

Bernard MOUSNOI

ETUDE DES ETATS DE SURFACE
DES SOLS DE MANGROVES PAR TELEDETECTION
EN BASSE CASAMANCE (SENEGAL)
(site de KATAKALOUSSE)



DECEMBRE 1988

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CENTRE DE DAKAR-HANN



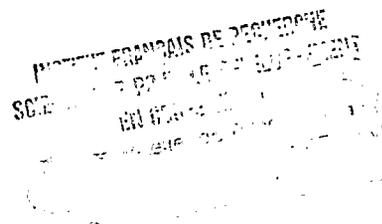
B 26370
Pg
2 1 M

ORSTOM
Observatoire Régional de l'Environnement de Senegal
11, Avenue de l'Indépendance
Dakar, Sénégal

ETUDE DES ETATS DE SURFACE DES SOLS DE MANGROVES
PAR TELEDETECTION EN BASSE CASAMANCE

(site de KATAKALOUSSE)

Bernard MOUGENOT ORSTOM DAKAR UR 2B.



1. DEMARCHE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS:

La basse Casamance n'a pas été épargnée par les 20 dernières années marquées par une sécheresse persistante bien connue en domaine sahélien. Ses effets cumulés ont provoqué une importante dégradation du milieu (voir § 2), affectant de façon spectaculaire la végétation de mangrove, sous l'effet de la sursalure des eaux puis des sols et des nappes et de leur acidification plus ou moins intense.

La carte des sols à l'ouest de Ziguinchor au 1/200.000e réalisée par VIEILLEFON, date de 1972. La plupart des vallées des grands affluents de la Casamance ont été cartographiées en vue d'aménagements au cours des 15 dernières années.

Il est maintenant nécessaire de dresser un bilan de l'état du milieu. La rapidité d'évolution de la partie "bas-fond" des paysages interdit la réalisation d'une approche régionale autre que par la télédétection satellitaire à haute définition.

Divers travaux montrent l'intérêt des données de type SPOT ou LANDSAT, pour la détection directe des zones salées (MACHANDA, 1984), et de la mangrove (BLASCO, 1982, 1985; BERENGER, 1985; DIAW et al, 1987; GUILLEMYN et al, 1987; LAUMONIER et al, 1987; travaux de MARIUS et MOREAU sur la Guinée).

Une première approche a montré que les relations entre états de surface et certaines caractéristiques des sols sont bonnes dans ce milieu (MOUGENOT et ZANTE, 1987), ce qui n'est pas très fréquent en pédologie. Je m'intéresserai plus particulièrement en Basse Casamance à l'état des sols et des nappes soumis aux processus de sursalure et d'acidification récents.

Le satellite SPOT a été choisi pour sa résolution au sol (pixel de 20m en multispectral, XS). Elle est adaptée à la taille des objets observés, liée au réseau hydrographique très fin et digité. La visée en légère oblique améliore les possibilités de prise d'image sur une courte période, ou en cas de nuages ou brumes sèches.

Les périodes de prise des scènes SPOT ont été choisies afin de mettre en évidence l'évolution saisonnière des états de surface

en relation avec les sols et la nappe, soit:

-en fin de saison des pluies 1986, au maximum du niveau des nappes et des apports d'eau douce et du développement de la végétation.

-en fin de saison sèche, au maximum de baisse des nappes, de concentration des sels dans les sols et les eaux, et du dessèchement de la végétation.

Les objectifs sont:

-réaliser une cartographie des états de surface et des cartes dérivées, en particulier de la salure et de l'acidité.

-définir une méthodologie d'acquisition des données de terrain nécessaire à ce milieu.

-rechercher les traitements d'image les plus adaptés aux objectifs de terrain. -Dresser un catalogue des états de surface en relation avec les sols et les nappes et leurs signatures spectrales satellitaire et au sol.

Au cours de cette étude je présenterai les résultats obtenus sur le site de KATAKALOUSSE (Figure 1, Planche 1 et 2), représentatif d'une partie de l'aval de la basse Casamance où malgré la proximité de l'embouchure, les effets de la sécheresse commencent à être ressentis. Le site étudié, le long de la route CAP SKIRRING - ZIGUINCHOR et du bolon de KATAKALOUSSE, a une taille de 256x256 pixels (26 KM²).

2- ETAT DU MILIEU EN BASSE CASAMANCE:

(Les travaux de MARIUS (1985) et VIEILLEFON (1977) donnent des informations complètes à ce sujet).

2-1. HISTOIRE GEOLOGIQUE RECENTE:

Le golfe de basse Casamance s'est comblé après la grande transgression nouakchottienne vers 5500 BP, pour atteindre son état actuel vers 1500 BP. La sédimentation terminale consiste en un système de cordons littoraux, de vasières progressivement colonisées par la végétation de mangrove et maintenant stabilisées, et de terrasses sableuses hautes et argileuses basses.

2-2. LA VEGETATION:

La colonisation des sédiments fluvio-marin se fait de façon évolutive dans le temps et dans l'espace par les palétuviers et une strate herbacée halophyte ou non. La séquence évoluée est représentée par la succession: *Rhizophora racemosa* sur les rives du marigot (ou bolon), *Rhizophora mangle*, *Rhizophora mangle* et *Avicennia africana* en association, puis *Avicennia africana* avant le tanne vif et le tanne herbacé (étendue sursalée dénudée ou avec une strate herbacée halophyte peu couvrante). En bordure du plateau succèdent les terrasses colonisées par des graminées et enfin un liseré de palmiers à huile.

2-3. LES SOLS:

l'évolution pédologique des sols de mangrove est liée à la présence du soufre, accumulé sous forme de sulfure de fer néoformé dans les sols à *Rhizophora*, à l'inondation par les marées et à l'évolution de la qualité et du niveau des nappes.

Les sols de mangrove régulièrement inondés par les marées sont tous salés et potentiellement sulfatés acides. Les sols de tanne (issus de sols de mangroves évolués), sont sulfatés acides après oxydation de la pyrite consécutive à la baisse de la nappe en saison sèche, et salés. On observe sur les terrasses et les hautes vallées, soit des sols sulfatés acides évolués, soit des sols hydromorphes.

2-4. LES MODIFICATIONS CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES ACTUELLES:

Avant 1968, le climat de type guinéen à soudano-guinéen au nord de la Casamance, était caractérisé par une saison des pluies de 5 mois et une longue saison sèche. Après cette date la baisse de la moyenne des précipitations (1400mm à 1100mm) s'est accompagnée d'un raccourcissement de la saison des pluies (3 à 4 mois) et d'une plus grande irrégularité des précipitations.

Le fonctionnement de la Casamance en estuaire inverse, du à des apports d'eau douce réduits et à sa faible pente s'est accentué (PAGES et al, 1986). La salinité des eaux atteint fréquemment 2 à 3 fois celle de l'eau de mer en saison sèche avec un dessalement réduit et très temporaire pendant la saison des pluies.

2-5. CONSEQUENCES SUR LES SOLS, LES NAPPES ET LA VEGETATION:

Ces conséquences ont été décrites dans de nombreux travaux (MARIUS, 1985; BOIVIN et al, 1986, 1987, 1988; BARRY et al, 1986):

- abaissement généralisé des nappes,
- hypersalinisation des sols et des nappes
- acidification des sols qui ne sont plus soumis aux marées quotidiennes.
- disparition quasi-totale de la mangrove dans la partie amont.
- diminution des surfaces rizicultivables, restreintes aux terrasses et aux tête de vallées.

3. ACQUISITION DES DONNEES SPOT:

3-1. CALENDRIER:

Une première prise a été réalisée sur la basse et moyenne Casamance les 12 et 18 octobre 1986 (Figure 1). De cette couverture, acquise en commun avec un programme hydro-biologique sur le fleuve Casamance trois images concernent la basse Casamance

et principalement l'image 23-325 .

Une répétition a eu lieu la saison sèche suivante les 8 mai et 3 juin 1987, uniquement sur la basse Casamance pour des problèmes météorologiques alors que la programmation avait débuté en mars. Une image supplémentaire acquise dans le cadre d'un programme hydro-géologique (J.L. SAOS), a achevé une mosaïque complète de 4 images sur la région.

