

Figure 11 - Evolution du front de cession d'eau

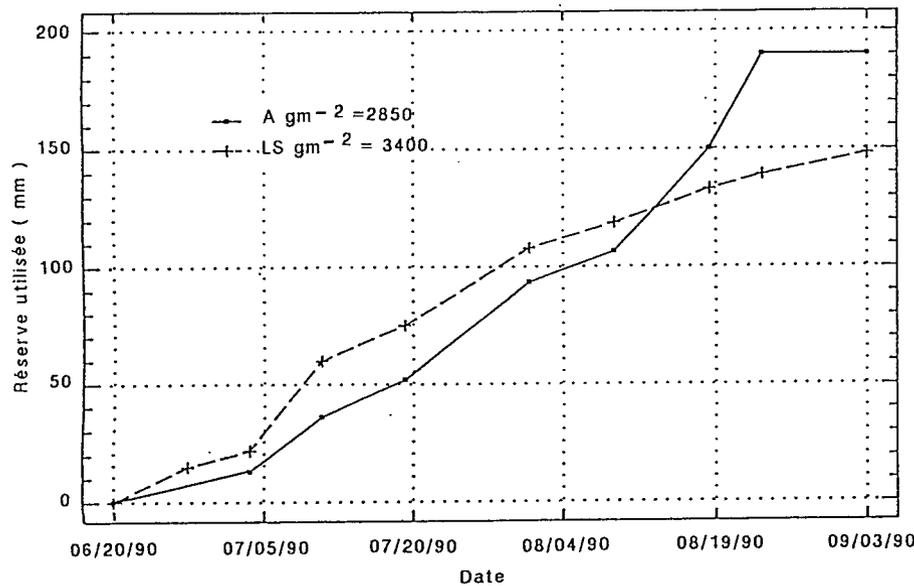


Figure 12 - Evolution de la reserve utilisee d'un sol limono-sableux et d'un sol argileux 1990

## ÉTUDE PAR TÉLÉDÉTECTION DES ÉTATS DE SURFACE EN RELATION AVEC LES NAPPES, EXEMPLES DES SOLS SALÉS ET ACIDIFIÉS DE BASSE CASAMANCE (SÉNÉGAL)

B. MOUGENOT

ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, 70-74 route d'Aulnay 93143 Bondy Cedex France

Mots clés :

Télétection, états de surface, nappes, radiométrie, sols salés, sols acides, mangrove, Sénégal, sécheresse, multitemporel, cartographie.

## RÉSUMÉ :

Nous avons observé des relations entre les états de surface et les nappes superficielles des sols salés et acidifiés du domaine fluvio-marin de basse Casamance au Sénégal. L'intensification de la sursalure d'origine marine et de l'acidification des sols de mangroves, suite à la baisse des nappes, est liée aux déficits pluviométriques cumulés depuis vingt ans. Les principaux facteurs influençant la radiométrie dans le visible et le proche infra-rouge (couleur, humidité, rugosité et végétation) sont aussi des marqueurs le plus souvent indirects de la salinité, de l'acidité et du battement des nappes. L'imagerie satellitaire SPOT est utilisée pour dresser une carte des états de surface en saison sèche et en saison des pluies. La dynamique saisonnière des réponses radiométriques est étudiée sur des histogrammes bidimensionnels des canaux bruts. La superposition des cartes permet de différencier pratiquement tous les états de surface observés au sol. Les cartes de salinité et d'acidité de nappes sont directement issues de la carte des états de surface.

### STUDY OF RELATIONS BETWEEN SOIL SURFACE TYPES AND GROUNDWATER TABLE WITH REMOTE SENSING, EXAMPLE OF SALINE AND ACID SOILS IN BASSE CASAMANCE (SENEGAL)

#### ABSTRACT :

The relations between soil surface types and superficial groundwater table are very accurate in saline and acid mangrove soils along the estuary of the Casamance river, in southern Senegal. The climatic drought for twenty years, induced a decreasing of groundwater-table level and an increasing of soil and groundwater salinity and acidity. The characteristics of soil surface as color, moisture, roughness and vegetation, influence spectral reflexion in visible and near infra-red wavelengths. Those factors are also indicators of salinity, acidity and watertable level fluctuations. We established with SPOT satellite data, a map of the soil surface types in dry season and rains. The seasonal modifications allowed to distinguish on diagrams and images, nearly all of the surface types observed on the ground, and to derive salinity and acidity maps.

