

Exk. : SPOT 1 : Utilisation de images, bilan,
résultats... Paris, nov. 1987

APPORTS DE L'IMAGERIE SPOT A LA CONNAISSANCE DES MILIEUX LITTORAUUX
DU SALOUM (SENEGAL)

CONTRIBUTIONS OF SPOT IMAGERY TO THE STUDY OF THE LITTORAL
ENVIRONMENTS OF SALOUM (SENEGAL)

par

A. T. DIAW (1), B. MOUGENOT (2), M. D. THIAM (3) et Y. F. THOMAS (3)

- (1) U. A. 910 du CNRS, "Etude des Rivages", IFAN, Dakar (Sénégal)
- (2) ORSTOM, Section Pédologie, Centre de Dakar-Hann (Sénégal)
- (3) U. A. 910 du CNRS, "Etude des Rivages", ENS de Montrouge (France)

RESUME

L'estuaire du Saloum, à une centaine de kilomètres au sud de Dakar, est un domaine varié et fort complexe. Les réseaux géographiques qui le composent sont marqués par une dynamique tidale encore insuffisamment analysée. La présente étude s'appuie sur l'imagerie du satellite SPOT, acquise le 09 mai 1986. Cette imagerie autorise une bonne configuration des principaux taxons géomorphologiques (mangrove, tanne, cordon sableux...) et une remarquable définition des bancs sableux qui obstruent l'entrée de l'estuaire.

La cartographie réalisée montre aussi l'intérêt de l'imagerie haute résolution dans le cadre d'aménagements de zones côtières et ouvre un nouveau champ d'investigation à la Télédétection, celui des études géo-cinématiques.

ABSTRACT

Saloum's estuary, 110 kilometers in the south of Dakar is a varied and complex environment. The geographical networks which composed it are determined by a tidal dynamic still insufficiently analysed. This study is based on SPOT data gathered on 9th may 1986. It authorizes a good configuration of main geomorphological landscapes (mangrove, tanne, sandy spit) and a clear definition of sandy banks which choke the mouth of the Saloum river.

The cartography obtained shows also the interest of high resolution radiometers in the study of coastal environments and opens a new field of investigation in Remote Sensing, geo-kinematic one.

1. INTRODUCTION

L'estuaire du Saloum (fig. 1) constitue une zone d'accumulation située sur la côte méridionale du Sénégal. Il s'agit d'un milieu très complexe et, pour cette raison même mal connu. Il est marqué par une forte dynamique littorale avec d'importantes structures sableuses développées le long de la bordure océanique (flèche de Sangomar) et à l'entrée de l'embouchure (hauts fonds en constante migration). Il offre également une évidente richesse thématique avec une grande variété de paysages (mangrove, tanne, formes éoliennes...).

De par sa position centrale, il a fait l'objet de nombreux travaux de bathymétrie conduits à partir de 1895 par le Service hydrographique de la Marine (SHOM). Le Bureau Central pour les Etudes d'Outre-Mer (BCEOM) y a ensuite mené des levés bathymétriques jusqu'en 1960. Auparavant, précisément dans les années 50, de multiples expériences d'aménagement et de récupération des tannes pour les besoins de la riziculture y ont été dirigées par le Service de l'Agriculture. Plus récemment, il a été retenu comme une zone d'entraînement des Simulations SPOT sur l'Afrique de l'Ouest. Les différents essais d'évaluation de ces travaux de simulation (cf Rapport TECASEN n°4, 1983) et la recherche d'une meilleure gestion de cette zone

M. O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

1131

104 n° : B 25228

Cote : es. 1

19/11/88

littorale nous conduisent aujourd'hui à tester les données réelles haute résolution du système SPOT-1, mis sur orbite le 22 février 1986.

