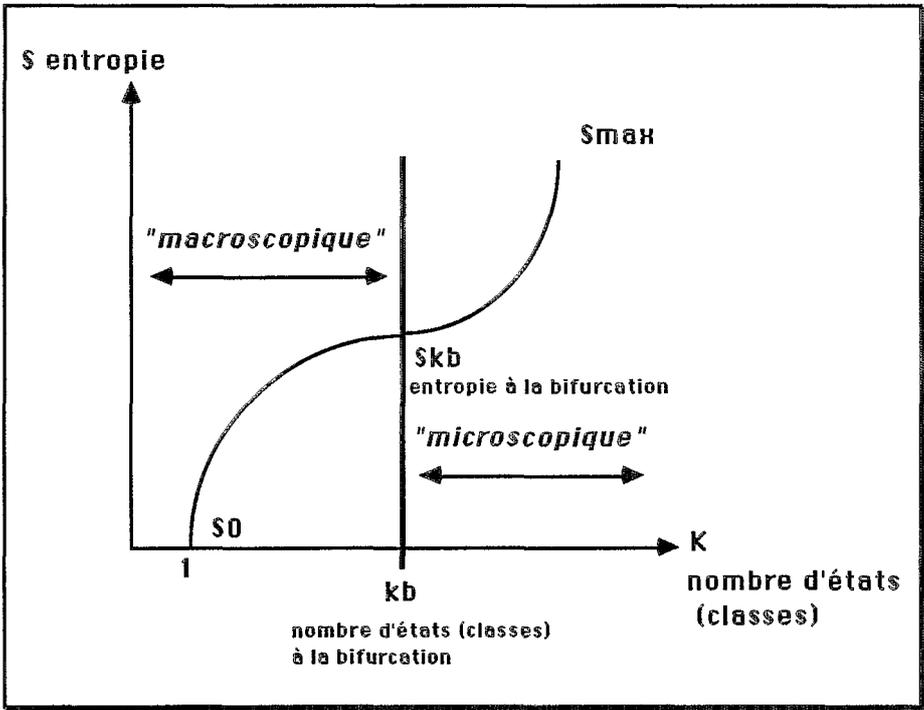


Figure 2 - Nombre adéquats d'états de la hiérarchie

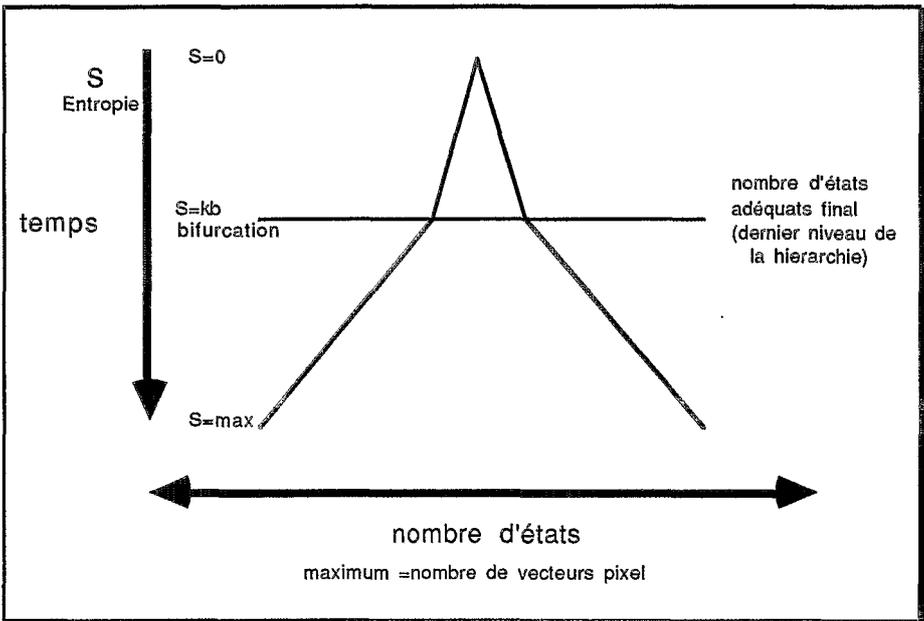


Figure 3 - Nombre adéquats d'états de la hiérarchie

A travers l'application de cette approche théorique, la présentation illustre une démarche se proposant d'explorer et de découvrir certains aspects de la réalité, tel qu'appréhendée par des images satellitaires. Sera surtout abordée une lecture structurelle, celle fonctionnelle -objet de développement futurs- est sous-jacente aux différents résultats obtenus.

Les réflexions servant de moteur à cette recherche sont issues des notions de sous-développement, de sécurité alimentaire, et de système d'information. L'espace, pris comme un système, y est considéré comme un interface entre les stratégies et décisions des hommes, s'inscrivant dans des systèmes sociaux, économiques, culturelles et historiques. La recherche en elle-même s'inscrit dans le cadre du grand programme "Les observatoires de la Sécurité Alimentaire" de l'UR "Maîtrise de la Sécurité Alimentaire" de l'ORSTOM.

Les données utilisées sont constituées d'images prises dans les longueurs d'onde du vert, rouge et proche infra-rouge, avec une résolution de 80 mètres (capteurs Landsat MSS).

Elles sont situées dans le nord-ouest de Madagascar, et datent du mois d'avril 1981, fin de la saison des pluies.

## **II. HIERARCHIE OU ARBRE ADEQUAT**

(L'adéquation étant relatif au projet de modélisation du système).

Une telle représentation en arbre, ressort de l'approche considérant les réalités de l'univers comme un système, structuré hiérarchiquement en sous-systèmes emboîtés. Les sous-systèmes de chacun des niveaux sont élaborés par des partitions les plus probables, et le nombre de niveaux est déterminé par l'entropie, tel que celle ci ne doit pas traduire un nombre de classes grand, qui ne soit interprétable qu'en termes chaotiques. En d'autres termes, du chaos constitué par l'ensemble des vecteurs pixels de l'image de représentation, doit émerger à partir d'un certain temps, un ordre (une structure) qui constitue alors notre modélisation de la réalité spatiale.

La figure 8 constitue une représentation graphique de la réalisation hiérarchique obtenue sur les données utilisées.

À titre d'illustration sont présentées dans les figures 4 à 7 suivantes, les probabilités associées aux partitions des niveaux 2 et 3 de l'arbre (nous avons adopté les notations en vigueur dans le domaine de l'approche syntaxique et structurelle de la reconnaissance des formes, ainsi le niveau 1 est celui constitué par l'image entière).

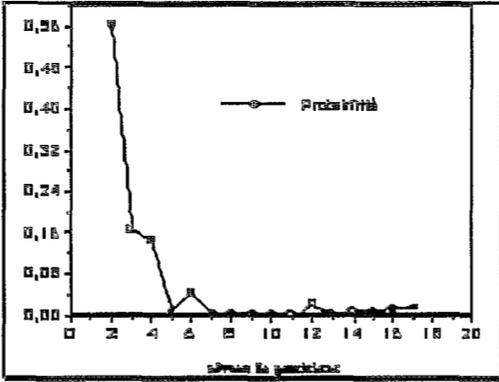


Figure 4 - Probabilités des différentes partitions possibles au niveau 1 de l'arbre adéquat