## 1 - PRÉSENTATION

En basse Casamance au sud du Sénégal, une nappe salée d'origine marine est présente dans toutes les parties basses régulièrement ou rarement inondées par les marées, le long du fleuve Casamance et de ses affluents. La végétation de mangrove est représentée par des palétuviers de type *Rhizophora* le long des rives, d'*Avicennia* en retrait, puis éventuellement d'une strate herbacée à halophytes plus ou moins strictes. Les terrasses ne sont pas ou peu salées, sauf parfois les plus basses. Une bande étroite de palmiers délimite un plateau peu élevé (20 à 40m d'altitude), finement découpé. Les sols de mangroves, riches en sulfures formés en anaérobiose autour des racines de *Rhizophora*, peuvent s'acidifier de façon irréversible après une exondation prolongée (de pH 7 à pH <3). C'est le cas de nombreux "tannes", étendues dénudées ou très peu couvertes et hypersalées.

La dynamique des nappes est l'élément essentiel de l'évolution de ce milieu. Les pentes très faibles des bas-fonds favorisent la pénétration des eaux marines. L'amplitude saisonnière du toit de la nappe est inférieure à un mètre dans les tannes, et à deux mètres dans les terrasses. Cette proximité, pendant les sept à huit mois de saison sèche, favorise, la concentration des sels dans les parties supérieures des nappes, les remontées salines jusqu'à la surface des sols et une absence de dessalement en saison des pluies après saturation rapide des horizons de surface.

Les vingt dernières années ont été marquées comme dans la zone sahélienne, par des déficits pluviométriques réguliers ; la moyenne annuelle de 1921 à 1967 égale à 1577mm n'est plus que de 1148mm entre 1968 et 1988. L'apport insuffisant d'eaux douces par les pluies a pour conséquences : une concentration des eaux de nappes, jusqu'à deux à trois fois et plus, celle de l'eau de mer ; un abaissement du niveau moyen du toit des nappes de quelques centimètres, à plusieurs mètres sous le plateau ; une acidification des sols de mangrove et de certaines terrasses (BARRY et al, 1988 ; LOYER et al, 1988). Les palétuviers ont pratiquement disparu en amont et la riziculture ne se pratique plus que sur les terrasses et têtes de vallées.

L'évaluation et le suivi des zones atteintes par la salinisation et l'acidification, ne peuvent être réalisés à l'échelle du bassin, qu'avec l'imagerie satellitaire à haute définition.

## 2 - OBJECTIFS ET MÉTHODES

Les états de surface, pris dans le sens interface sol-atmosphère (ESCADAFAL, 1989), correspondent, dans le paysage à des marqueurs de la salinité, de l'acidité et du battement des nappes (JADHAV, 1986 ; MOUGENOT et ZANTE, 1986).

La carte des états de surface constitue l'objectif final du traitement numérique des données satellitaires. Les cartes dérivées, appliquées à des caractéristiques des sols et des nappes (salinité et acidité en particulier), sont établies à partir de données exogènes, non directement perçues en général par le satellite. Nous présenterons ici les relations existant entre les états de surface et les paramètres salinité et acidité sur une séquence type, et comment on peut différencier ces états de surface grâce aux données satellitaires multidates.

Les opérations se déroulent à trois niveaux :

#### 1 - Les données de terrain :

Quatorze séquences-tests (de 200 à 400 mètres de longueur), représentatives de l'organisation des états de surface et des processus hydro-pédologiques, ont été choisies d'après le terrain et les données existantes (photos aériennes récentes, cartes pédologiques). Dans la période de passage du satellite, on décrit les états de surface sur des fiches adaptées au milieu avec prises de photographies verticales. Le suivi des nappes et des sols est réalisé à partir de mesures piézométriques et de caractérisations physico-chimiques (principalement pH et Eh mesurés *in situ*, conductivité électrique et bilan ionique au laboratoire).

#### 2 - Les données satellitaires :

Des images du satellite SPOT ont été programmées avec succès en fin de saison des pluies (12/10/86), au maximum du niveau des nappes et du développement de la végétation ; et en saison sèche (08 /05/87), au maximum de baisse des nappes, de concentration des sels dans les eaux et les sols, et du dessèchement de la végétation. Les données sont acquises en multispectral (XS), soit dans le vert, le rouge et le proche infrarouge (0,50-0,59µm ; 0,61-0,69µm et 0,79-0,89µm, résolution spatiale de 20 mètres).

