

# 16

## Détection et évolution saisonnière des sols salés et acidifiés du domaine fluvio-marin de basse Casamance au Sénégal, par imagerie satellitaire

BERNARD MOUGENOT\*, PATRICK ZANTE\*\* et JEAN-PIERRE MONTOROI\*\*

\*ORSTOM, Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, 70-74, route d'Aulnay, 93143 Bondy, France, téléphone : 48-47-31-95, télex : 235 453 F, télécopieur : 48-47-30-88

\*\*ORSTOM, B. P. 1386, Dakar, Sénégal, téléphone : 32-34-80, télex : 468 SG, télécopieur : 32-43-07

### Résumé

La région de basse Casamance au sud du Sénégal subit un déficit pluviométrique depuis 1968. Le domaine fluvio-marin le long du fleuve Casamance est en permanence envahi par les eaux marines. Les conséquences pour les sols et les nappes de bas-fond sont un accroissement de la salinité et une acidification consécutive à la baisse des nappes. La végétation naturelle de mangrove s'amenuise et la riziculture en domaine salé disparaît. L'imagerie satellitaire SPOT multitudes permet de suivre l'évolution saisonnière des états de surface et leur cartographie à partir des luminances. L'étude de séquences-test met en évidence de bonnes relations entre les états de surface et des caractères hydro-pédologiques. Des cartes dérivées de salinité des sols et des nappes sont extraites.

### 1 Présentation

La diminution des précipitations observée depuis une vingtaine d'années en zone sahélienne a également affecté des régions plus humides comme la basse Casamance au sud du Sénégal

(fig. 1). La station de Ziguinchor a enregistré une baisse des précipitations moyennes annuelles de 430 mm (fig. 2) entre les années 1921-1967 (1577 mm) et 1968-1988 (1148 mm). La principale conséquence est une modification du fonctionnement hydro-pédologique de ce milieu envahi par les eaux marines.