3-2. CONDITIONS D'ACQUISITION:

Les données sont acquises en multispectral. L'angle d'incidence, imposé par la programmation de fin de saison des pluies sur une courte période, est de 5°57 vers l'est (mode quasi-vertical). L'avantage représenté par la possibilité de prise en oblique se perd en multi-temporel avec l'obligation de conserver l'angle de visée de départ (périodicité: 1/26 jours).

3-3. LA SCENE 23-325:

La scène qui nous intéresse plus particulièrement dans cette étude (23-325, 12 octobre 1986), est de bonne qualité, bien équilibrée et sans effets de barrettes.

On note une légère couverture nuageuse dans la partie sud-est de l'image et quelques voiles nuageux épars très ténus. (Planche 1 et 2). La visibilité au sol est excellente. Des pluies éparses de 0 à 15 mm se sont produites la veille et les 4 jours précédents.

La marée, de faible amplitude ce jour (0,7M.) et les 2 jours précédents, est au minimum (0,7M.) dans la partie aval du fleuve Casamance et descendante à haute en amont (1,4M.), où on enregistre de 6 à 8H de retard sur l'embouchure. Le site de KATAKALOUSSE, au sud-ouest de la scène, a un retard de marée d'environ 1H.

3-4. TYPE DES DONNEES ET TRAITEMENTS:

Les données sont acquises sous forme photographique et numérique. Les traitements photographiques ont été réalisés à l'Unité LIA du centre ORSTOM de BONDY (compositions colorées à 1200.000e). Les traitements numériques sont effectués à l'UTIS (Unité de Traitements d'Image au Sénégal. ISRA/ORSTOM. Cet atelier dédié à l'imagerie METEOSAT et NOAA est équipé d'un Péricolor 1000 relié à un MINI6; j'ai ainsi réalisé des traitements numériques malheureusement limités, à proximité du terrain.

4. METHODOLOGIE D'ETUDE ET DEROULEMENT DES TRAITEMENTS:

4-1. INVENTAIRE DES ETATS DE SURFACE:

Un premier inventaire des états de surface a été défini sur le terrain à partir de 9 séquences tests, recoupant les différenciations morpho-pédologiques du paysage: des bolons, vers la mangrove, les tannes sableux sur les anciens cordons littoraux et les terrasses.

Vingt états de surface ont été dans un premier temps définis.

4-2. DESCRIPTIONS:

La description des séquences tests est réalisée à plusieurs échelle d'observations:

- photographies aériennes verticales récentes, prises sur le site à partir d'un avion de tourisme. (juin 1988, échelle 1/3000e). Elles se sont avérées indispensables dans ce milieu peu accessible, en particulier pour estimer la couverture végétale et son aspect (LEBIGRE, 1983).

- photographies verticales au sol, quand cela est possible, prises depuis un mat à 5M. de hauteur. (échelle 1/30e).

- de fiches de description.

L'aspect micromorphologique n'a pu être abordé.

4-3. CARACTERISATION HYDRO-PEDOLOGIQUES:

Il a été montré par MARIUS que la mesure du pH (in situ et sec) et de la salure suffisaient pour caractériser les sols de mangrove. Les nappes sont prélevées au fond de la fosse pédologique ou du trou de tarière (ou de pelle à vase). Les suivis ont lieu en saison des pluies et en saison sèche.

4-4. ANALYSE DE L'IMAGE:

Des parcelles d'entraînements sont repérées sur composition colorées à trois canaux, simulant l'infra-rouge fausses couleurs. Les tirages photographiques (composition colorées ou mono-canal disponibles à 1/50.000e au maximum), présentent rapidement des limitations de lisibilité due à la taille des séquences tests imposées par le terrain (200 à 400M). Ainsi les études fines ont été réalisées uniquement à l'écran et sur sorties imprimantes.

Ces parcelles, soit 3 à 5 par états de surface, sont choisies le long des séquences tests et des séquences de contrôles sans prélèvements. Elles occupent 2 à 4 pixels au minimum en largeur. La précision du repérage et le contraste du terrain permettent d'utiliser de si petites parcelles, en relation avec la taille des unités observées au sol.

Je ne détaillerai pas ici les opérations préalables à l'analyse fine (histogrammes, rapports et seuillages de canaux...). L'indice de végétation normalisé (IV: canal 3 - canal 2 / canal 3 + canal 2) et l'indice de brillance (IB: [canal 2]² + [canal 3]²), ont été essayés. Ils ne permettent pas de classer sans confusions toutes l'image.

Un logiciel de classification par agrégation avec choix des centres de classes, a été utilisé sur l'ensemble du site de KATAKALOUSSE. L'analyse statistique de la radiométrie des parcelles d'entraînement a abouti à un regroupement en 32 classes radiométriques, réunies en 14 thèmes différenciés sur l'image à cette saison. Chaque thème correspond à une ou plusieurs unités de surface sur le terrain (voir § 6).

4-5. LA CARTE DES ETATS DE SURFACE:

La légende présentée met en correspondance:

- les thèmes. (information satellitaire)
- les unités de surface, décrites avec les caractéristiques des états de surface: structure, couleur, humidité, rugosité végétation. (surface)
- les unités morpho-pédologiques et l'hydrologie. (paysage, sols et eaux)

4-6. EXTENSIONS:

Elles donnent de bons résultats autour du site après introduction éventuelle de nouvelles classes radiométriques pour affiner la définition des thèmes. La carte jointe est une extension vers le nord 2 fois 256x256 pixels du site de KATAKALOUSSE. Le logiciel de classement utilisé, limité à des imagerie 256x256, n'est pas adapté, dès que l'image inclu de nouvelles unités de paysage même minimales, ou ne possède pas le même équilibre.

Une nouvelle chaîne de traitement récemment implantée doit améliorer cette situation (classification par partition de l'histogramme bidimensionnel en particulier, plus performante et mieux supervisable).

5. DESCRIPTION D'UNE SEQUENCE TEST:

Une séquence "marigot - mangrove - tanne" (à proximité de la route CAP SKIRRING- ZIGUINCHOR), est présentée en figure 2. Elle est représentative du milieu étudié, même si toutes les unités de surfaces ne sont pas représentées.

5-1. ETATS DE SURFACE:

-Les *Rhizophoras racemosa*, de texture irrégulière en photographie aériennes, due aux arbres morts, forment un rideau dense de 8 à 12M. de hauteur, et décroissent rapidement de taille à 20 ou 30M. en retrait du marigot.

-Les *Rhizophoras mangle* mélangés d'abord à des petits *Rhizophoras racemosa*, sont ensuite en formation monospécifique haute (2 à 4 M.) et très couvrante (> 80%). Leur texture est régulière granuleuse fine.

-Les premiers pneumatophores d'*Avicennia africana* apparaissent ensuite, bien que ces palétuviers sans échasses et racines aériennes ne représentent que 1 à 10% des *Rhizophoras mangle* (1 à 3M., 30 à 40%), en buissons et bosquets séparés avec quelques arbustes morts. Le sol foncé et saturé d'eau à marée basse est visible. La texture est granuleuse grossière à pointillée large. C'est l'état de surface le plus foncé du fait aussi, de l'allure surélevée de l'arbuste et de la couleur vert foncé du feuillage. *Avicennia* prédomine ensuite.

-Les *Avicennias* constituent la dernière formation avant le tanne, avec une couverture souvent plus dense que l'unité

précédente (20 à 50%). la forme plus ramassée de l'arbuste donne une texture granuleuse moyenne à pointillée fine avec une tendance en réseau polygonal irrégulier. Le sol est plus clair que sous *Rhizophora*, du en partie aux apports du tanne sableux plus élevé et à un plus faible pourcentage de matière organique en surface.

-Quelques rares taches de *Sesuvium portulacastrum* (Chalophyte succulente) sont observées sur le tanne vif (cordon sableux), couvert d'une pellicule de battance argilo-sableuse à sableuse, foncée à claire, plus sèche et plus claire dans sa partie haute.

5-2. SOLS ET NAPPES:

Les sols sous *Rhizophora* en formations dominante sont plus organiques que ne l'indique la carte de VIEILLEFON.