#### 3 - Les traitements :

Les séquences-tests sont repérées sur des compositions colorées. On détermine ensuite les réponses radiométriques dans les trois canaux SPOT et aux deux dates, des différents états de surface observés sur le terrain. Les scènes sont acquises dans les mêmes conditions de visée (angle de 6° depuis l'ouest) ; elles se superposent ainsi par simple translation. La plupart des confusions radiométriques sont levées grâce à la complémentarité des deux périodes. La validation se fait sur le terrain et par comparaison aux données aériennes et cartographiques.

Deux fenêtres de 600x800 pixels (484 km<sup>2</sup>), représentatives du milieu peu dégradé près de l'embouchure et dégradé vers l'amont au nord est de la ville de Ziguinchor, ont été étudiées.

### 3 - RESULTATS :

#### CONSTITUANTS ET FACTEURS D'EVOLUTION DES ETATS DE SURFACE :

Les états de surface qui nous intéressent, se développent sur les trois principales unités géomorphologiques du paysage, parallèlement au lit mineur des marigots vers le plateau (figure 1) :

- 1 **bas-fonds**, régulièrement inondés (mangrove active ou récemment disparue : tannes inondés)
- 2 **tannes**, rarement inondés (ou tannes exondés : tannes vifs et herbus)

#### 3 terrasses

Les caractères permanents et évolutifs, décrivant les états de surface à l'échelle saisonnière, influencent également les paramètres qui agissent sur la radiométrie (couleur, humidité, rugosité et végétation) :

*caractères permanents :*

texture,.....	
teneur en matière organique et en fer.....	couleur
densité de végétation arbustive et arborée .....	végétation, rugosité
<i>caractères évolutifs</i>	
état du fer, sels, dépôts éoliens .....	..couleur
teneur en eau et eaux libres .....	.humidité
structure (pellicule de battance, croûte saline, micro-agrégats...) .....	rugosité
activité chlorophyllienne et extension de la strate herbacée .....	végétation

Le fer oxydé colore la surface en brun, d'autant plus foncé que les horizons supérieurs des sols sont argileux et organiques.

Les sels sont principalement représentés par :

- les chlorures, avec le chlorure de sodium largement majoritaire, sous forme de fines aiguilles blanches de un à dix millimètres ou de croûtes plus ou moins continues claires, associées aux éléments du sols ;
- les sulfates, plus localisés, sous forme de fines aiguilles (gypse), de concrétions et de taches irrégulières centimétriques à décimétriques, jaunes à blanches (jarosite, sulfates mixtes d'Al, Fe, Mg).

Les cycles humectation/dessiccation par les marées ou les pluies et la forte évaporation (jusqu'à 1cm/jour en saison sèche), conditionnent l'évolution des états de surface à trois échelles de temps :

- cycles bi-quotidiens, mensuels et annuels des marées (affectant les bas-fonds et parfois les tannes vifs)
- cycles saisonniers (saison des pluies et saison sèche)
- cycles pluriannuels

Aux deux saisons, des facteurs externes modifient les états de surface directement ou par l'intermédiaire des nappes (tableau 1).

saison des pluies :	saison sèche :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• marées</li> <li>• nappes sub-affleurantes</li> <li>• pluies, inondation (eaux douces)</li> <li>• riziculture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• marées</li> <li>• nappes peu profondes</li> <li>• dessiccation superficielle</li> <li>• déflation, accumulation, apports</li> </ul>

Tableau 1 - Facteurs pouvant modifier les états de surface

Le développement d'une structure en surface (croûte, micro-agrégats, plaquettes) ne s'observe que sur les sols irrégulièrement ou rarement inondés (tannes et terrasses), sous l'effet des pluies, de la dessiccation et des sels présents dans les nappes.

On constate en saison sèche trois types de remaniements éoliens : apports allochtones et autochtones de poussières (argiles et limons) saupoudrant en particulier les croûtes salines et les feuilles des palétuviers ; destruction des croûtes et départ des pseudo-sables ; accumulation à la périphérie des tannes.

La végétation subit rapidement après la saison des pluies, un stress hydrique et éventuellement un stress salin. La strate herbacée n'est plus active en saison sèche, sauf les halophytes succulentes.