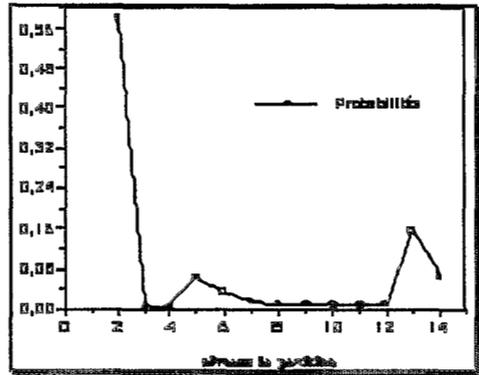


Figure 5 - Probabilités des partitions du noeud 2.1

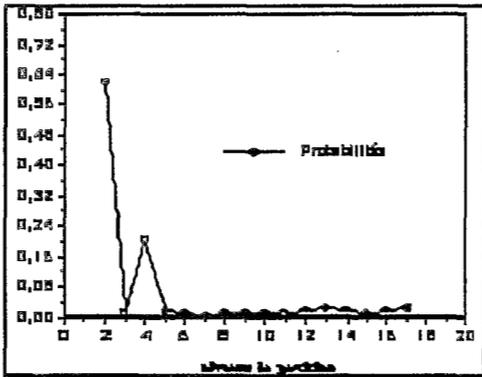


Figure 6 - Probabilités des partitions du noeud 2.2

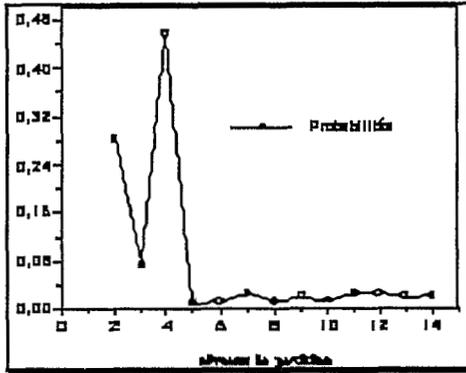


Figure 7 - Probabilités des partitions du noeud 1.2.1

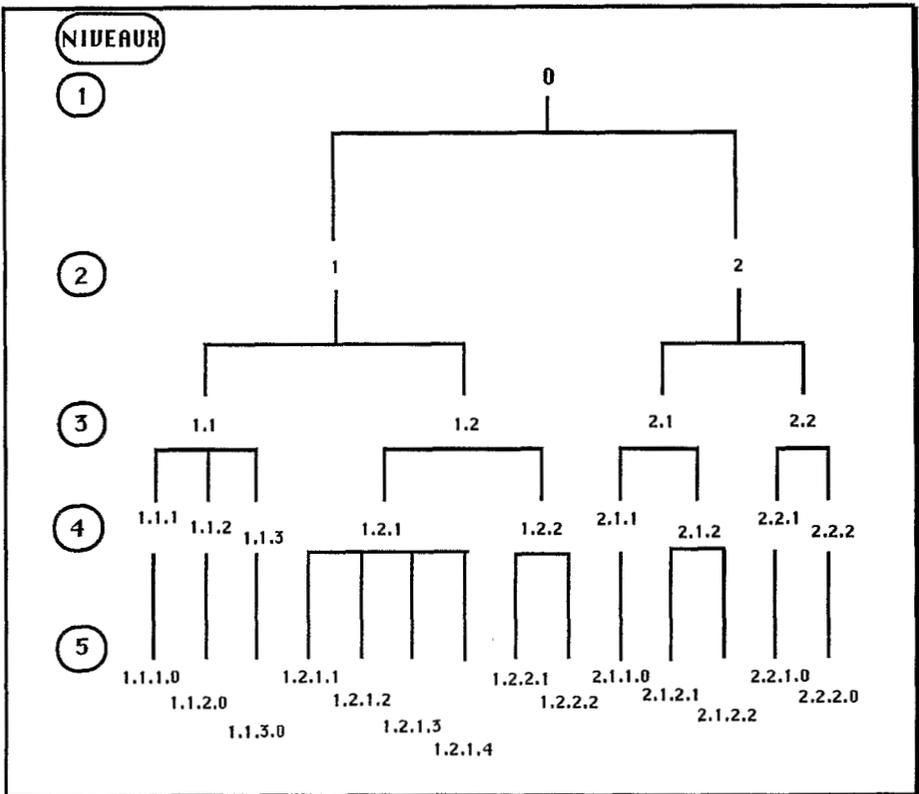


Figure 8 - Arbre adéquat

Les réalités physiques de surface, tel qu'appréhendées par la donnée satellitaire et modélisées par notre approche, se composent d'une hiérarchie ayant cinq niveaux. Le tableau suivant synthétise le nombre de sous-systèmes de chacun des niveaux.

Niveaux	1	2	3	4	5
Nombre de Sous-systèmes	1	2	4	9	14

La lecture en largeur de l'arbre, renseigne sur l'aspect structurelle de la réalité. Tandis que la lecture suivant un ordre (postordre ou préordre) renseigne sur son aspect fonctionnelle. Les noeuds étant des sous-systèmes, ont des fonctions et interagissent suivant l'organisation représentée par l'arbre. Les fils éclairent sur les parents, et les parents à travers les fils traduisent la spécificité de la réalité approchée. Les arcs du graphe traduisent fondamentalement des relations de fonctionnement et d'organisation entre les sous-sytèmes, et donc du système. Rappelons que les sous-systèmes représentent des réalités physiques, et que donc les relations qui ressortent de l'arbre sont a priori à propos de l'espace physique.

### III. INFORMATIONS

Deux types d'information ressortent potentiellement de l'arborescence:

- le fonctionnel et la notion de processus
- le structurel et la notion d'état.

Le structurel et la découverte de la nature des sous-systèmes font l'objet de la présente communication. Cependant aux niveaux des échanges et du fonctionnement certaines informations de base ressortent d'emblée, dont par exemple les matrices structurelles des échanges du système (tableaux 1 à 4), et la composition des sous-systèmes (tableau 5).

### III.1. Le fonctionnel

#### Matrices structurelles des inter-relations

Chaque niveau indiquant des relations au niveau suivant, les inter-relations au niveau du système se présenteraient ainsi:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1														
2														
3														
4					x	x	x							
5				x		x	x							
6				x	x		x							
7				x	x	x								
8														
9										x				
10														
11													x	
12												x		
13														
14														

Tableau 1 : Inter-relations au niveau 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		x	x						
B	x		x						
C	x	x							
D									
E					x				
F									
G								x	
H									x
I								x	

Tableau 2 : Inter-relations au niveau 4

	a	b	c	d
a		x		
b	x			
c				x
d			x	

Tableau 3 : Inter-relations au niveau 3

	I	II
I		x
II	x	

Tableau 4 : Inter-relations au niveau 2

## Composition des sous-systèmes

Chaque sous-système, suivant qu'il est fils ou père dans l'arborescence, étant considéré comme sous-système ou système, le tableau suivant illustre l'organisation de l'espace étudié:

niveaux	sous-système	pourcentage du ss-système	pourcentage du système
1	0 (total)	100%	100%
2	1	76%	76%
	2	23%	23%
3	1.1	49%	38%
3	1.2	50%	38%
3	2.1	74%	17%
3	2.2	25%	6%
4	1.1.1	40%	15%
4	1.1.2	42%	16%
4	1.1.3	17%	6.5%
4	1.2.1	58%	22.5%
4	1.2.2	41%	15.7%
4	2.1.1	28%	5.0%
4	2.1.2	71%	12.4%
4	2.2.1	37%	2.2%
4	2.2.2	62%	3.8%
5	1.1.1.0	40%	15%
5	1.1.2.0	42%	16%
5	1.1.3.0	17%	6.5%
5	1.2.1.1	25%	5.6%
5	1.2.1.2	29%	6.6%
5	1.2.1.3	23%	5.3%
5	1.2.1.4	21%	4.9%
5	1.2.2.1	26%	4.14%
5	1.2.2.2	73%	11.5%
5	2.1.1.0	28%	5.0%
5	2.1.2.1	26%	4.3%
5	2.1.2.2	73%	8.16%
5	2.2.1.0	37%	2.2%
5	2.2.2.0	62%	3.8%

Tableau 5 : Composition des sous-systèmes

### III.2 Le structurel : nature des sous-systèmes:

L'un des problèmes fondamentaux auquel nous sommes confrontés dans un processus de compréhension de la réalité, est celui de la qualification de ses éléments, une fois que celles-ci ont été définies ou modélisées. La voie proposée ici repose sur l'expertise en télédétection et des connaissances sur les réalités de l'espace. L'approche informatique est celle de l'intelligence artificielle et des systèmes experts, combiné aux systèmes de gestion de base de données (objet). Précisons que l'objet de cette communication est la logique des processus décisionnels, et ne recouvre donc pas les aspects de l'implémentation purement informatique.

La qualification des sous-systèmes est réalisée en trois étapes:

- Constitution d'une base de faits (connaissances assertionnelles) à partir des réalités télédétection des sous-systèmes et confrontation de ces faits à des connaissances opératoires (base de règles) du domaine de l'expertise en télédétection. Ce qui aboutit à une première qualification purement télédétection (intrinsèque) des sous-systèmes.
- Confrontation des éléments de cette première qualification, prise comme base de faits, à des connaissances opératoires concernant le moment de la prise de vue et une nomenclature des thèmes et phénomènes existant ainsi que de leurs états. Ce qui permet une qualification des sous-systèmes dans les termes d'une nomenclature opératoire et fonctionnelle.
- Détermination d'un échantillon de segments (parcelles) à enquêter directement sur le terrain au moyen d'outils géo-statistique. Ce qui permet une qualification plus fine des sous-systèmes s'avérant essentiels aux thèmes d'études.

La présente communication se limite au premier aspect.

## IV. BASE DE FAITS

Les faits concernent les sous-systèmes et leur état, tel qu'ils ressortent de leur comportement dans les bandes spectrales et leurs combinaisons en variables (indices) caractéristiques. Leur élaboration se fait en trois phases distinctes et complémentaires:

- établissement de signatures spectrales des sous-systèmes, sur les canaux originaux,
- différentiations mono-dimensionnelles des sous-systèmes entre eux. Ce qui est fait sur la base des variables caractéristiques,
- différentiation multi-dimensionnelles des sous-systèmes entre eux, sur la base des variables caractéristiques et des canaux originaux.

### IV.1. Signatures spectrales

Nous entendons par signature spectrale, le profil comportemental de chaque sous-système dans les bandes spectrales du vert, du rouge et du proche infra-rouge, auxquelles sont rajoutés des axes factoriels discriminant exacerbant les différences entre ceux-ci. Ces signatures spectrales sont réalisés par niveau de

l'arbre hierarchique adéquat.

Les figures 5 à 13) suivantes illustrent les signatures spectrales des sous-systèmes obtenus.