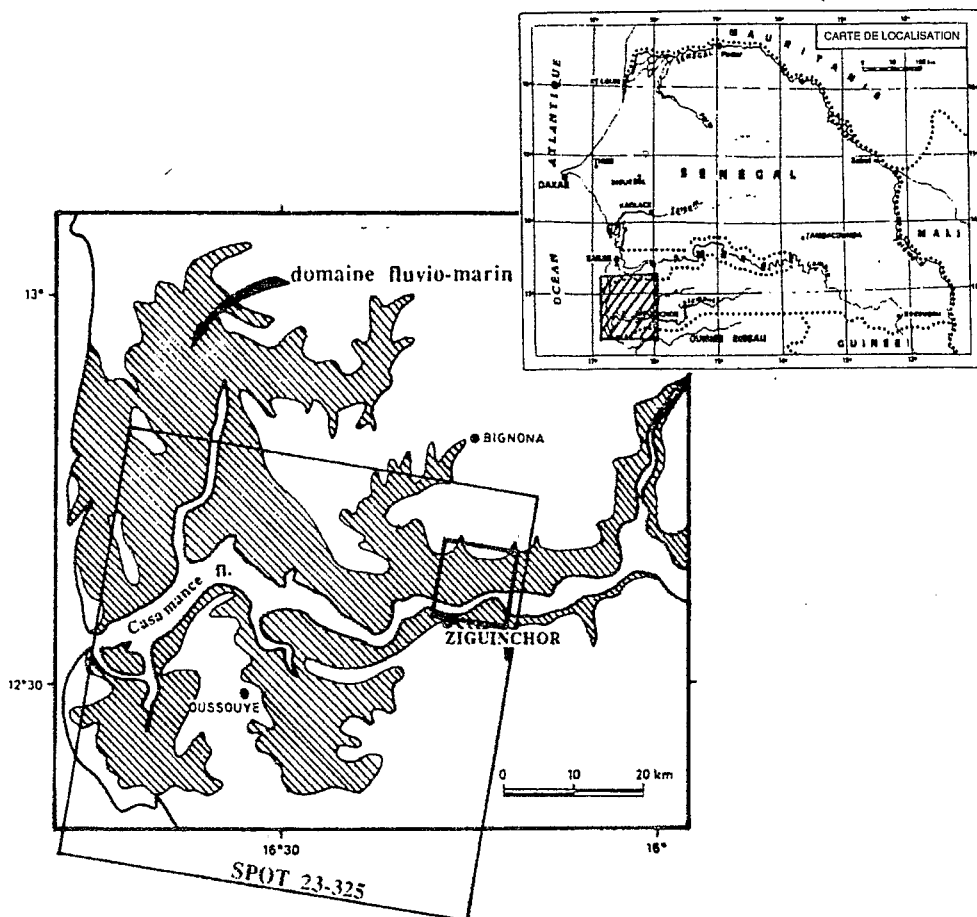


Figure 1. Carte de localisation

### 1.1 Le milieu

En aval de l'actuelle ville de Ziguinchor, l'ancien golfe nouakchottien s'est progressivement comblé entre 5000 et 1500 ans AA. Le domaine fluvio-marin est organisé en trois grandes unités de paysage le long du réseau hydrographique finement digité vers un plateau peu élevé (20 à 40 m) :

- bas-fond (couvert de palétuviers, salé et régulièrement envahi par les marées);
- tannes (étendues dénudées ou peu couvertes, hypersalées et très acides, régulièrement inondées);
- terrasses (peu ou non salées et acides).

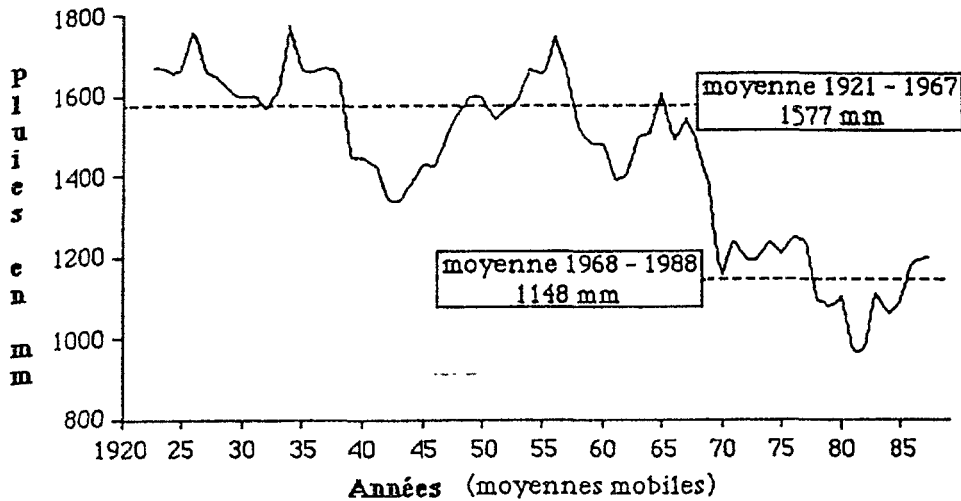


Figure 2. Évolution des précipitations moyennes annuelles de 1921 à 1988

En saison sèche sous l'effet de l'évaporation, les sels se concentrent dans la partie supérieure des nappes (bas-fond, tannes) et s'accumulent à la surface des sols salés à battement de nappe saisonnier (tannes).

La végétation de mangrove à *Rhizophora* est à l'origine d'une concentration de sulfures dans les sols (Marius, 1985). Leur présence entraîne, après une exondation prolongée, une acidification brutale, forte (pH 7 à < 3 en quelques jours) et irréversible.

## 1.2 Évolution actuelle

Le fleuve Casamance fonctionne actuellement en estuaire inverse. Son régime hydrologique très déficitaire et la faible pente favorisent l'intrusion pratiquement permanente des eaux marines qui se concentrent pendant les huit mois environ de saison sèche (Pagès *et al.*, 1987).

