



# Caractérisation et analyse de la variabilité intra-parcellaire à partir de données satellitaires SPOT -Application à la canne à sucre-

SYSTEMES  
D'INFORMATIONS  
LOCALISÉES  
POUR  
L'AMÉNAGEMENT  
DES TERRITOIRES

**Johanna Pater**

Directeur du projet :  
Tuteur SILAT :  
Rapporteurs :

Agnès Bégué (CIRAD)  
Edouard Beauvillain (E.N.S.G.)  
Philippe HUET (I.N.A.-PG-Grignon))  
José Madeira (UMR LISAH)

Novembre 2004



---

Mastère spécialisé de la Conférence des  
Grandes écoles

---

## LETTRE DE MISSION

### Organisme commanditaire

Nom : CIRAD/AMIS

Adresse : Avenue d'Agropolis 34398 Montpellier  
Cedex 5 - France

Site Web : [www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)

### Commanditaire (personne physique)

Nom : BEGUE Agnès

Fonction : responsable d'équipe

Adresse : Maison de la télédétection  
500, rue J-F. Breton 34093

MONTPELLIER Cedex 5, FRANCE

Mail :

[agnes.begue@cirad.fr](mailto:agnes.begue@cirad.fr)

### Tuteur

Nom : BEAUVILLAIN Edouard

Organisme : ENSG

Adresse : 6-8, avenue Blaise-Pascal, Cité

Descartes, Champs- sur-Marne

77455 Marne la Vallée cedex 2

Mail : [Beauvillain@ensg.ign.fr](mailto:Beauvillain@ensg.ign.fr)

### Rapporteurs

Nom : HUET Philippe

Organisme : I.N.A-PG-Grignon

Adresse

Mail : [huet@grigono.inra.fr](mailto:huet@grigono.inra.fr)

Nom : Madeira José

Organisme : UMR LISAH

Adresse :

Mail : [madeira@ensam.inra.fr](mailto:madeira@ensam.inra.fr)

### Titre

Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la sole cannière en Guadeloupe et île Maurice.

### Présentation

Le projet SILAT s'inscrit dans le cadre du projet SUCRETTE (SUIvi de la Canne à suCRE par TélédéTEction) qui a pour objectif d'élaborer des produits d'aide à la décision (mise à jour du parcellaire, suivi des interventions culturales, caractérisation de la variabilité spatiale, estimation de la production), issus de l'imagerie spatiale, pour la filière canne à sucre.

Le projet de six mois qui m'a été confié concerne la caractérisation de la variabilité spatiale et il présente deux volets principaux :

1) Mise en place d'une méthodologie basée sur le traitement d'images et l'analyse spatiale afin de caractériser les variabilités intra- et inter-parcellaire rencontrées en deux sites distincts : Guadeloupe et île Maurice.

2) Proposition de pistes de diagnostic agronomique pouvant expliquer la variabilité spatiale, précédemment mise en évidence. Ces propositions se baseront sur une étude diachronique : la composante intra-annuelle sera analysée à partir de séries temporelles fines (acquisition mensuelles) d'images SPOT 4 et 5 qui sont d'ores et déjà à notre disposition ou en cours d'acquisition et la composante inter-annuelle sera étudiée par l'utilisation d'images d'archives. Des données de terrain concernant essentiellement la profondeur du sol seront également disponibles pour le site de Guadeloupe et peut être à Maurice.

Au cours du projet, des produits de démonstration (cartes) devront être élaborés en partenariat avec l'équipe informatique du laboratoire, afin d'être présentés, par la suite, aux acteurs de la filière. Les logiciels utilisés pour cette étude seront ERDAS, ArcView mais il est aussi envisagé de tester un logiciel d'analyse spatiale adapté à l'agriculture : Mapcalc. Enfin la rédaction d'un rapport méthodologique et de fiches techniques concernant l'élaboration et l'utilisation des produits finalisera le projet.



# Sommaire

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. Introduction.</b>                                                  | <b>4</b>  |
| <b>A. Le contexte : le projet SUCRETTE</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>B. Les objectifs du projet SILAT</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>C. L'agriculture de précision et la télédétection</b>                 | <b>4</b>  |
| <b>D. Quelques précisions sur la canne à sucre</b>                       | <b>5</b>  |
| 1) Caractéristiques biologiques et conduite culturale                    | 5         |
| 2) Les facteurs de variabilité spatiale de la canne                      | 6         |
| <b>II. Matériels et méthodes</b>                                         | <b>7</b>  |
| <b>A. Les sites d'étude</b>                                              | <b>7</b>  |
| 1) La plantation de Gardel                                               | 7         |
| 2) La plantation de Médine                                               | 7         |
| <b>B. Les données</b>                                                    | <b>8</b>  |
| 1) Les données satellitaires SPOT                                        | 8         |
| 2) Les données sur le sol                                                | 8         |
| 3) Autres données :                                                      | 9         |
| <b>C. Le traitement des données</b>                                      | <b>9</b>  |
| 1) Choix des parcelles étudiées                                          | 9         |
| 2) Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle intra-parcellaire | 10        |
| 3) Mise en relation des cartes de variabilité avec les données externes  | 12        |
| <b>III. Résultats</b>                                                    | <b>14</b> |
| <b>A. Caractérisation de la variabilité intra-parcellaire</b>            | <b>14</b> |
| 1) Etude monotemporelle :                                                | 14        |
| 2) Etude multitemporelle                                                 | 15        |
| 3) Les facteurs explicatifs de la variabilité                            | 18        |
| 4) Les données descriptives                                              | 20        |
| <b>IV. Synthèse et discussion</b>                                        | <b>21</b> |

## I. INTRODUCTION.

---

### A. LE CONTEXTE : LE PROJET SUCRETTE

---

La filière canne à sucre de l'Union Européenne connaît actuellement une période délicate. En effet, suite au constat d'une surélévation des prix par rapport au marché mondial (3 fois supérieur), du manque de concurrence de la filière et de l'impact de l'exportation des surplus sur la production des pays en voie de développement, la Commission européenne prévoit une réforme qui consiste à réduire les quotas et à supprimer certains financements. Par conséquent, l'augmentation de la rentabilité par réduction des coûts et l'amélioration de la gestion de la filière constituent des enjeux importants pour la viabilité de la filière entière.

C'est dans ce contexte que fut lancé le projet SUCRETTE (SUivi de la Canne à suCRE par TélédéTEction) qui a pour objectif global de « **développer de nouveaux produits spatiaux et un prototype de système d'information pour l'aide à la gestion de la filière canne à sucre** » (rapport sur sucrette, prendre les ref). Initié par le CIRAD-AMIS (laboratoire GEOTROP), commanditaire aussi du projet SILAT faisant l'objet de ce rapport, SUCRETTE réunit aujourd'hui le CIRAD Montpellier, le CIRAD Réunion, le CIRAD Guadeloupe, SPOT IMAGE et le MSIRI (Mauritius Sugar Industry Research Institute).

Lors de l'analyse des besoins, il a été mis en évidence un certain nombre d'attentes de la part de la filière canne à sucre, parmi lesquelles : **l'aide au suivi agronomique de la canne grâce à une meilleure connaissance de l'hétérogénéité intra-parcellaire**. Le projet SILAT, présenté ici, s'inscrit dans cette optique.

### B. LES OBJECTIFS DU PROJET SILAT

---

Initialement, ce projet devait porter sur l'étude des variabilités spatiales intra- et inter-parcellaire existantes au niveau d'une sole cannière\* (définition de la sole cannière en bas de page)(voir lettre de mission) mais les objectifs ont été redéfinis et seule la **variabilité intra-parcellaire** a été considérée.

Ainsi les objectifs finaux du projet ont été les suivants :

- Elaborer une ou plusieurs méthodes de caractérisation de la variabilité spatiale du couvert cannier à l'échelle de la parcelle agronomique (unité spatiale caractérisée par la mise en œuvre d'un itinéraire technique unique). L'originalité de l'étude venant du fait que l'accent sera mis sur le traitement de l'information en multitemporel.
- Comprendre l'origine de cette variabilité grâce à l'étude de données annexes
- Proposer à l'exploitant une représentation synthétique de cette variabilité.

Autrement dit, le but est de mettre au point une méthode de représentation simplifiée de la variabilité spatio-temporelle, sous forme de cartes, et de donner des pistes sur les facteurs en cause. La méthodologie sera essentiellement basée sur le traitement et l'analyse de séries temporelles d'images satellitaires SPOT, selon une approche totalement exploratoire, aucun article concernant une étude similaire n'ayant été trouvé.

### C. L'AGRICULTURE DE PRECISION ET LA TELEDETECTION

---

Le projet présenté ici s'inscrit dans une démarche d' **Agriculture de Précision** (*Precision Farming*), grâce à l'utilisation de la télédétection.

Ce concept, formulé pour la première fois dans les années 1980 (Jackson,1984; Jhoty,2001; Zhang *et al.*,2002; Guénette,2003; Jhoty and Autrey,?) peut se résumer ainsi : « **effectuer la bonne intervention, au bon endroit et au bon moment** ». Le principe consiste donc à gérer la variabilité des cultures à un niveau inférieur à celui de la parcelle c'est à dire de considérer la

variabilité spatiale intra-parcellaire, l'objectif recherché étant « d'améliorer la productivité des parcelles par une plus grande efficacité des pratiques culturales et de l'utilisation des intrants tout en respectant mieux l'environnement » (Brisco *et al.*,1998; INRA-Cemagref-ITCF,1999; Wang,2001; Zhang *et al.*,2002; CRAAQ,2003; Davis *et al.*,?).

Le développement de l'Agriculture de Précision est intimement lié au développement parallèle de nouvelles technologies permettant de détecter et traiter cette variabilité intra-parcellaire au niveau de grandes exploitations (Thevenet,1997; Davis *et al.*,?; McLaughlin,?). Ces innovations, produits de l'âge actuel de l'information et de l'avènement de la géomatique, sont principalement : le GPS (*Global Positioning System*), les VRT (*Variable Rate Technology*), les SIG (Systèmes d'Information Géographique) ainsi que la **télédétection** aérospatiale (Boisgontier,1997b; Wang,2001; Zhang *et al.*,2002; Davis *et al.*,?).

Des produits commerciaux existent déjà tels que FARMSTAR développé, entre autre, par Astrium et Arvalis ou encore SATSHOT d'Agri-imaGIS Technologies ((Site de SATSHOT,; Site sur FARMSTAR). Cependant, la méthodologie appliquée pour la réalisation de ces produits n'est jamais explicitée, il est donc difficile de s'en inspirer, si ce n'est pour la présentation cartographique.

## D. QUELQUES PRECISIONS SUR LA CANNE A SUCRE

### 1) Caractéristiques biologiques et conduite culturale

La canne à sucre (*Saccharum officinarum*) est une graminée vivace qui repousse spontanément après chaque récolte. Elle est peu exigeante en matière de sol et d'intrants (Memento de l'agronome,1991), connaît peu de maladies mais est relativement sensible au stress hydrique.

Après 7 à 8 repousses, le rendement diminue, il faut donc replanter. Ainsi les planteurs renouvellent environ 10 à 15% des parcelles de leur exploitation, chaque année.

La récolte s'étend sur plusieurs mois et doit être réalisée au moment où la canne présente un taux de sucre maximal, c'est à dire pendant la période sèche. La coupe encore souvent manuelle tant à se mécaniser (Bégué *et al.*,2003; Catsidonis,2003) mais l'organisation logistique reste lourde car une fois coupée, la canne doit être usinée dans les 24h-48h pour conserver un bon taux d'extraction du sucre.



Source :  
[http://perso.wanadoo.fr/la\\_musee/lesters/canne/4.html](http://perso.wanadoo.fr/la_musee/lesters/canne/4.html)



Source : <http://www.occandimages.com/photo.php?PID=3277>

Une parcelle de canne à sucre présente un couvert très dense (entre 50 et 120 tonnes de matière fraîche par hectare) et pouvant atteindre une hauteur allant de 2 à 5 mètres. Il est ainsi généralement impossible d'observer, à partir du sol, l'état des cultures à l'intérieur des champs,



n'y même d'y pénétrer. La télédétection aérospatiale s'est donc rapidement imposée comme un outil privilégié permettant l'étude de la variabilité spatiale de la canne à sucre.

## 2) Les facteurs de variabilité spatiale de la canne

Ce sont potentiellement les mêmes facteurs que pour les autres cultures. Voici ceux les plus couramment cités dans la bibliographie (Boisgontier,1997a; Boisgontier,1997b; INRA-Cemagref-ITCF,1999; Zhang *et al.*,2002; Barnes *et al.*,2003; Neményi *et al.*,2003; Wood *et al.*,2003; Davis *et al.*,?; Jhoty and Autrey,?) :

### a) Les facteurs permanents :

La topographie (microrelief, pente, exposition) qui peut varier sur de courtes distances et créer des microclimats locaux (humidité ou sécheresse accrue).

Le sol dont les propriétés sont très souvent mises en causes dans la variabilité des rendements. On cite ainsi souvent la fertilité des sols (présence de nutriments), leur profondeur qui agit sur la réserve en eau disponible, leur texture/compaction, l'humidité présente, le pH, le taux de matière organiques, la salinité...

Les précédents culturels qui est un facteur d'origine anthropique, qui s'ajoute aux facteurs naturels. En ce qui concerne la variabilité intra-parcellaire, ils peuvent avoir leur importance : s'il y a eu remembrement parcellaire, des parcelles peuvent être composées de zones qui n'ont pas subi les mêmes traitements antérieurs (rotations culturales, travail du sol, apports d'intrants, types de cultures antérieures ...)

Les effets de bord : les conditions environnementales en bordure de champs peuvent être particulières (ensoleillements différents, vents renforcés...) induisant un développement différent de la végétation.

### b) Les facteurs variables dans le temps :

Ces facteurs, qui sont en général des anomalies au niveau des cultures, font entrer une dimension temporelle (saisonnière ou aléatoire) dans la variabilité observée et donc compliquent le système.

Les problèmes phytosanitaires, c'est à dire les invasions par des mauvaises herbes, par des insectes, par une maladie...

Les conditions climatiques particulières comme les coups de vent, les fortes pluies...

Les mauvaises pratiques culturales (mauvais travail du sol, rang trop serrés...)

Les problèmes de matériel planteuse défectueuse, sprinkler d'irrigation bouché....)

Sur le terrain, il s'agit en général d'une combinaison de plusieurs facteurs variables ou non dans le temps, par exemple le climat peut agir mais aura des effets différents selon l'état du sol, une forte pluie érodera le sol en cas de pente alors qu'elle fournirait une quantité d'eau bénéfique en zone plate.



## II. MATERIELS ET METHODES

### A. LES SITES D'ETUDE

Deux sites d'études ont été retenus pour ce projet : la plantation de Gardel en Guadeloupe et la plantation de Médine sur l'île Maurice, parce qu'ils présentent chacun des caractéristiques particulières.

#### 1) La plantation de Gardel

Située au sud-est de Grande Terre en Guadeloupe, la plantation de Gardel est la plus grande de l'île avec environ 1000 hectares de cultures (figure 1). Avec des rendements moyens en canne de 45 t/ha, la production de Guadeloupe reste limitée et en étroite corrélation avec la disponibilité en eau (Bégué *et al.*, 2003; Catsidonis, 2003).

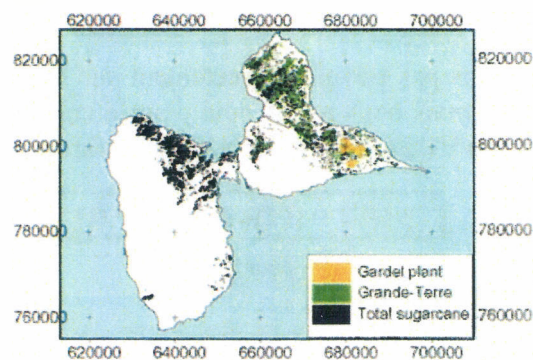


Figure 1 : La plantation de Gardel (Bégué *et al.*, 2004)

#### 2) La plantation de Médine

Située coté ouest de l'île Maurice (fig...), la plantation de Médine qui comprend environ 4700 hectares, se caractérise par des parcelles de grandes tailles, par une politique d'irrigation des cultures et de mécanisation des travaux. Les rendements moyens atteignent ainsi les 85 t/ha.

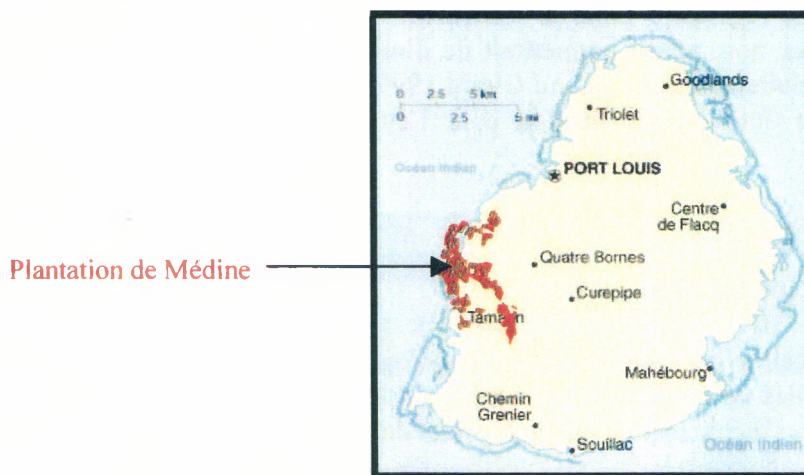


Figure 2 : la plantation de Médine (Source : <http://www.africa-onweb.com/pays/maurice/carte.htm>)

L'étude de ces 2 sites nous semblait intéressante afin déterminer si une méthodologie pouvait être appliquée sur différents sites mais aussi afin d'avoir un maximum de données à notre disposition.

## B. LES DONNEES

---

### 1) Les données satellitales SPOT

Dans le cadre du projet SUCRETTE, un grand nombre d'images satellitales SPOT 4 (capteur HRV-IR, résolution de 20 m) et SPOT 5 (capteur HRG, résolution de 10 m) ont été acquises, rectifiées et étalonnées radiométriquement. Toutefois, les fréquences d'acquisition sont différentes entre nos 2 sites d'étude.

**Pour Gardel** : 19 images multispectrales acquises entre le 19/09/2002 au 19/06/2004 (carctéristiques en Annexe 1) soit une image tous les 1 à 2 mois.°De plus, nous avons une image SPOT4 d'archive datant du 11/12/1999.

**Pour Médine** : 8 images multispectrales acquises entre le 18/07/2002 et le 14/05/2004 (carctéristiques en Annexe 2), soit en moyenne 4 par an. Sur ces 8 images seules 7 ont pu être orthorectifiées (car de niveau 1a et non 2a) et sont donc exploitables car le site présente un relief relativement important.

Pour notre étude, nous n'avons pas travaillé directement sur les 4 canaux B1, B2, B3, B4 des images multispectrales SPOT mais nous avons opté pour le calcul d'un indice de végétation : le NDVI (Normalized Difference Vegetation Indice) dont la formule est la suivante :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R})/(\text{PIR}+\text{R})$$

PIR = Réflectance dans le Proche InfraRouge soit B3 pour SPOT

R = Réflectance dans le Rouge soit B2 pour SPOT

Cet indice varie de -1 à +1 et a été codé entre -1000 et +100 pour des raisons pratiques.

L'utilisation de cet indice de végétation, un des plus couramment utilisés, présente de nombreux intérêts :

- il synthétise l'information car il a été démontré que plus de 90% de l'information sur un couvert végétal est contenue dans les canaux Rouge et Proche InfraRouge (Sheffield,1985; Catsidonis,2003).
- il est un indicateur de l'activité photosynthétique du couvert, du LAI (Fonction de la surface foliaire et de la couleur des feuilles) (Thomas *et al.*,1999)
- il serait corrélé à la biomasse végétale et donc au rendement
- l'utilisation de la différence normalisée permettrait de diminuer les effets topographiques et ceux liés aux conditions d'éclairement (Girard and Girard,1999).