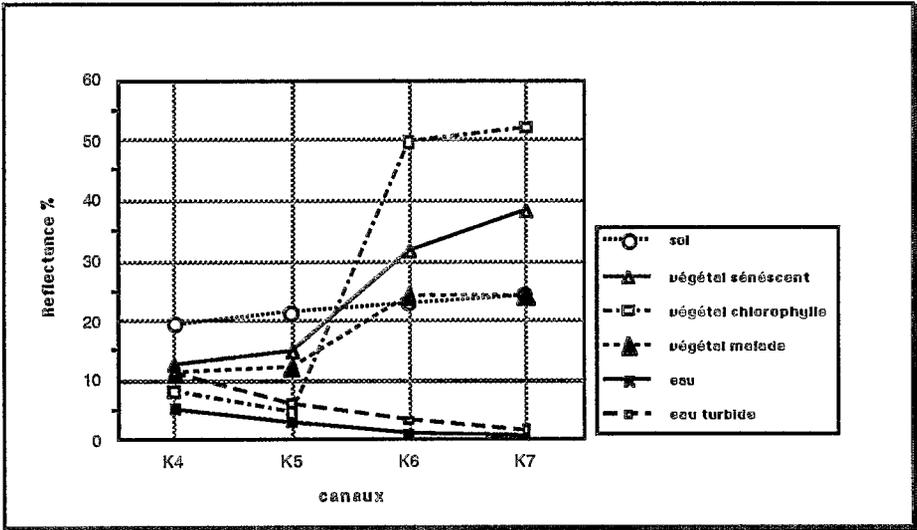


Figure 4 : Signatures caractéristiques des phénomènes de référence

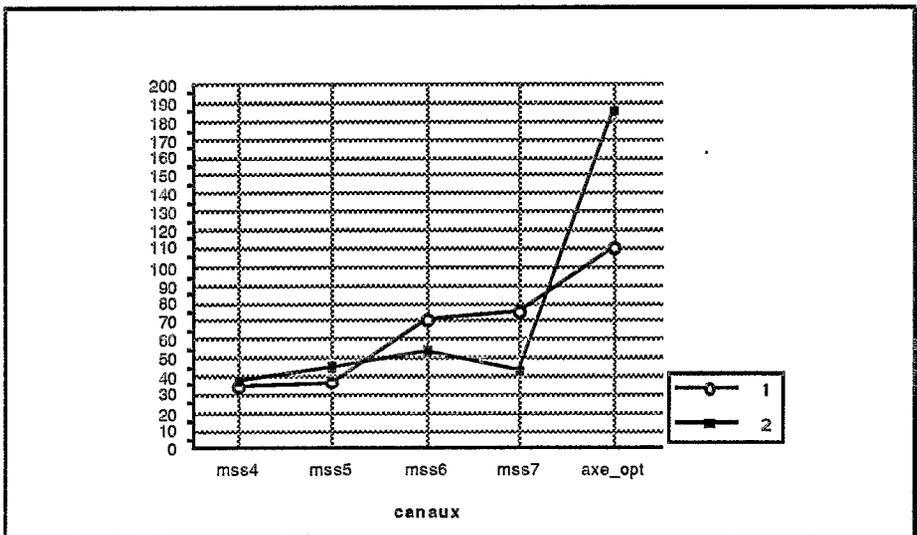


Figure 5 : Signatures spectrales des sous-systèmes 1 et 2

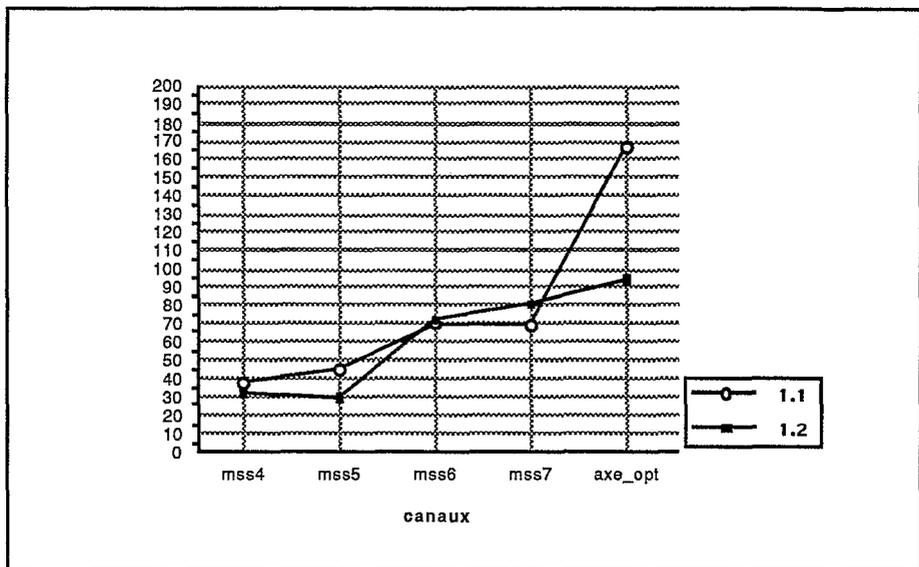


Figure 6 : Signatures spectrales des sous-systèmes 1.1 et 1.2

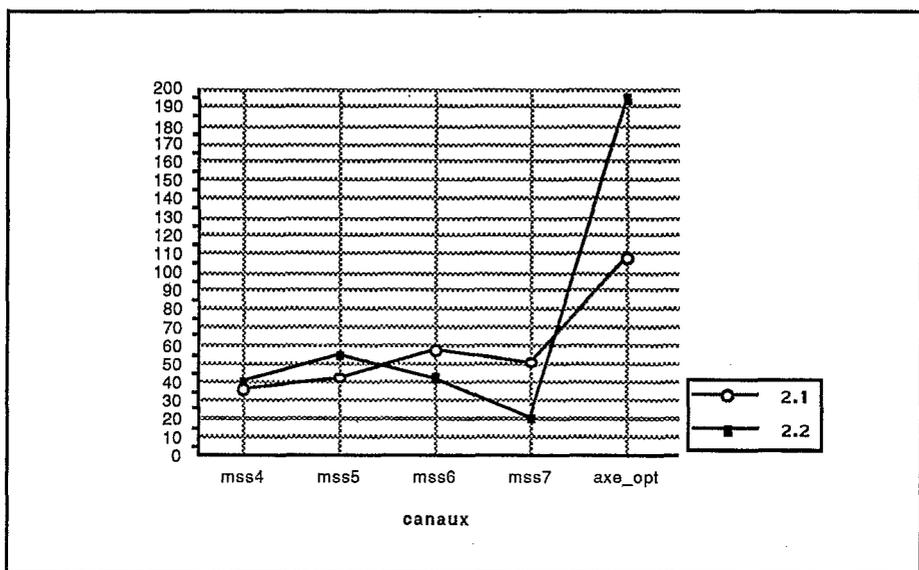


Figure 7 : Signatures spectrales des sous-systèmes 2.1 et 2.2

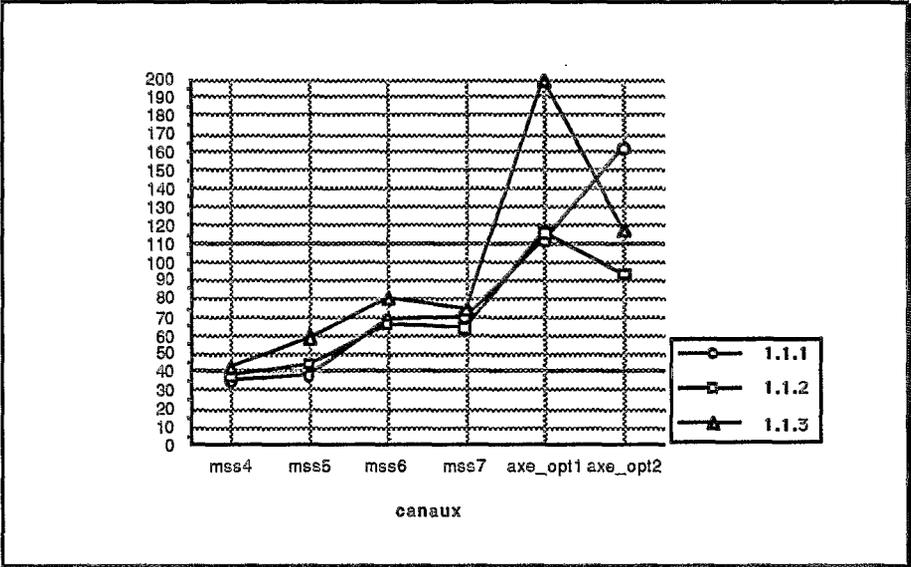


Figure 8 : Signatures spectrales des sous-systèmes 1.1.1, 1.1.2 et 1.1.3

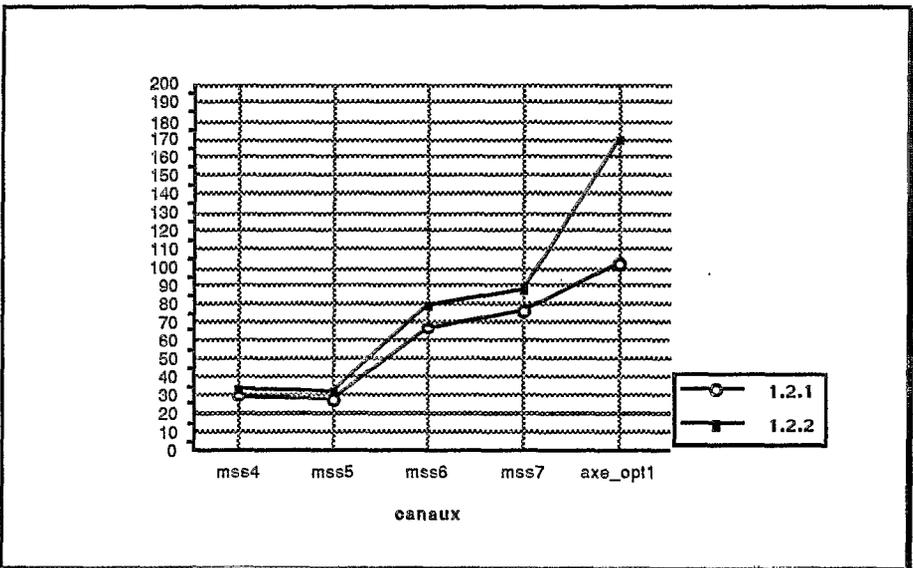


Figure 9 : Signatures spectrales des sous-systèmes 1.2.1, 1.2.2

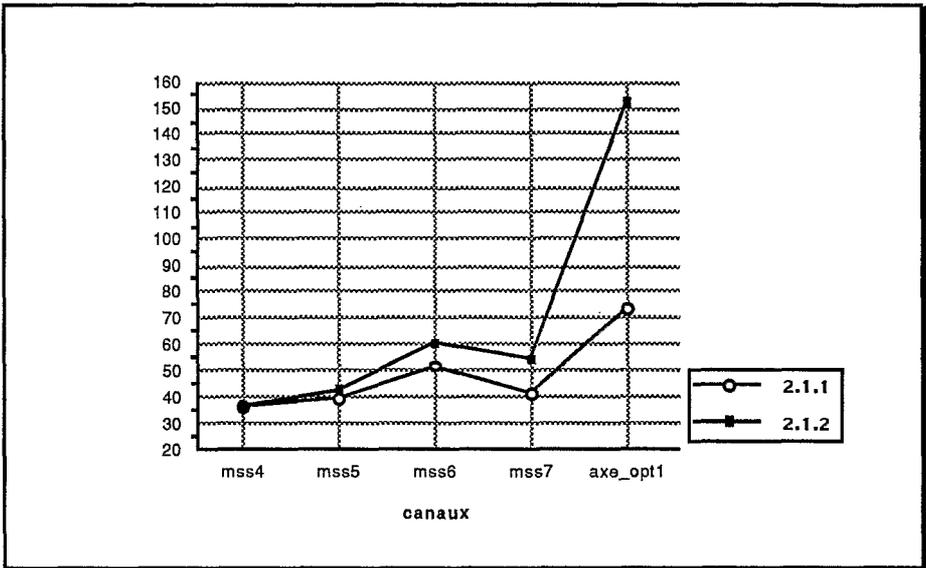


Figure10 : Signatures spectrales des sous-systèmes 2.1.1, 2.1.2

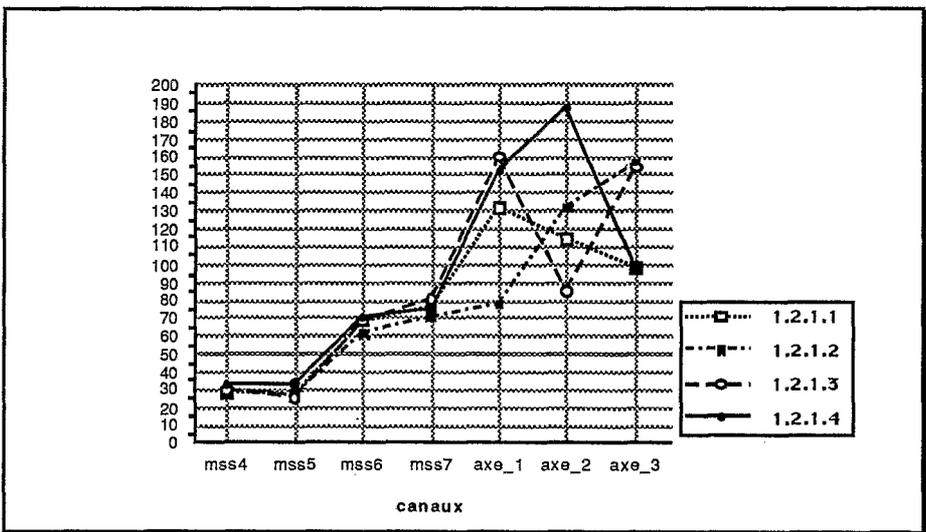


Figure11 : Signatures spectrales des sous-systèmes 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.3, 1.2.1.4

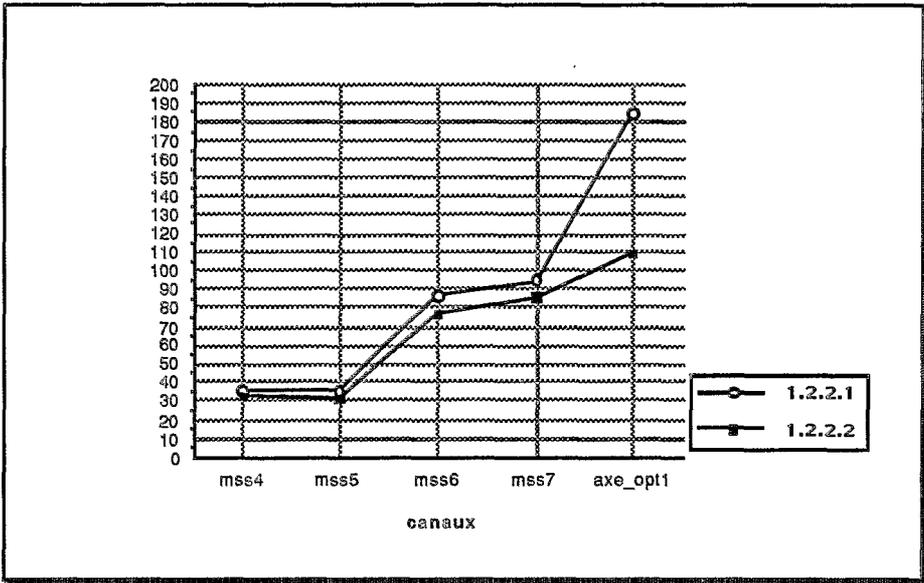