Le déficit et la mauvaise répartition des pluies a entraîné :

- une augmentation de salinité des nappes et des sols atteignant 2 à 3 fois et plus celle de l'eau de mer;
- une diminution du niveau moyen du toit des nappes superficielles de quelques centimètres à plusieurs mètres sous le plateau;
- l'acidification des sols de mangrove et de certaines terrasses.

Les conséquences sur la végétation naturelle sont catastrophiques avec en particulier la disparition progressive puis totale de la mangrove depuis l'embouchure vers l'amont. Elle laisse la place à des sols nus et à de nouveaux tannes. La riziculture traditionnelle en domaine salé a disparu et se limite à une partie des terrasses, aux parties hautes de vallées et en amont des aménagements anti-sel (Barry *et al.*, 1988).

L'absence d'une couverture aérienne récente sur l'ensemble de la région et l'évolution rapide des états de surface rendaient difficile la réalisation d'un bilan précis sur le milieu. Seule la télédétection spatiale apportait une solution. L'imagerie satellitaire SPOT a été utilisée pour réaliser une évaluation des zones atteintes par l'accroissement de la salinité et de l'acidité. Le milieu «mangrove» se prête bien à cette démarche du fait de la présence

d'espèces monospécifiques bien organisées dans le paysage et d'états de surface à évolution saisonnière contrastée (Berenger, 1985; Populus et Herz, 1985).

## 2 Matériel et méthode

### 2.1 Programmations SPOT et acquisition des données de terrain

La résolution au sol de 20 m des données multispectrales du satellite SPOT est adaptée à l'observation des états de surface définis comme l'interface sol-atmosphère (Escadafal, 1989). Des programmations ont été réalisées en fin de saison des pluies (12/10/1986) et fin de saison sèche (08/05/1987) pour la caractérisation d'unités dynamiques à partir des deux extrêmes saisonniers favorables à la prise des images. Les sites de contrôle au sol sont implantés sous forme d'une trentaine de séquences-test réparties sur l'image, du plateau vers les marigots. Les travaux de terrain sont réalisés dans la période d'acquisition des images et au cours de l'année le long des séquences : descriptions des états de surface et photographies verticales depuis un mat de 6 m, photographies aériennes à basse altitude, prélèvements des sols et des nappes.

### 2.2 Traitements des données numériques

Les séquences sont repérées sur une composition colorée réalisée à partir des canaux bruts étalés. On échantillonne à l'écran les différents états de surface observés sur le terrain (5 à 10 environ par séquences). Ces zones sont classées (classification ascendante hiérarchique) d'après leurs réponses spectrales sur les canaux bruts et différents indices (indice de végétation :  $XS3-XS2/XS3+XS2$ ; indice de brillance :  $(XS2^2+XS3^2)^{1/2}$ ). L'utilisation des valeurs moyennes des canaux bruts XS2, XS3 et accessoirement XS1, a été suffisante (Guillemyn *et al.*, 1988) pour réaliser une classification dirigée des états de surface aux deux saisons (distance euclidienne). La superposition des images des deux dates permet de lever la plupart des confusions radiométriques. Cette classification est testée sur des séquences de contrôles à partir des photographies aériennes réalisées sur place.

Le document de base est une carte thématique d'états de surface multitudes représentée ici à l'échelle de 1:80 000 (fig. coul. 16-3). L'intérêt de ce document est d'associer à chaque thème des données exogènes, non directement perçues par les capteurs. Elles sont obtenues sur les séquences-test au moment de la description et de l'analyse des échantillons. Les états de surface dans le paysage jouent le rôle de marqueurs de caractères hydro-pédologiques. Nous nous sommes ici intéressés à la salinité et l'acidité des sols et des nappes, principales contraintes à la mise en valeur de ce milieu.