Le NDVI apparaît donc un outil de prédilection pour l'étude de la variabilité spatiale des couverts végétaux.

### 2) Les données sur le sol

#### ➤ Mesures de profondeur de sol (Gardel) :

Des mesures de profondeur de sol, ont été réalisées par le CIRAD Guadeloupe de juin à septembre 2004, sur 4 parcelles de Gardel. La méthodologie utilisée appelée « méthode de résistivité électrique », détaillée en Annexe 3, permet de mesurer une grande quantité de points en peu de temps, grâce à la facilité de lecture et à la légèreté de l'appareil (Catsidonis,2004).

#### ➤ Conductivité électrique des sols (Médine) :

Pour le site de Médine, nous avons obtenu du MSIRI (Mauritius Sugar Industry Research Institute) des mesures de conductivité électrique des sols (hauteur prospectée de 0,75m )datant de 2001, pour 5 parcelles et réalisées grâce à un capteur EM38.



### 3) Autres données :

En plus des données précédemment citées, nous avons à disposition d'autres données pouvant servir de support à l'analyse :

- 2 MNT (un pour chaque site d'étude) : Le MNT de Guadeloupe est à 10 m de résolution alors que celui de l'île Maurice est à 3 m de résolution.
- 2 images multispectrales Quickbird (une pour chaque site) : avec une résolution de 2,6 mètres, ces images rendent compte de détails non visibles sur les images SPOT et constituent donc une sorte de réalité-terrain.
- des relevés de pluviométrie mensuelle pour la plantation de Gardel et journalières pour la station météorologique de Boisvin.
- des données agronomiques : dates de plantation, de coupe, irrigation...
- des mesures de rendement, réalisées par capteur embarqué, lors des coupes 2001, 2002 et 2003, sur 8 parcelles de Médine par le MSIRI. Seules 2 de ces parcelles (BA6503 et BA6201) présentent aussi des mesures de conductivité.

## C. LE TRAITEMENT DES DONNEES

### 1) Choix des parcelles étudiées

Nous avons sélectionné 2 parcelles (1 en Guadeloupe et 1 sur l'île Maurice) à partir desquelles la méthodologie de caractérisation et d'analyse de la variabilité intra-parcellaire a été élaborée. Les critères de sélection des parcelles ont été les suivants : (1) les données devaient être les plus complètes possibles, tant au niveau des données satellitales, que pour les données annexes, (2) la taille de parcelle devait être la plus importante possible pour maximiser le jeu de données.

Ainsi nous avons retenu la parcelle Sahara pour le site de Gardel (figure 3) et la parcelle BA6503 pour le site de Médine (figure 4).

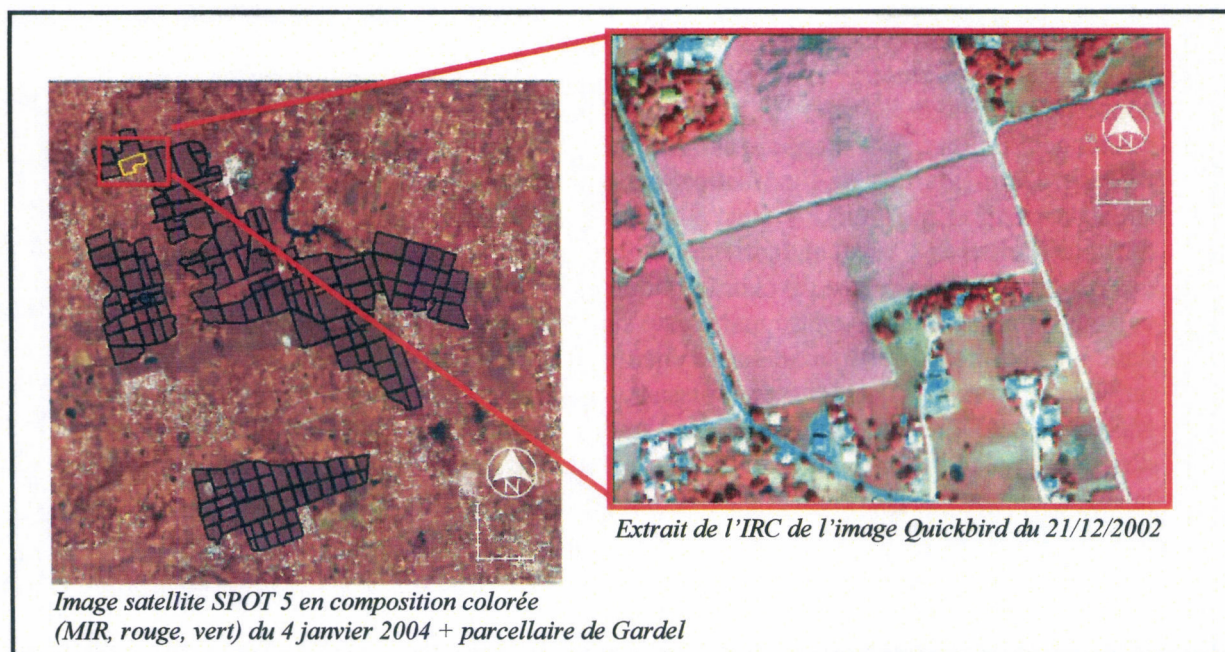


Figure 3 : localisation et aspect de la parcelle Sahara (Gardel)



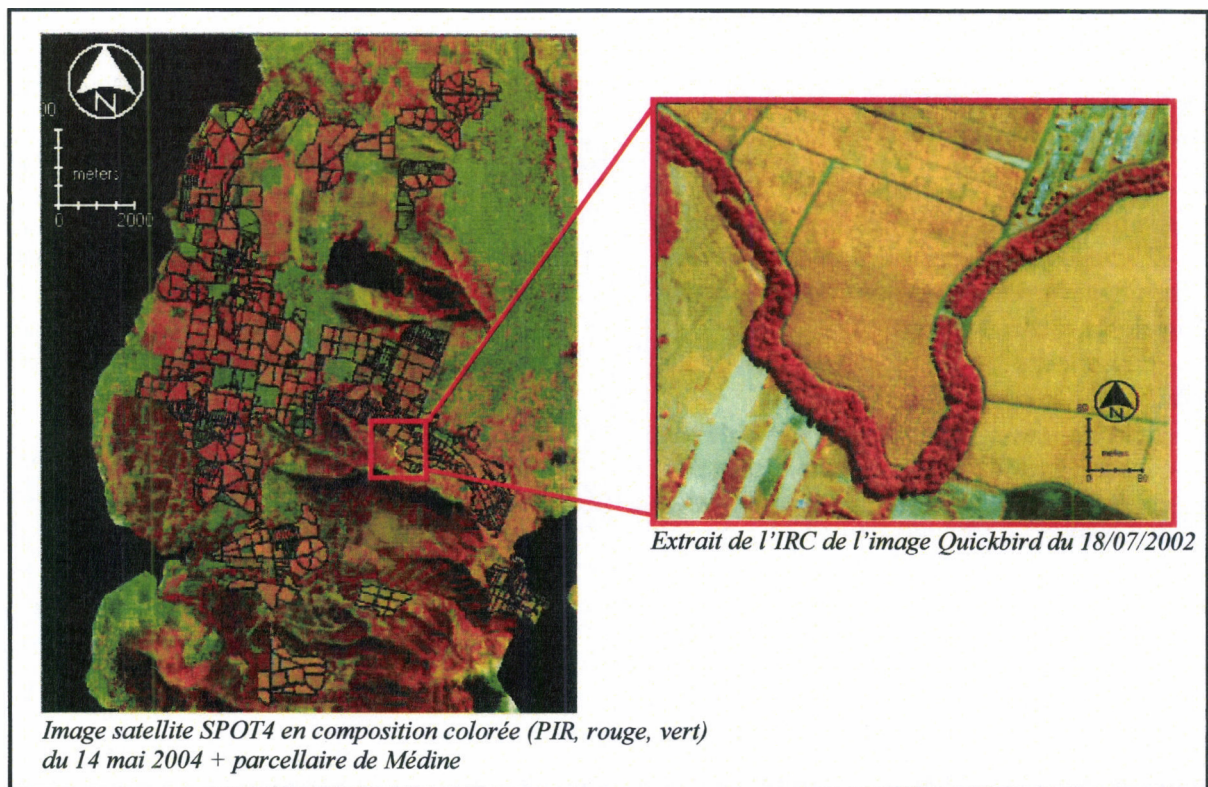


Figure 4 : localisation et aspect de la parcelle BA6503 (Médine)

## 2) Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle intra-parcellaire

### a) Préparation des images NDVI

Des pré-traitements doivent être réalisés avant de débiter l'étude de la variabilité intra-parcellaire à proprement parler. Ainsi les nuages ou leurs ombres doivent être masqués car ils perturbent la radiométrie et donc le calcul du NDVI. On attribut donc la valeur 0 aux pixels concernés et il faut éliminer les images où les parcelles étudiées sont sous les nuages. Dans les cas où seul un tout petit morceau est masqué on pourra re-découper la parcelle afin de conserver l'image. De même lors de l'extraction des parcelles du reste de la scène (fonction « *subset* » de Erdas à partir d'un AOI), il s'est avéré nécessaire d'éliminer les bords de parcelle sur une distance d'environ 1 pixel et demi car on observait des effets de bords. En effet, le comportement des pixels de cette zone se révélait atypique et il y a deux raisons possibles à cela : (1) le fichier vecteur du parcellaire peut être mal ajusté sur l'image NDVI, les pixels de bords de parcelles sont donc plus ou moins des « mixels » de chemin et de végétation (aucune réalité terrain) ou alors (2) on détecte un réel phénomène de croissance différente de la canne lorsqu'elle se situe en bord de parcelle et qu'elle est soumise à des conditions environnementales différentes (vents, entrée d'embruns, éclairage différents...). Malheureusement dans notre étude, la précision du positionnement du parcellaire sur les images n'est pas suffisante pour garantir que nous ne sommes pas dans le premier cas. Il apparaît donc important d'éliminer ces effets de bord, en réalisant une zone tampon (« *buffer* ») autour du parcellaire qui sera éliminée de la zone d'étude.

### b) Caractérisation de la variabilité spatiale à une date « t » : segmentation

Une réflexion a été menée afin de déterminer quelle méthode de segmentation de l'histogramme de chaque image était la plus judicieuse pour appréhender la variabilité intra-parcellaire à un temps « t ». En effet, la visualisation des images NDVI brutes (en noir et blanc) rend difficile l'interprétation visuelle alors qu'un traitement particulier de la palette de couleur appliquée aux données permet de mettre en évidence certaines informations ou de comparer des images entre elles. Nous avons donc testé différents types de segmentation des histogrammes :

**Segmentation « Equi-population à 5 classes »** : cette segmentation regroupe les valeurs en quintiles, 5 classes contenant chacune environ 20% du nombre de pixels.

**Segmentation « 3classes 25-50-25 »** : simplification encore accrue de l'information. Sur la base d'une segmentation en quartiles (4 classes de 25% de pixels), on a agrégé les 2 classes centrales pour obtenir la répartition suivante 25% faibles NDVI, 50% moyens NDVI et 25% forts NDVI.

**Segmentation « Equi-intervalle »** : découpage de l'histogramme en 5 classes de même intervalle de valeur entre le minimum et le maximum.

**Segmentation « Intervalle défini »** : les 3 segmentations précédentes ne permettent pas de mettre en évidence différents degrés d'hétérogénéité, en terme de nombre de classes puisque celui-ci est fixé. La segmentation en intervalle défini le permet. Un intervalle de 0,05 pour les NDVI a été choisi afin de se limiter à 15 classes, sachant que le NDVI de la canne au cours de son cycle varie entre 0,1 à 0,8.

### c) Etude multi-temporelle : caractérisation de la variabilité spatio-temporelle

#### Choix de la méthode :

Le travail réalisé dans le cadre du projet SILAT constitue une approche exploratoire de l'utilisation de séries temporelles d'images satellitaires. L'un des enjeux était donc de déterminer quelle méthode de traitement d'image permettrait d'extraire au mieux l'information n'ont pas d'une seule image mais de plusieurs, acquises à différentes dates. Ainsi trois traitements différents ont été envisagés et testés :

#### 1) Classifications non-supervisées (Isodata) sur le logiciel ERDAS

Le logiciel Erdas Imagine permet de réaliser un type de classifications non-supervisée (Isodata) ; classifications qui ont pour particularité de ne pas nécessiter d'information supplémentaire (Girard and Girard,1999). L'image à classer peut comporter un nombre illimité de canaux qui peuvent être des images NDVI acquises à des dates différentes que l'on a compilées (fonction « *layer stack* » dans Erdas). Les paramètres de la classification sont les suivants : le nombre de classes désiré, arbitrairement fixé de 2 à 7, un nombre d'itérations maximal (fixé à 30) et un seuil de convergence à partir duquel la classification s'arrête (fixé à 0,99). A chaque résultat de classification, nous avons demandé que soit créé un fichier « .sig » donnant les signatures temporelles de chaque classe (figure 5).

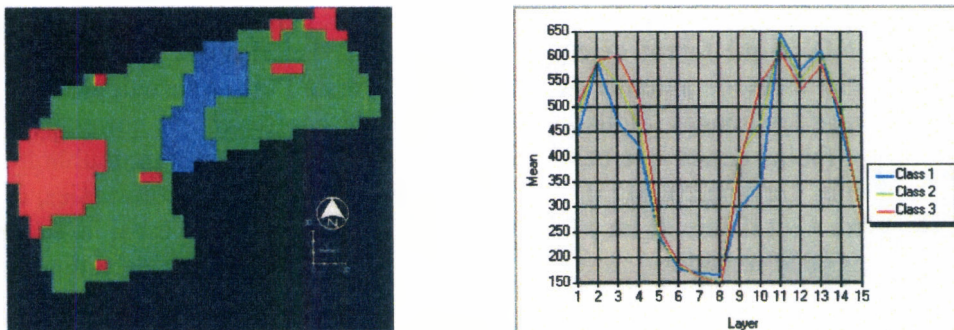


Figure 5 : résultat d'une classification non-supervisée en 3 classes sur 15 images NDVI par le logiciel Erdas et création de signatures temporelles

#### 2) Classifications non-supervisées sur le logiciel MZA

Bien que le logiciel MZA (Management Zone Analyst) soit d'une utilisation plus contraignante que le logiciel ERDAS car les fichiers en entrée et en sortie sous format texte, nous avons choisi de le tester car il présente, selon ses concepteurs (Fridgen *et al.*,2004), 2 grands intérêts par rapport au logiciel Erdas :

- 1) Il propose un diagramme de décision, basé sur le calcul de statistiques descriptives, qui permettrait de définir quel algorithme sous-jacent à la classification non-supervisée doit être



utilisé : Euclidien, Diagonal ou Mahalanobis. Dans le cas de la classification ISODATA proposé par Erdas, c'est l'algorithme Euclidien qui est utilisé; selon le logiciel MZA, dans notre cas, nous devrions plutôt utiliser l'algorithme Mahalanobis (covariances>0 et variances inégales). Nous avons choisi de tester les 2 algorithmes pour voir les différences résultantes.

- 2) Il permettrait d'évaluer objectivement le nombre de classes optimal par le calcul de 2 indices de performance : le FPI (Fuzziness Performance Index) et le NCE (Normalized classification Entropy) qui doivent alors être à leur valeur minimale.

### 3) Réalisation d'images synthèse

Une dernière méthode, alternative aux classifications non-supervisée, a été testée : nous avons réalisé des images-synthèses pour lesquelles la valeur de chaque pixel correspond soit à la moyenne des valeurs de ce pixel sur une période donnée, soit à sa médiane, soit à l'écart-type soit encore au coefficient de variation (écart-type/ moyenne).

Ceci dans le but de voir si des zones particulières se distinguaient, si elles étaient en concordance avec les résultats des classifications ou avec toute autre donnée.

La méthodologie mise en place essentiellement par étude de la parcelle Sahara, a été ensuite appliquée à la parcelle BA6503 dans la mesure des possibilités offertes par la série d'images disponibles la concernant. Les résultats obtenus ont été ensuite confrontés aux autres données en notre possession.

### Choix de la période :

Comme cela a été mentionné dans l'introduction, les facteurs potentiellement à l'origine de la variabilité d'un couvert végétal peuvent être permanents ou ponctuels dans le temps. Un des enjeux de l'étude est donc de déterminer la composante temporelle de la variabilité spatiale présente au sein d'une parcelle de canne à sucre de préjuger du type de facteurs sous-jacents.

Ainsi nous avons distingué, dans un premier temps, différentes périodes au sein de la série temporelle (étude intra-annuelle) :

- 1) L'ensemble des données
- 2) Tout un cycle cultural (de coupe à coupe)
- 3) Des phases d'un cycle cultural : phase de croissance/ phase maturation

Dans un second temps nous avons considéré des périodes d'homogénéité dans les comportements NDVI qui furent détectées tout d'abord visuellement. Ensuite, dans le but de mettre au point une méthode automatisable, nous avons testé l'utilité de calculer des coefficients de corrélation entre les images. Nous avons opté pour le coefficient de corrélation sur rang de Spearman qui est moins connu que celui de Pearson mais qui présente un double intérêt (site de l'Université Antilles Guyane, 2004) : il s'applique aux données dites non-normales, ce qui semble être le cas (annexe 4) et il détecte un plus grand nombre de corrélations car il ne se limite pas aux relations linéaires mais considère toute les corrélations dite monotones, c'est à dire croissantes ou décroissantes.

Le calcul de ce coefficient s'est fait grâce à l'extension « Xlstat » (version d'évaluation) d'EXCEL selon la méthodologie détaillée en annexe 5.

Enfin, nous avons regardé l'évolution de la variabilité spatiale sur plusieurs années (étude inter-annuelle) en comparant des images prises environ à la même date (vers le maximum annuel de NDVI) sur plusieurs années

### 3) Mise en relation des cartes de variabilité avec les données externes

#### a) Recherche de facteurs explicatifs

Les données spatialisées à notre disposition pouvant expliquer la variabilité observée sont :



-pour Sahara (Gardel) : les mesures de profondeur de sol et la topographie (MNT). Ces variables peuvent influencer le développement de la canne car elles influent sur la réserve en eau disponible, or c'est un facteur limitant en Guadeloupe.

- pour BA6503 (Médine) : la conductivité électrique qui est l'inverse de la résistivité et dont la valeur dépend de certaines propriétés du sol telles que la texture, l'humidité, la porosité, la salinité ou encore la teneur en matière organique ((Jhoty,2001; Dron,2002) et la topographie (MNT)

➤ **Préparation des données :**

Les données de profondeur de sol que nous avons sous forme de fichiers textes étaient déjà issues d'une interpolation (annexe 3) et à un pas de 10 m , nous les avons donc simplement convertit en images.

Pour les données de conductivité électrique qui étaient brutes et sous forme de fichier texte, nous avons effectué une interpolation par krigeage, puis créé les cartes de conductivité. La méthodologie est détaillée en annexe 7.

➤ **Mise en relation des données :**

Par comparaison visuelle des cartes de variabilité spatiale (résultats des classifications et images de synthèse) avec les données potentiellement explicatives, ainsi que par le calcul de coefficients de corrélation de rang de Spearman, nous avons essayé de mettre en évidence quelles variables expliquaient, du moins en partie, la variabilité spatiale intra-parcellaire.

Il est à noter que pour l'étude de la parcelle Sahara, nous avons en plus utilisé des données concernant les précipitations journalières afin de comprendre des « anomalies » repérées dans la série temporelle des NDVI.

**b) Données descriptives**

Tout d'abord les résultats observés ont été comparés avec les images Quickbird à notre disposition qui peuvent constituer une sorte de vérité terrain pour une date donnée.