Figure12 : Signatures spectrales des sous-systèmes 1.2.2.1, 1.2.2.2

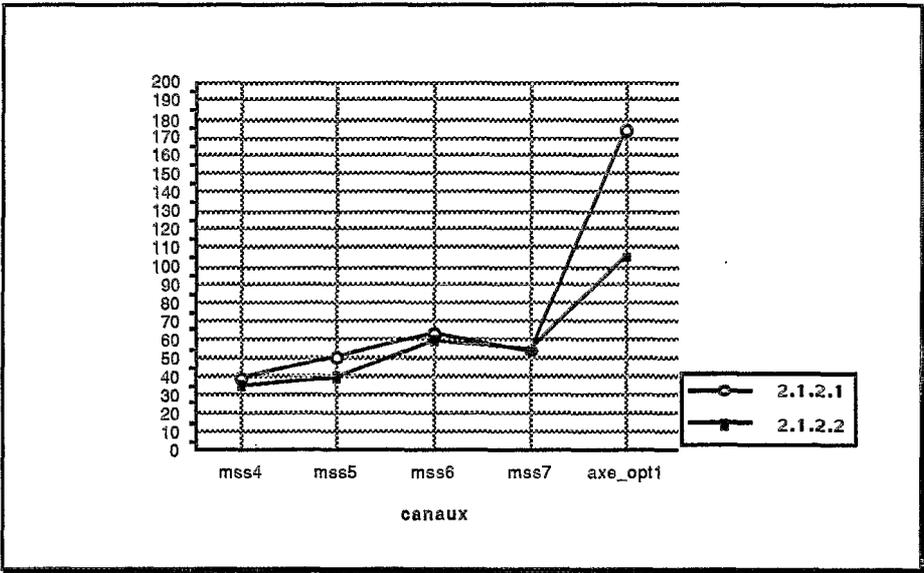


Figure13 : Signatures spectrales des sous-systèmes 2.1.2.1, 2.1.2.2

## IV.2. Différentiations mono-dimensionnelles

Les variables caractéristiques utilisées sont celles du Tasseled Cap Model. Elles sont au nombre de quatre, dont nous ne retiendrons que les trois suivantes:

Soil Brightness Index :

$$0.433 * mss4 + 0.632 * mss5 + 0.586 * mss6 + 0.264 * mss7$$

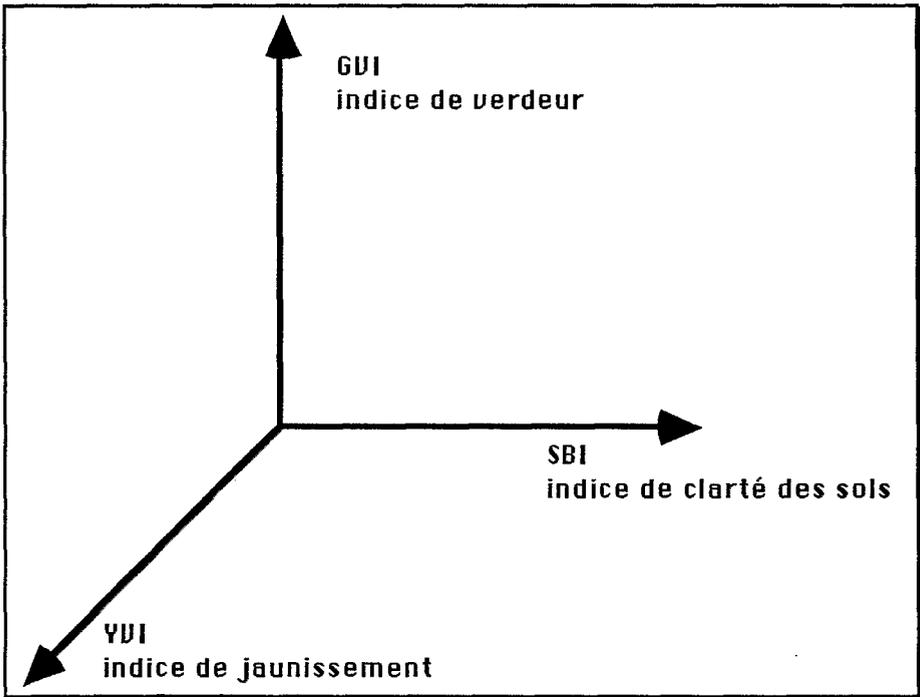
Green Vegetation. :

$$-0.29 * mss4 - 0.562 * mss5 + 0.6 * mss6 + 0.491 * mss7$$

Yellowness Index :

$$-0.824 * mss4 + 0.533 * mss5 - 0.05 * mss6 + 0.185 * mss7$$

Ces indices sont tels que représentés graphiquement ci-dessous:



L'objectif est de caractériser les oppositions entre les sous-systèmes deux à deux. Les démarches aptes à satisfaire un tel objectif sont celles du type dite de segmentation, dont le fonctionnement est illustré ci-dessous.