Le pH in situ est uniformément légèrement acide, en dessous de la valeur 6 en profondeur et en surface de 6 à 6,5 vers le tanne, en surface. L'acidité potentielle indiquée par la différence avec le pH sec, est très élevée en profondeur (pH sec = 3), diminue progressivement en surface au fur et à mesure de la prédominance d'*Avicennia*, et s'annule dans le tanne. Là le pH sec de l'ordre de 8, est peut être du à la présence de coquilles. Le cordon sableux (incomplet dans la séquence étudiée), et la zone à *Avicennia* ont été colonisés en profondeur par *Rhizophora*, ce que confirme la présence de racines fines et de taches marrons (10YR 4/2).

La salinité des sols est étudiée à partir des extraits 1/5. Exprimée en pondéral et non en volumique, elle est à utiliser avec précaution (densité apparente sous *Rhizophora* < 1). Le profil salin (Tableau 1) de type descendant dans tous les sols de la séquence, est du au dessalement de saison des pluies. Il est surtout visible sur le profil sableux très filtrant du tanne. On note une accumulation relative sous *Avicennia* à moyenne profondeur.

Les sols sont potentiellement sulfatés acides sous *Rhizophora* et à faible profondeur sous *Avicennia*, et peu évolués hydromorphes, salés et potentiellement sulfatés acides en profondeur (50 à 100 cm), sous le tanne.

Prof. cm.	Tanne	Av.	Rhiz. m. +AV.	Rhiz. m.	Rhiz. r.
0-20	5,5	20,4	19,5	17,0	20,0
20-40	7,4	41,5	28,7	19,5	27,2
60-80	7,2	16,2	34,0	20,5	28,0

Tableau 1: Conductivité électrique sur extrait 1/5 des sols de la séquence de KATAKALOUSSE (mS/cm.)

Les nappes suivent les fluctuations amorties de la marée (0 à -30cm. en moyenne de la mangrove vers le tanne). La salinité est partout et à toute saison, supérieure à celle de l'eau de mer: jusqu'à 3 fois sous le tanne. Elle croit lentement des *Rhizophoras* vers les *Avicennias*, puis brutalement vers le

tanne. En saison sèche, la salinité augmente dans toute la séquence de 15 à 60%. L'augmentation forte sous *Rhizophora mangle* dense est observée ailleurs avec des mortalités importantes. Ceci est la conséquence d'un phénomène classique de concentration des eaux marines derrière le rideau dense de *Rhizophora racemosa*.

Les variations saisonnières du pH de la nappe sont très faibles, autour de pH 6, proche de celui du sol.

D'après des mesures complémentaires, les seuils maximums de salinité de la nappe supportés par les différentes espèces de mangrove sont dans la région:

- Rhizophora racemosa*: 50 à 60 mS/cm.
- Rhizophora mangle*: 60 à 80 mS/cm.
- Avicennia africana*: 90 à 100 mS/cm.
- Sesuvium portulacastrum*: >100 mS/cm.

Une valeur maximum de l'ordre de 100mS/cm. pour *Avicennia* est citée par GORDON (1988) en Australie.

6. RESULTATS ET COMMENTAIRES SUR LA CARTE DES ETATS DE SURFACE:

les 14 thèmes qu'il a été possible de dégager sur l'extrait d'image, avec la classification utilisée, sont répartis en 3 groupes:

VEGETATION ACTIVE:

1. Mangrove arborée à *Rhizophora racemosa*
Savane arborée
2. Mangrove arbustive à *Rhizophora mangle*
3. Mangrove arbustive à *Rhizophora mangle* et *Avicennia*
4. Mangrove à *Avicennia* dominant et *Rhizophora mangle*
Tanne herbu
Savane arborée
5. Mangrove arbustive à *Avicennia* ou *Rhizophora mangle* dominants, relictuelle

SOLS NUS OU PEU COUVERTS:

6. Vasières et mangrove résiduelle
7. Tanne vif foncé (très humide)
8. Tanne vif foncé
Tanne herbu
9. Tanne vif moyen
10. Tanne vif clair
11. Tanne vif très clair
Glacis de terrasse

EAUX ET ESTRANS:

12. Estran non colonisé
13. Eau peu profonde
14. Eau profonde

Les grandes unités du paysage sont:

-Un réseau hydrographique large (marigot principal) découpant de grandes îles et des estrans.

-Un réseau hydrographique fin et digité, souvent perpendiculaire aux rives.

-Un domaine inondable ou exondé (domaine de la mangrove, tannes et terrasses).

L'échelle de restitution est le 1/34000e (imposé par l'imprimante avec possibilité de zoom).

Après une rapide étude radiométrique des thèmes je présenterai leur organisation dans le paysage et la validité des limites cartographiques.

6-1. SIGNATURES SPECTRALES DES THEMES:

Les signatures spectrales des thèmes ont été représentées sur la figure 3 ; Pour plus de clarté, les classes, réunies par thème, caractérisées chacune par leur valeur médiane et les extrêmes, ont été regroupées en ne tenant compte que de la moyenne des médianes (Tableau 2). Les thèmes (1') et (6') sont bien séparés radiométriquement des thèmes principaux 1 et 6, mais correspondent à des unités de surface similaires.

-Les thèmes "Végétation active" possèdent une réponse faible dans les canaux 1 et 2 et élevée dans le canal 3.

L'indice de végétation décroît de l'unité à *Rhizophora racemosa* [thème 1] vers l'unité à *Rhizophora* ou *Avicennia* très dégradée [thème 5] (IV de 0,5 à 0,1). Ceci semble correspondre plus à une diminution du couvert végétal que de l'activité chlorophyllienne à cette saison favorable à la végétation. POPULUS et HERZ (1984) utilisent un indice de biomasse (IR/R, TMD sur la mangrove que nous n'avons pu employer avec autant de succès ici.

La bande à *Avicennia* dominant [thème 4], en général plus dense que la bande de mélange à *Rhizophora mangle* [thème 3], possède effectivement un indice de végétation plus élevé, mais lié à une plus faible valeur dans le canal 2; celle-ci ne semble pas trop être influencée par le sol nu plus clair mais avec fréquemment un film d'eau en surface et une rugosité plus faible.

Les premières mesures de terrain à l'aide d'un radiomètre CIMEL ont pu être effectuées en 1988 à cette saison. Elles ne montrent qu'une faible différence entre la réponse de *Rhizophora mangle* et *Avicennia*. Ceci reste à préciser.

Ces éléments montrent la complexité des facteurs pouvant influencer la réponse radiométrique d'un état de surface. Il serait nécessaire d'envisager des corrélations multiples pour la détection en particulier du stress salin sur la végétation avant la dégradation totale par la sursalure (RICHARDSON et al, 1976).

-Les thèmes "Sols nus ou peu couverts" s'organisent en 2 groupes. la réponse radiométrique du premier est décroissante du

canal 1 vers le canal 3, avec des valeurs d'autant plus basses que le sol est plus humide ou inondé et foncé (vasières et tannes foncés: [thèmes 6 et 7]).

Une couleur de surface plus claire (horizon de surface sableux et pauvre en matière organique) et surtout une humidité moins forte entraînent une augmentation de la réflectance dans le proche-infra-rouge (tannes [thèmes 8,9 et 10]). Les surfaces les plus claires et sèches, au moins sur les premiers millimètres, sont marquées par des valeurs maximums dans les canaux 2 et 3 (tannes et glacis: [thème 11], très décalé vers les valeurs hautes par rapport aux précédents)

-Les thèmes "Eaux et estrans" [thèmes 12 et 13], se placent en dessous et parallèlement aux thèmes 6 et 7 (vasières humides ou inondées), d'autant plus bas que les eaux sont plus profondes.

6-2. REPARTITION ET STRUCTURE DES UNITES DANS LE PAYSAGE:

Les thèmes 1 à 6 se répartissent dans le paysage suivant la séquence décrite précédemment depuis la rive des bolons. Les 2 premiers à *Rhizophoras* purs épousent la forme des rives suivant des bandes étroites larges de 1 à 5 pixels environ.

Le thème 3 de mélange *Rhizophora / Avicennia*, plus étalé et le mieux représenté ici, remplit l'espace entre les thèmes précédents et les *Avicennias*.

La bande à *Avicennia* [thème 4] en général étroite quand elle est en formation pure, plus large en mélange, est située à la limite des vasières nues et des tannes.

La mangrove dégradée correspond au thème 5, en taches souvent allongées observées jusqu'à l'intérieur du thème 3.

Les vasières [thème 6], en liseré d'un pixel autour des thèmes précédents marquent un effet de bordure, plus large ou en taches circulaires, une ancienne mangrove récemment disparue.