Enfin nous avons profité du fait que nous avons des données de rendement pour la parcelle BA6503 pour vérifier si les images NDVI permettaient bien de prévoir globalement les zones de forte ou faible productivité lors de la coupe. Pour cela, nous avons réaliser des cartes de rendements à partir des données ponctuelles disponibles (méthodologie détaillée en annexe 7).

### III. RESULTATS

Les résultats présentés ici concernent uniquement les parcelles Sahara et BA6503, cependant des études similaires ont été réalisées sur 3 autres parcelles de Gardel et 1 autre parcelle de Médine. Ces études n'étant pas finalisées, elles feront l'objet prochainement d'une note technique à l'attention du CIRAD-AMIS ;

#### A. CARACTERISATION DE LA VARIABILITE INTRA-PARCELLAIRE

##### 1) Etude monotemporelle :

Parmi les différentes méthodes de segmentation d'histogramme testées (figure 6), celles qui se révèlent les plus intéressantes sont :

- 1) la segmentation « equi-intervalle » (« Equal range » en anglais) qui est facile à appréhender par un non-spécialiste en cartographie
- 2) les segmentations « basée sur les quantiles » où chaque classe représente un pourcentage de la surface. Dans notre étude, il s'agit des segmentations « equi-population à 5 classes » et « 3 classes 25-50-25 » qui se ressemblent énormément. Leur utilisation est à première vue moins intuitive mais le principal intérêt de ce type de segmentation vient du fait qu'il fait ressortir la variabilité quelques soient les écarts de valeur existants. Cela peut d'ailleurs devenir un inconvénient car lorsque ces écarts sont très faibles la variabilité mise en évidence peut être exacerbée. Malgré cet inconvénient, nous avons privilégié cette méthode de segmentation car c'est justement la variabilité spatiale notre objet d'étude et il vaut mieux en détecter trop que pas assez ! De plus, elle permet, de réaliser des comparaisons entre images en regardant, par exemple, s'il y a des similitudes pour les 20% de surface ayant les valeurs les plus faibles.

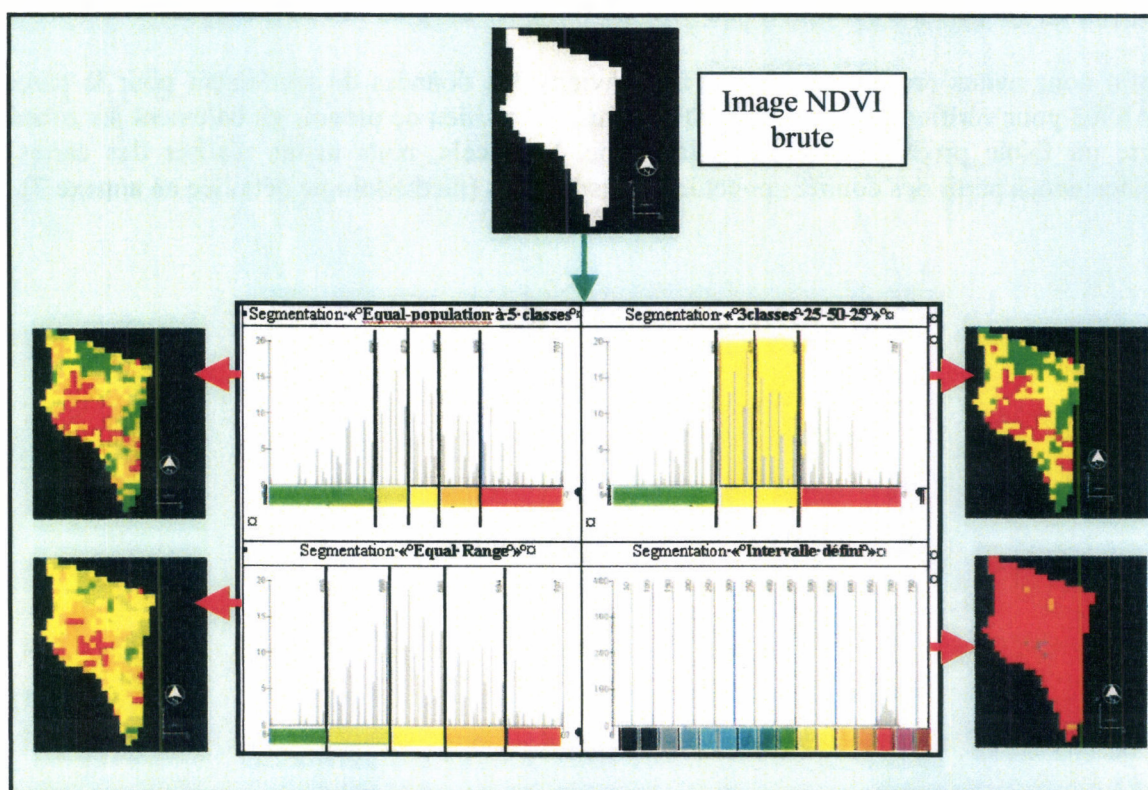


Figure 6 : Résultats des différentes segmentations d'histogramme testée sur l'image NDVI du 18/07/2002, parcelle BA6503



Par la suite, ces segmentations, nous ont permis de détecter visuellement, au sein de la série temporelle des périodes homogènes ainsi que des ruptures ou des « anomalies » (images atypiques) qu'il est intéressant d'essayer d'expliquer (figure 7). Toutefois, on se rend rapidement compte des limites d'une étude monotemporelle : la compréhension d'une image est toujours améliorée lorsqu'elle est considérée dans le contexte d'une série temporelle, de plus se baser sur une seule image fait courir le risque que celle-ci soit représentative d'un phénomène ponctuel ou seulement saisonnier. C'est ce constat qui a amené à penser qu'une analyse en multitemporelle serait plus efficace pour la caractérisation et la compréhension de la variabilité intra-parcellaire.

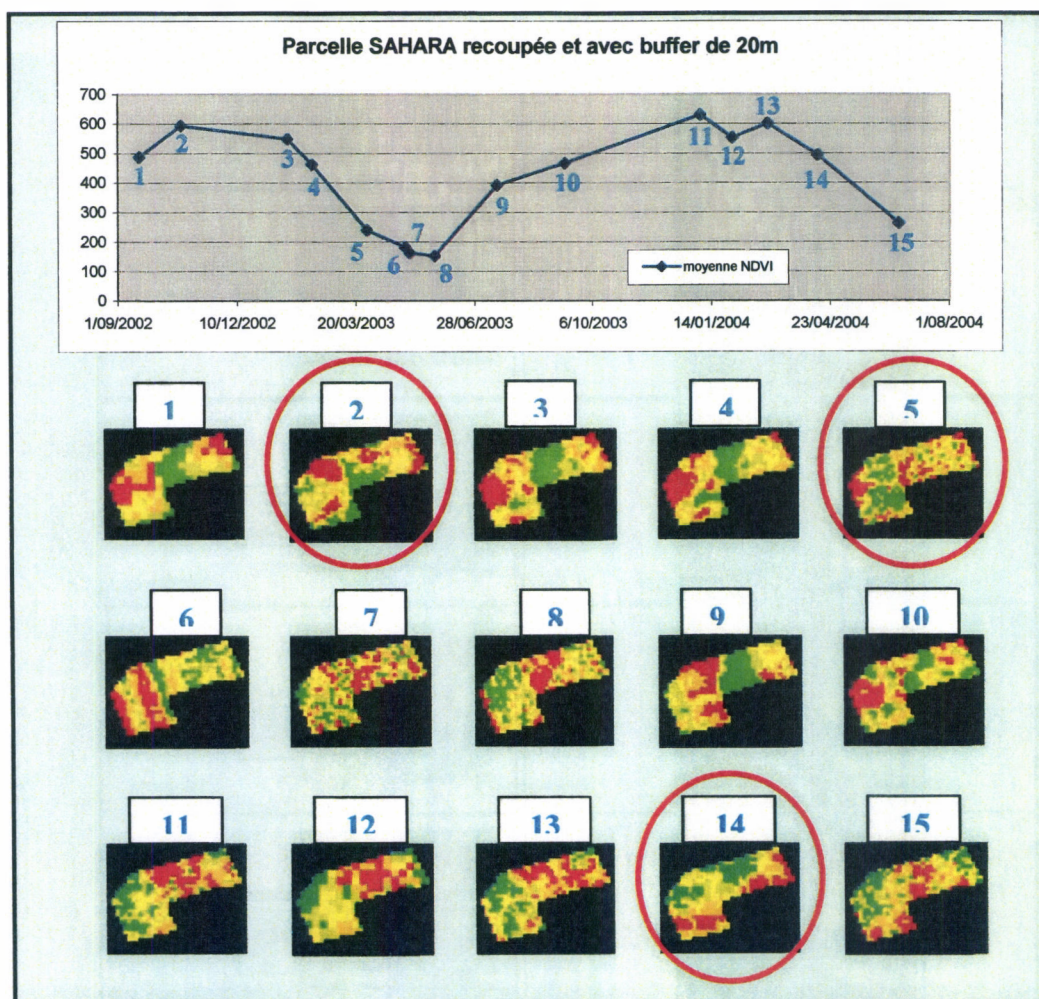


Figure 7 : Série temporelle de la parcelle Sahara après segmentation par la méthode « équi-population à 5 classes » et repérage d'images atypiques (cercleées de rouge)

## 2) Etude multitemporelle

Pour ce qui est du choix de la méthode à employer, il est difficile d'être catégorique car aucune n'est idéale.

1- Les classifications sur Erdas (figure 8) présentent l'avantage d'être facilement réalisées et de fournir les signatures temporelles ce qui permet d'attribuer une signification thématique à chaque classe. "Par contre le choix du nombre de classes est laissé à l'appréciation de l'utilisateur et nous n'avons pas d'autre choix d'algorithme que celui de l'Euclidien..



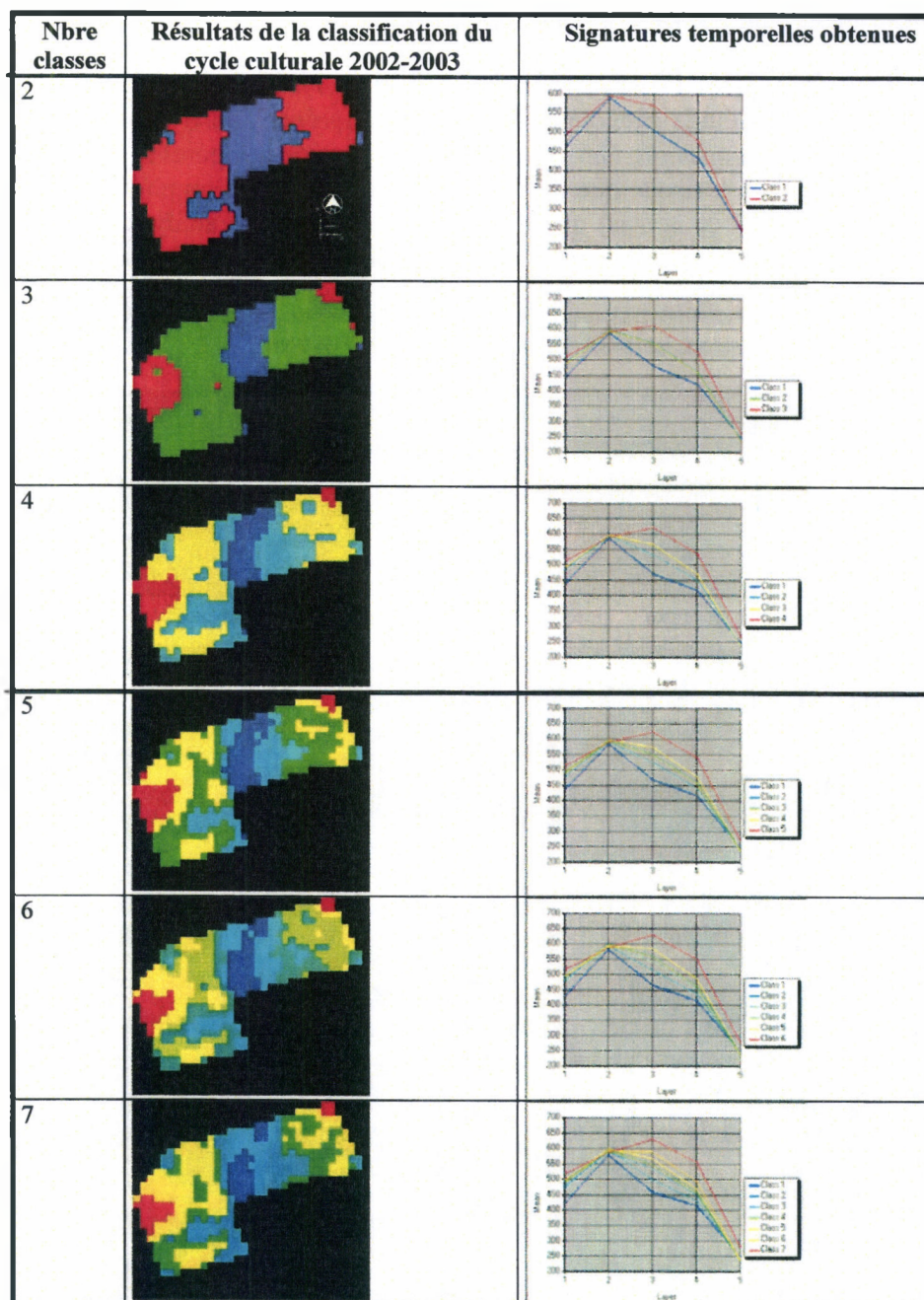


Figure 8 : Exemple de résultats obtenus par classification non-supervisée sous Erdas, cycle culturel 2002-2003 de la parcelle Sahara.

2- Les résultats concernant le logiciel MZA sont plus que réservés : comme le montre la figure 9, outre le fait, que le logiciel ne soit pas ergonomique, la détermination précise du nombre de classes optimal, qui était l'intérêt principal de la méthode, est souvent impossible, les 2 indices étant en contradiction. On remarque aussi que l'utilisation de l'algorithme Mahalanobis ou de l'Euclidien, peut beaucoup modifier les résultats et ils sont souvent moins clairs avec Mahalanobis. Enfin, dernier problème, et non des moindres : pour un même jeu de données, les résultats peuvent différer d'un essai à l'autre, il faut donc faire plusieurs essais afin de d'identifier la tendance majoritaire.

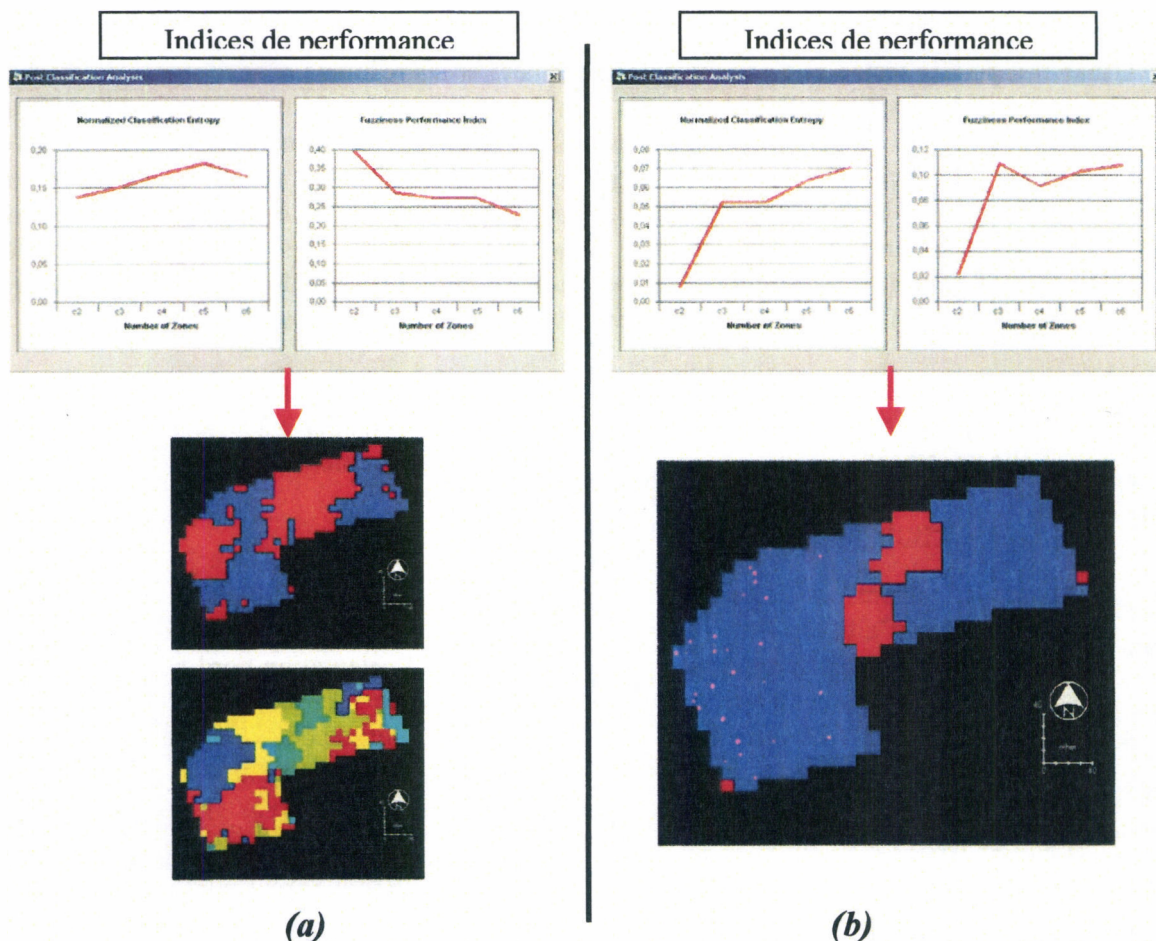


Figure 9 : résultats obtenus par le logiciel MZA, sur la parcelle Sahara pour le cycle culturel 2003-2004 **(a)** avec l'algorithme Malahanobis : pas de possibilités de conclure au nombre de classes optimal, 1<sup>er</sup> indice indique 2 et le second 6 classes, **(b)** avec l'algorithme Euclidien : nombre de classes optimal de 2.

3- Les images de synthèse donnent, dans les cas étudiés, un assez bon aperçu des résultats des classifications (figure 10), avec une tendance souvent inversée entre les résultats donnés par les images de synthèse utilisant la moyenne ou la médiane et les images de synthèse utilisant l'écart-type ou le coefficient de corrélation. Mais, cette méthode nous semble trop aléatoire dans les cas où la variabilité est extrêmement changeante.

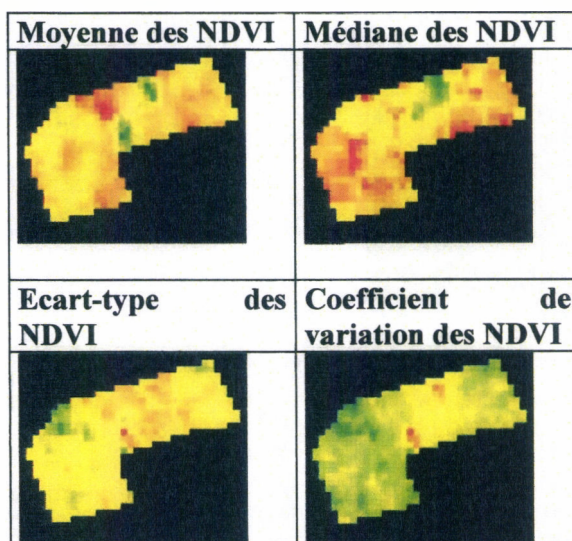


Figure 10 : images de synthèses correspondant au cycle 2003-2004 de la parcelle Sahara.



- La détection automatique de périodes homogènes par calcul de coefficients de corrélation de Spearman n'a pu être testée que pour la parcelle Sahara et les résultats sont mitigés. En effet, les corrélations sont pratiquement toutes données significatives même lorsque on ne visualise aucune ressemblance. L'image du 30/04/2003 de la parcelle Sahara illustre bien ce problème : datant du jour de coupe, elle présente une partie déjà coupée et l'autre pas encore et ne peut donc ressembler à une autre image que par hasard, pourtant elle est indiquée comme significativement corrélées à d'autres images ! On ne peut donc pas se fier au test de significativité des corrélations, par contre, pris en relatif, les coefficients de corrélation les plus élevés indiquent bien les images les plus ressemblantes. Finalement, 4 périodes, nommées P1, P2, P3 et P4.