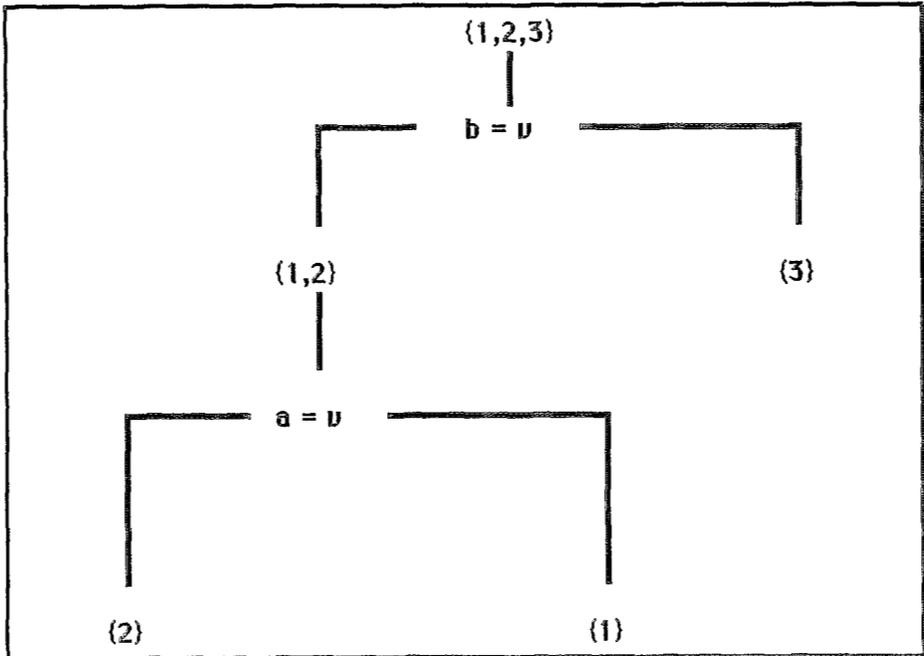
Exemple :

Soit :

$C = \{1,2,3\}$  un ensemble d'individus

$V = \{a,b,c\}$  un ensemble de variables

Une segmentation pourrait donner selon un critère donné, l'arbre suivant:



Lecture:

premier niveau: la variable "b" à la valeur "v", sépare {3} de {1,2}

second niveau: la variable "a" à la valeur "v" sépare {1} de {2}

*Méthode de segmentation:*

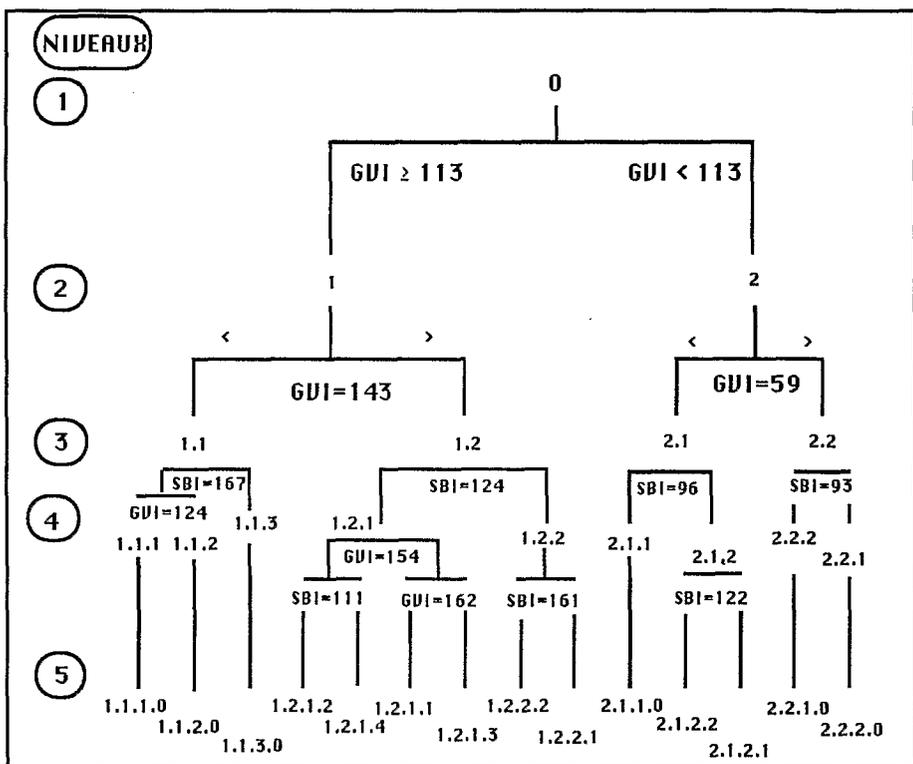
La segmentation utilisée s'est voulue non paramétrique, et est donc tel que le critère de séparation à chaque niveau de l'arbre de segmentation, est la distance  $D(v)$  entre fonctions de répartitions empiriques de Kolmogorov - Smirnov, où "v" est la valeur de séparation.

Dans un cas à deux classes et une variable elle est tel que:

$$D(v) = \sup_z |F_1(z) - F_2(z)|$$

$F_1$  et  $F_2$  étant l'estimation des fonctions de répartition des deux classes, et  $z$  les différentes réalisations des variables aléatoires.

L'application à l'arbre adéquat du système fournit la segmentation suivante:



### IV.3. Différentiation multi-dimensionnelles

L'objectif est de caractériser les sous-systèmes les uns par rapport aux autres, en fonction de leurs comportements à travers les canaux originaux et des indices connus. En sus de ceux issus du Tasseled Cap Model, sont aussi utilisés ceux communément définis:

Indice de végétation verte (Green Vegetation Index (IVG)):  $\frac{(mss7 - mss5)}{(mss7 + mss5)}$

IVG faible : surface en eau, surface sans végétation

IVG fort : couvert végétal

Differenced Vegetation Index (DVI) :  $[(2,4 * mss7) - mss5]$

DVI < 0 : eau

DVI = 0 : sols nus

DVI > 0 : végétation

Brillance des sols (IBS):  $\sqrt{(mss5 ** 2 + mss7 ** 2)}$

IBS fort : surface brillante, en particulier les sols

IBS faible: surface comprenant de la végétation et/ou de l'eau

*Analyse factorielle des correspondances et classification ascendante hiérarchique.*

La démarche adoptée est celle de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et de la classification ascendante hiérarchique sur les facteurs (CAH). Elle est utilisable de façons diverses, en particulier des deux manières synergique suivantes:

- si des données "vérité localisée" sont disponibles, elles servent d'individus principaux quant à l'analyse, les sous-systèmes servant d'individus supplémentaires.
- dans le cas contraire, les sous-systèmes servent directement d'individus principaux.

Dans la présente application, se voulant se situer complètement dans l'hypothèse de quantité d'information nulle quant aux données exogènes, le contexte est celui de la deuxième hypothèse.

Les comportements empiriques des grands thèmes de référence (eau, sols, végétation...) servent d'individus supplémentaires, ou d'individus principaux suivants le niveau d'analyse.

Les indices autres que ceux du Tasseled Cap Model, servent de variables supplémentaires.

Les analyses sont réalisées après recodage des variables en six niveaux d'intensité, déterminés par l'éloignement au comportement moyen suivant l'écart-type pris comme unité.

Les faits résultent alors des AFC et CAH réalisées niveau par niveau, et par l'enrichissement progressif des niveaux inférieurs par les niveaux supérieurs (niveau 1, suivi du niveau 1 et 2, suivi du niveau 1 et 2 et 3...), jusqu'à utilisation de la totalité des sous-systèmes de tous les niveaux.

Ces faits sont principalement, à travers l'analyse des facteurs et plans obtenus, une sélection de variables significatives (canaux originaux ou indices), une détermination de classes de sous-systèmes, et une qualification du comportement de ces classes et sous-systèmes.

Une variable ou un sous-système est retenu comme explicatif quand sa contribution est supérieure ou égale à la moyenne des contributions sur un facteur. Une variable ou un sous-système est pris comme bien expliqué, quand sa corrélation est supérieure à 0.5

*Classification Ascendante Hierarchique avec thèmes de référence.*

L'objectif est ici l'obtention d'une indication de la nature des sous-systèmes, par comparaison de leur profil à celui des thèmes de référence. seuls les niveaux quatre et cinq de l'arbre adéquat sont soumis à cette analyse, étant donné leur complexité. Les figures suivantes représentent les résultats obtenus.

Les données utilisées sont tels que les sous-systèmes du niveau et les thèmes de référence sont utilisés comme individus principaux.

