

13 OCT. 1993

N° : 38203 ex 1

Cote : B

655

**ANALYSE SPATIALE ET SPECTRALE D'UNE MANGROVE DEGRADEE AU SUD DU SENEGAL.****B Mougenot**

ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération. Bondy, France

**RESUME**

Des traitements de type géostatistique sont appliqués à des données radiométriques de terrain acquises sur une parcelle représentative d'une mangrove dégradée au sud du Sénégal. Les résultats indiquent une faible structure spatiale après élimination de l'effet de dérive. La modélisation du variogramme permet d'éditer des cartes krigées. L'analyse de données hydro-pédologiques et satellitaires Spot produit des résultats similaires, avec accentuation de l'effet de dérive et de la tendance aléatoire autour de la variance moyenne résiduelle, quelque soit le pas de mesure. Il est possible de comparer et de cartographier des données d'origine, de taille et acquises avec un plan d'échantillonnage différents.

**ABSTRACT**

Radiometric ground data were acquired on a degraded mangrove parcel in south Senegal and processed with geostatistical methods. A weak spatial structure is observed with important nugget and drift effects. Kriging maps were edited after variogram modelisation. The analysis of pedological and Spot satellite data produced similar results: increasing of drift effect and random tendency whatever the distance. Spatial variability of various data can be compared.

Keywords: teledetection, spatial variability, geostatistic, mangrove, reflectance, salinity.

**1. OBJECTIFS ET METHODES**

Des données du satellite Spot acquises au sud du Sénégal sont validées par diverses observations et mesures au sol sur sites tests: réflectance à l'aide d'un radiomètre Cimel et paramètres hydro-pédologiques (salinité, acidité, potentiel d'oxydo-réduction).

Le zone d'étude correspond à l'estuaire de la Casamance soumis aux marées. Les états de surface et en particulier la végétation de mangrove, sont des marqueurs de salinité et d'acidité (Réf. 1).

L'objectif est d'étudier sur une parcelle représentative d'une mangrove en voie de dégradation, la variabilité spatiale et les structures de réponses spectrales acquises sur le terrain et traitées par des méthodes géostatistiques. Ces techniques permettent d'évaluer la dépendance spatiale des réponses selon la dimension des objets et l'échelle de mesure (théorie des variables régionalisées par MATHERON), ainsi que leur représentativité et le type d'échantillonnage à préconiser. On réalise ensuite une cartographie par krigeage. Les résultats sont comparés aux variables hydro-pédologiques et satellitaires (Réf. 2), traitées de façon similaire. Les plans d'échantillonnage sont tous différents.

Un logiciel interactif pour calcul géostatistique a été utilisé (GEOSTAT-PC, Réf. 3), suivant la procédure suivante: tests statistiques classiques simples; calcul des variogrammes moyen et directionnels; filtrage d'une éventuelle dérive; modélisation et validation; krigeage ponctuel ou par maille; édition de cartes.

**2. DESCRIPTIONS DE LA PARCELLE ET DES MESURES**

On observe sur le site, six états de surface organisés parallèlement à un marigot, depuis la rive à végétation de mangrove vers une zone haute dénudée (contours restitués à partir d'une photo aérienne sur la figure 1):

-mangrove à *Rhizophora racemosa* très dense (couverture > 70%; hauteur 4 à 8 mètres).

-mangrove à *Rhizophora mangle* dense (60 à 70%; 1,8 à 3m.).

-mangrove à *Rhizophora mangle* à arbustes séparés ou en bosquets (40 à 60%; 2 à 3,5m.).

-mangrove dégradée à *Avicennia africana* et *Rhizophora mangle* morts (5 à 20%; 1,5m).

-mangrove à *Avicennia africana* dense ou à arbustes séparés (30 à 40%, 1 à 2m.).

-voile algair sur tanne (surface dénudée hypersalée) et mares.

Les méthodes géostatistiques sur un milieu à variabilité spatiale mal connue, nécessitent des points d'observations nombreux. Ceci nous a incité à choisir au cours de cette première approche, une parcelle de petite taille: 300x135 m. Un minimum de 30 à 100 points de mesures selon les auteurs sont nécessaires (Réf. 4):

-paramètres états de surface et hydro-pédologiques (ponctuels): tirage au hasard de 85 points sur un maillage à 15 mètres: descriptions, mesures de pH et Eh in situ, prélèvements des sols et des nappes.

-réflectances terrain (cible de 60 centimètres): 4 transects équidistants avec une mesure tous les 5 mètres vers le soleil, (mars 1990, une heure trente avant et après le midi solaire).