- l'étude multitemporelle dans sa totalité a donné les résultats les plus probants pour la parcelle Sahara (annexe 8). Une zone présentant un comportement particulier a été facilement mise en évidence et elle se retrouve sur pratiquement toutes les périodes et même en inter-annuel.

### 3) Les facteurs explicatifs de la variabilité

Pour la parcelle Sahara, on remarque immédiatement visuellement que les données de profondeurs de sol et d'altitude (MNT) présentent le même motif que celui qui est récurrent au niveau des NDVI (figure 11). Il apparaît donc que cette zone d'orientation nord-sud correspond à de faibles profondeurs de sol et à une surélévation du terrain. Les coefficients de corrélation nous confirment la relation négative entre la profondeur du sol et l'altitude (-0,573) mais on peut aussi remarquer que durant la période du cycle cultural 2002-2003, les coefficients de corrélation (exceptés ceux correspondant à des images atypiques) sont les plus élevés et indiquent que les fortes valeurs de NDVI sont situés là où se trouvent les profondeurs de sol les plus élevées et les altitudes les plus faibles. Par contre durant le cycle cultural suivant cette relation s'inverse plus fréquemment indiquent que les forts NDVI se retrouvent parfois en zone de faibles profondeurs (et inversement pour l'altitude) et les coefficients de corrélation sont globalement moins élevés.

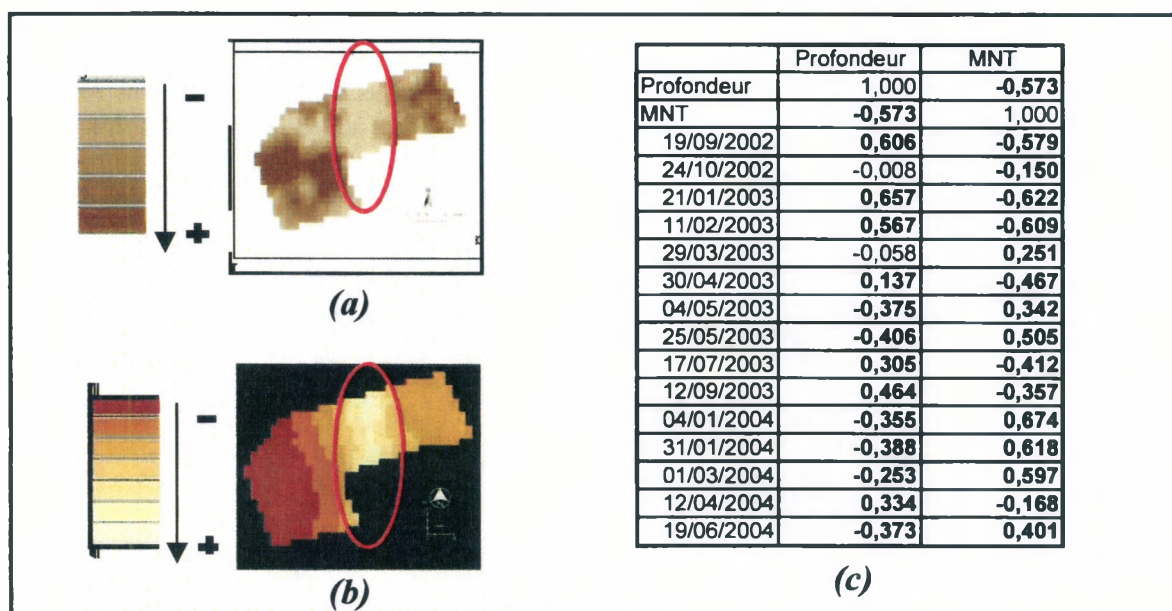


Figure 11 : (a) profondeurs du sol sur Sahara, (b) altitudes, (c) coefficients de corrélation de Spearman entre les valeurs de NDVI de chaque image, celles de profondeur de sol et celles du MNT

L'étude de la figure 12, semble fournir une explication cohérente sur les changements de signe des corrélations entre NDVI, profondeurs de sol et altitude. On remarque que le cycle cultural 2002-2003 est caractérisé par des conditions climatiques particulièrement sèches qui ont certainement demandé aux végétaux de puiser dans la réserve en eau du sol. Ainsi, aux endroits

où la profondeur du sol est faible (zones surélevées qui ont été érodées), cette réserve est limitée et les végétaux ont pu être stressés, ce qui s'est traduit par une croissance moindre et donc des NDVI plus faibles. Par contre le cycle cultural suivant, on le voit, a été beaucoup plus pluvieux, le facteur hydrique n'est donc plus déterminant ou alors il agit peut être de façon inverse : les zones les plus en hauteur (donc avec sol plus mince) sont été un peu protégées de l'excès d'eau et se sont mieux développées que celles en contrebas. Voici une explication possible de l'inversion des signes des corrélations en 2003-2004 par rapport à 2002-2003.

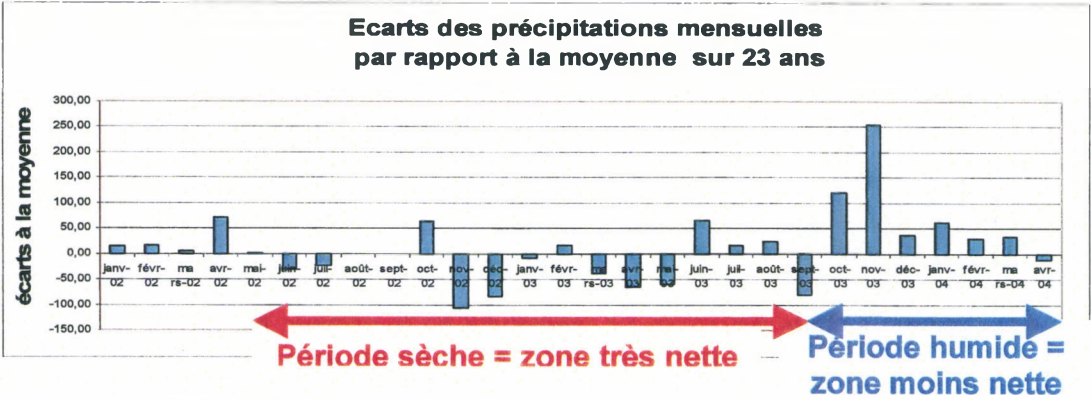


Figure 12 : Ecart des précipitations mensuelles de janvier 2002 à avril 2004 par rapport à la moyenne sur 23 ans sur la plantation de GARDEL.

Pour la parcelle BA6503, les résultats sont moins probants (figure 13) : les coefficients de corrélation calculés entre les valeurs de NDVI et les mesures de conductivité et d'altitude sont plus faibles et on n'arrive pas à identifier visuellement de zones caractéristiques communes a plusieurs données.

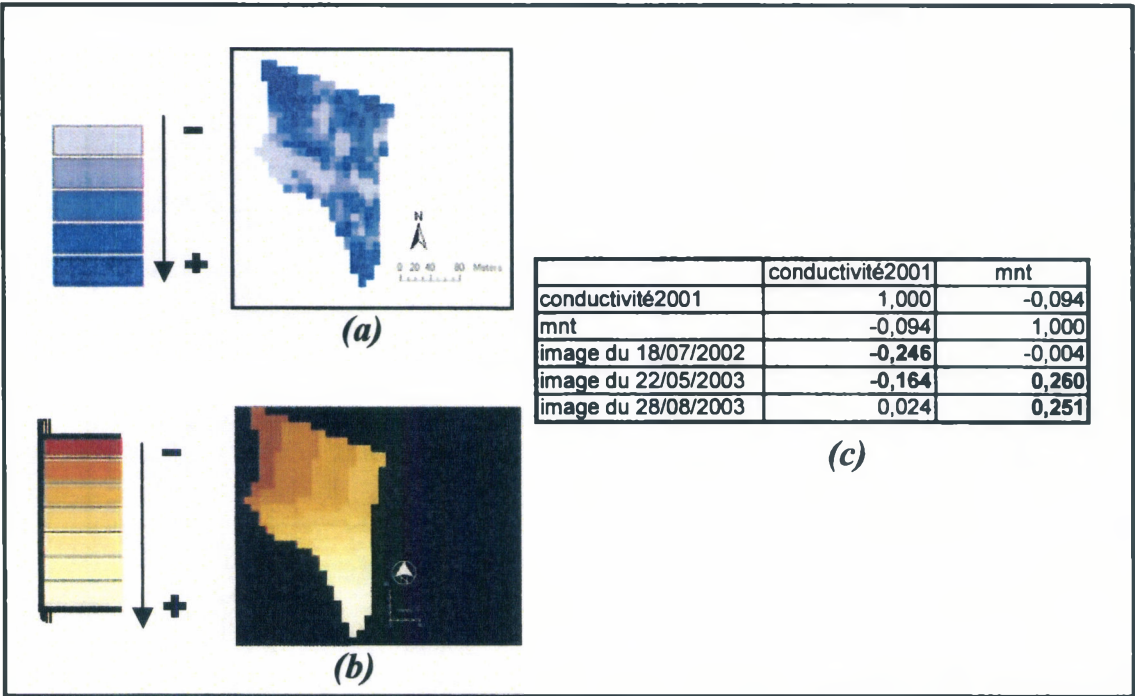


Figure 13 : (a) conductivité électrique des sols, (b) altitude, (c) coefficients de corrélation de Spearman entre les valeurs de NDVI de chaque image, celles de la conductivité électrique des sols et celles du MNT



#### a) Explication d'anomalies

Les données annexes nous ont aussi permis d'expliquer des anomalies ponctuelles repérées dans la série temporelle de la parcelle Sahara. Ainsi en étudiant le graphique des précipitations journalières du mois d'octobre 2002, il semblerait que l'image du 24/10/2002 serait atypique du fait que 2 jours auparavant un événement pluvieux (45 mm) aurait modifié transitoirement la structure de la végétation, visible par satellite.

#### 4) Les données descriptives

L'image Quickbird de Gardel du 21/12/2002, permet de distinguer parfaitement la zone mise en évidence précédemment sur Sahara où la canne se développe plus difficilement lors de périodes sèches.

Pour la parcelle BA6503, l'image Quickbird du 18/07/2002 ne permet pas de distinguer des zones de faible ou fort développement végétatif, par contre, elle nous a permis de nous rendre compte que la parcelle avait été remembrée et que le parcellaire de Médine n'était donc pas à jour.

En ce qui concerne l'étude des cartes de rendement de la parcelle BA6503 pour 2001 et 2003 (figure 14), à la question : « les variations de NDVI observées sont-elles le reflet des différences de rendement mesurées lors de la récolte ? », la réponse est plutôt positive. En effet, on retrouve, visuellement, approximativement la même zone de fortes valeurs au niveau de la pointe sud de la parcelle pour les rendements 2003 et la classification des 2 images prises cette même année. Les coefficients de corrélation entre images NDVI et rendements ne sont pourtant pas bons, surtout pour l'année 2003. La corrélation entre les 2 années de rendement est elle aussi faible (0,167).

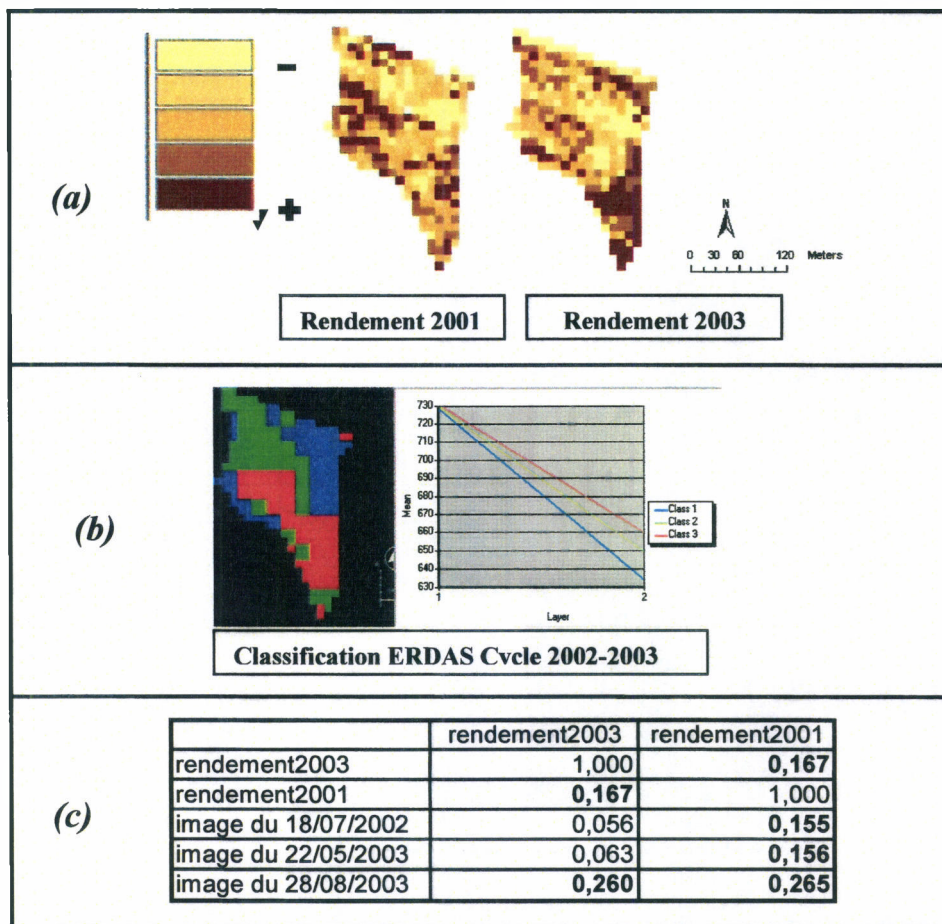


Figure 14 : (a) données de rendements, parcelle BA6503, (b) résultats de classifications, (c) coefficients de corrélation de Spearman entre NDVI et rendements

## IV. SYNTHÈSE ET DISCUSSION

L'étude monotemporelle peut se révéler intéressante lorsque l'on veut caractériser la variabilité intra-parcellaire à un moment précis : après un cyclone, une attaque parasitaire, un incendie, à une date-clé.... Par contre, faire des généralités à partir de résultats obtenus d'une seule image satellitale est dangereux car la variabilité mise en évidence peut être atypique et transitoire. La segmentation par « equi-population » des histogrammes semble être la plus indiquée dans l'étude de la variabilité spatiale de la canne à sucre. En effet, une des caractéristiques les plus importantes de cette culture réside dans le fait, qu'à un instant « t », chaque parcelle peut se trouver à un stade cultural différent, d'où la difficulté de pouvoir comparer rapidement leur variabilité intra-parcellaire. Avec cette méthode de segmentation, on s'affranchit des valeurs numériques et on ne réfléchit plus qu'en relatif : « Où se trouvent les 20 % de surfaces présentant les plus faibles NDVI ? Sont-ils toujours localisés au même endroit ? si oui pourquoi ? »

Une étude multitemporelle permet, quant à elle, de détecter une variabilité intra-parcellaire présente à plus ou moins long terme selon la période considérée. Les résultats obtenus lors de la réalisation de ce projet sont encourageants. Ainsi pour la parcelle Sahara, on a pu mettre en évidence une zone qui se dégage très nettement, qui est constante dans le temps et qui est caractérisée par des valeurs de NDVI faibles en période sèche et plutôt fortes en période humide. Elle correspond à une zone surélevée où la profondeur de sol est plus faible, sûrement à cause d'un phénomène d'érosion ; la réserve hydrique à cet endroit doit être faible ce qui implique l'apparition de conditions stressantes pour la canne à sucre lorsque les précipitations manquent et se traduit par des problèmes de croissance. Le facteur hydrique et indirectement le facteur topographique semblent donc, dans ce cas, déterminer l'essentiel de la variabilité spatiale de la canne à sucre mise en évidence. Sachant qu'en Guadeloupe, il a été démontré que le stress hydrique constitue la principale limitation au développement de la canne (Catsidonis, 2003), ces conclusions sont tout à fait réalistes.

Les résultats concernant la parcelle BA6503, située sur l'île Maurice, sont quant à eux moins probants. Si on se fie aux premiers résultats précédents obtenus sur Sahara, le fait que la parcelle soit irriguée, pourrait expliquer les faibles relations qui ont été observées. En effet, la disponibilité en eau n'est alors plus un facteur limitant et donc la variabilité intra-parcellaire peut être diminuée ou sans réelle conséquence sur le rendement. L'irrigation peut aussi expliquer la mauvaise corrélation entre la variabilité du couvert et la conductivité électrique du sol car cette mesure dépend d'un grand nombre de paramètres physiques du sol (porosité, teneur en matière organique, profondeur de la couche arable, salinité...) qui ont pour effet global d'influer sur la capacité de rétention en eau du sol. Ainsi les effets de cette variable sur la croissance ou sur le rendement devraient être significatifs qu'en cas de pénurie d'eau ce qui n'est pas le cas lorsque l'on irrigue la culture. Enfin, une dernière explication probable : la série temporelle à notre disposition était trop restreinte (3 images exploitables seulement) pour permettre de caractériser correctement la variabilité, les résultats ne sont donc peut-être pas représentatifs du comportement normal de la végétation. Cette faiblesse en images NDVI exploitables est d'autant plus regrettable que des données de rendement étaient à notre disposition et auraient pu servir à déterminer si des périodes-clés reflétaient au mieux les rendements obtenus lors de la coupe.

En ce qui concerne les 3 méthodes utilisées pour caractériser la variabilité intra-parcellaire, elles donnent des résultats comparables mais aucune ne semble totalement satisfaisante dans l'optique de mettre au point une méthodologie applicable à grande échelle, sur de nombreuses parcelles.

De plus, l'utilisation de méthodes géostatistiques telles que l'étude des semi-variogrammes pourraient améliorer la méthode car le calcul de coefficients de corrélation tels que celui de Spearman pour quantifier l'adéquation entre 2 cartes présente de sérieuses limites : les tests de significativité des corrélations sont faux car les données sont autocorrélées spatialement (communication personnelle, Bailly 2004). De plus ce type de calcul ne tient absolument pas compte du voisinage donc un simple décalage entre les images qui ne serait-ce que d'un pixel peut induire un coefficient de corrélation médiocre alors que la corrélation existe réellement.



## V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Le premier objectif de ce projet, qui s'inscrit dans une volonté de mise en œuvre opérationnelle du concept d'agriculture de précision pour la canne à sucre, était d'élaborer une méthodologie de caractérisation de la variabilité intra-parcellaire du couvert végétal à partir de séries temporelles d'images satellitaires SPOT. Après avoir tester différentes méthodes de segmentations d'histogrammes pour l'étude monotemporelle, image par image, qui s'est révélée nécessaire pour bien appréhender les données, l'étude a consisté à tester différents traitements susceptibles de permettre une étude multitemporelle. Cette démarche consistant à extraire l'information d'une série chronologique d'images plutôt que d'une seule image, est actuellement encore largement exploratoire, aucune bibliographie n'y faisant référence pour l'étude de la végétation. Nous avons donc tester 3 méthodes différentes (1) classifications non-supervisées par le logiciel Erdas avec création de signatures temporelles, (2) classifications non-supervisées avec choix de l'algorithme et calcul d'indices permettant de définir le nombre de classes optimal avec un logiciel appelé MZA (Managment Zone Analyst) et (3) création d'images-synthèse. Chacun de ces 3 traitements s'est révélé apte à caractériser la variabilité intra-parcellaire à partir de séries temporelles mais chacun ayant ses points faibles ce n'est qu'en les associant entre eux ou avec des données externes qu'on peut acquérir une relative certitude de la validité des résultats.