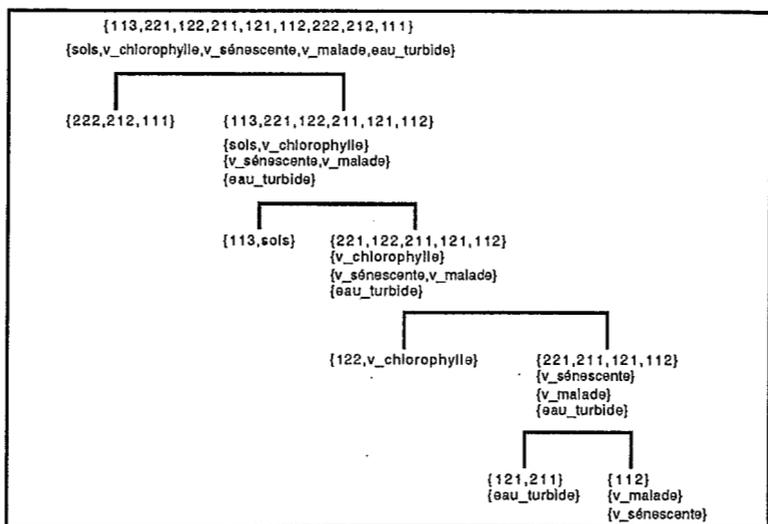


Figure 14 : Classification ascendante hiérarchique du niveau 4

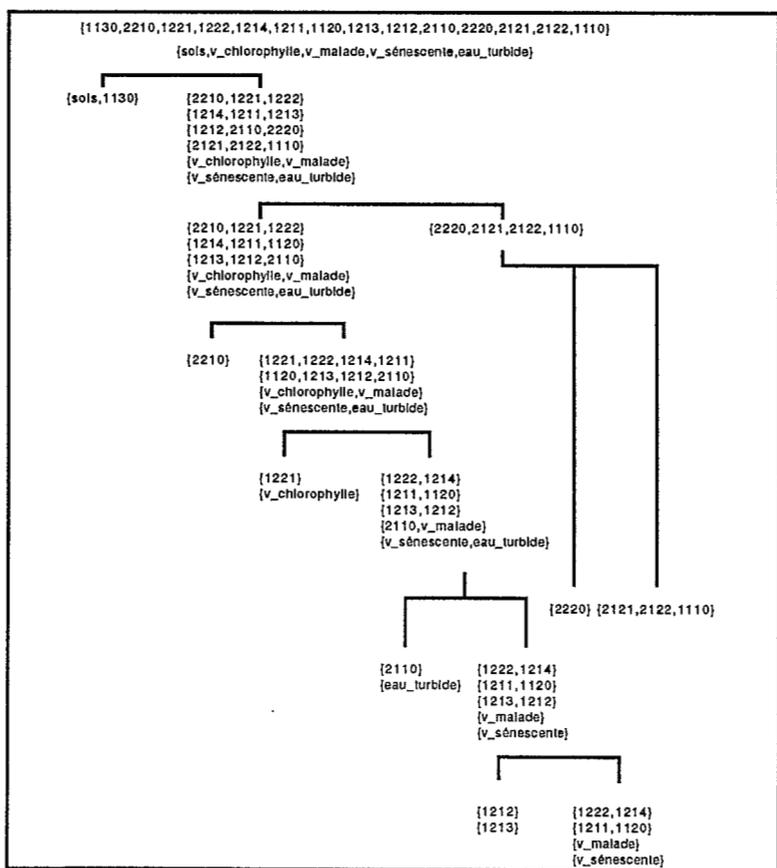


Figure 15 : Classification ascendante hiérarchique du niveau 5

#### IV.4. Les faits

La qualification des sous-systèmes se base sur les différents types de faits ainsi accumulés.

Ces faits sont constitués des types suivants:

- résultant de la segmentation.
- résultant des analyses factorielles des correspondances et des classifications hiérarchiques.
- résultant des classifications ascendantes hiérarchiques comprenant les thèmes de référence.

Le décodage intrinsèque à la télédétection est réalisé en suivant l'évolution des sous-systèmes sur l'arbre adéquat, et en approchant une qualification par des tables de décisions.

Les conditions de ces tables de décisions sont relatives aux comportements spectraux possibles et potentiels de sous-systèmes pouvant prendre existence en environnement rural. Ces comportements spectraux résultent de la décomposition en niveaux des différentes variables radiométriques (canaux originaux ou néo-canaux) en classes de niveaux.

Les actions en sont la décision d'affecter ou non chacun des sous-systèmes - réalisation de la modélisation- à un type donné de sous-système pouvant effectivement exister, dans une nomenclature de type physique.

Chacune des décisions résultant du décodage par chacune des trois méthodes de qualification ci-dessus, est confrontée aux autres dans un processus de précision et d'affinage de l'information résultat. En cas de contradiction une boucle de retour vérifie la manière dont chacun des faits a été constitué au niveau précédent.

## IV.4.1. Décodage de l'arbre adéquat après segmentation.

On constate que l'indice de jaunissement n'a jamais été sélectionné dans les cascades de différentiations dichotomiques. Ce qui n'est pas une traduction d'une absence de phénomènes entrant dans ce cadre, mais n'est que la signification de la prépondérance discriminatoire des deux autres indices (verdeur et brillance) sur l'ensemble des phénomènes présents.

A titre d'illustration de décodage les propositions "P" suivantes constituent une lecture possible des sous-systèmes "1.2.1.3" et "2.1.1.0":

P ( 1.2.1.3) = A.B.!H.E.F

P (1.2.1.3) = A.!L

P (2.1.1.0) = !A.!C.!I

P (2.1.1.0) = !C.!I

tel que

A = 'GVI ≥ 113'

B = 'GVI ≥ 143'

C = 'GVI ≥ 59'

D = 'GVI ≥ 124'

E = 'GVI ≥ 154'

F = 'GVI ≥ 162'

G = 'SBI ≥ 167'

H = 'SBI ≥ 124'

I = 'SBI ≥ 96'

J = 'SBI ≥ 93'

K = 'SBI ≥ 111'

L = 'SBI ≥ 161'

M = 'SBI ≥ 122'

et

!H signifie "négation de H"

Sachant que toutes les variables utilisées sont centrées et réduites, tel que la valeur moyenne est ramenée à 128, ces propositions, a travers les connaissances opératoires, sont des lectures des sous-systèmes signifiant que:

- "1.2.1.3" serait plutôt constitué de phénomènes végétatifs actifs

- "2.1.1.0" serait plutôt constitué de phénomènes en eau.

## IV.4.2. Décodage des niveaux par l'analyse des correspondances (AFC - CAH).

Il est réalisé à partir de l'analyse numérique des résultats, et de l'étude des plans factoriels, ainsi que des classifications de la CAH.

Illustrons cette phase par le décodage du niveau trois, à l'aide des AFC-CAH correspondantes, et de l'AFC-CAH de la totalité des sous-systèmes de tous les niveaux.

"AFC" Sur canaux originaux

La lecture des canaux donne:

P (1.1) = (MS4\_4)(MS5\_4)(MS6\_4)(MS7\_4)

(comportement constamment juste supérieur à la moyenne sur les 4 canaux)

Le plan factoriel (1,2) avec comme variables principales les canaux originaux (figure 16), qui ne l'explique que médiocrement, le situe dans un triangle: (eau / végétation+ sols+eau / sols+végétation).

Les sous-systèmes "1" et "2" du niveau précédent (niveau deux) étant en supplémentaires, indiquent le sens de l'évolution et contraint par la même le décodage. Ainsi:

- "1" donne "1.2" et "1.1";
- "1" étant l'ensemble des phénomènes opposés à l'eau, donnerait :
  - de la végétation et des sols ("1.2")
  - de la végétation sénescente, malade et des sols ("1.1")

Ce qui par ailleurs ressort de l'axe factoriel trois, sur lequel "1.1" est bien expliqué.

- "2" donne "2.1" et "2.2";
- "2" étant l'eau, donnerait
  - de l'eau ("2.2")
  - de l'eau et de la végétation ("2.1").

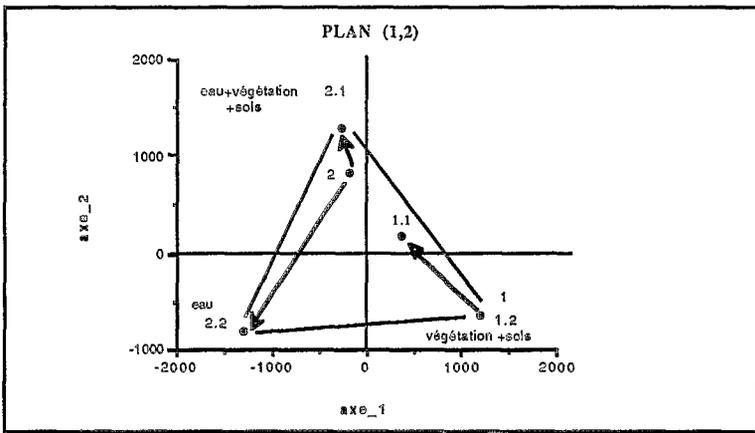


Figure 16 : Plan(1,2) - canaux originaux et niveau 3

#### "AFC" Sur indices du Tasseled Cap Model

Le plan factoriel (1,2) avec comme variables principales celles du Tasseled Cap Model (figure 17), explique bien les sous-systèmes "1.1", "1.2", et "2.1", tel que :

- "1.1" est caractérisé par le SBI à un niveau 4
- "1.2" est caractérisé par le SBI à un niveau 3
- "2.1" est caractérisé par le SBI à un niveau 3
- "2.2" est caractérisé par le GVI à un niveau 1

Sachant que l'échelle des niveaux va de 1 à 6, le point moyen se situant entre les niveaux trois et quatre:

- "1" étant le domaine du non-eau:
- "1.1" serait globalement le domaine de la végétation avec une influence plus marquée des sols
- "1.2" serait globalement le domaine de la végétation avec une influence moins marquée des sols

- "2" étant le domaine de l'eau:
- "2.1" serait globalement un mélange de sols, de végétation et d'eau (il est pratiquement superposé à "1.2" sur le plan)
- "2.2" serait l'eau.