-luminances SPOT recoupant la parcelle (données XS à 20 mètres; oct. 1986 et mai 1987): 84 pixels ramenés à une valeur centrale ponctuelle.

**3. CARACTERISTIQUES SPATIALES SUR LE TERRAIN****3.1 Radiométrie**

La végétation de mangrove constitue l'élément de surface dominant. L'indice de végétation (3-2/3+2), plus riche en in-

formation que les canaux bruts, constituera le néocanal de référence pour cette étude. Les mesures sur eau libre (mares), ont été éliminées car elles perturbaient l'isotropie du paramètre étudié. L'analyse du variogramme des réflectances terrain montre un effet de dérive important suivant le grand axe de la parcelle, soit 51% de la variance. Après filtrage de cette dérive, le variogramme normé par rapport à la variance totale est modélisé. Il correspond à la somme de deux modèles sphériques (effet pépite de 0.65; paliers à 0.09 et 0.33; portées de 14 et 52 mètres) (Figure 2). Il n'apparaît qu'une faible structure spatiale, due à un effet de pépite important (0.65). L'exclusion des points du tanne modifie peu la variance résiduelle (217 au lieu de 250), mais augmente l'effet de pépite et la tendance aléatoire.

La taille des couronnes des arbustes isolés ou en bosquets varie de 1 à 6 mètres environ. Le pas d'échantillonnage à 5 mètres ne reflète pas suffisamment l'influence de la dimensions de ces objets. La variabilité importante sur un nombre de couples de points élevé (plus de 200) est due à l'intervention au pas minimum du sol nu foncé et humide; elle peut masquer des structures.

La figure 3a présente le résultat en isovaleur d'un krigeage par maille auquel on ajoute la dérive. Un pas de 20 mètres correspondant au pixel Spot et un seul lissage seront utilisés pour toutes les cartes. L'indice de végétation cerne bien la densité et l'état chlorophyllien de la végétation (tanne <165; mangrove décadente < 176). Il est insuffisant pour différencier les espèces, ce qui explique les confusions aux limites et entre les unités végétales. Les réponses brutes, en dent de scie le long de transects, traduisent un bruit de fond difficile à éliminer sans lissage brutal. Cette méthode permet une restitution plus fidèle aux unités de paysage et de végétation.

### 3.2 Paramètres physico-chimiques

La variable salinité de la nappe est pratiquement de type aléatoire. La structure spatiale n'explique que 13% de la variance totale (égale à 267). Elle possède cependant des caractéristiques similaires aux données précédentes (Réf. 4, 5).

La carte met en évidence la structure en dôme de la dérive (Figure 3b). En comparaison à la carte en indice de végétation, l'isovaleur 90 (conductivité en mS/cm) correspond à la limite de la mangrove dégradée vers la rive, effectivement plus étendue sur la partie sud. Le dôme de salinité du tanne n'est pas perceptible.

La variable pH (sols et nappes) est mieux structurée malgré une faible variabilité (Réf 4), alors que le potentiel d'oxydo-réduction est aléatoire pur.

## 4. CARACTERISTIQUES SPATIALES SATELLITAIRES

L'indice de végétation est calculé sur les luminances Spot non corrigées. Il a été vérifié que le milieu a peu évolué depuis les acquisitions. En saison des pluies (diminution du stress salin et marée basse), la dérive est encore plus prépondérante (88% de la variance totale, 85% tanne exclu), la structure résiduelle bien que marquée (effet de pépite nul), reste très faible (modèle sphérique: palier 1,3; portée 74 mètres).

La carte (Figure 3c) présente une organisation et des limites similaires à celles des données radiométriques de terrain (Figure 3a). L'aspect est plus lissé avec des décalages de l'ordre du demi-pixel: taille des unités végétales parfois inférieures au pixel, pixels de mélanges et déformations dues au redressement pour la superposition. Le gradient de végétation

des zones denses (mangrove à *Rhizophora* de hauteur supérieure à 2 mètres), est mieux rendu qu'avec les mesures Cimel, réalisées sans dispositifs adaptés ou aéroportés.

Des deux scènes utilisées, celle du mois de mai (fin de saison sèche) correspondait le mieux au contexte climatique des mesures de terrain (milieu de saison sèche), sauf pour la marée, haute sur l'image et basse au moment de la campagne au sol. On observe des caractéristiques spatiales similaires malgré une dynamique trois fois plus faible et une perte de contraste inter-bande (effets des brumes sèches). Un décalage de la limite apparente de la mangrove dégradée vers la rive apparaît. On peut l'expliquer par l'effet de la marée (hauteur d'eau décroissante vers le tanne, 25 à 0 cm) et un stress salin déplacé vers la mangrove saine.