Le manque d'informations sur l'état d'humidité des tannes, limite la précision de l'interprétation des unités de surface "tanne foncé à clair", relativement proches [thèmes 7 à 11]. Les thèmes 7 et 8 représentent les parties basses des bancs sableux, les thèmes 10 et 11, les plus hautes et de façon systématique autour des terrasses, ce qui pourrait être un moyen de les extraire.

Grâce à la marée basse les estrans plus ou moins exondés sont bien délimités malgré des confusions avec les thèmes tannes et vasières.

6-3. VALIDITE DES LIMITES SUR L'IMAGE:

Un tableau de confusion a été établi en comparant les résultats de la classification à la cartographie obtenue sur des photographies aériennes récentes autour de 2 séquences tests sur une surface totale de 2000 pixels (Tableau 3).

On distingue deux sortes de confusions, soit à l'intérieur d'un même ensemble géomorphologique (vasières colonisées), soit entre 2 ensembles (vasières colonisées et terrasses). Elles seront exprimées dans le commentaire en pourcentage de pixels mal classés par rapport aux photographies aériennes de référence.

Parmi les thèmes "Végétation active", les thèmes 1 (*Rhizophora r.*) et 3 (*Rhizophora* et *Avicennia*), légèrement surestimés, sont les plus précisément cartographiés. (< 5%). Le thème 2 à *Rhizophora m.* (10%) est proche du thème 1; des zones de mortalité à faible densité, étroites et irrégulières ne sont pas détectées. Les confusions entre les thèmes 4 (*Avicennia* et *Rhizophora*) et 3 s'expliquent par des limites souvent peu nettes sur le terrain et par la différence de précision des cartes comparées (cas de la séquence. L'importante surestimation (30%) du thème 5 à palétuviers dégradés a lieu pour les mêmes raisons au détriment du thème 4 sous estimé (10%).

Les thèmes 1 et 4 occupent également les terrasses, impossibles à distinguer à cette saison avec uniquement cette classification.

Les tannes foncés très humides regroupent en fait 40% des vasières de mangrove très dégradée; la végétation active peut occuper jusqu'à 15% de la surface (thèmes 6 et 7). Le rôle de la végétation sèche est à préciser.

À l'intérieur des tannes, les tentatives de délimitation surtout liées à la couleur et à l'humidité sont délicates car les photographies ne sont pas prises en même temps que l'image. Les confusions diminuent (15 à 5%), vers les parties hautes qui se dessèchent rapidement.

Les tannes herbus sont peu représentés et non distingués en unité pure. Une couverture végétale de 10 à 15% est nécessaire pour les classer en végétation (thèmes 4 et 8).

Les estrans sont normalement confondus avec les vasières et les tannes en fonction de la couleur et du degré de dessèchement de la surface. On remarquera qu'ils se placent presque systématiquement au delà d'un rideau de *Rhizophora racemosa*. La marée n'a pas complètement dégagés les haut-fonds; il serait possible d'améliorer la cartographie des eaux peu profondes.

Les chenaux inférieurs à 5 à 10M. environ ne sont pas distingués ou de façon discontinue.

7. CONCLUSIONS:

L'adaptation des données SPOT à la cartographie des états de surface en domaine de mangrove s'avère excellente. Le type et la densité des palétuviers est ici le principal marqueur de la sursalure. Des formes d'acidification récentes n'ont pas été observées.

Les confusions entre unités de surface seront levées en superposant l'image de saison sèche mieux contrastée en ce qui concerne la distinction *Rhizophora* / *Avicennia*, les sols de tannes et les terrasses ou la végétation herbacée est sèche (étude en cours).

La zone d'étude est restreinte, pour des raisons essentiellement techniques. D'autres domaines beaucoup plus dégradés sont étudiés (vallées de BIGNONA, KOUBALAN, DJIGUINOUM, KATOURE). Les résultats montrent que le nombre de thèmes devient rapidement très élevé; le domaine du plateau est heureusement assez facile à masquer. L'extension à l'ensemble des bas-fonds de Basse Casamance se fera plus facilement par grands domaines en fonction de l'état de dégradation. Une approche régionale nécessitera une synthèse à vocation thématique limitée à quelques paramètres.

Cette étude doit servir de point de référence pour le suivi de l'évolution du milieu (domaine naturel et aménagé).

Une typologie des états de surface est en cours de réalisation pour la région.

En même temps une typologie des formes des unités de surface détectables avec les données satellitaire et l'étude de leur organisation sont à développer. Le but sera d'améliorer à l'aide d'outils mathématiques, la qualité des cartes et de réaliser des classifications automatiques ou de séparer les domaines mal classés, en particulier quand on ne disposera que d'une seule image.

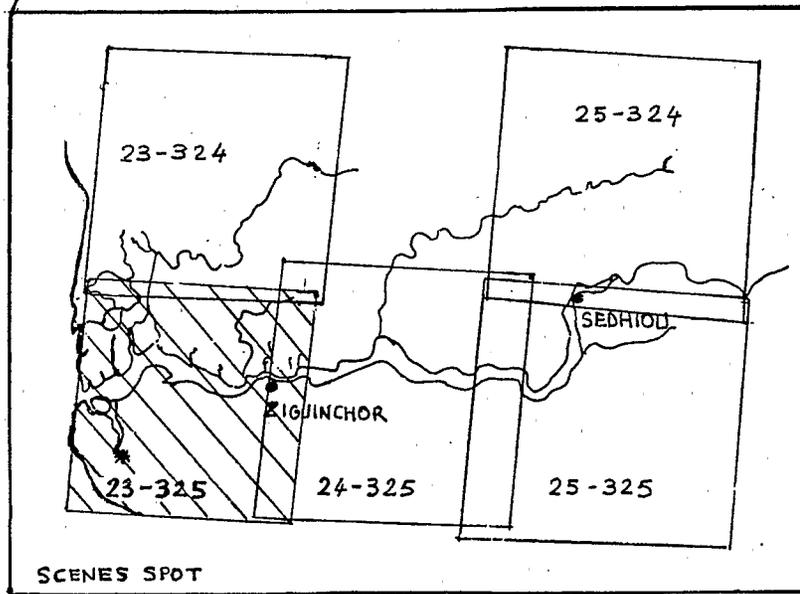
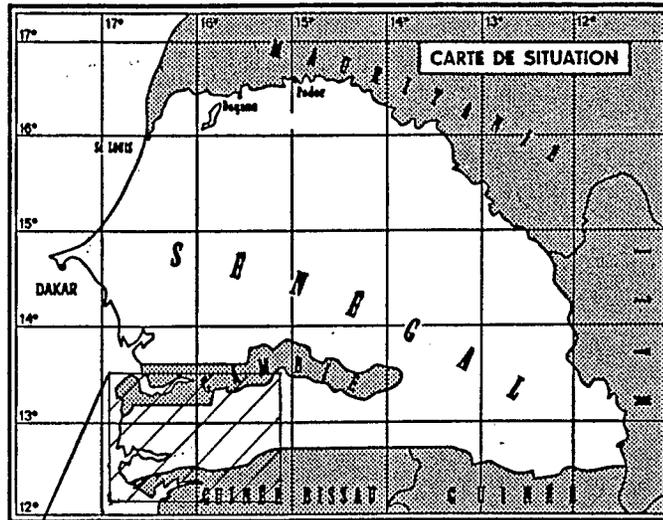
L'analyse des relevés radiométriques de terrain font l'objet d'une autre étude en cours. Ils permettent de mieux comprendre la réponse spectrale des objets et d'affiner les classifications.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., TOUMA J., ZANTE P (1988). Evolution des stratégies d'aménagements hydro-agricoles des sols salés en basse Casamance. 2e Journées de l'eau au Sénégal, EAU et DEVELOPPEMENT 8-10 décembre 1988, DAKAR. 15p.
- 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. 2e Journées de l'eau au Sénégal, EAU et DEVELOPPEMENT 8-10 décembre 1988, DAKAR. 22p.
- BERENGER A.C. (1985). Reconnaissance des terrains salés par télédétection. Institut de la carte internationale du tapis végétal. CNRS/Université Paul SABATIER, TOULOUSE. 39p.
- BLASCO F. (1982). Cartographie des mangroves du Gange à partir des données Landsat. *Symposium international de photogrammétrie et télédétection*. TOULOUSE. résumé, 5p.
- BLASCO F. (1985). Mangroves du Bénin statut écologique. Institut de la carte internationale du tapis végétal. CNRS/Université Paul SABATIER, TOULOUSE. 56p.
- BOIVIN P., LOYER J.Y., MOUGENOT B., ZANTE P. (1986). Sécheresse et évolution des sédiments fluviomarins au Sénégal. Cas de la basse Casamance. in : *Changements globaux durant le quaternaire Passé, Présent, Futur. symposium INQUA ASEQUA, DAKAR, SENEGAL. Coll. Travaux et Documents ORSTOM (Ed.)*, 197, 43-48.
- BOIVIN P., LOYER J.Y. et al. (1988). Mise en valeur des mangroves au Sénégal. Rapport final, CEE contrat TSDA104 (MR). ORSTOM ISRA. 62p.
- DIAW A.T., MOUGENOT B., THIAM M.D., THOMAS Y.F. (1987). Apports de l'imagerie SPOT à la connaissance des milieux littoraux du Saloum (Sénégal). in : *SPOT 1 Utilisation des images, Bilan, résultats. Colloque CNES, CEPADUES 1988 (Ed.)*. 1131-1139.
- GORDON D.M. (1988). Disturbances to mangroves in tropical arid Western Australia: hypersalinity and restricted tidal exchange as factors leading to mortality. *J. of arid Environments*, 15, 117-145.