Le second objectif consistait à comprendre l'origine de cette variabilité intra-parcellaire. Nous avons donc répertorié les facteurs susceptibles d'avoir des effets permanents ou non sur la croissance de la canne, nous avons récupéré le maximum de données s'y rapportant, si possible sous forme de cartes et nous avons tenté d'établir, de quantifier les relations existantes.

Une des deux parcelles étudiées, située en Guadeloupe, présente une variabilité spatiale très nettement dépendante du facteur hydrique. Pour l'autre parcelle, situé à l'île Maurice, les facteurs en cause n'ont pas pu être identifiés. Il est bien sûr prématuré de faire des généralités uniquement à partir de l'étude de 2 parcelles, mais les résultats obtenus sont encourageants, c'est pourquoi d'autres parcelles présentant des caractéristiques différentes sont déjà en cours de d'étude. Néanmoins, il faut avoir conscience qu'actuellement la méthode demande un investissement en temps trop important pour être généralisable à l'ensemble des parcelles d'une plantation et qu'elle n'est donc pas opérationnelle. La prochaine étape va donc tout d'abord consister à présenter ses premiers résultats aux utilisateurs potentiels de cartes de variabilité intra-parcellaire afin qu'ils nous fassent part de leurs avis et de leur intérêt concernant la méthode.

# Bibliographie

- Barnes, E. M., *et al.* (2003). "Remote- and ground-Based sensor techniques to map soil properties." *PE&RS* **69**(6): 619-630.
- Bégué, A., *et al.* (2004). "Application of remote sensing technology to monitor sugar cane cutting and planting in Guadeloupe (French West Indies)."
- Bégué, A., *et al.* (2003). Analyse de l'existant et des besoins des utilisateurs à Maurice, La Réunion, et Guadeloupe. rapport d'étape SUCRETTE, avril 2003, 36 pp
- Prendre en compte l'hétérogénéité des parcelles, *Perspectives agricoles*. **222**: 20-22.
- Hétérogénéités : comment les déceler ?, *Perspectives agricoles*. **222**: 14-19.
- Brisco, B., *et al.* (1998). "Precision agriculture and the role of remote sensing : a review." *Canadian Journal of Remote Sensing* **24**(3): ?
- Catsidonis, S. (2003). Caractérisation de la production cannière par télédétection. Université Paris VII. DESS "Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zone tropicale". 60 p.
- Catsidonis, S. (2004). Méthodologie de mesures de profondeur de sol en Guadeloupe. Rapport interne CIRAD Guadeloupe, 3 p
- La géomatique appliquée à l'agriculture de précision, *Publication Vu* **067**.
- Precision agriculture : an introduction, consulté le 16/06/04,  
<http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>
- Dron, C. (2002). Expertise agronomique dans le cadre de l'agriculture de précision-Conditions de faisabilité et contributions méthodologiques à sa mise en oeuvre. Rapport professionnel. Mastère SILAT, Novembre 2002, 21 p.
- Fridgen, J. J., *et al.* (2004). "Management Zone Analyst (MZA) : software for subfield management zone delineation." *Agron.J.* **96**: 100-108.
- Girard, M. C. and C. Girard (1999). Traitement des données de télédétection. Dunod, 529 p
- Guénette, C. (2003). Evaluation du potentiel de l'infrarouge spectral pour la détection hâtive du stress nutritif des les végétaux de grandes cultures. Faculté des études supérieures de l'Université Laval,
- L'enjeu français de l'agriculture de précision - Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants, consulté le 22/04/04,  
<http://www.inra.fr/actualites/DOSSIERS/DOC/agrip/dosagpl.pdf>
- Jackson, R. D. (1984). "Remote sensing of vegetation characteristics for farm management." *SPIE* **475**: 81-96.
- Jhoty, I. (2001). La cartographie de rendement : une approche stratégique pour améliorer la production. Mauritius Sugar industry Research Institute (MSIRI), 30 octobre 2001, 22 p.



Precision agriculture- Perspectives for the mauritian sugar industry, consulté le 08/06/04,  
<http://www.uom.ac.mu/Faculties/foa/AIS/AMAS98/DOCS99/11%20PreciAgriculture.doc>

Agriculture de précision, consulté le 23/04/04,  
[http://res2.agr.gc.ca/ecorc/section3/precision\\_e.htm](http://res2.agr.gc.ca/ecorc/section3/precision_e.htm)

Memento de l'agronome (1991). Ministère de la coopération et du développement. 4ème édition.  
Paris, 1635 p.

Neményi, M., *et al.* (2003). "The role of GIS and GPS in precision farming." *Computers and electronics in agriculture* **40**: 45-55.

Sheffield, C. (1985). "Selecting band combinations from multispectral data." *Photogrammetric engineering and remote sensing* **51**(6): 681-687.

site de l'Université Antilles Guyane, consulté le 15/08/2004,  
<http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/stat/stat.htm>

Site de SATSHOT, consulté le 15/06/2004,  
[www.satshot.com](http://www.satshot.com)

Site sur FARMSTAR, consulté le 15/06/2004,  
[www.spotimage.fr/ 55\\_138\\_621 .php](http://www.spotimage.fr/55_138_621.php)

Quels enjeux pour l'agriculture de précision, *Perspectives agricoles*. **222**: 4-7.

Thomas, *et al.* (1999). The development of remote sensing based products in support of precision agriculture '99. Sheffield academic Press: 191-200.

Wang, M. (2001). "Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium." *Computers and electronics in agriculture* **30**: 45-50.

Wood, G. A., *et al.* (2003). "Calibration methodology for mapping within-field crop variability using remote sensing." *Biosystems engineering* **84**(4): 409-423.

Zhang, N., *et al.* (2002). "Precision agriculture- a worldwide overview." *Computers and electronics in agriculture* **36**: 113-132.

# Annexe 1

## Caractéristiques de la série temporelle d'images pour la Guadeloupe

| GUADELOUPE                                                                                   |                      |        |                |                    |           |                       |                   |                 |             |        |        |        |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|----------------|--------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| Date                                                                                         | Satellite (capteur)  | Niveau | Incidence R(°) | Soleil (elevation) | Azimuth N | Qualité               | Orientation angle | Diff. Azimutale | Angle phase | XS1    | XS2    | XS3    | XS4     |
| Image QuickBird 21/12/2002 P et XS 2a OK                                                     |                      |        |                |                    |           |                       |                   |                 |             |        |        |        |         |
| Archive SPOT 11/12/1999 4 (1) 2a 2a 150,5 45,2 -29,7 8 52,5 34,0 0,7090 1,2881 0,8590 9,0180 |                      |        |                |                    |           |                       |                   |                 |             |        |        |        |         |
| 1                                                                                            | Prog SPOT 12/07/2002 | 5 (2)  | 2a             | 69,8               | 70,0      | PIR sature/MIR sature | 74,0              | -94,0           | 21,2        | 2,4325 | 2,4571 | 4,2000 | 15,0177 |
| 2                                                                                            | Prog SPOT 19/09/2002 | 4 (2)  | 2a             | 6,9                | 127,8     | OK                    | 9,3               | -151,5          | 29,0        | 1,3545 | 1,7627 | 1,2735 | 8,1911  |
| 3                                                                                            | Prog SPOT 24/10/2002 | 5 (2)  | 2a             | -6,8               | 143,3     | OK (Read block error) | 73,8              | -20,5           | 31,7        | 1,3628 | 1,7846 | 2,4352 | 9,8875  |
| 4                                                                                            | Prog SPOT 06/12/2002 | 4 (1)  | 2a             | 5,8                | 155,9     | OK                    | 9,3               | -123,4          | 46,3        | 1,4329 | 1,8185 | 1,2457 | 9,0435  |
| 5                                                                                            | Prog SPOT 21/01/2003 | 5 (2)  | 2a             | -16,5              | 145,7     | Brune                 | 12,41             | 43,3            | 32,9        | 1,0410 | 1,3438 | 1,7671 | 6,8353  |
| 6                                                                                            | Prog SPOT 11/02/2003 | 5 (2)  | 2a             | -23,5              | 138,5     | OK                    | 12,2              | 36,3            | 24,5        | 1,0032 | 1,2995 | 1,8358 | 8,3357  |
| 7                                                                                            | Prog SPOT 29/03/2003 | 5 (2)  | 2a             | 7,0                | 122,2     | OK                    | 12,95             | -160,7          | 30,4        | 1,0032 | 1,2995 | 1,8358 | 8,3357  |
| 8                                                                                            | Prog SPOT 30/04/2003 | 5 (1)  | 2a             | -23,5              | 89,7      | OK                    | 12,2              | -10,4           | 4,6         | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 9                                                                                            | Prog SPOT 04/05/2003 | 5 (1)  | 2a             | 22,1               | 90,1      | OK                    | 13,3              | -193,2          | 37,1        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 10                                                                                           | Prog SPOT 25/05/2003 | 5 (1)  | 2a             | 14,6               | 71,5      | OK                    | 13,2              | -211,6          | 30,0        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 11                                                                                           | Prog SPOT 17/07/2003 | 5 (1)  | 2a             | -25,1              | 66,5      | OK                    | 12,2              | -29,0           | 11,9        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 12                                                                                           | Prog SPOT 17/07/2003 | 4 (2)  | 2a             | 27,5               | 72,4      | Erreur SI             | 10,1              | -210,3          | 43,5        | 1,3545 | 1,7627 | 1,2735 | 8,1911  |
| 13                                                                                           | Prog SPOT 12/09/2003 | 5 (1)  | 1a             | -17,6              | 117,3     | OK                    | 12,4              | 14,9            | 8,0         | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 14                                                                                           | Prog SPOT 15/11/2003 | 4 (1)  | 2a             | -24,8              | 50,7      | OK                    | 8,2               | 52,4            | 30,2        | 1,4328 | 1,8185 | 1,2457 | 9,0435  |
| 15                                                                                           | Prog SPOT 04/01/2004 | 5 (1)  | 1a             | -2,2               | 151,0     | OK                    | 12,7              | 48,4            | 42,7        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 16                                                                                           | Prog SPOT 31/01/2004 | 4 (1)  | 1a             | 13,4               | 146,9     | OK                    | 9,5               | -132,6          | 49,7        | 1,4329 | 1,8185 | 1,2457 | 9,0435  |
| 17                                                                                           | Prog SPOT 01/03/2004 | 5 (1)  | 1a             | 5,8                | 135,5     | OK                    | 12,9              | -147,4          | 37,5        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 18                                                                                           | Prog SPOT 12/04/2004 | 5 (1)  | 1a             | -10,5              | 107,4     | OK                    | 12,6              | 4,9             | 11,7        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 19                                                                                           | Prog SPOT 27/04/2004 | 5 (1)  | 1a             | 13,3               | 95,8      | OK                    | 13,2              | -187,6          | 30,4        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |
| 20                                                                                           | Prog SPOT 19/06/2004 | 5 (1)  | 1a             | -24,9              | 68,0      | OK                    | 12,2              | -34,2           | 13,8        | 1,0605 | 1,2653 | 1,8716 | 8,3337  |

image inexploitable pour notre étude  
image exploitable



# Annexe 2

## Caractéristiques de la série temporelle d'images pour l'île Maurice

| Coefficients stationnement absolu (M-1, m 2, r, f) |            |                     |        |             |                   |         |                      |                   |                 |             |        |        |         |         |         |
|----------------------------------------------------|------------|---------------------|--------|-------------|-------------------|---------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| M4AURICE                                           | Date       | Satellite (capteur) | Niveau | Vises Re(-) | Solai (élévation) | Azimuth | Qualité              | Orientation angle | Diff. Azimutale | Angle phase | XS1    | XS2    | XS3     | XS4     |         |
| Image QuickBird 18/07/2002 P et XS OK              |            |                     |        |             |                   |         |                      |                   |                 |             |        |        |         |         |         |
| Archive SPOT                                       | 23/08/1998 | 4 (1)               | 2a     | -13,1       | 38,5              | 33,1    | PIR satire           | 9,9               | -66,8           | 47,5        | 4,2175 | 4,9148 | 4,7820  | 18,6331 |         |
| Archive SPOT                                       | 11/05/1999 | 4 (1)               | 2a     | 2,5         | 45,0              | 34,0    | OK                   | ?                 |                 |             | 2,4485 | 2,9328 | 1,9495  | 13,1088 |         |
| Archive SPOT                                       | 06/07/2000 | 4 (1)               | 2a     | -26,8       | 37,8              | 36,0    | PIR satire/MIR lgres | 10,5              |                 |             | 3,5045 | 4,2639 | 2,8662  | 30,5109 |         |
| 1                                                  | Prog SPOT  | 18/07/2002          | 5 (2)  | 1a          | 20,9              | 39,2    | 36,7                 | OK                | -43,44          | -189,9      | 71,5   | 1,3828 | 1,7846  | 1,3295  | 11,5501 |
| 2                                                  | Prog SPOT  | 25/12/2002          | 5 (1)  | 2a          | -24,2             | 69,4    | 103                  | OK                | -43,17          | 56,17       | 20,9   | 1,9358 | 2,2454  | 1,9086  | 8,6810  |
| 3                                                  | Prog SPOT  | 22/05/2003          | 4 (2)  | 1a          | -13,4             | 41,8    | 34,4                 | OK                | 9,9             | -65,5       | 43,9   | 0,9036 | 1,76272 | 1,90685 | 8,19106 |
| 4                                                  | Prog SPOT  | 28/08/2003          | 4 (1)  | 1a          | 17,5              | 51,6    | 39,7                 | OK                | 8,5             | -238,8      | 49,4   | 0,9630 | 1,8185  | 1,8664  | 9,0435  |
| 5                                                  | Prog SPOT  | 14/11/2003          | 4 (2)  | 1a          | 17,2              | 71,4    | 86,1                 | OK                | 8,5             | -192,4      | 35,6   | 0,9036 | 1,7627  | 1,9069  | 8,1911  |
| 6                                                  | Prog SPOT  | 09/01/2004          | 5 (1)  | 1a          | 10,0              | 65,53   | 98,68                | OK                | 12,41           | -183,73     | 34,5   | 1,9791 | 2,3189  | 1,8716  | 10,8357 |
| 7                                                  | Prog SPOT  | 17/03/2004          | 5 (1)  | 1a          | -5,4              | 56,38   | 59,45                | OK                | 13,19           | -43,74      | 29,9   | 1,9791 | 2,3189  | 1,8716  | 10,8357 |
| 8                                                  | Prog SPOT  | 14/05/2004          | 4 (2)  | 1a          | 17,2              | 45,2    | 31,1                 |                   | 8,5             | -247,4      | 53,3   | 0,9036 | 1,7627  | 1,9069  | 8,1911  |

Image inexploitable pour notre étude

Image exploitable

Image inexploitable pour notre étude  
Image exploitable

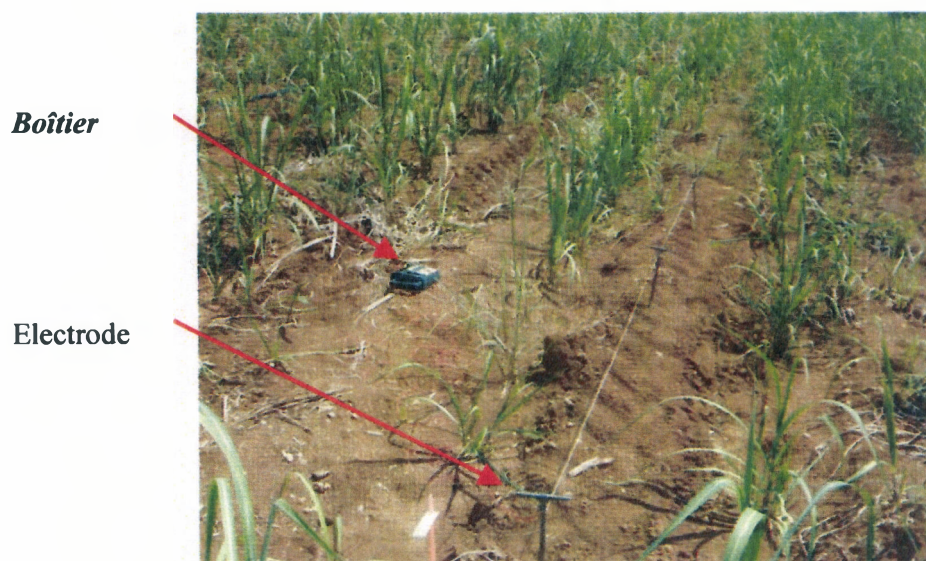
# Annexe 3

## Méthodologie des mesures de profondeur de sol

### 1) Données récoltées sur le terrain

La profondeur est déterminée par la **méthode de résistivité électrique**. Elle permet de définir la distribution des matériaux constitutifs des sols grâce à leur contraste de résistivité : 3  $\Omega\text{m}$  pour l'argile gonflante contre 15  $\Omega\text{m}$  pour le calcaire (Cabidoche, 1985).

Les mesures de résistivité  $\rho$  d'une couche de sol est obtenue en implantant 4 électrodes alignées A, M, N et B et en faisant passer un courant via les électrodes extrêmes A et B (**Figure 1**).



**Figure 1 : Dispositif d'implantation des 4 électrodes et du branchement au boîtier de mesure.**

Les électrodes M et N du milieu interceptent les lignes de courant entre A et B considérées comme étant les surfaces équipotentielles à des plans parallèles. (J.M. Remond 2002).

Dans la méthode de Wenner, où  $AM=MN=NB=a$

$$\rho = 2\pi.a.R$$

où  $\rho$  est la résistivité lue

$a$  est la distance en mètre entre les électrodes

$R$  est la résistance de la couche en ohm

La résistivité est lue directement sur le boîtier .

La valeur de  $a = 2\text{m}$  se révèle discriminante (J.M.Remond 2002).

La détermination de la profondeur du sol se détermine par la formule :

$$Z = 2 - 0,74 \ln(\rho - 3)$$

Où  $z$  est la profondeur du sol en m



## 2) Traitements des données

L'utilisation du logiciel Surfer 32<sup>®</sup> permet d'interpoler les valeurs de profondeur de sol entre les mesures effectuées réellement. Pour cela on utilise la méthode de Krigage.

On procède à une interpolation tous les 10 m pour cela correspondre à la résolution des pixels de l'image satellite à savoir 10 m.