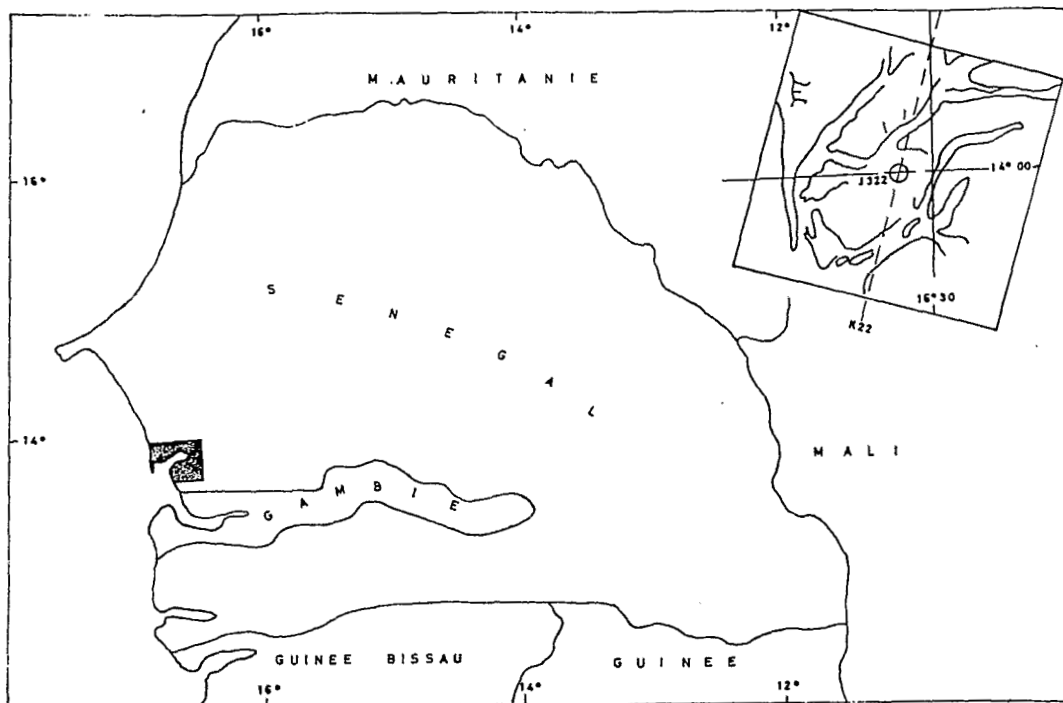


Fig. 1 : Localisation de l'estuaire du Saloum et de la scène 022-322.

2. CONDITIONS D'ACQUISITION DE L'IMAGERIE

L'image étudiée (fig. 1) a été acquise par la station de réception de Kiruna (Suède) et mise à notre disposition dans le cadre de la convention PEPS n° 39 intitulé "Télé-détection du littoral sénégalais - Evaluation des données du satellite SPOT".

Les conditions d'acquisition de la scène Saloum ainsi que les conditions hydro-climatologiques sont rappelées ci-après.

Mission	SPOT-1
Radiomètre	HRV 2
Grille de référence	J = 322 et K = 22
Orbite	009 03' 48"
Incidence	002 17' 00 L
Mode spectral	Multibande
Niveau de prétraitement	1B
Gains	XS1' = 5, XS2 = 6 et XS3 = 5
Latitude	014° 01' 15" N
Longitude	016° 33' 50" W

Elevation solaire	071 18' 00
Azimuth solaire	077 51' 00
Altitude du satellite	832 km
Date de prise de vue	09-05-1986
Heure (TU)	11-46-03

Les conditions hydro-climatologiques se caractérisent quant à elles par un ciel clair à peu nuageux avec des vents faibles à modérés (4 m/s de moyenne) de direction N/NW, une pression barométrique égale à 1012 mb, une humidité relative d'environ 72 % à 11 h., une insolation voisine de 10.5, une visibilité bonne (sans phénomène météorologique particulier), une température au sol de 24.4°C et une marée montante (1,5 m à la station de Dakar).

3. ADAPTABILITE DES BANDES SPOT ET TRAITEMENTS INFOGRAPHIQUES

La scène 022-322 sur le Saloum (60 km x 60 km) a été acquise en mode spectral multibande, donc avec une résolution géométrique au sol de 20 x 20 m, selon la méthode de couverture quasi verticale. Ce système est muni de trois canaux (XS1, XS2, XS3) correspondant à des bandes spectrales situées respectivement entre 0,50 et 0,59 um, 0,61 et 0,68 um et 0,79 et 0,89 um.

La bande spectrale XS1 appartient à un domaine spectral très sensible à la diffusion de l'éclairement incident par les particules solides en suspension dans l'eau. Elle a contribué sur l'image analysée au traçage des panaches turbides issus de l'estuaire ou en relation avec la dérive littorale.

La bande spectrale XS2 est nettement moins sensible à la diffusion par la lumière des particules en suspension dans l'eau mais est encore suffisamment peu absorbée pour se révéler apte à réfléchir l'éclairement incident reçu par des fonds variables entre 1 et 7 m dans le cas qui nous préoccupe.

La bande spectrale XS3 qui correspond à des longueurs d'onde pour lesquelles l'éclairement incident est très fortement absorbé par l'eau se montre inapte à révéler les événements intéressants tant les fonds que la colonne d'eau. Toutefois, elle est déterminante dans la mise en évidence des effets de surface, propagation des trains de houle par exemple. Elle reste également la plus adaptée dans la détermination de la ligne de rivage instantané, importante en géomorphologie.