## 5. CONCLUSIONS

Les structures spatiales n'apparaissent pas très développées aux distances supérieures à 5 mètres et inférieures à 120 mètres. Les variogrammes ne sont pas interprétables hors de ces limites. Cette faible auto-corrélation visible permet de préconiser des mesures radiométriques au sol à faible distance de façon classique sur un même objet (écarts à préciser), et éloignées par précaution d'au moins 40 à 50 mètres pour des objets différents. Des structures pourraient être masquées par l'effet toujours important de la dérive en concordance avec le paysage. On remarque ainsi que les distances d'autocorrélation (sur les résidus) rejoignent celles déjà observées dans la région (Réf. 4). Elles correspondent le plus souvent aux variations pédologiques et de matériau. La parcelle étudiée représente un paysage fréquent en dehors des zones de terrasses; il serait cependant nécessaire: de tester la méthode sur des parcelles plus petites à des pas de distance inférieurs à 5 mètres (test de l'effet de pépite), et plus grandes manifestant un effet de dérive moins marqué; d'envisager des répétitions à marée haute et basse; et de comparer les données radiométriques en réflectance, après correction des luminances satellite et du passage dans l'atmosphère.

(Je remercie Pascal Boivin pour ses conseils).

## REFERENCES

1. Mougenot B 1989, Détection et évolution saisonnière des sols salés et acidifiés du domaine fluvio-marin de basse Casamance au Sénégal par imagerie satellitaire. *2èmes Journées scientifiques du réseau thématique de télédétection*, Aupelf/Uref, 21-24 nov., Dakar, Sénégal.
2. Ramstein G & Raffy M 1989, Analysis of the structure of radiometric remotely-sensed images. *Int. Journal of Remote Sensing*, 10, 6, 1049-1073.
3. Boivin P 1990, GEOSTAT-PC, Logiciel interactif pour calcul géostatistique. *Logorstom*, éd. Orstom, Paris, France.
4. Boivin P 1990, Caractérisation physique des sols sulfatés acides de la vallée de Katouré (Basse Casamance Sénégal), étude de la variabilité spatiale et relations avec les caractéristiques pédologiques. *Thèse Pédologie*, Univ. Paris 6, 185 p.
5. Bos J & van Mensvoort M E 1984, Spatial variability of potential and actual acid sulfate soils in the Mekong delta, Viet-Nam. Dept. of soil sci. and geology, Wageningen, 59 p.

Echelle des cartes 1/3000

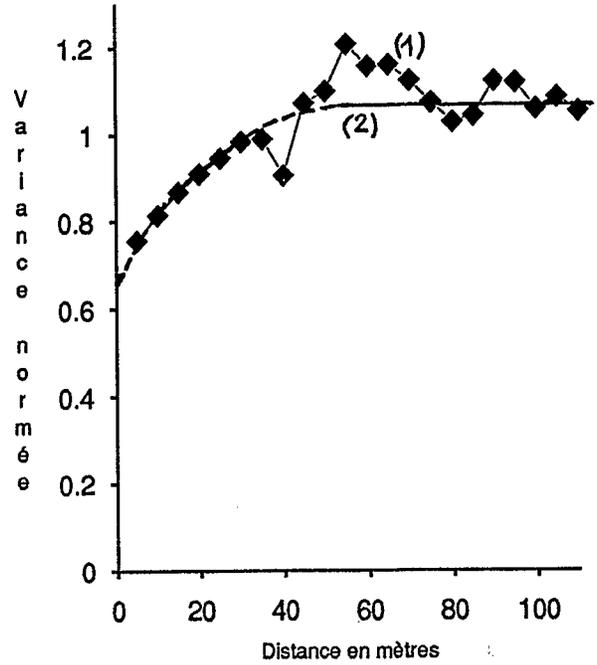
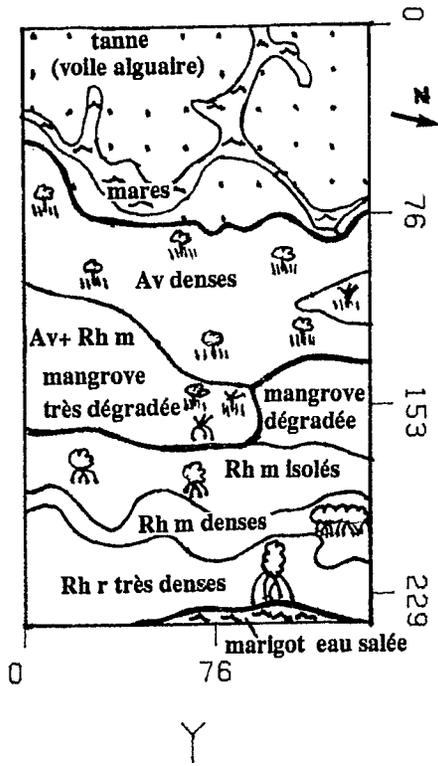