## 3 Résultats

### 3.1 Cartographie des états de surface

On distingue sur la carte des états de surface, après regroupements, les six grandes unités suivantes, classées en fonction de l'inondation par les marées et les pluies, des parties basses du paysage vers les parties hautes :

- 1) mangroves hautes en bon état ou en voie de dégradation, quotidiennement inondées, sur bas-fond vers l'embouchure et le long de la Casamance;
- 2) mangroves hautes à basses dégradées et vasières, quotidiennement inondées aux marées moyennes, sur bas-fond;
- 3) surfaces nues à croûtes salines et micro-agrégats en saison sèche, inondables à rarement inondables, sur tannes vifs;
- 4) surfaces à strate herbacée halophile ou non, inondables à rarement inondables, sur tannes herbues;
- 5) surfaces à strate herbacée, arbustive à arborée, et rizières, sur terrasses;
- 6) surfaces à strate arborée à arbustive (palmeraie dominante), herbacée, et cultures sèches, limites entre le domaine fluvio-marin et le plateau.

Le pH neutre à faiblement acide *in situ* dans les sols de mangroves actives ou dégradées (sols potentiellement sulfatés acides) s'accroît brutalement sous les tannes (sols sulfatés acides). L'augmentation de la salinité se manifeste par la présence d'une végétation adaptée arborée à arbustive (palétuviers), puis herbacée halophyte, et dans les cas extrêmes avec des surfaces nues à croûtes salines ou à structure micro-agrégée. Sur les terrasses, les sols sont plus évolués, acides à localement hyperacides. Le front salin pénètre sous les basses terrasses.

La diminution de hauteur et de densité des palétuviers (Blasco, 1989), en général *Rhizophora* puis *Avicennia* en retrait, se produit sous l'action du stress salin. Du point de vue morphologique, les peuplements à *Rhizophora* constituent plutôt des plages homogènes alors que ceux à *Avicennia*, seul ou en mélange, forment des bosquets isolés ou anastomosés sur un sol nu plus clair. La combinaison de ces facteurs de terrain permet une bonne distinction radiométrique des types de mangroves.

Les deux dates apportent des informations complémentaires. En saison sèche par rapport à la saison des pluies, la strate herbacée n'est plus active et les rizières possèdent souvent des luminances de sols nus (confusions avec les tannes). La végétation pérenne se différencie selon l'importance des effets du stress hydrique et surtout salin. La dessiccation modifie la structure des horizons de surface salés et rarement inondés.

À partir de ce document synthétique, des cartes dérivées sont établies directement d'après les éléments décrivant les états de surface et leur évolution saisonnière : cartes de végétation, des zones cultivées, des zones inondables, et grâce aux données exogènes : cartes de salinité et d'acidité des sols et des nappes. Chaque unité correspond à un ou plusieurs thèmes radiométriques «états de surface». La légende exprime l'intervalle moyen de variation saisonnière ou spatiale du caractère étudié pour chaque unité.

### 3.2 Cartes des états de surface et du pH - exemple au nord de la ville de Ziguinchor

L'extrait de la carte des états de surface présenté à la figure couleur 16-3 correspond à une zone très dégradée au nord de la ville de Ziguinchor (15 thèmes de sols et d'eaux). La végétation de mangrove ne subsiste qu'en liséré le long des marigots (*Rhizophora racemosa* et *mangle*, associés à *Avicennia africana*). En arrière s'étalent des vasières nues régulièrement couvertes par les marées et d'autant plus salées que l'on s'éloigne des axes de drainage.

La figure couleur 17-4 représente la carte du pH de l'horizon de surface (mesures *in situ*). À chaque unité correspond un intervalle de pH (variation spatiale). L'importance de la gamme de pH observée sur les terrasses (unité 2) est due à la présence de sulfates d'aluminium non décelables radiométriquement. Les unités 4 et 5 pourraient être isolées comme domaines potentiellement acides du fait de la présence de sulfures dans les sols.