La dynamique des états de surface dépend de celle des nappes ; cela permet d'établir des relations étroites avec certaines de leurs caractéristiques.

## LES RELATIONS ENTRE LES ÉTATS DE SURFACE ET LES NAPPES :

La figure 1 présente une séquence type complète, indiquant les variations saisonnières, du niveau piézométrique, de la conductivité électrique et du pH in situ de la nappe, en relation avec les états de surface dans le paysage.

De la mangrove vers les tannes vifs, les nappes suivent les fluctuations amorties de la marée (0 à -30cm). Leur conductivité électrique, toujours supérieure à celle de l'eau de mer, croît progressivement et s'annule vers les terrasses. Le pH proche de la neutralité dans les sols et les nappes de bas-fond, diminue brutalement dans les tannes vifs issus d'anciennes mangroves.

- Les bas-fonds :

Les palétuviers, *Rhizophora racemosa*, puis *Rhizophora mangle* sont les plus sensibles à l'augmentation de la salinité moyenne dans les eaux libres et les nappes : diminution de densité (80% à 15%) et de taille (10 à 1m) puis disparition brutale. En arrière, *Avicennia africana* mélangé à *Rhizophora mangle*, puis monospécifique, supporte une exondation prolongée et une conductivité électrique moyenne de l'ordre de 90 mS/cm. Au delà de cette valeur, la végétation disparaît progressivement et laisse la place à des tannes inondés plus ou moins foncés (texture argileuse, matière organique de 1 à 20% et horizon tourbeux) et des tannes vifs. Les nappes comme les sols ne sont pas ou très peu acides (pH 7 à 6,5 ; sols potentiellement sulfatés acides), sauf dans les parties hautes légèrement acides (pH 6,5 à 5,5), plus claires, moins organiques et souvent plus riches en sables.

- Les tannes :

Le maximum de concentration des sels est enregistré dans les nappes des tannes vifs (>100mS/cm). Elles sont acides (contaminées par les sols sulfatés acides, pH <4,5) à neutre sur les tannes issus de matériaux récents. En surface, les croûtes salines se reconstituent très rapidement après les pluies et entraînent une augmentation de la clarté. Elles peuvent disparaître avec le développement d'horizons micro-agrégés (pseudosables, pris en masse en saison humide) entraînant une augmentation de la micro-rugosité (texture de surface argileuse dominante, à sableuse). La végétation permanente d'halophytes succulentes est rare. Le desalement temporaire de l'horizon de surface en saison des pluies peut permettre le développement d'une strate herbacée dense à cypéracées, dans certaines dépressions (tannes herbues).