On obtient alors des cartes de profondeur de sol comme nous le montre la figure 3 :

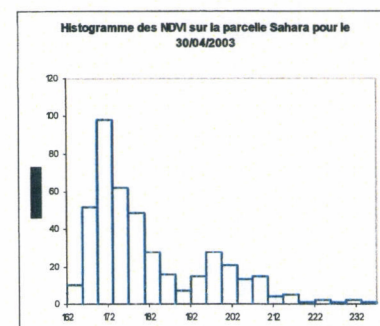
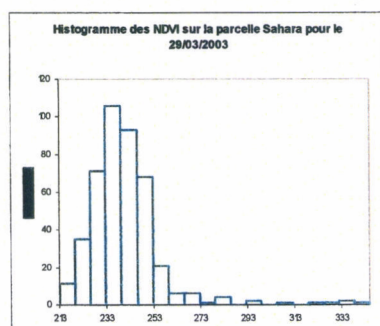
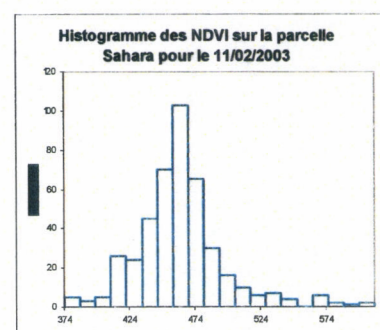
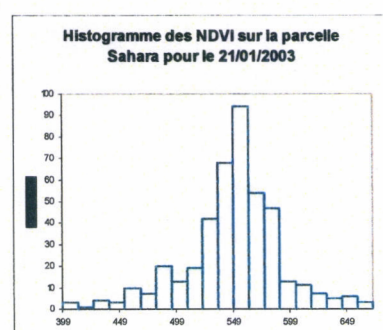
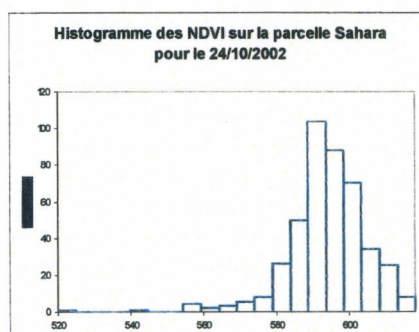
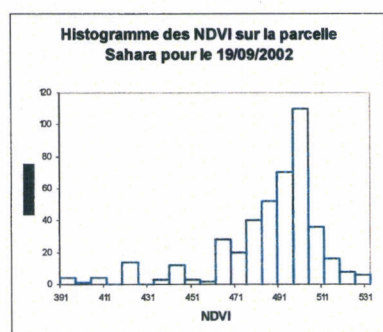
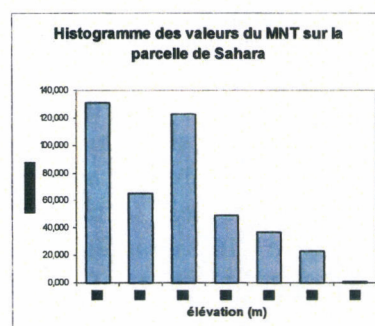
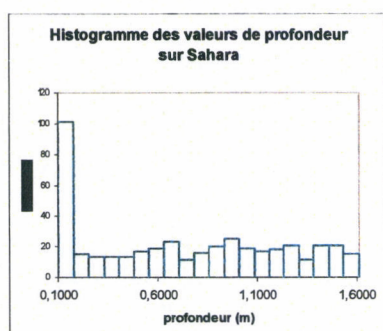
On obtient alors des cartes de profondeur de sol comme nous le montre la figure 3 :

28

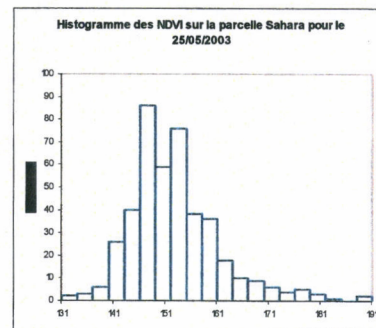
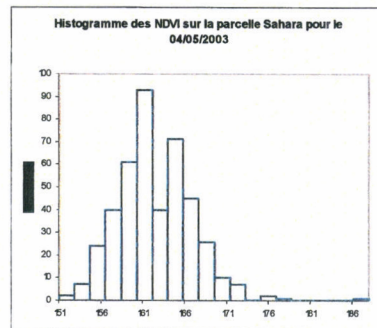
# Annexe 4

## Etude de la normalité des données sur la parcelle Sahara

L'observation des histogrammes des données dont voici quelques exemples ci-dessous, montre que les données sont très hétérogène, certaines semblerait à peu près normales (image NDVI du 21/01/2003, par exemple) alors que d'autre ne le sont visiblement pas du tout (mesures de profondeur de sol, MNT et NDVI du 19/09/2002 par exemple).







Dans un souci de pouvoir automatiser la méthode, nous avons tester cette normalité :

Les probabilités données dans le tableau suivant sont les p-value unilatérales calculées par 2 tests différents : le test de Shapiro-Wilk et le test de Jarque-Bera (logiciel Xlstat, essai). Ces valeurs indiquent la probabilité sous l'hypothèse nulle ( $H_0$  = les données sont normales) d'obtenir le même résultat que celui observé, vers la droite de la distribution.

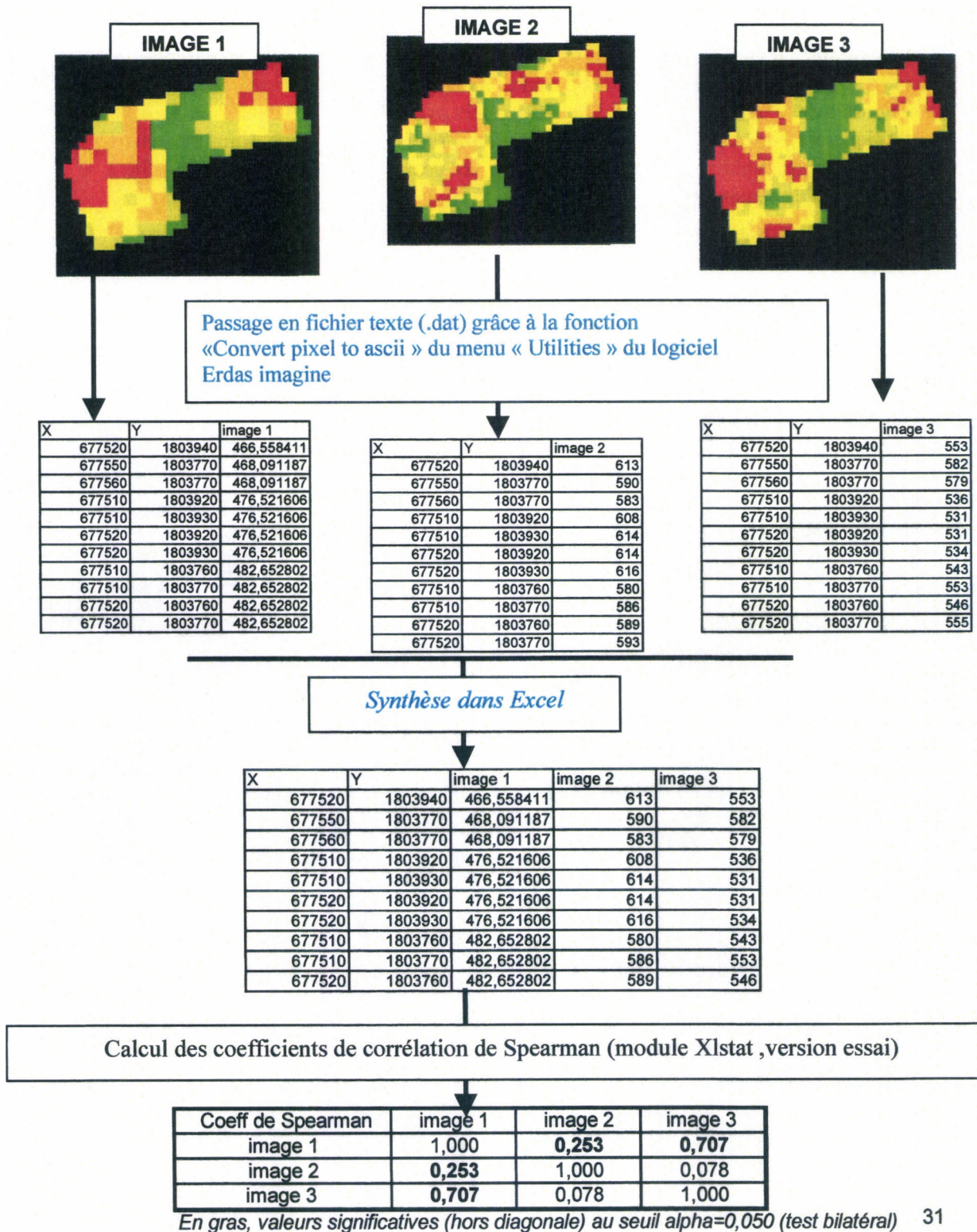
Si l'on choisit comme cela se fait souvent un seuil de rejet de l'hypothèse nulle de 0.05 en bilatéral et donc de 0.025 en unilatérale, on remarque ici que la normalité est rejetée dans tous les cas, et de façon catégorique. Ces résultats peuvent sembler étranges étant donné que certains histogrammes semblaient proches de la normalité.

Dans tous les cas, nous considérerons dans la suite de l'étude que les données ne sont pas normales.

| Variables            |            | Test de Shapiro-Wilk : | Test de Jarque-Bera : |
|----------------------|------------|------------------------|-----------------------|
| profondeur de sol    |            | < 0,0001               | < 0,0001              |
| MNT                  |            | < 0,0001               | < 0,0001              |
| Images<br>NDVI<br>du | 19/09/2002 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 24/10/2002 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 21/01/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 11/02/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 29/03/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 30/04/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 04/05/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 25/05/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 17/07/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 12/09/2003 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 04/01/2004 | 0                      | 0,004                 |
|                      | 31/01/2004 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 01/03/2004 | < 0,0001               | < 0,0001              |
|                      | 12/04/2004 | 0                      | 0,01                  |
|                      | 19/06/2004 | < 0,0001               | < 0,0001              |

# Annexe 5

## Méthodologie du calcul des coefficients de corrélation de Spearman avec l'extension « Xlstat » ( version d'essai) d'Excel





# **Annexe 7**

## **Réalisation des cartes de rendement et de conductivité électrique**

### **B. LES PRE-TRAITEMENTS**

Les fichiers textes (.csv) contenant les mesures de rendement de la parcelle BA6503 pour les années 2001 et 2003 ainsi que les données de conductivité électrique des sols ont été tout d'abord importés dans un SIG (logiciel MapInfo, après avoir été changé en fichier Excel) afin de créer un fichier vectoriel représentant les points de mesures. L'affichage simultané du parcellaire de la plantation de Médine a mis en évidence un problème de superposition (fig1), il a donc été nécessaire de réaliser des translations afin de recalibrer les données :

- rendement 2001 : translation de +12 mètres en X et de -5 m en Y
- rendement 2003 : translation de +16 mètres en X et de -5 en Y
- conductivité électrique de sol : translation : en X = +11 m et en Y = -6m

Les translations ont été effectuées par modification directe des coordonnées X et Y dans les fichiers textes, après quoi on a recréé le nouveau fichier vectoriel des points de mesures cette fois si bien calés (fig2).



Fig1 : décalage constaté des données  
(exemple des mesures de rendement 2001)



Fig2 : données recalées

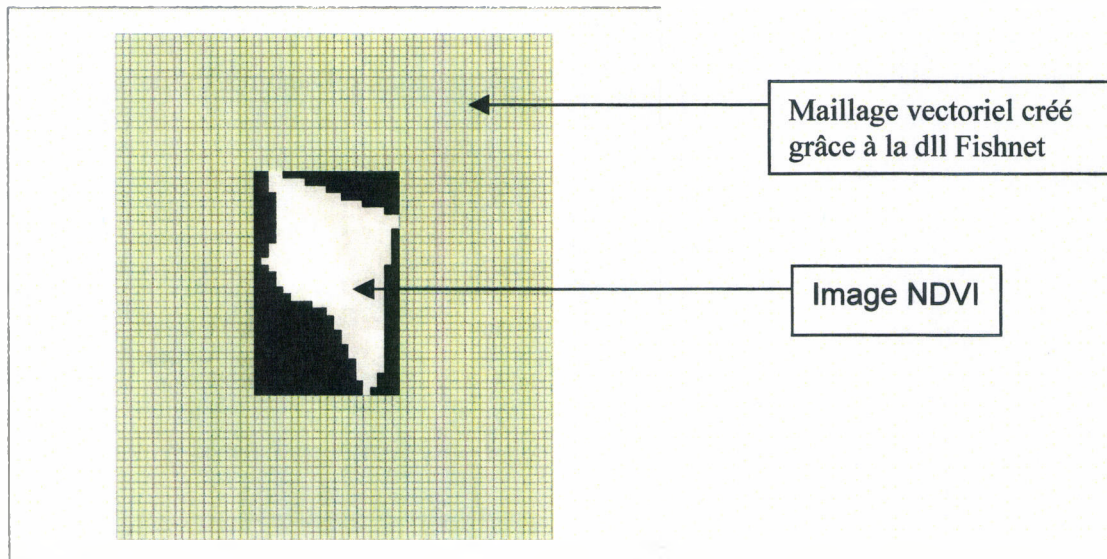
### **C. METHODE POUR LES DONNEES DE RENDEMENT 2003 :**

En règle général, lorsque l'on veut passer de données discrètes (points de mesures) à des données continues (cartes de rendement), on réalise une interpolation. Toutefois, dans le cas de la parcelle BA 6503, les données de rendement de 2003 étaient si denses (une dizaine de centimètres

d'écart) qu'une interpolation était inutile. En effet, nous souhaitons créer une carte de rendement où les pixels auraient une taille comparable au image NDVI soit 10m par 10 m.

Nous avons donc procédé de la façon suivante :

1) création dans ARCGIS d'un Shapefile (vecteur) constitué de polygones carrés (10\*10 m) formant un maillage exactement superposable aux pixels des images ERDAS de NDVI. Pour cela, j'ai téléchargé une dll appelé «Fishnet », ([http://arcgisdeveloperonline.esri.com/ArcGISDeveloper/Samples/3D\\_Analyst/Visualization/ArcScene/Surface\\_Fishnet/Surface\\_Fishnet.htm](http://arcgisdeveloperonline.esri.com/ArcGISDeveloper/Samples/3D_Analyst/Visualization/ArcScene/Surface_Fishnet/Surface_Fishnet.htm))



2) Réalisation d'une JOINTURE SPATIALE entre ce maillage et le Shapefile contenant les points de rendement, en demandant de calculer par polygone la MOYENNE des points se trouvant dedans.

Dans un premier temps, nous aurions souhaiter prendre comme valeur-synthèse **la médiane** car elle est peu influencée par les valeurs aberrantes (trop faibles ou trop fortes), malheureusement ArcGIS ne permet pas de la calculer. Nous nous sommes donc contenté de lui faire calculer **la moyenne** des rendements présents. Le fichier de sortie est un shapefile.

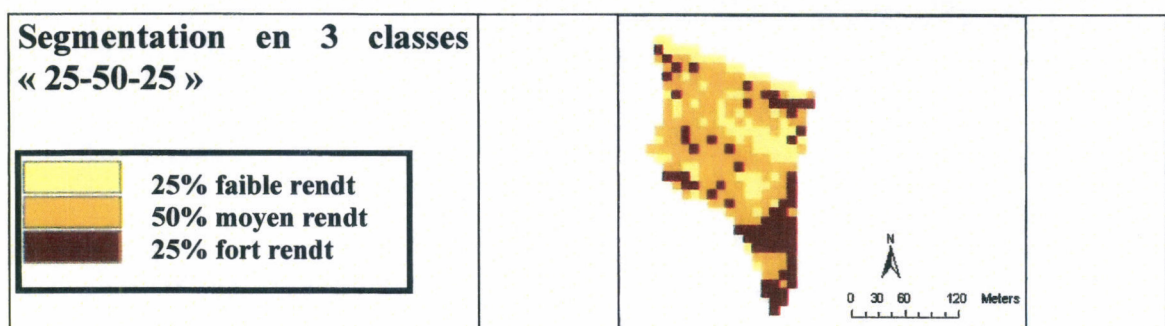
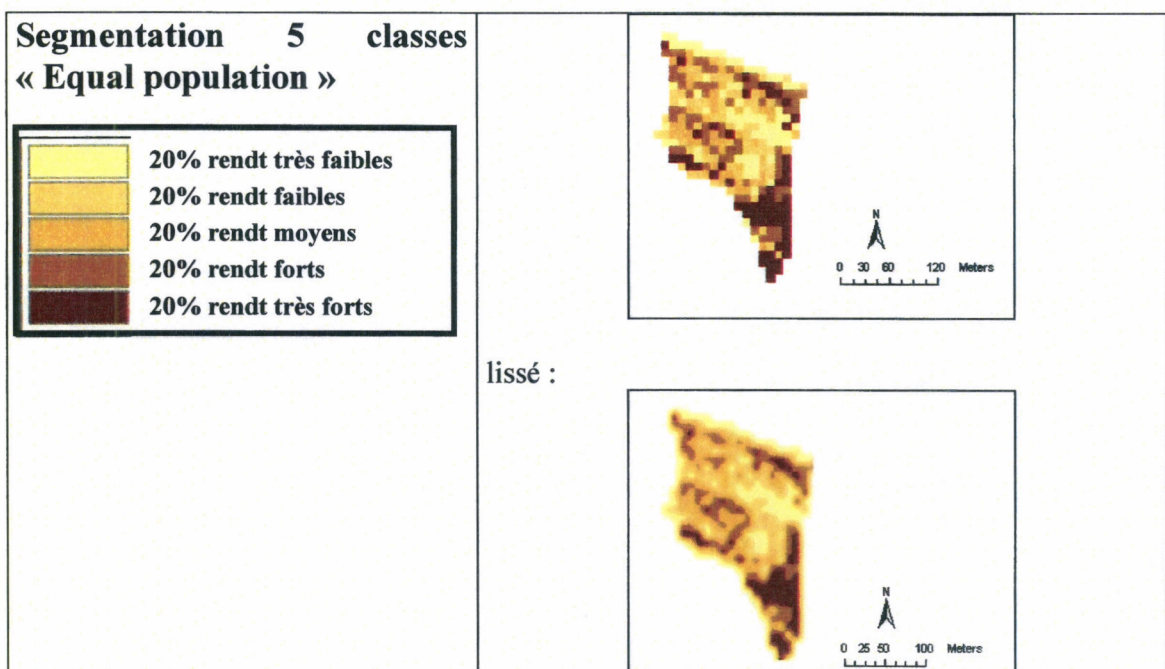
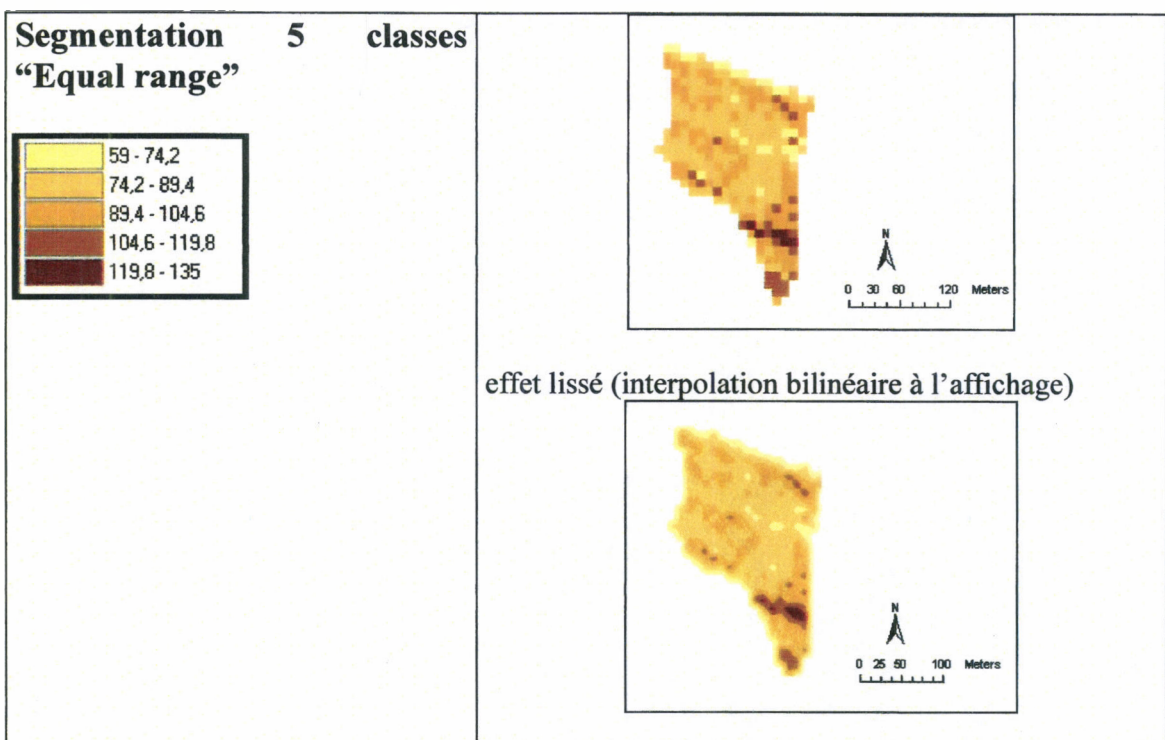
3) Ce shapefile est changé en Arccoverage (fonction « shapefile to coverage » dans Arctoolbox) afin d'être importé dans Erdas