## 4 Commentaires

Des confusions existent encore entre des états de surface de tannes et de basses terrasses salées à faible couverture végétale (<15%), et entre des hautes terrasses et le plateau. Au moment de la superposition des images, les unités qui apparaissent à la limite des thèmes communs sont affectées à l'état de surface le plus proche.

Les pixels mal classés atteignent 5 à 15% selon les unités et parfois plus quand les limites correspondent aux domaines saturés par la marée au moment de l'acquisition. C'est le cas entre les états de surfaces des sols nus de bas-fond et des tannes.

L'extension des classifications réalisées à partir de séquences-test à une partie de l'image n'est satisfaisante que si le milieu possède un degré de dégradation et un stade de marée similaires. Il est donc nécessaire de découper au préalable l'image selon l'état de la mangrove et l'apparition de sols nus plus ou moins exondés de l'aval vers l'amont. Ceci pose rapidement des difficultés de raccordement entre les cartes et une multiplicité des thèmes.

Une approche plus globale consistera à mieux stratifier l'ensemble de l'image et à travailler sur les unités de paysage. Elles peuvent être définies en tenant compte de la structure de l'image en relation avec le réseau hydrographique et l'évolution saisonnière de la végétation. Une délimitation manuelle est aussi envisageable. Cette démarche s'avère d'autant plus indispensable que la couverture totale de la basse Casamance nécessite plusieurs images.

## 5 Conclusions

L'imagerie satellitaire est ici un outil adapté à la cartographie des états de surface et à la détection de caractères chimiques des sols et des nappes. L'approche diachronique permet une classification liée à l'évolution saisonnière des états de surface. La généralisation de cette méthode nécessite de mettre en évidence au préalable les structures du paysage. Particulièrement dans ce milieu, les cartes d'états de surface et de caractères doivent être actualisées. Cette étude pourra servir de référence pour des suivis ultérieurs, en particulier sur les nombreuses vallées aménagées.

## 6 Références

- BARRY, B., P. BOIVIN, D. BRUNET, J.-P. MONTOROI, B. MOUGENOT, J. L. SAOS, J. TOUMA et P. ZANTE, 1988. Sécheresse et modification des ressources hydriques en basse Casamance, conséquences pour le milieu naturel et son aménagement. —Deuxièmes Journées de l'eau au Sénégal, Eau et développement, 8-10 décembre 1988, Dakar, 22 p.
- BERENGER, A. C., 1985. Reconnaissance des terrains salés par télédétection. —Institut de la carte internationale du tapis végétal, CNRS/Université Paul-Sabatier, Toulouse, 39 p.
- BLASCO, F., 1989. Recherches en télédétection sur les mangroves africaines. —Bulletin de la Société française de photogrammétrie et télédétection, n° 114, 1989-2, p. 17-19.
- ESCADAFAL, R., 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observation de terrain et télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). —Collection Études et thèses, Éditions ORSTOM, Paris, 317 p.

*Détection et évolution saisonnière des sols salés et acidifiés du domaine fluvio-marin de Casamance*

- GUILLEMYN, D., C. MARTEL, G. FLOUZAT et F. BLASCO, 1988. Études des forêts de berge de Gambie et des critères de détection de la mortalité. —SPOT-1 : Utilisation des images, bilan, résultats, Paris, novembre 1987. Cepadues Éditions, Toulouse, p. 113-120.
- MARIUS C.. 1985. Les mangroves du Sénégal, écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement. —Collection Travaux et documents, n° 193, Éditions ORSTOM, Paris, 357 p.
- PAGÈS, J., J. P. DEBENAY et J. Y. LEBRUSQ, 1987. L'environnement estuarien de Casamance. —Revue Hydrobiologie tropicale, 20, 3-4, p. 191-202.
- POPULUS, J. et R. HERZ, 1985. Cartographie des mangroves de la côte sud-est du Brésil avec Landsat TM. —Photo-interprétation, n° 85-2, p. 31-37.