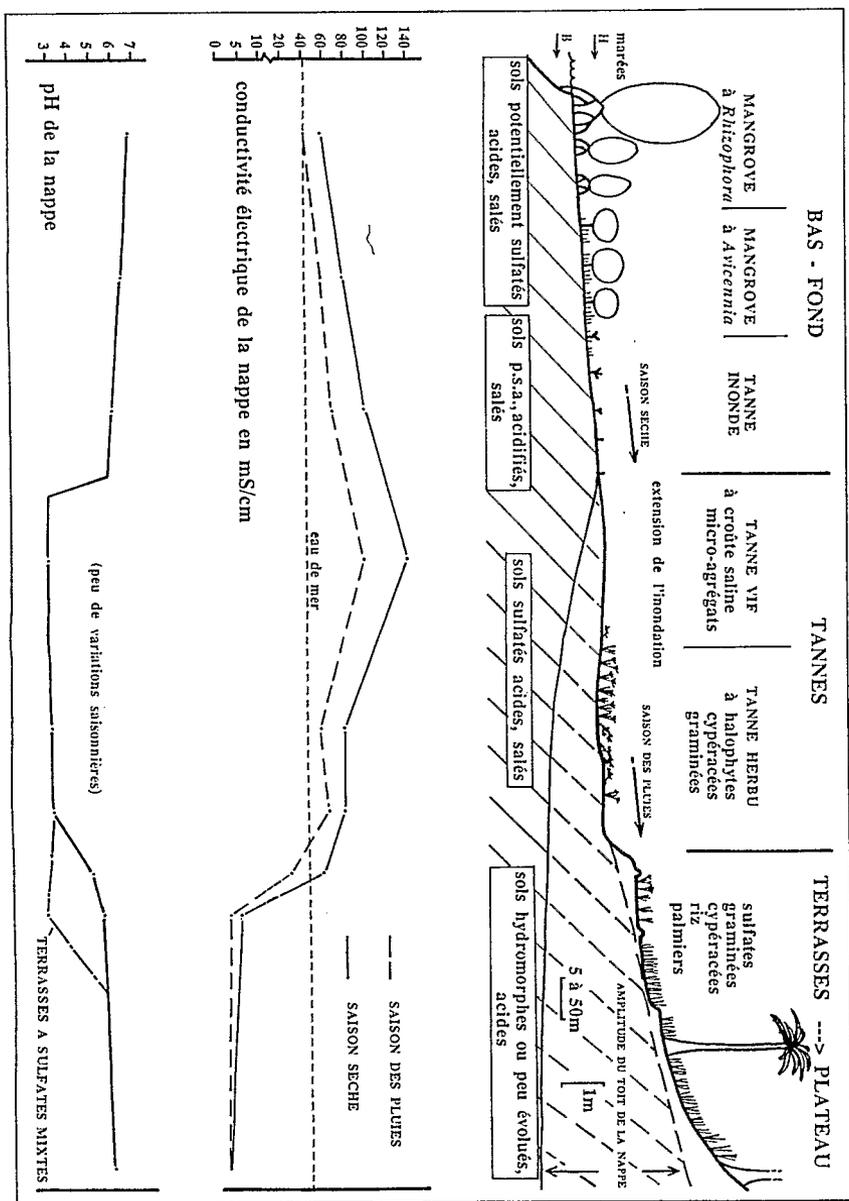


Figure 1- Organisation des états de surface en relation avec les nappes et les sols, le long d'une séquence type (mangrove en voie de dégradation)

- Les terrasses :

Les nappes salées ne contaminent que très peu, et avec un contact net sur quelques mètres à quelques dizaines de mètres, les nappes de terrasses et de têtes de vallées, encore suffisamment alimentées par celles du plateau. La strate herbacée dense temporaire (graminées, cypéracées en zones inondées et rizières) est associée à la palmeraie. La présence de sols nus et de sulfates mixtes en surface (LEBRUSQ et al., 1986), est le signe d'une nappe hyperacide (pH 2 à 3), susceptible de contaminer les eaux de surface.

La partie supérieure des nappes et des horizons de surface salés subit un dessalement saisonnier (20 à 50% environ) au moment des pluies de juillet à septembre. Le développement d'une strate herbacée temporaire peut marquer cette évolution. La salinité augmente ensuite brutalement puis croît lentement pendant la saison sèche jusqu'en juin. Le pH par contre, varie peu.

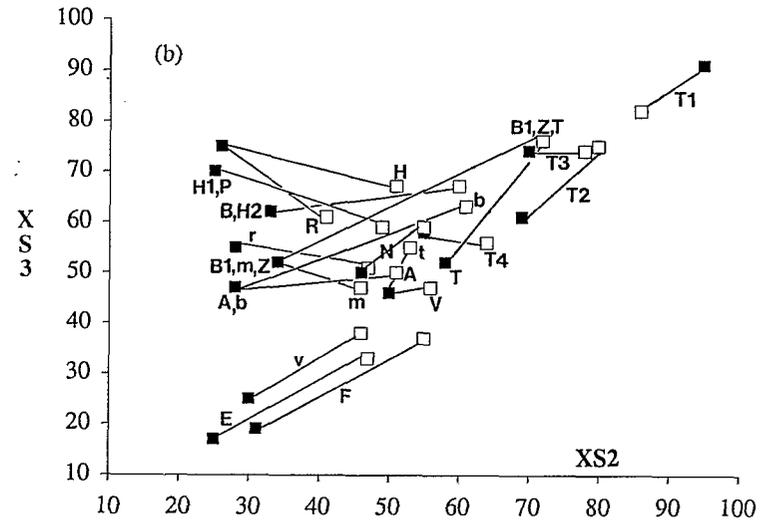
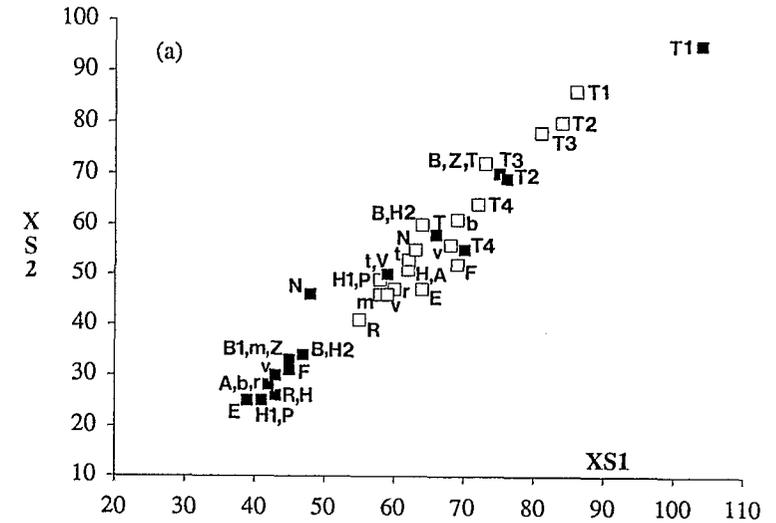
#### DYNAMIQUE SAISONNIERE ET RÉPONSES RADIOMÉTRIQUES DES ÉTATS DE SURFACE :