- "1.2" et "2.1" représenterait le lieu de conjonction et d'échange (transition) entre les deux sous-systèmes extrêmes "1.1" et "2.2" de ce niveau (ce qui sera abordé dans les phases spatiale et des échanges (relations) de l'étude (non prévue dans cette communication)).

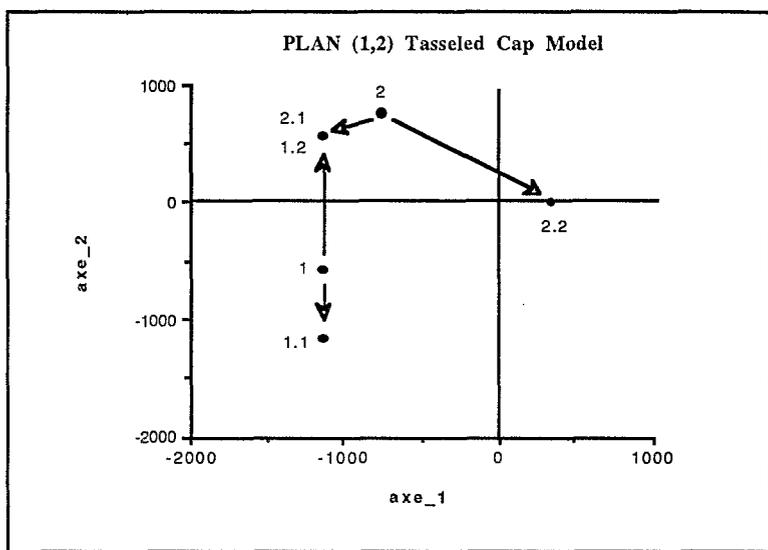


Figure 17 : Plan (1,2) - Tasseled Cap Model et niveau 3

"AFC-CAH" sur tous les sous-systèmes.

Une dernière phase du décodage consiste en la soumission à l'analyse factorielle des correspondances de l'ensemble des sous-systèmes de tous les niveaux, avec comme descripteurs les indices du Tasseled Cap Model et les canaux originaux. Cette analyse elle-même étant suivie d'une classification ascendante hiérarchique sur les facteurs. A titre d'illustration la figure 18 représente, le plan factoriel (1,2) sur lequel sont matérialisées des classifications issues de la CAH.

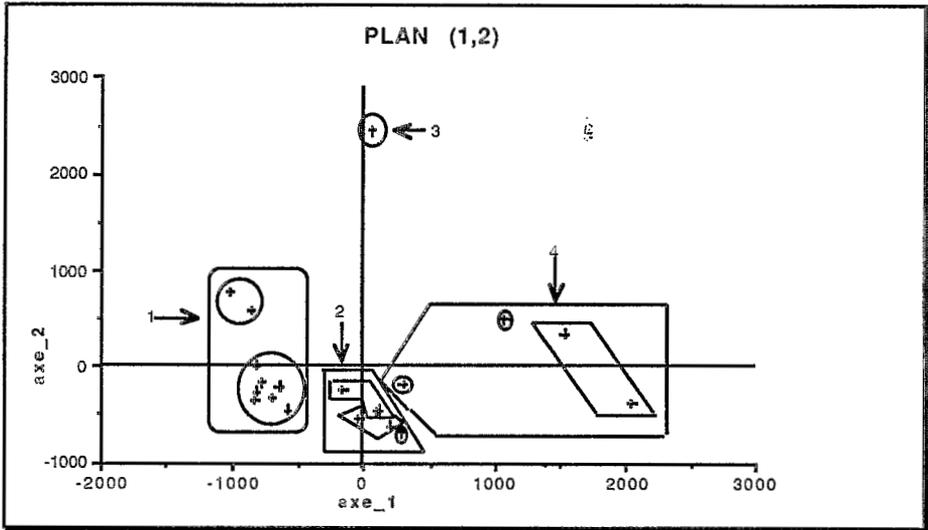


Figure 18 : Plan (1,2) - Tasseled Cap Model, canaux originaux, tous les niveaux

Les ensembles matérialisés sont ainsi constitués:

- 1 = {(1.2.2.1,1.2.2),(1.2.2.2,,1,1.1.2,1.2,1.2.1.3,1.2.1,1.2.1.2,1.2.1.1,1.2.1.4)}
- 2 = {(1.1,1.1.1,2.1.2.1),(2.1.2.2,2.1,2.1.2),(2)}
- 3 = {(1.1.3,1.1.3.0)}
- 4 = {(2.1.1),(2.2.1),(2.2,2.2.2)}

tel que les () représentent des sous-ensembles constitutifs

Ces analyses indiquent les propositions suivantes:

- P(1) = {(végétation la plus active), (végétation moins active)}
- P(2) = {(sols+végétation),(eau+végétation)}
- P(3) = {sols et phénomènes répondant au jaunissement}
- P(4) = {eau}

## V. PROPOSITIONS D'INTERPRETATION.

L'ensemble des faits ressortant des différentes phases du décodage, sont regroupés dans le tableau suivant. Les connaissances opératoires intrinsèques à la télédétection, sont appliquées à ce tableau, dans un processus de décision, pour aboutir à une proposition sur les réalités physiques des sous-systèmes.

	AFC-CAH										MONO	Cah
	Mss4	Mss5	Mss6	Mss7	SBI	GVI	YVI	DVI	IBS	IVG	Seg.	CAH
1	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	A	
2	4	4	3	2	3	2	3	2	2	2	!A	
1.1	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	A.!D.!G	
1.2	3	3		4	3-4	3-4	3-4	3	4	3	B	
2.1		4	3	3		3	3	3	2	3	!C	
2.2	4	5	1	1							!A.C	
1.1.1			3	3	3						!A!G	
1.1.2			4	4		4					!B!G	Se-M
1.1.3	5	5	5		6		5				A.!B.G	So
1.2.1	3	3	4	4		4			4		B.!H	
1.2.2				5		5		5		4	B.!H	C
2.1.1				2	2	2	2				!C.!I	Et
2.1.2			3	3		3		3		3	!C.!I	
2.2.2			1	1	1	1	1	1	1	1	!C.!J	
2.2.1	5	6	2								!A.C.J	
1.1.1.0			3	3	3						!A!G	
1.1.2.0			4	4		4					!B!G	
1.1.3.0	5	5	5		6		5				A.!B.G	
1.2.1.2		2			3					5	!B.!E.!K	
1.2.1.4	3	3	4	4			4		4		E.!K.!H	M-Se
1.2.1.1			4	4		4		4			E.!F.!H	
1.2.1.3						4				5	F.!H	
1.2.2.2									4	4	B.!L	M-Se
1.2.2.1				5	5	5					B.!L	C
2.1.1.0				2	2	2	2				!C.!I	
2.1.2.2			3	3			3				!C.!I.!M	
2.1.2.1	4	4	4	3	4	2	3				!C.!M	
2.2.1.0	5	6	2								!A.C.J	
2.2.2.0			1	1	1	1	1	1	1	1	!C.!J	

Tableau 6 : Faits et base d'interprétation

Les colonnes AFC-CAH résultent du décodage des résultats des AFC-CAH.

La colonne MONO résulte du décodage de la segmentation.

La colonne CAH résulte de l'AFC-CAH avec les thèmes de référence, son contenu joue un rôle uniquement indicatif (Se: végétation sénescente, M: végétation malade, C: végétation chlorophyllienne, Et: eau turbide).

L'interprétation de ces faits conduit aux propositions suivantes:

- autre que eau, tendance à la végétation: 1
- tendance à l'eau: 2
- tendance au sol comprenant de la végétation: 1.1
- tendance à la végétation et au sol: 1.2
- tendance à l'eau mélangée à d'autres phénomènes (sols+végétation): 2.1
- tendance à l'eau: 2.2
- végétation sénescente ou malade: 1.1.2
- sols avec de la végétation (les sols sont prépondérants):1.1.3
- végétation moyennement active: 1.2.1

- végétation très active:1.2.2
- eau: 2.1.1
- végétation en eau (l'eau est prépondérant): 2.1.2
- eau profonde: 2.2.2
- eau et sols avec présence de peu de végétation (l'eau est prépondérante): 2.2.1
- végétation couvrante (absence d'influence du sol): 1.2.1.2
- végétation jaune et brillante, influence du sol: 1.2.1.4
- végétation active: 1.2.1.1
- végétation la plus active: 1.2.1.3
- sol et végétation influençant à un même niveau: 1.2.2.2
- végétation jaune avec influence du sol: 1.2.1.1
- transition entre les sols et la végétation (faible influence réciproque): 2.1.2.2
- eau turbide jaune ou rouge: 2.1.2.1

La confrontation de ces résultats aux connaissances opératoires pour une qualification en rapport avec une problématique donnée, fait l'objet d'une autre communication. Cependant ces résultats ont été confrontés à l'un de ces types de connaissance. Ce qui a montré qu'effectivement et globalement, par exemple les sous-systèmes des niveaux 2 et 3 sont:

- 1: tout ce qui est globalement en eau
- 2: tout ce qui est globalement différent de l'eau
- 1.1: végétation de type savane, steppe herbeuse à arbustives
- 1.2: forêt plus ou moins dense
- 2.1: aires irriguées (champs, rizières...)
- 2.2: aires où l'eau domine franchement.

Les images des réalisations du modèle aux niveaux deux, trois, quatre et cinq de la hiérarchie adéquate se trouvent ci-après (images 1 à 4).

## VI. CONCLUSION.

Les connaissances potentielles que peuvent faire émerger une telle modélisation, au niveau de l'espace pris comme un système, n'ont été ici que schématiquement effleurées. Des développements détaillés auraient été nécessaires, mais auraient dépassé les limites d'un article de présentation.