Figure 1 Carte des unités de paysage et de végétation (mangrove de Basse-Casamance, sud Sénégal; *Avicennia africana*: Av, *Rhizophora mangle*: Rh m, *Rhizophora racemosa*: Rh r)

Figure 2 Variogramme moyen des valeurs de l'Indice de Végétation (mesures au radiomètre de terrain Cimel), brut (1) et modélisé (2)

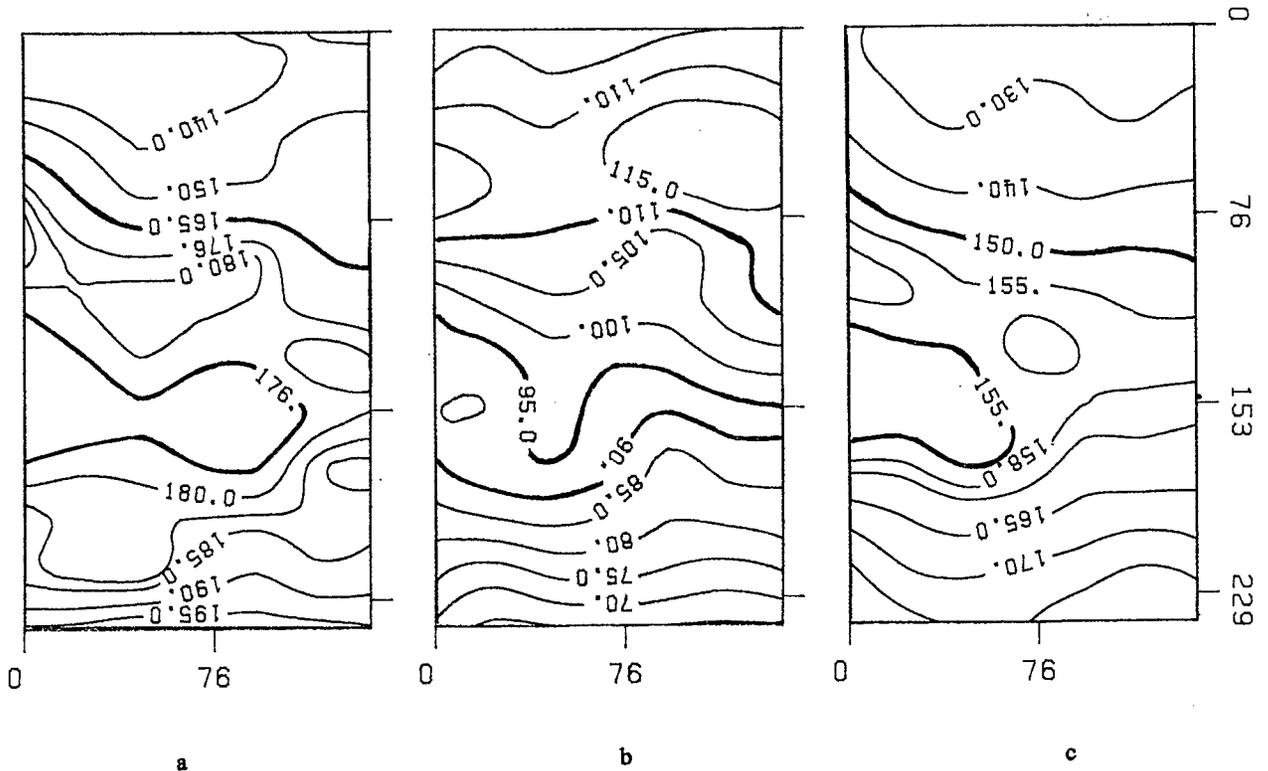


Figure 3 a - Carte en Indice de Végétation à partir des mesures terrain (saison sèche, marée basse)  
 b - Carte de conductivité électrique de la nappe sub-affleurante (mS/cm) (saison sèche)  
 c - Carte en Indice de Végétation à partir des données SPOT (saison sèche, marée basse)