Les figures 2a et 2b, représentent l'évolution saisonnière des luminances moyennes des principaux thèmes "états de surface" des séquences-tests, sur les diagrammes croisés des canaux XS1/XS2 et XS2/XS3. Les canaux XS1 et XS2 présentent une forte corrélation ( $r=0,97$ ) (Figure 2a). En saison des pluies, le nuage de points s'étire des valeurs très hautes (croûtes salines récentes : T1) vers les très basses (végétation active, tannes inondés couverts de 20 à 50cm d'eau au moment de la prise de la scène : v). En saison sèche les réponses se décalent vers des valeurs moyennes à hautes (végétation peu active ou sèche, confondue avec les tannes vifs : B1,Z,T ; tannes vifs plus secs qu'en saison des pluies, mais sans croûte saline pure : T à T4 ; tannes inondés découverts (marée basse) : v,V).

PRINCIPAUX ÉTATS DE SURFACE ET SITUATION DANS LE PAYSAGE (SAISON SECHE)

<b>R</b> =	<i>Rhizophora racemosa</i> ou <i>mangrove</i> , denses ;.....	- bas-fond (mangrove)
<b>r</b> =	<i>Rhizophora mangrove</i> , peu denses ; .....	- bas-fond (mangrove)
<b>m</b> =	<i>Rhizophora m.</i> et <i>Avicennia africana</i> , denses à peu denses ;.....	- bas-fond (mangrove)
<b>A</b> =	<i>Avicennia africana</i> , denses à peu denses ;.....	- partie haute de bas-fond (mangrove)
<b>v</b> =	surfaces nues, très foncées, (10YR3/2) ;.....	- bas-fond (tanne inondé)
<b>V</b> =	surfaces nues claires, (10YR4/3) ;.....	partie haute de bas-fond (tanne inondé)
<b>N</b> =	halophytes et cypéracées, denses à peu denses ;.....	- tannes herbus
<b>t</b> =	surfaces micro-agrégées, foncées (10YR 5/3) ; .....	- tannes vifs
<b>T</b> =	surfaces à croûte saline ou à micro-agrégats peu développés, claires à très claires, (10YR5/3 à 10YR 7/4) ;.....	tannes vifs
<b>b</b> =	halophytes, graminées ou cypéracées denses à peu denses ;.....	- basses terrasses
<b>B</b> =	graminées denses, rizières ;.....	- basses et hautes terrasses
<b>Z</b> =	rizières ; .....	- basses et hautes terrasses
<b>H</b> =	graminées denses, rizières et strate arborée peu dense ;.....	- hautes terrasses
<b>P</b> =	palmeraie, forêt, jachères ;.....	- plateau
<b>E</b> =	eau libre profonde	
<b>F</b> =	haut-fond	

Tableau 2 - Légende des figures 2a et 2b



Figures 2 a et 2 b - Evolution saisonnière des luminances moyennes des principaux états de surface sur les histogrammes bidimensionnels des canaux XS1/XS2 (a) et XS2/XS3 (b).