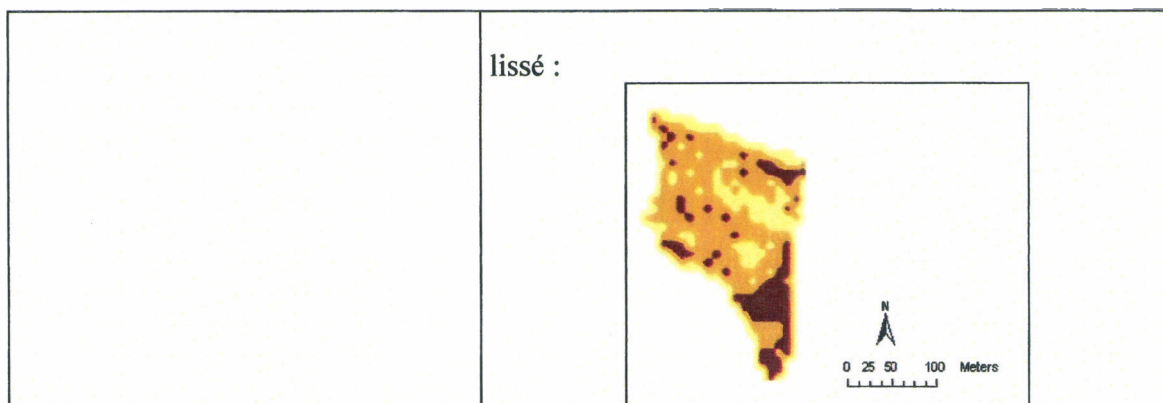
4) Sous ERDAS la RASTERISATION se fait par la fonction « vector to Raster » du menu VECTOR où on attribut à chaque pixel la moyenne des rendements ou les écarts-types :

5) Enfin on a appliqué les différentes méthodes de segmentation testé sur les données NDVI et on a fait des essais de lissage par interpolation bilinéaire à l'affichage (ArcGIS)°

|  |                                                                                      |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Image où valeur d'un pixel = moyenne des points de mesure de rendement situés dedans |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------|





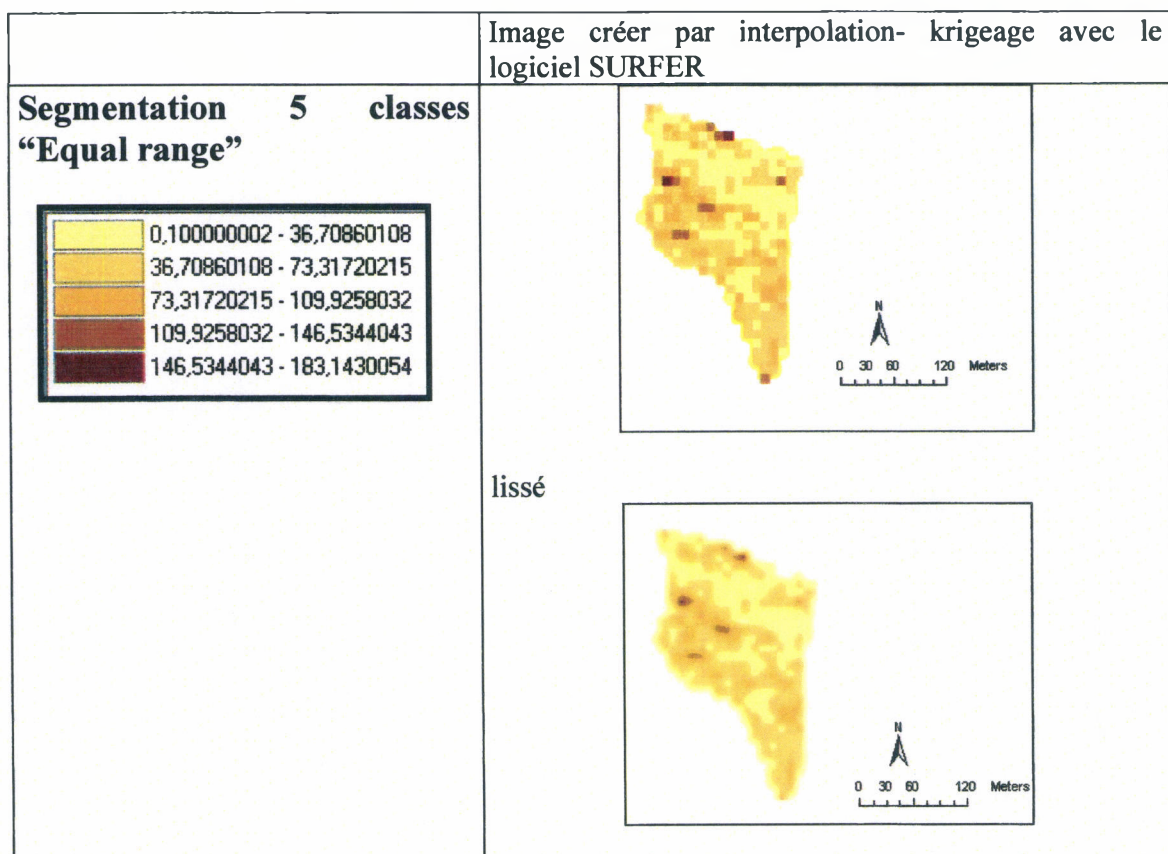


#### D. METHODE POUR LES DONNEES DE RENDEMENT 2001 ET DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES SOLS: INTERPOLATION

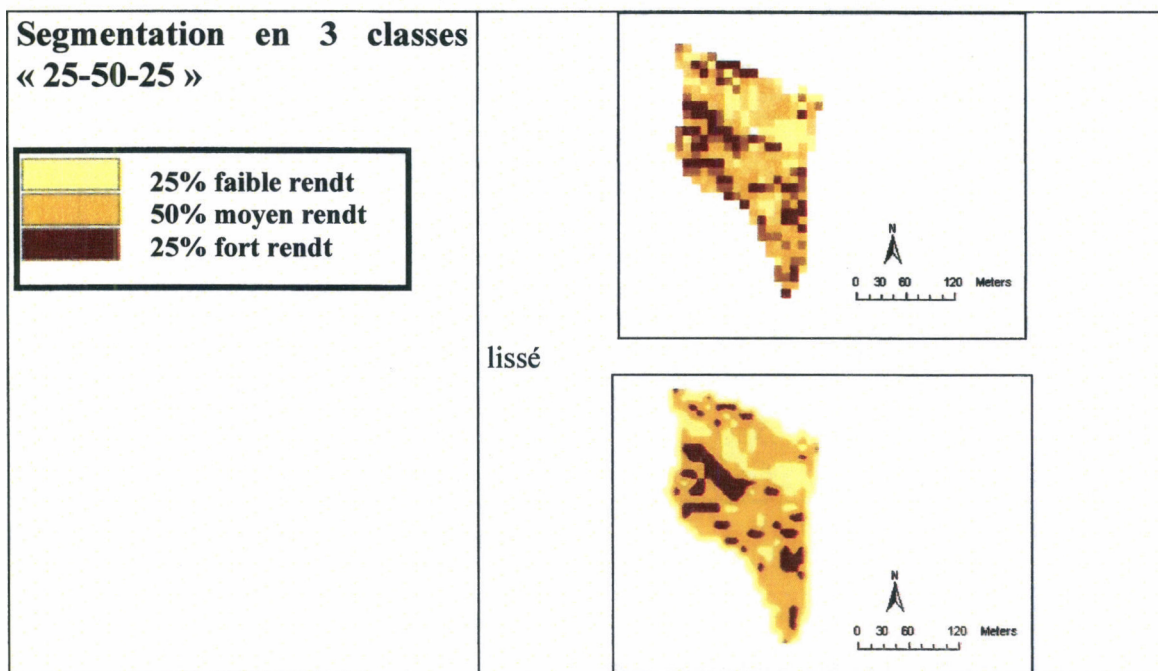
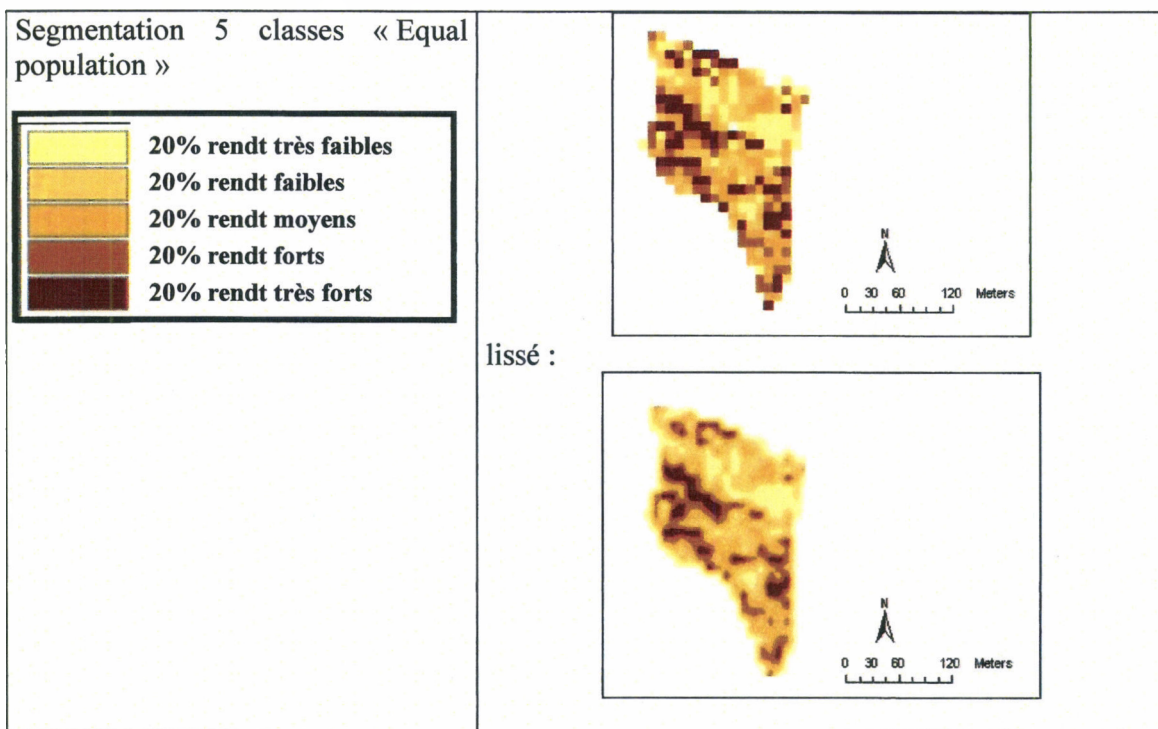
Les données de l'année 2001 étant beaucoup plus clairsemées et moins régulières que celles de l'année 2003, de même pour les données de conductivité électrique des sols, nous avons donc réalisé une interpolation par krigeage. Nous avons utilisé pour cela le logiciel SURFER 8 (version d'évaluation). Le seul paramètre à définir est la taille du pixel en sortie que nous avons fixé à 10 m.

Puis nous avons appliqué les mêmes représentations cartographiques

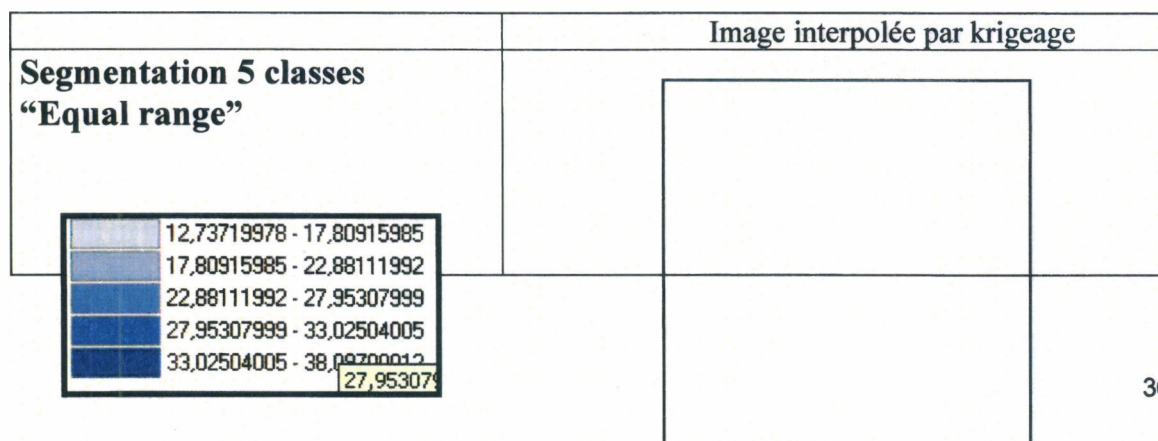
Voici les résultats pour le rendement 2001 :

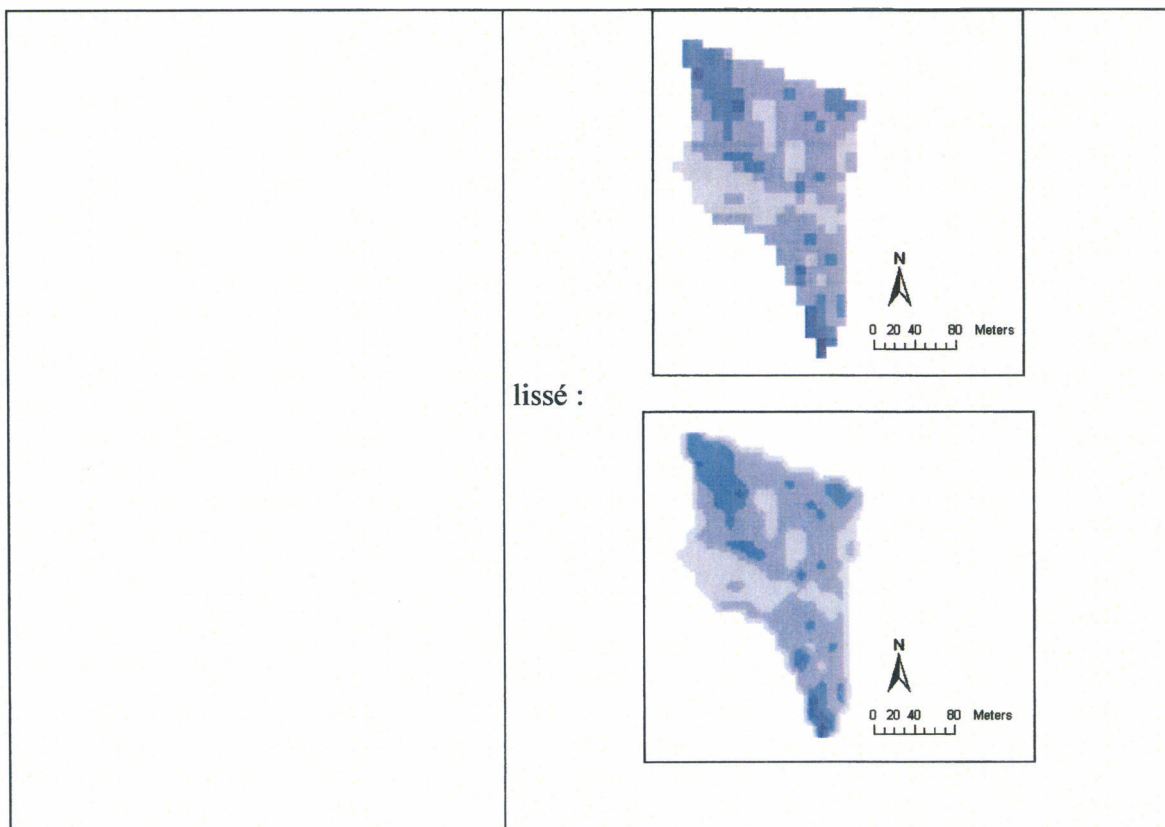




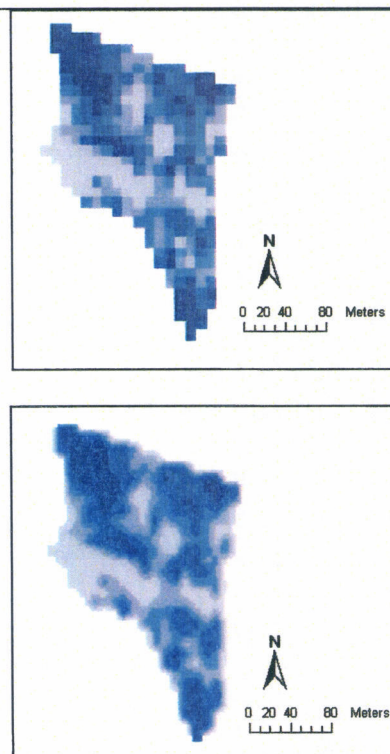
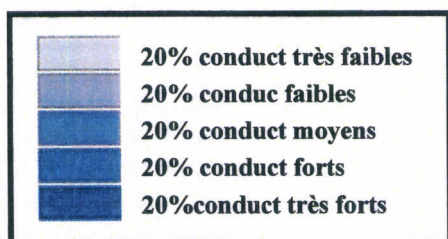


Et voici les résultats pour les valeurs de conductivité électrique des sols de 2001 :



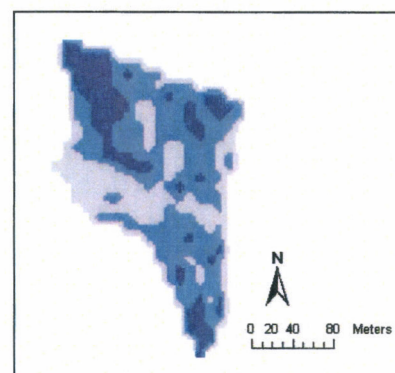
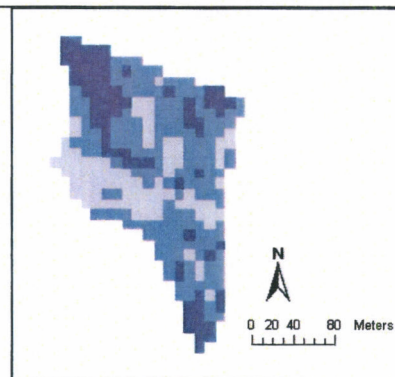
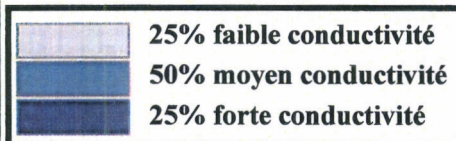


Segmentation 5 classes  
« Equal population »





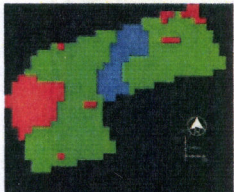
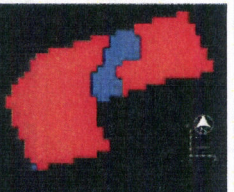
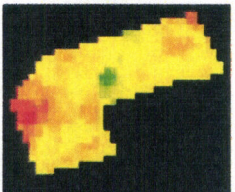
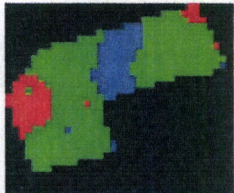
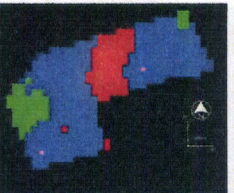
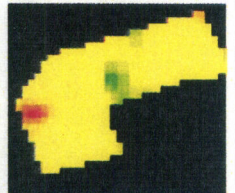
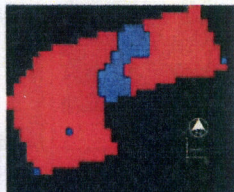
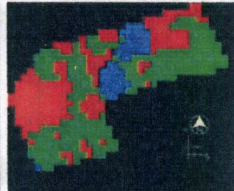
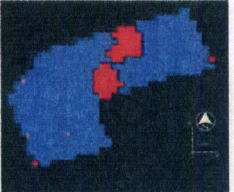
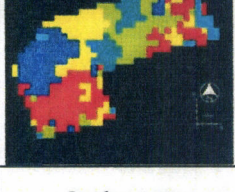
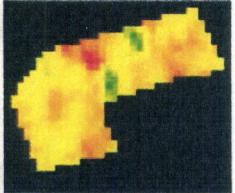
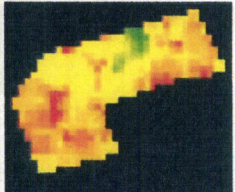
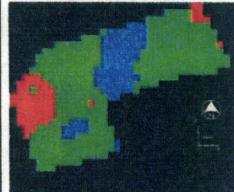
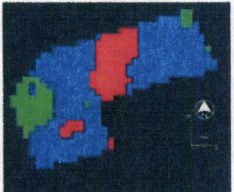
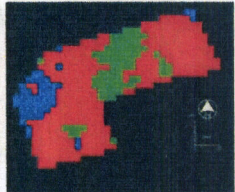
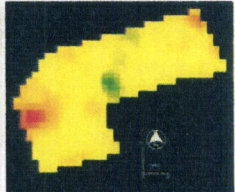
**Segmentation en 3 classes**  
**« 25-50-25 »**