Nous aimerions conclure en insistant sur le fait qu'une compréhension de l'espace, de son organisation, et de son fonctionnement en termes de constituants, de relations, d'échanges, d'évolution et de processus, peut être ici abordée. L'approche générale se veut relevant du champ de la systémique, et tend à emmener des réponses tant au niveau qualitatif, que quantitatif et spatialisé.

Il s'avère alors que la télédétection se trouve être une composante se situant de plain-pied dans certains des champs fondamentaux, et au centre de certains enjeux des développements de la recherche actuelle. Ceci que ce soit sur la compréhension des phénomènes et processus qui s'inscrivent dans l'espace et qui sont l'espace, que dans les approches et disciplines plus méthodologiques tels la modélisation, l'informatique ou la statistique.

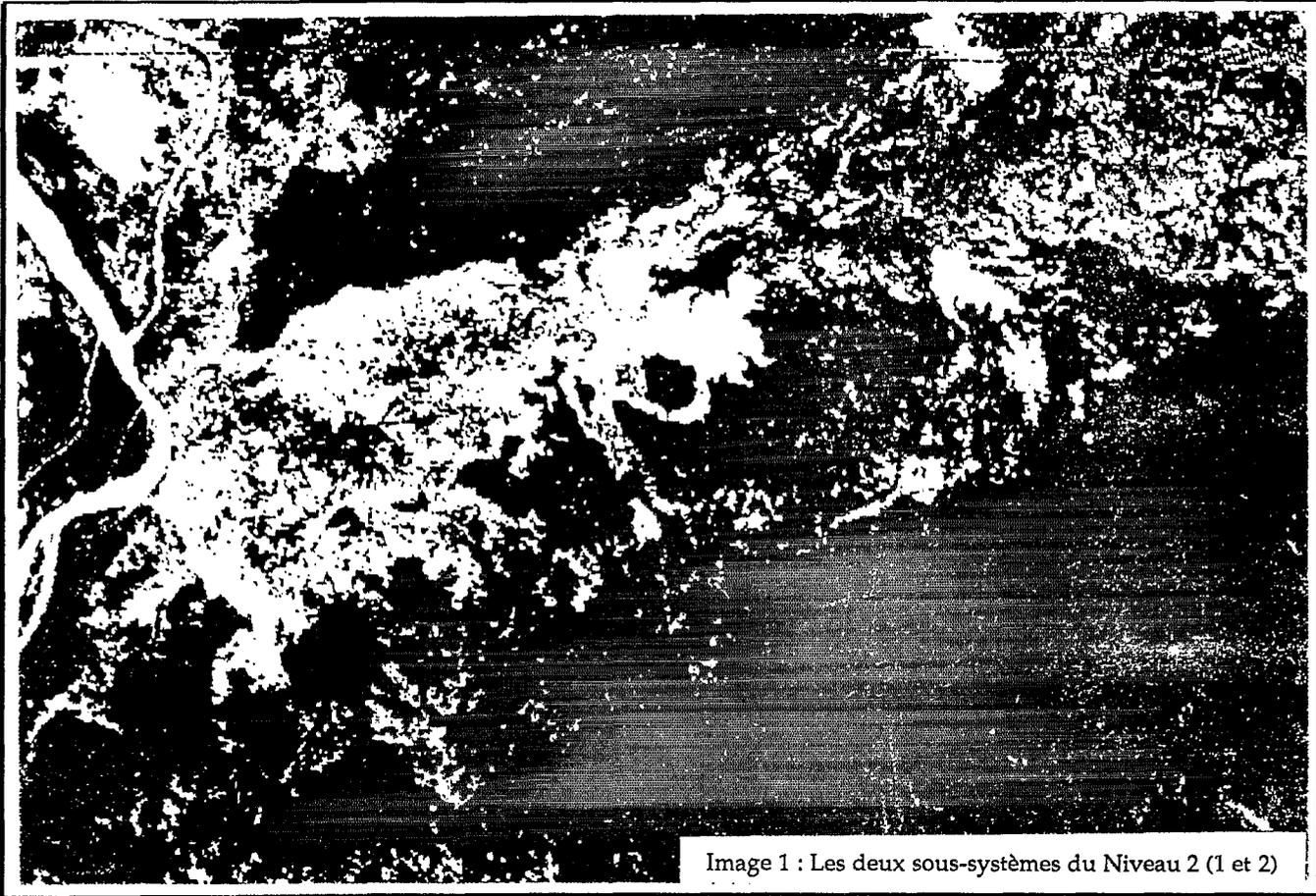
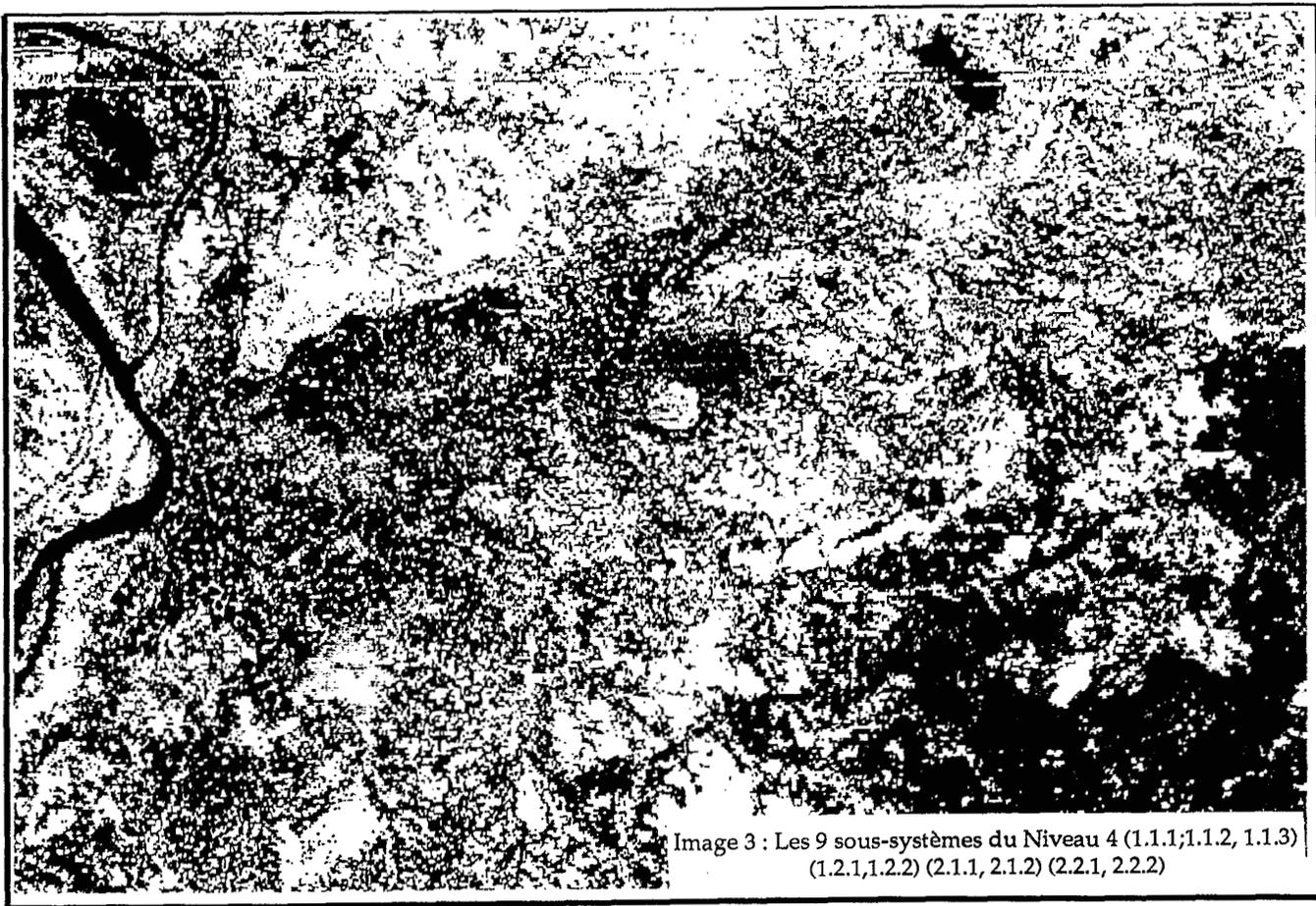


Image 1 : Les deux sous-systèmes du Niveau 2 (1 et 2)



Image 2 : Les 4 sous-systèmes du Niveau 3 (1.1, 1.2, 2.1, 2.2)





## BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIANASOLO H., Analyse statistique des données de télédétection, statistiques agricoles, application sur Madagascar. Doctorat 1987.
- BARIOU, LECAMUS, LE HENAFF. Dossiers de Télédétection - Indices de végétation. Centre régional de Télédétection, Université de Rennes 2 Bretagne 1985.
- BENZECRI J.P.. L'analyse des données. Paris, DUNOD - 1983.
- CELEUX G., LECHEVALLIER Y.. Méthode de discrimination non paramétrique asymptotiquement efficace au sens de Bayes. Rapport de Recherche, INRIA - N° 52, 1980.
- DIU B., GUTHMANN C., LEDERER D., ROULET B.. Physique statistique. Hermann - 1989.
- EUGENE J.. Aspects de la Théorie Générale des Systèmes. Maloine - Paris - 1981.
- LEVINE, POMMEROL. Systèmes Interactifs d'aide à la Décision et Systèmes Experts. Paris - Hermes - 1989.
- PRIGOGINE I.. Physique temps et devenir. Masson - 1982.
- MICLET L.. Méthodes structurelles pour la reconnaissance des formes. Eyrolles - 1984.