Des états de surface confondus en saison des pluies (■ R, H par exemple), se différencient en saison sèche (□ R ; □ H) et inversement pour d'autres (B1, Z et T). Des confusions subsistent sur certains sites (■, □ H1, P ; B1, Z). Légende : tableau 2.

Scènes SPOT 23-325 :

■ fin de saison des pluies : 12 oct. 1986

□ fin de saison sèche : 08 mai 1987

Le diagramme XS2/XS3 (Figure 2b) est nettement plus riche en différenciations intra et intersaisonniers, malgré un regroupement des thèmes en saison sèche comme dans le graphe précédent (Figure 2a). Les surfaces en permanence sans végétation décelable par les capteurs (recouvrement végétal en dessous de 10 à 15%), sont toujours bien différenciées suivant des droites d'évolution saisonnière dans la direction de la médiane. On note sur les tannes clairs à luminance élevée dans les trois canaux, une convergence des réponses en saison sèche, due à l'uniformisation des états de surface par la dessiccation (micro-agrégation augmentant la micro-rugosité) et les dépôts éoliens (croûtes salines plus foncées). C'est au contraire le facteur humidité et l'absence de micro-rugosité qui occasionne des confusions en saison des pluies, entre tannes inondés clairs (V) et tannes vifs foncés (t). Les tannes inondés foncés (v) représentent les états de surface les plus stables dans le temps sauf pour l'inondation par les marées signalée par des réponses basses dans les trois canaux en saison des pluies.

Les marées décalées de 6 à 8 heures entre l'embouchure et les parties amont, impliquent un gradient de profondeur d'eau et d'humidité selon la distance à la mer : l'image de saison des pluies est prise de marée haute à marée descendante de l'amont vers l'aval, et à marée descendante en saison sèche.

D'une manière générale, l'activité chlorophyllienne et l'inondation en saison des pluies impliquent des confusions entre états de surface très différents. La mangrove dense à *Rhizophora*, uniformément verte à toute saison se distingue des hautes terrasses en saison sèche. Il en est de même pour les surfaces à *Avicennia* avec les basses terrasses salées et les tannes herbues. Par contre, certaines rizières sur basses terrasses sans végétation en saison sèche, se séparent radiométriquement des tannes vifs toujours dénudés, en saison des pluies. La baisse d'activité chlorophyllienne due aux stress hydrique et salin, est accentuée par la présence de poussières sur les feuilles. L'indice de végétation (XS3-XS2/XS3+XS2) diminue d'environ 50% au niveau de la végétation active, avec une forte croissance des réponses dans le canal 2 (Figure 2b). Les surfaces à sulfates mixtes semblent souvent trop réduites ou trop dispersées pour la résolution du satellite et se confondent avec les basses terrasses et les tannes vifs. Il n'est pas possible de séparer radiométriquement les états de surface de certaines hautes terrasses, de ceux du plateau.

L'influence sur la luminance des conditions d'acquisition (incidence, position du soleil, atmosphère avec en particulier les aérosols et la vapeur d'eau) et de l'environnement, sont en cours d'étude à l'aide de mesures radiométriques de terrain. En saison sèche, l'augmentation de la réponse spectrale moyenne (cas de l'eau libre en particulier) et la perte de contraste sont accentuées avec les brumes sèches. Cette approche permettra de suivre l'évolution réelle des états de surface et leur contribution au signal. Les données satellitaires acquises pourront alors servir de référence pour le suivi de la région.

## CARTOGRAPHIE DES ÉTATS DE SURFACE ET CARTES DÉRIVÉES :

On identifie à l'écran le long des séquences-tests, la réponse radiométrique moyenne des états de surface dans les trois canaux. Les résultats, acquis ainsi de façon supervisée, sont introduits dans une classification utilisant la distance euclidienne pour chacune des deux dates. Ces deux classifications sont superposées par addition des plans. Les nouvelles classes ainsi définies sont réaffectées visuellement aux 16 thèmes "états de surface" décrits dans la légende des figures 2a et 2b. Ils correspondent à un ou plusieurs états de surface caractérisés par leur évolution saisonnière radiométrique et éventuellement spatiale. Comme nous l'avons vu plus haut, des confusions minimales subsistent.