- GUILLEMYN D., MARTEL C., FLOUZAT G., BLASCO F. (1987). Etude des forêts de berge de Gambie et des critères de détection de la mortalité. in : *SPOT 1. Utilisation des images, Bilan, résultats. Colloque CNES, CEPADUES 1988 (Ed)*. 113-120.
- LAUMONIER Y., DJAILANY U.R., GASTELLU-ETCHEGORRY J.P. (1987). Assessment of SPOT based system in humid tropical vegetation. Identification, classification and monitoring. in : *SPOT 1 Utilisation des images, Bilan, résultats. Colloque CNES, CEPADUES 1988 (Ed)*. 613-621.
- LEBIGRE J.M. (1983). Les mangroves des rias du littoral gabonais. Essai se cartographie typologique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 199, 3-28.
- MACHANDA M.L. (1984). Use of remote sensing techniques in the study of distribution of salt-affected solis in north-west India. *J. of Indian Soc. Soil Sci.*, 32, 701-706.
- MARIUS C. (1985). Les mangroves du Sénégal, écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement. coll. *Travaux et Documents (éd. ORSTOM, PARIS)*, 193, 357p.
- MOUGENOT B., ZANTE P. (1987). Etude de l'évolution des états de surface des sols du domaine fluvio marin de basse Casamance par télédétection, en relation avec les processus de sursalure et d'acidification. Premier bilan de la campagne 1987. ORSTOM DAKAR, multigr. 5p.
- PAGES J., BADIANE S., DEBENAY J.P., DIOUF P.S., LEBOTEILLER C. (1986). Les mécanismes de production dans l'estuaire de la Casamance. Rapport ISRA département de recherche sur les productions halieutiques et l'océanographie, DAKAR.
- POPULUS J., HERZ R. (1984). Cartographie des mangroves de la côte sud-est du Brésil avec Landsat TM. *Photo-Interprétation*, 2, 4, 31-37.
- RICHARDSON A.J., GERBERMANN A.H., GAUSMAN H.W., CUELLAR J.A. (1976). Detection of saline soils with Skylab multispectral scanner data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42, 5, 679-684.
- VIEILLEFON J. (1977). Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance (Sénégal). Importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogénèse. *Mémoires ORSTOM (éd. ORSTOM, PARIS)*, 83, 291p., 1 carte.

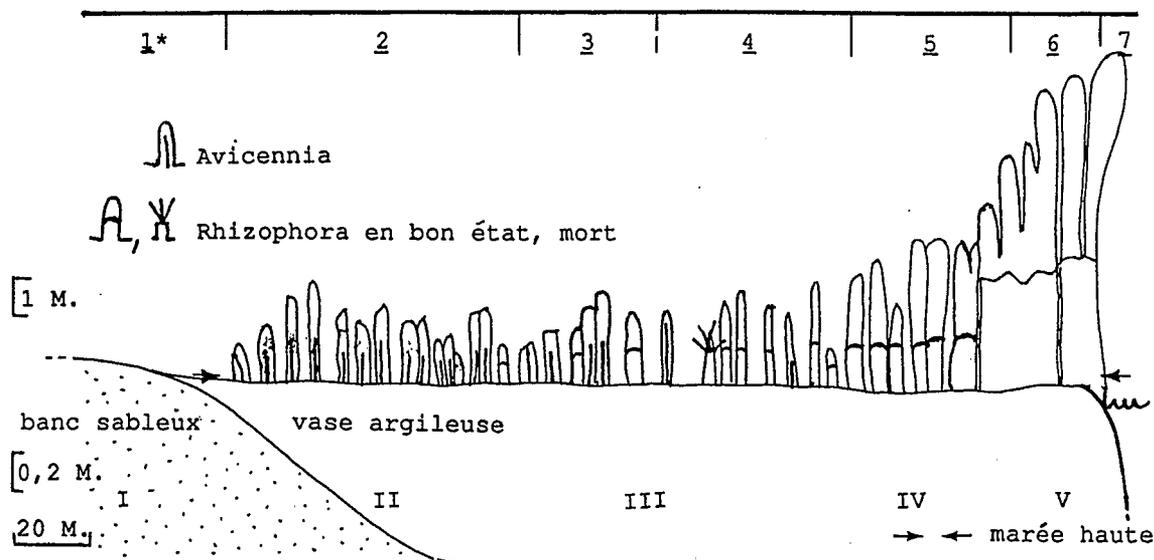
FIGURES, PLANCHES ET TABLEAUX



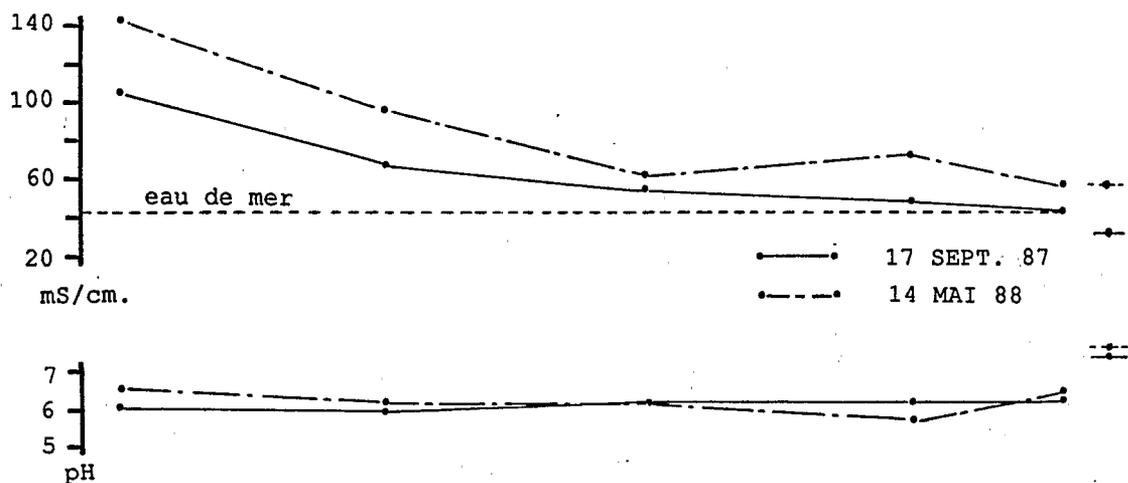
* Site de KATAKALOUSSE

20 kms

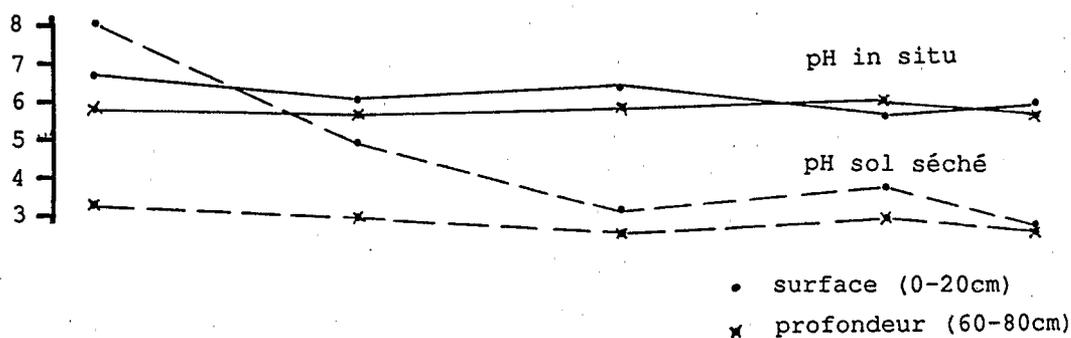
FIGURE 1: CARTES DE SITUATION



Variations de la conductivité électrique et du pH de la nappe:



pH du sol. (17 SEPT. 87)