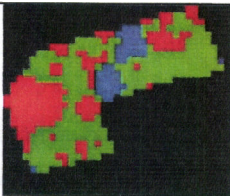
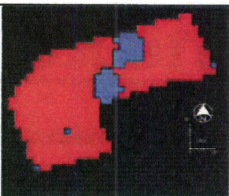
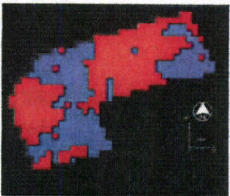
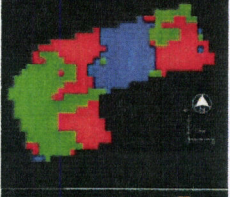
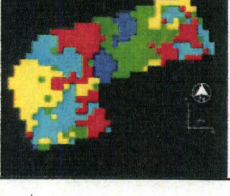
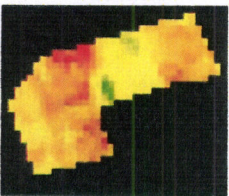
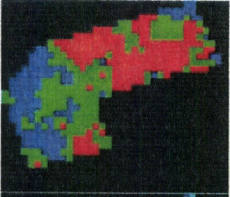
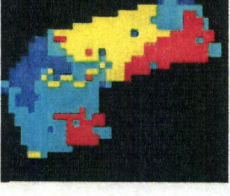
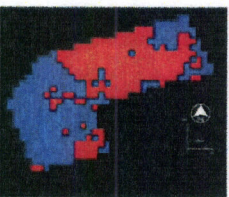
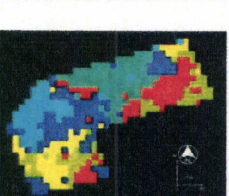
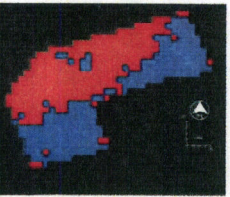
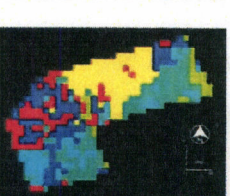
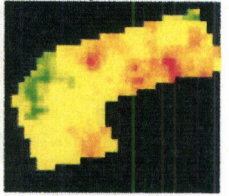
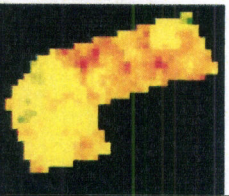
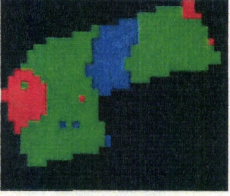
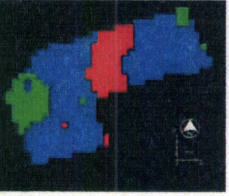
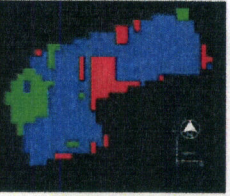
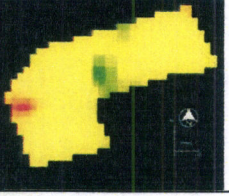
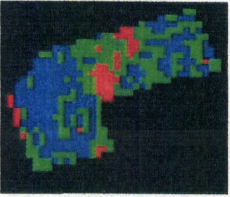
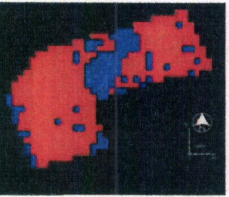
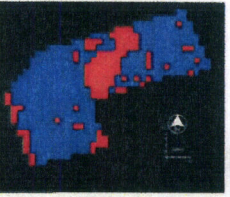
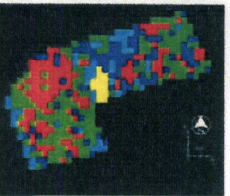
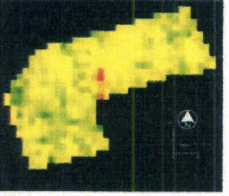
# Annexe 8

## Synthèse des résultats de l'étude multitemporelle des parcelles SAHARA et BA6503

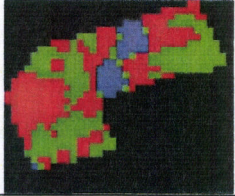
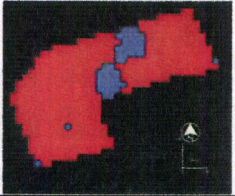
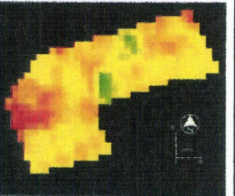
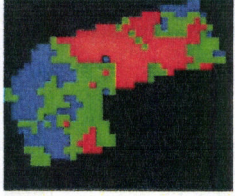
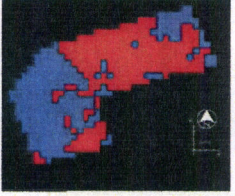
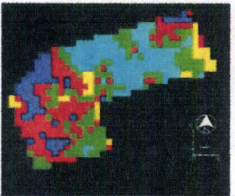
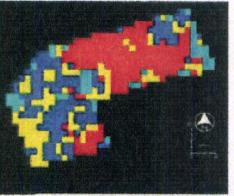
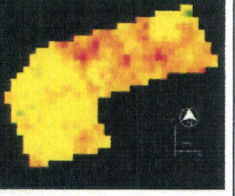
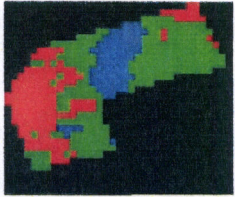
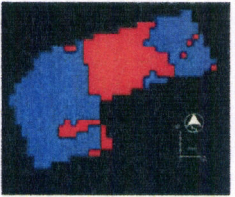
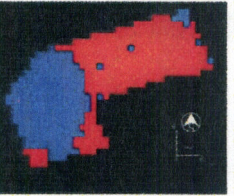
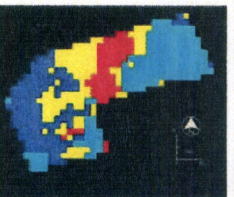
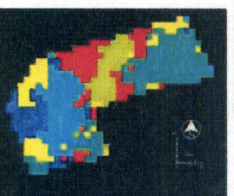
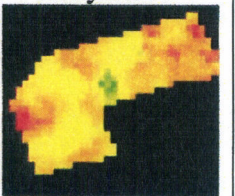
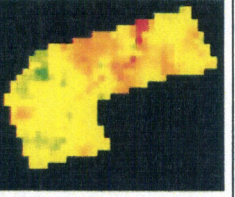
### Parcelle SAHARA :

| période       | ERDAS                                                                                                                                                                                          | MZA                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Image de Synthèse                                                                                                                                                                                                       |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               |                                                                                                                                                                                                | Euclidien                                                                                        | Mahalanobis                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                         |
| Globale       | 3 classes<br>                                                                                                 | 2 classes<br>   | rien                                                                                                                                                                                                                                                                                | Médiane :<br>                                                                                                                        |
| Cycle 02-03   | 3 classes<br>                                                                                                | 3 classes<br>  | 4 classes<br>                                                                                                                                                                                    | Médiane :<br>                                                                                                                       |
| Cycle 03-04   | Pas très clair !<br><br> | 2 classes<br> | Pas clair !<br><br><br> | Pas clair !<br>Moyenne :<br><br>médiane :<br> |
| Sénescence 02 | 3 classes<br>                                                                                               | 3 classes<br> | 3 classes<br>                                                                                                                                                                                   | Moyenne = Médiane<br>                                                                                                              |
| Croissance 03 | 3 classes                                                                                                                                                                                      | 2 classes                                                                                        | Pas clair !                                                                                                                                                                                                                                                                         | Moyenne =                                                                                                                                                                                                               |



|                                                                                            |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                            |                                                                                                         |                                                                                                         | <br><br> | Médiane<br>                                                                                                                         |
| Sénescence<br>03 : faciès<br>bizarre                                                       | Pas clair !<br><br> | Pas clair !<br><br> | Pas clair !<br><br>                                                                     | Pas clair !<br>Moyenne :<br><br>médiane :<br> |
| P1                                                                                         | 3 classes<br>                                                                                         | 3 classes<br>                                                                                         | 3 classes<br>                                                                                                                                                              | Moyenne =<br>médiane<br>                                                                                                          |
| P2 :<br>minéralisation<br>du paillis et<br>peut être<br>mauvaises<br>herbes ou<br>redépart | 3 classes<br>                                                                                         | 2 classes<br>                                                                                         | Pas clair<br><br>                                                                      | Moyenne =<br>médiane<br>                                                                                                          |

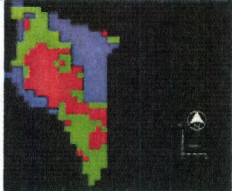
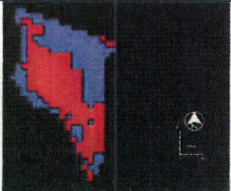
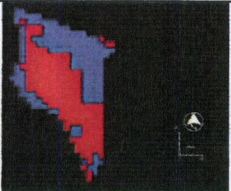
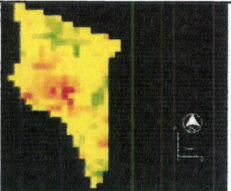
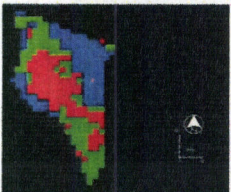
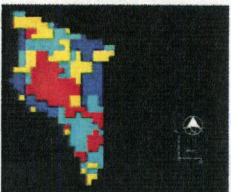
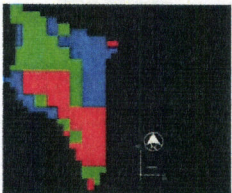
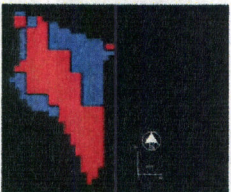
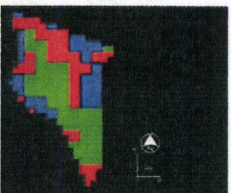
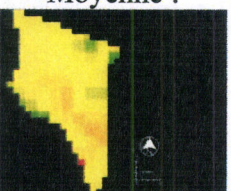
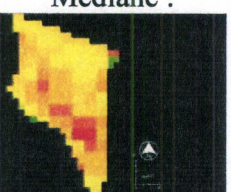


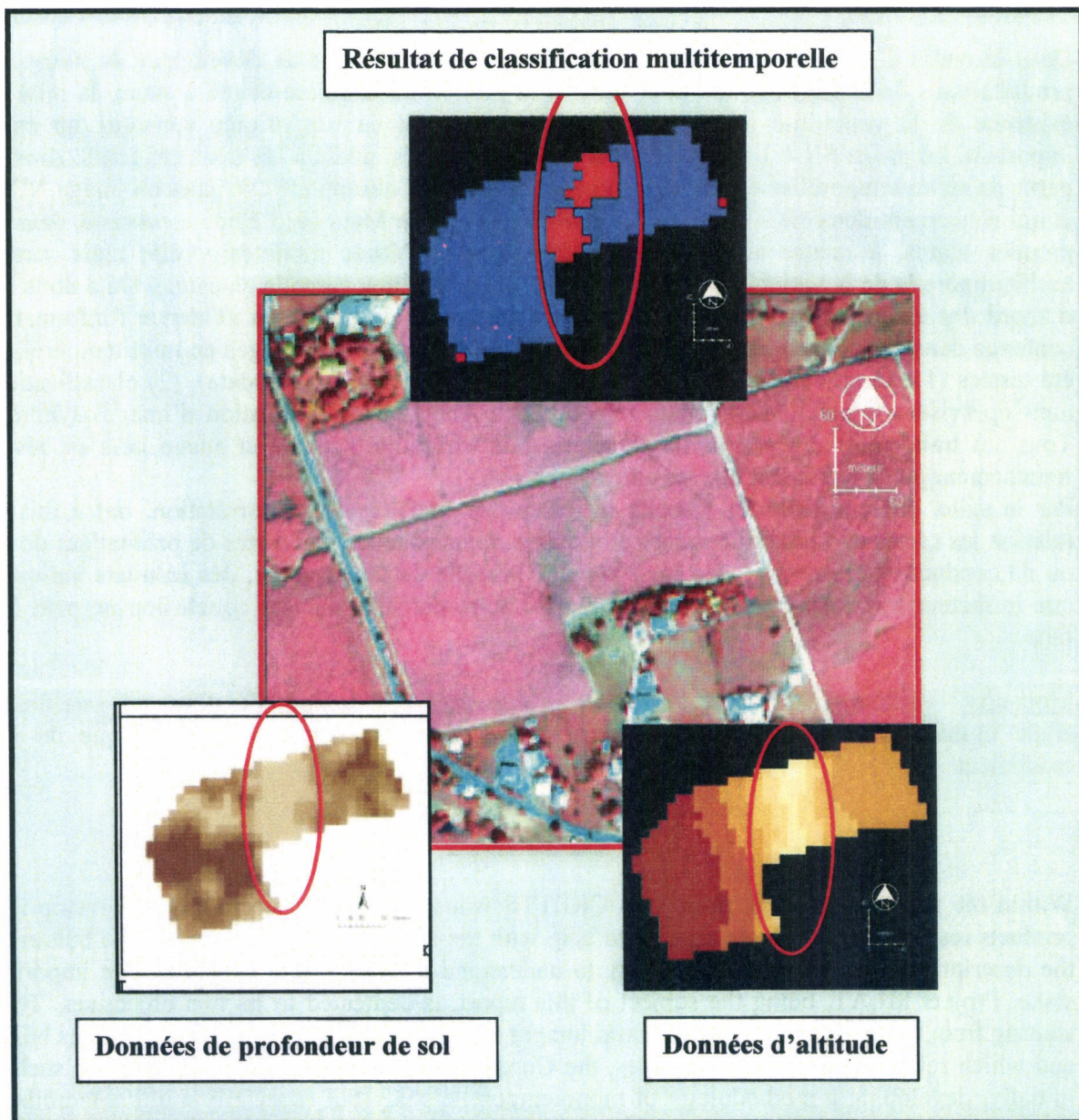
|              |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                              |
| P3           | 3 classes<br>   | 2 classes<br>                                                                                        | 3 classes<br>                                                                                                                                                                                    | Médiane :<br>                                                                                                             |
| P4 : bizarre |                 | Pas clair !<br><br> | 4 classes<br>                                                                                                                                                                                    | Moyenne = médiane<br>                                                                                                     |
| Inter-annuel | 3 classes<br> | 2 classes<br>                                                                                      | Pas clair !<br><br><br> | Moyenne :<br><br><br>médiane :<br> |

### Parcelle BA6503 :

|         | ERDAS     | MZA                |                    | Image de Synthèse   |
|---------|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
|         |           | Euclidien          | Mahalanobis        |                     |
| Globale | 2 classes | Pas clair (2 ou 3) | Pas clair (2 ou 4) | Moyenne = Médiane : |



|             |                                                                                                |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                       |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |               |                                                                                                          |               |                                                                                                                    |
|             |                                                                                                |                                                                                                          |               |                                                                                                                                                                                                       |
| Cycle 02-03 | 3 classes<br> | 2 ou 3 classes<br><br> | 3 classes<br> | Moyenne :<br><br>Médiane :<br> |



Le développement des nouvelles technologies telle que la télédétection a permis l'essor de l'agriculture de précision. Pour la canne qui est culture pour laquelle on a beaucoup de difficultés à surveiller la croissance à l'intérieur des parcelles, il y a désormais des espions, les satellites, qui peuvent nous renseigner sur la variabilité intra-parcellaire existante. Ces nouvelles informations peuvent désormais être mise en relation avec d'autres de données afin de mieux comprendre les facteurs qui interviennent dans le développement de la culture.



## **Résumé**

Dans le cadre du projet SUCRETTE dont l'objectif principal est de développer de nouveaux produits issus de la télédétection pour aider à la gestion de la filière canne à sucre, la mise en évidence de la variabilité intra-parcellaire la comprendre de son origine constitue un enjeu important. Le projet SILAT, faisant l'objet de ce rapport, est dédié à ses deux objectifs. Ainsi, à partir de séries temporelles d'images multispectrales SPOT qui ont été changées en image NDVI et qui concernent deux sites d'études, la Guadeloupe et l'île Maurice, l'étude a consisté, dans un premier temps, à mettre au point une méthodologie d'étude monotemporelle mais surtout multitemporelle de la variabilité spatiale présente au sein d'une parcelle de canne. On a donc fait d'abord des essais de segmentations d'histogrammes afin de mettre en évidence l'information contenue dans chaque image, puis trois méthodes de traitement des images en multitemporel ont été testées (1) classifications non-supervisée avec le logiciel Erdas (Isodata), (2) classifications non-supervisées logiciel MZA (Management Zone Analyst) et (3) création d'images-synthèse. Tous ces traitements ont permis de caractériser la variabilité spatiale et aucun ne s'est révélé franchement plus performant que les autres.

Par la suite, par comparaison visuelle ou calcul de coefficients de corrélation, ont a mis en relation les cartes de variabilité créées et d'autres données telles des cartes de profondeur de sol ou de conductivité électrique des sols. Sur une parcelle de Guadeloupe, des résultats indiquent que le facteur hydrique est prédominant .Pour l'autre parcelle, aucune conclusion ne peut être faite.

**Mots-clés** : variabilité intra-parcellaire, canne à sucre, série temporelle d'images satellitaires, étude multitemporelle, NDVI, carte de profondeur de sol, conductivité électrique de sol, rendement

## **Abstract :**

Within the framework of the project SUCRETTE whose principal objective is to develop new products resulting from remote sensing to help with the management of the sugarcane buissness, the description of within-field variability to understand it of its origin constitutes an important stake. Project SILAT, being the subject of this report, is dedicated to its two objectives. Thus, starting from time serieses of multispectral images SPOT which were changed into images NDVI and which relates to two sites of studies, the Guadeloupe and Mauritius, the study consisted in, initially, developing a methodology of monotemporelle study but especially multitemporelle of spatial variability presents within a field of sugarcane. We thus initially carried out tests of segmentations of histograms in order to highlight information contained in each image, then three methods of image processing in multitemporel were tested : (1) unsupervised classification with Erdas software, (2) unsupervised classification with MZA (Management Zone Analyst )software, and (3) synthesis-images. All these treatments made it possible to characterize spatial variability and none appeared frankly more powerful than the others. Thereafter, by visual comparison or calculation of coefficients of correlation, have connected the maps of variability created and other data such of the charts of depth of soil or electric conductivity of the soils. For a field of Guadeloupe, results indicate that the water disponibility is the prevalent factor. For the other studied field, no conclusion cannot be made.

Keu words : within-field variability, sugarcane, temporal series of remote sensing images, multitemporal study, NDVI, depth of soil, electric conductivity, yield.