Ce document de référence, par simple affectation ou regroupements des états de surface, permet la production de cartes dérivées de deux types :

- directes, à partir des caractéristiques des états de surface et de leur répartition dans le paysage : cartes des unités géomorphologiques, de végétation, des rizières, des zones inondables ;
- indirectes, à partir du suivi de données exogènes recueillies sur le terrain et plus particulièrement : qualité des nappes (conductivité électrique, pH, niveau piézométrique), mais aussi de paramètres liés au fonctionnement des sols ( potentialités acides, profil salin).

Pour les nappes, la légende exprime directement les valeurs de conductivité électrique en mS/cm de leur partie supérieure, avec le minima et le maxima saisonnier.

L'échelle de restitution, modifiable selon les objectifs de 1/25000 à 1/100000 après regroupements, permet la production de documents de synthèse suffisamment lisibles pour le suivi des plus petites vallées de la région (150 ha).

Les cartes d'états de surface possèdent des contours fiables quand il existe une limite nette au moins à une date (en dehors de l'imprécision liée à la taille du point élémentaire). Les pixels mal classés, par comparaison sur les séquences-tests à des photographies aériennes atteignent 5 à 15%. Les confusions proviennent en particulier des zones à faible couvert végétal (< 15%) et des variations d'humidité dues à la marée sur ces pentes très faibles. Une solution serait l'introduction de thèmes de transition correspondant en fait sur le terrain, aux domaines les plus importants de transformation des sols et des nappes (hypersalinisation, et acidification). Les cartes thématiques dérivées sont moins précises dans leur contenu quand les relations états de surface/sols et nappes pour un paramètre donné ne sont pas bijectives. Il n'existe pas par exemple pour les tannes inondés, de marqueurs spécifiques de degrés d'hypersalinisation au delà d'une conductivité électrique de la nappe de 90 à 100mS/cm. Il faudrait dans ce cas, tenir compte de critères de distances au réseau hydrographique et à l'embouchure du fleuve Casamance, en relation avec l'accroissement de la salinité.

#### 4 - CONCLUSIONS

De bonnes concordances entre les états de surface, les nappes et les sols, permettent de caractériser et de cartographier des paramètres physicochimiques comme la salinité et l'acidité. Le suivi sur le terrain des données de surface et de profondeur reste cependant indispensable. Les classifications à partir des données brutes sont améliorées en traitant deux dates. La contribution des conditions d'acquisition sera à évaluer pour interpréter l'évolution saisonnière réelle du signal et en prévision de suivis ultérieurs.

L'extension à l'ensemble de la région implique l'étude d'autres fenêtres de l'image, avec une augmentation rapide du nombre de thèmes et un risque croissant de confusions. Ceci nécessitera de stratifier au préalable les données, suivant si possible le comportement radiométrique saisonnier de chaque unité de paysage. L'amélioration des résultats implique également de prendre en compte pour ce milieu, des critères structuraux et de distance.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., SAOS J.L., TOUMA J., ZANTE P. (1988). Sécheresse et modification des ressources hydriques en basse Casamance, conséquences pour le milieu naturel et son aménagement. 2eme Journées de l'eau au Sénégal, Eau et Développement, 8-10 déc. 1988, DAKAR, 22p.
- ESCADAFAL R. (1989). Caractérisation de la surface des sols arides par observation de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). Collection Etudes et Thèses, ORSTOM Ed. Paris, 317p.
- JADHAV A.S (1986). Application of remote sensing in hydromorphomogy for third world development : a resource development study in parts of Haryana. Proceedings of the 7th International symposium, ISPRS, Com.VII. Enschede, 25-29 august 1986. A.A.Balkema, Rotterdam, Boston ed., 26/7/2, 721-724.
- LEBRUSQ J.Y., LOYER J.Y., MOUGENOT B. , CARN M. (1987). Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium, de fer et de magnésium et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. Science du sol, 25 (3), 173-184.
- LOYER J.Y., BOIVIN P., LEBRUSQ J.Y. et ZANTE P (1988). Les sols du domaine fluvio-marin de Casamance (Sénégal) : Evolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur. in Selected Papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils ; Dakar, Senegal, January, 1986. ILRI, H. Dost Ed. Wageningen. 44, 16-23.
- MOUGENOT B. and ZANTE P. (1986). Study of factors acting on reflectance of salt affected and acid soils surfaces in Casamance (senegal) : first results. 7th International symposium, ISPRS, Com.VII. Enschede, 25-29 august 1986. Poster session.