* 1: TANNE VIF (9,10) - 2: AVICENNIA (5,4) - 3: AVICENNIA + RHIZOPHORA M. (4) - 4: RHIZOPHORA M. + AVICENNIA (4) - 5: RHIZOPHORA M. R. (2) - 6: RHIZOPHORA R. (1) - 7: MARIGOT (Trop étroit, confondu avec (1))

() THEMES RADIOMETRIQUES

FIGURE 2 : PROFIL ET CARACTERISTIQUES HYDRO-PEDOLOGIQUES DE LA SEQUENCE DE KATAKALOUSSE (BASSE CASAMANCE).

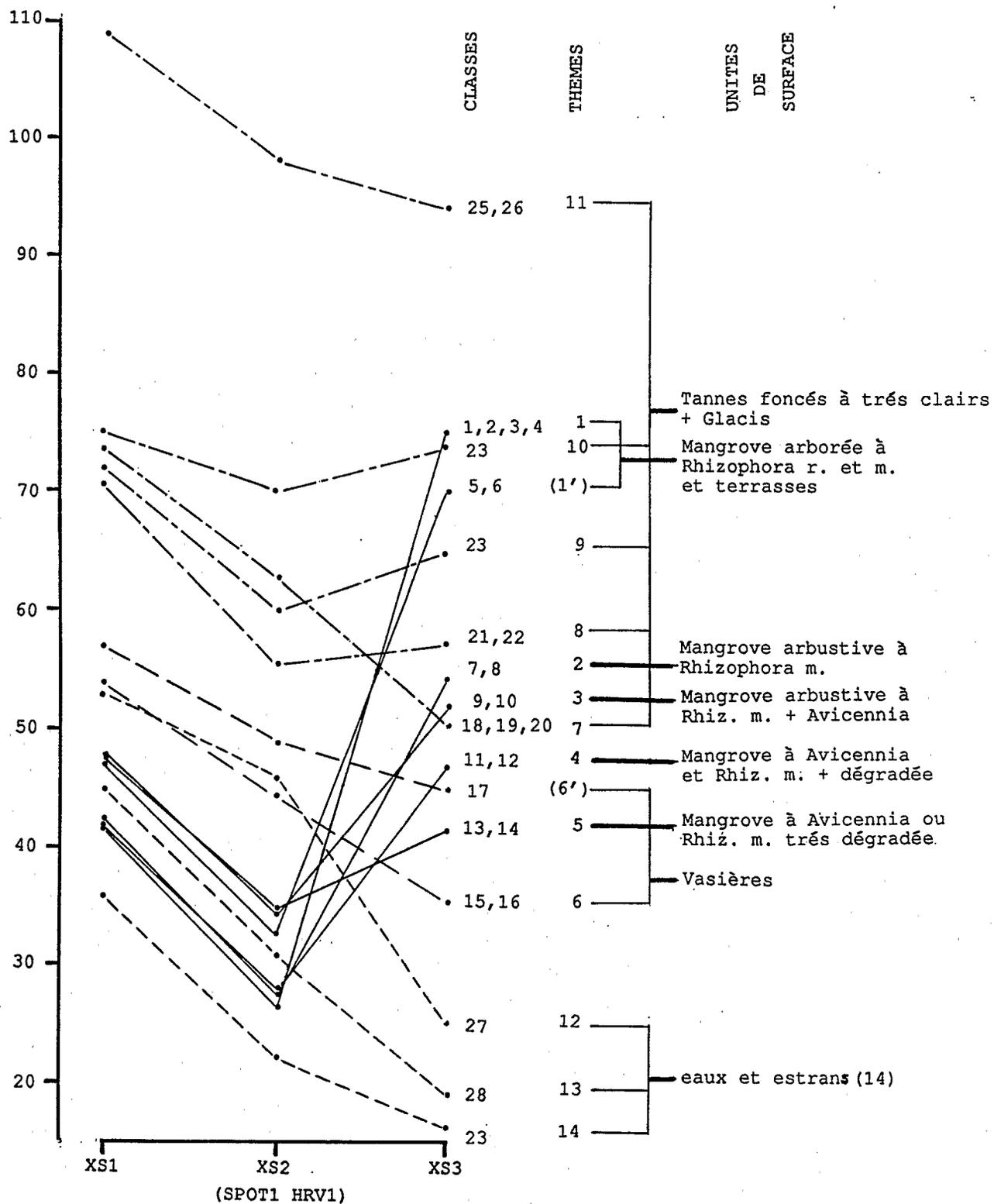


FIGURE 3 : SIGNATURES SPECTRALES MOYENNES DES THEMES DEFINIS SUR LE SITE DE KATAKALOUSSE.

SPOT 1 HRV 1 023-325 12 OCT 86

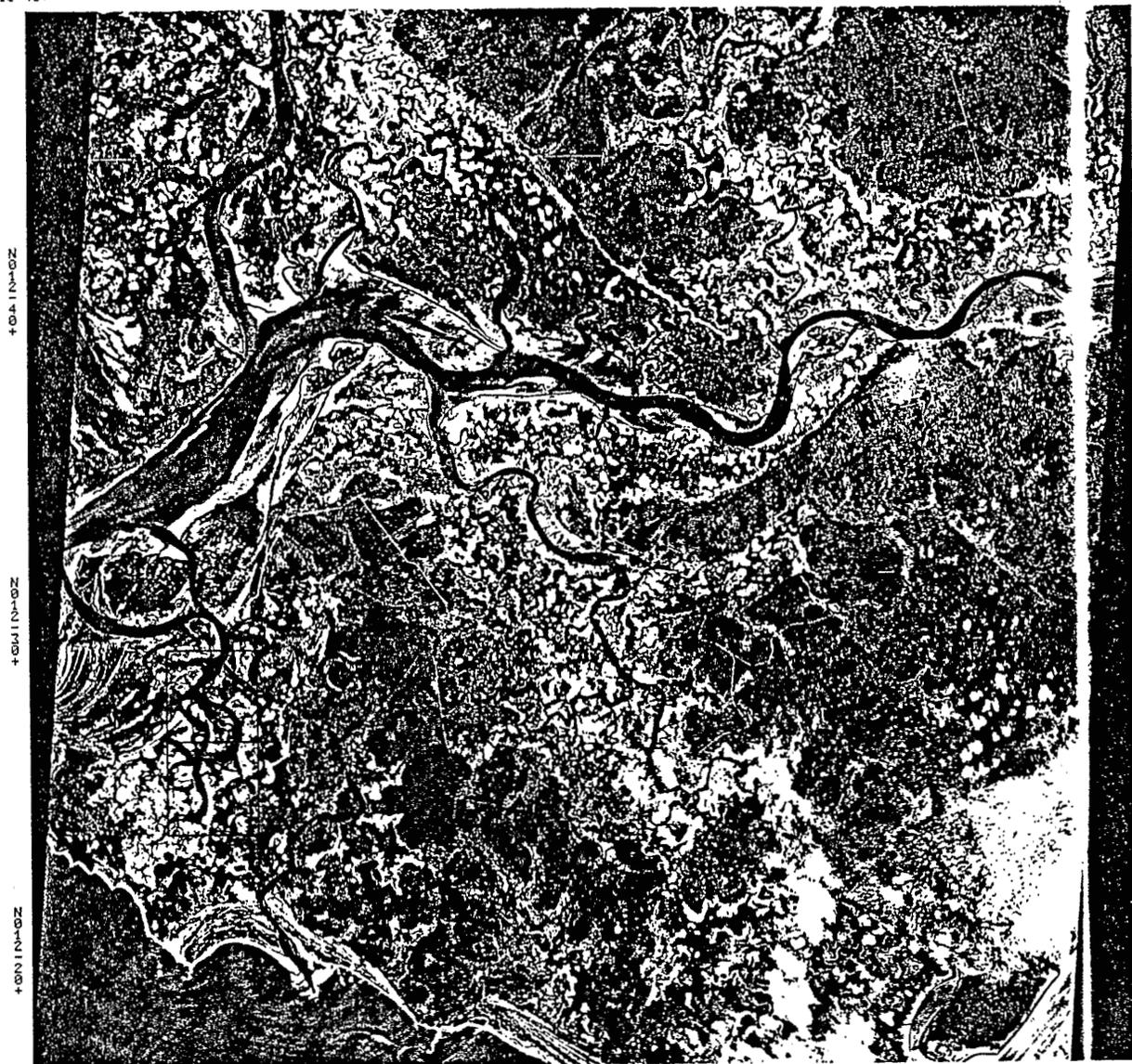
2

W016-40+

W016-30+

W016-20+

W016-10+



W016-40+

W016-30+

W016-20+

N12°31' / W016°28' AZ:139°32' EL:64°21' OR:009°01'18" INCID:05°57' L 11H 46MN 345 N1B PROJ:
 LA 21/ 72 SPOT @-PRODUCT.SATIMAGE-DIST.SPOT IMAGE- @ CNES 1986

PLANCHE 1 : SCENE SPOT CANAL 2

SPOT 1 HRV 1 023-325 12 OCT 86

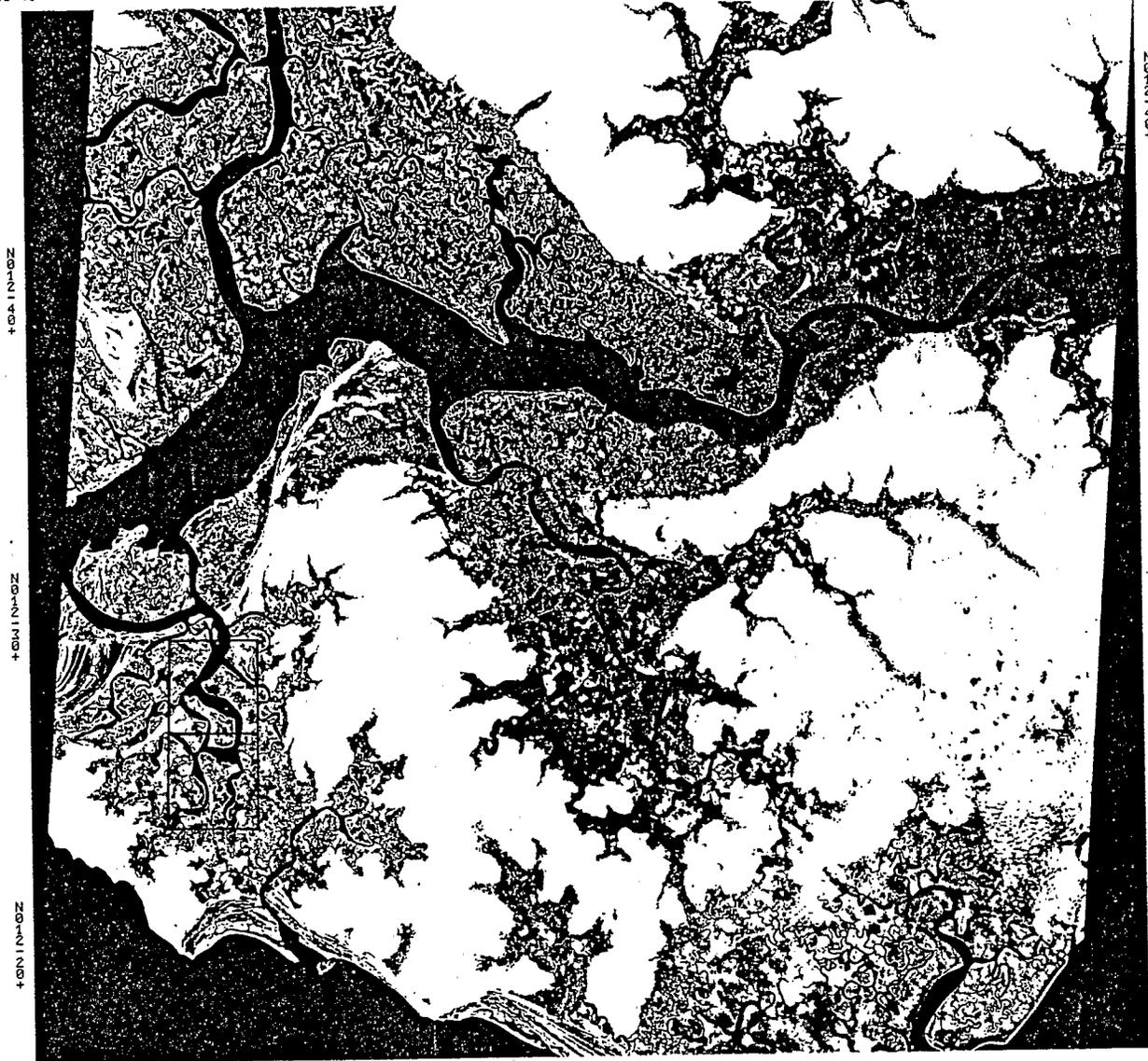


W016-40+

W016-30+

W016-20+

W016-10+



ZONING

ZONING

ZONING

ZONING

ZONING

ZONING

ZONING

W016-40+

W016-30+

W016-20+

N12°31' W016°28' AZ:139°32' EL:64°21' OR:009°01'18" INCID:05°57' L 11H 46MN 34S N1B PROJ:
LA 13/117 SPOT @-PRODUCT.SATIMAGE-DIST.SPOT IMAGE- @ CNES 1986

PLANCHE 2 : SCENE SPOT CANAL 3

RADIOMETRIE SATELLITE						
Katakalousse 12 oct 1986						
THEMES	CLASSES	XS1	XS2	XS3	IV	IB
	1	42	27	87	.53	91.09
	2	43	26	78	.5	82.22
	3	41	26	71	.46	75.61
	4	41	26	63	.42	68.15
(1')	5	48	33	72	.37	79.2
	6	46	33	67	.34	74.69
2	7	41	26	56	.37	61.74
	8	44	29	53	.29	60.42
3	9	45	32	49	.21	58.52
	10	51	37	55	.2	66.29
4	11	41	29	47	.24	55.23
	12	44	26	47	.29	53.71
5	13	46	31	39	.11	49.82
	14	50	37	44	.09	57.49
6	15	52	40	37	-.04	54.49
	16	57	49	36	-.15	60.8
(6')	17	57	47	45	-.02	65.07
	18	72	59	41	-.18	71.85
7	19	75	65	56	-.07	85.8
	20	90	70	50	-.17	86.02
	21	66	51	54	.03	74.28
8	22	74	59	61	.02	84.86
	23	72	60	65	.04	88.46
9	24	75	70	74	.03	101.86
10	25	104	94	91	-.02	130.83
11	26	114	103	96	-.04	140.8
	27	48	36	25	-.18	43.83
12	28	45	31	19	-.24	36.36
13	29	36	22	16	-.16	27.2
14	30	41	28	18	-.22	33.29
	31	37	22	30	.15	37.2
	32	36	22	39	.28	44.78

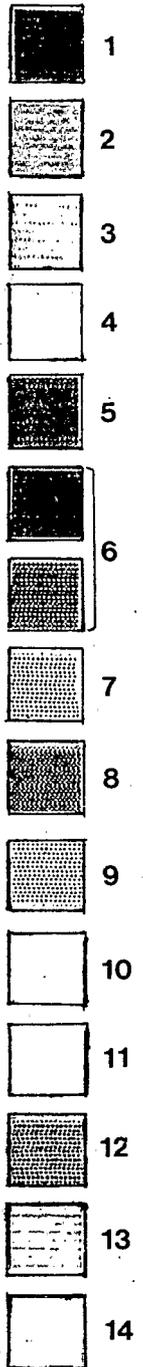
TABLEAU 2: SIGNATURES SPECTRALES DES THEMES

PHOTOGRAPHIES AERIENNES														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	14	Σ	
S	1	14,8	1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,4	17,3	
	2	1,9	4,5	0,4	0,1	-	-	-	-	-	-	1	7,9	
	3	0,4	3	11,7	1,9	-	-	-	-	-	-	-	0,7	17,7
	4	-	0,6	2,4	12,1	0,6	0,1	-	0,4	-	-	-	-	16,2
P	5	-	-	0,5	2,7	4,4	0,2	-	-	-	-	-	-	7,8
	6	-	-	-	-	0,4	4,2	0,3	0,2	-	-	-	-	5,1
O	7	-	-	-	0,7	0,2	1,2	3,9	0,6	-	-	0,1	-	6,7
	8	-	-	-	0,1	0,3	0,5	0,5	7,2	1,3	0,2	-	-	10,1
T	9	-	-	-	0,3	-	0,1	-	0,3	4,1	0,1	-	-	4,9
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4	0,6	-	-	3,0
	11	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,8	-	-	0,9
E	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	2,4	
Σ	17,1	9,1	16,6	18,0	5,9	6,3	4,7	8,7	5,4	2,8	1,5	3,9	100	

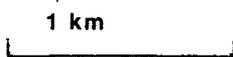
Tableau 3: Tableau de confusion entre la classification des données SPOT et l'analyse de photographies aériennes récentes sur 2 séquences tests du site de KATAKALOUSSE.

CARTE DES ETATS DE SURFACE

SITE DE
KATAKALOUSSE
BASSE CASAMANCE



Echelle :
1/34 000°



SPOT 1 HRV 1
23 - 325
12 OCT 86

MARIGOT DE KATAKALOUSSE, Route du Cap Skirring (Scène SPOT 23-325 12 octobre 1986 11H45)

LEGENDE:

THEMES UNITES DE SURFACE (1) marée basse saison des pluies	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES des ETATS DE SURFACE (2)				MORPHOPEDOLOGIE ET HYDROLOGIE			
	Surface du sol (3)	Couleurs (4)	Humidité (5)	Rugosité (6)	Végétation (7)	Unités de paysage (7)	Sols (8)	T (9) Nappes (10)
VEGETATION ACTIVE 1	Mangrove arborée à Rhizophora r.	pellicule argileuse+M.O.	10YR2/2a2/3 saturé brun noir	élevée	80-90% Rhizophora race-mosa, 4 à 12m	vasières bordant les bolons	Potentiellement sulfaté acide, salé, organique CE) 10mS pH 6	F affleurante CE 30 à 50mS pH 6
	Savane arborée	pellicule de battance	10YR6/3a7/4 humide brun clair	élevée	graminées: 5 à 50%, feuillus: 10 à 40%	terrasse	Peu Evolué, hydromorphe	6 eau douce
2	Mangrove arbustive à Rhizophora m.	pellicule argileuse+M.O.	10YR2/2a2/3 saturé brun noir	élevée	10-80% Rhizophora mangrove, 2 à 4m	vasières très régulièrement inondées	P. s. a., salé, organique CE) 10mS pH 6	F affleurante CE 40 à 50mS pH 6
3	Mangrove arbustive à Rhizophora m. et Avicennia	pellicule argileuse+M.O.	10YR2/3a4/3 saturé brun noir à brun	élevée	20 à 50% Rhiz. m., 1 à 3m, 20-50% Avicennia africana 0,5 à 3m, 0-40%	vasières très régulièrement inondées	P. s. a., salé, organique CE) 10mS pH 6	F affleurante CE 50 à 60mS pH 6
4	Mangrove arbustive à Avicennia dominant et Rhiz. m. Tanne herbu	pellicule argileuse+M.O.	10YR2/3a4/3 saturé brun noir à brun	élevée	30-60%, 0,5 à 3m Avic. a., 10-60% Rhiz. m., 0-30%	vasières très régulièrement inondées	P. s. a., salé, organique CE) 10mS pH 6	F affleurante / CE 60 à 80mS pH 6
	Savane arborée (cf. 1)	pellicule argilo-sableuse	10YR4/3a6/3 humide brun	faible	halophytes (Sesuvium p.: 10 à 20%)	ancien cordon rarement inondé	Peu Evolué, salé CE) 10mS pH 6	6 0 à 30cm CE 90 à 120mS pH 6 à 6,5
5	Mangrove arbustive à Avicennia ou Rhizophora m. dominants, relictuelle	pellicule argileuse+M.O.	10YR4/3 saturé brun	moyenne	2-30% Avic. a., 0,5 à 2m, 2-30% Rhiz. m., 1 à 2m, 2-20%	vasières régulièrement inondées	P. s. a., salé, organique CE) 10mS pH 6	F affleurante CE 80 à 100mS pH 6 à 6,5
6	SOLS NUS OU PEU COUVERTS, Vasière et mangrove résiduelle	pellicule argileuse+M.O.	10YR4/3a3/3 saturé + brun foncé	faible	Avic. a. et Rhiz. m. 1-15% arbustes morts et souches: 0-5%	vasières régulièrement inondées	P. s. a., salé, organique CE) 10mS pH 6 à 4,5	F affleurante à CE) 80 à 100mS pH 6
7	Tanne vif foncé (très humide)	pellicule argileuse à sableuse	10YR5/3a4/3 très brun	très humide faible	-	ancien cordon régulièrement inondé	Peu Evolué salé à P. s. a. en profondeur CE) 10mS pH 5,5 à 6,5	6 affleurante à CE 90 à 120mS F pH 6 à 6,5

8	Tanne vif foncé Tanne herbu	pellicule argilo-sableuse	10YR4/3a6/3 humide brun	trés faible	- halophytes (Sesuvium p.: 5 à 15%)	ancien cordon irrégulièrement inondé	Peu Evolué salé à P.s.a. en profondeur CE) 10mS pH 5,5 à 6,5	G à F	sub-affleur. CE 90 à 120mS pH 6 à 6,5
9	Tanne vif moyen	pellicule argilo-sableuse et saline	10YR6/3a7/3 humide à brun clair frais	trés faible	-	ancien cordon trés irrégulièrement inondé	Peu Evolué salé à P.s.a. en profondeur CE) 10mS pH 5,5 à 6,5	G	peu profonde CE 90 à 120mS pH 6 à 6,5
10	Tanne vif clair	pellicule sablo-argileuse et saline	10YR7/3 brun très clair	frais à sec trés faible	-	ancien cordon trés irrégulièrement inondé	Peu Evolué, salé CE) 10mS pH 6	G	peu profonde CE 90 à 120mS pH 6 à 6,5
11	Tanne vif très clair Glacis de terrasse	pellicule de battance sableuse	10YR7/3a8/2 sec brun très clair	trés faible	-	ancien cordon non inondable terrasse	Peu Evolué, salé CE) 10mS pH 6 Peu Evolué, hydromorphe	G G	peu profonde (salée) (eau douce)
EAU LIBRE ET ESTRAN									
12	Estran non colonisé	pellicule sableuse	brun à brun clair	0-2cm	eau de mer	estran régulièrement exondé	-	-	-
13	Eau peu profonde	-	-	5-20cm	CE env. 35mS pH 7	estran irrégulièrement inondé	-	-	-
14	Eau très profonde	-	-	>20cm	-	lit majeur	-	-	-

(1) Unités de surface: dans cette colonne sont indiquées, l'unité de surface dominante ("1") ou les unités de surface non différenciées radiométriquement, pouvant regrouper plusieurs états de surface.

(2) Etats de surface: ensemble des constituants de l'interface terre/atmosphère.

(3) Surface du sol: Structure et principaux constituants du micro-horizon de surface.

(4) Couleur: Sol nu, d'après le code type Munsell; entre parenthèses, indication de la "couleur" de la végétation.

(5) Humidité: humidité de la surface du sol.

(6) Rugosité: appréciation de la rugosité d'ensemble.

(7) Végétation: caractérisée par grandes familles ou des espèces et leur recouvrement.

(8) Sols: Typologie en relation avec les critères, acidité, salure, engorgement, matière organique (M.O.).

(9) Texture: appréciation de la texture d'ensemble (0 à 60cm); G: grossière, M: moyenne, F: fine.

(10) Nappes: profondeur, CE, pH mesurés en fin de saison des pluies (valeurs moyennes).