Nous avons extrait de la scène 022 - 322, des imagerie de 512 x 640. Les traitements numériques de ces images partielles ont comporté plusieurs étapes : (1) égalisation de la dynamique des trois bandes spectrales ; (2) seuillage binaire de l'histogramme de la bande XS3 pour le repérage de la limite des zones inter et supratidales ; (3) utilisation de composition trichromatique afin de faciliter le repérage d'amers ; (4) rectification géométrique par emploi d'un polynôme de degré 5 ; (5) établissement d'indices de végétation (IV) et de brillance (IB) ; (6) classification des données par segmentation ou par agrégation autour de centres mobiles ; (7) confection d'une cartographie géothématique et géo-cinématique.

4. FAITS MIS EN EVIDENCE

4.1 Cartographie du complexe mangrove - tanne (fig. 2 A et B)

Les vasières à mangrove et les tannes des marais tropicaux constituent des milieux très interférents et peuvent être définis comme un véritable complexe intertidal. Les groupements de mangrove du Saloum offrent, compte tenu de la faible diversité des espèces rencontrées un intérêt floristique réduit. Leur configuration permet de définir principalement deux groupements :

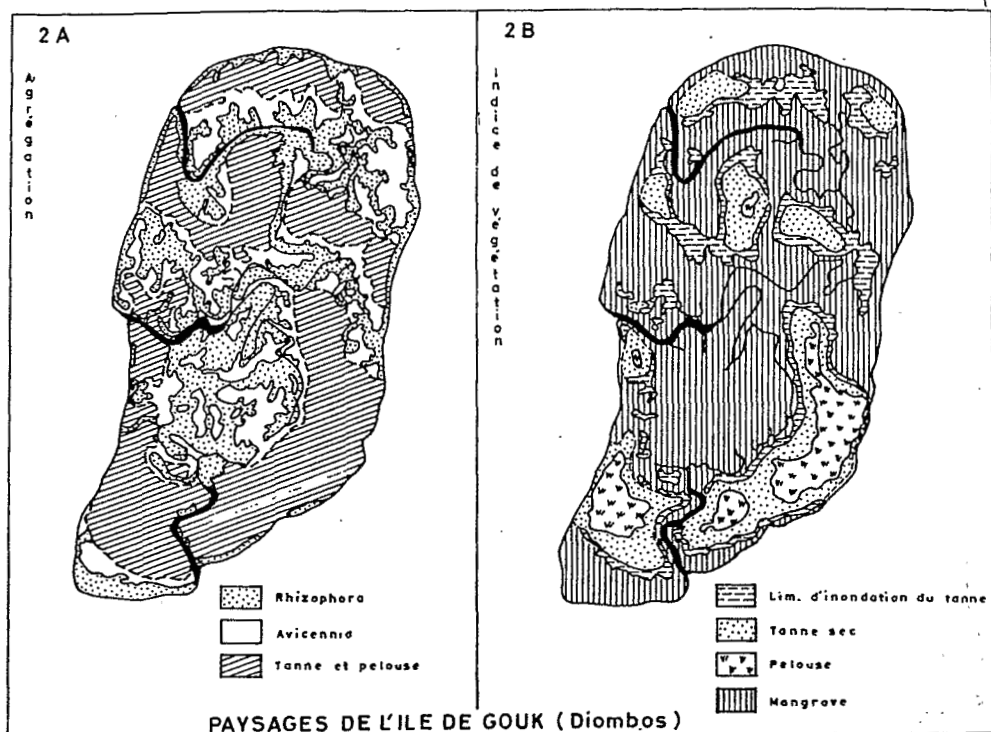
- le premier, de forme générale linéaire, épouse le contour des chenaux de

marée ; il est dominé par *Rhizophora* en peuplement dense et se dispose en bande d'extension variable.

- le second type correspond au taxon à dominante *Avicennia*, *Conocarpus* et *laguncularia*. Il se situe en retrait par rapport au taxon à *Rhizophora* avec une couverture variable et sans forme spécifique.

Par contre, l'examen de la texture des groupements de mangrove constitue une approche nettement plus intéressante. Leur détermination par comparaison de plusieurs documents aériens et satellitaires s'appuie sur divers paramètres parmi lesquels l'organisation du drainage et/ou la plus ou moins grande conservation des espèces. Ce dernier élément reste déterminante dans l'appréciation de l'évolution et du degré de recouvrement. Cette approche nous a permis de dégager lors d'une récente analyse une typologie texturale des mangroves de l'estuaire du Saloum (A. T. DIAW, Y. F. THOMAS, 1987). Celle-ci appliquée au cas de Gouk montre trois tendances :

- des mangroves à *Rhizophora* de structure dense avec une texture lisse.
- des mangroves à *Rhizophora* de structure orientée avec une texture filiforme.
- des mangroves à *Avicennia* de structure lâche ou homogène avec une texture pointillée.



Les traitements infographiques réalisés isolent aussi de manière précise les contours des tannes, taxon d'un aspect généralement uniforme. Ils sont dans l'ensemble disposés sous forme annulaire et concentrique et peuvent dans beaucoup de cas, servir à suivre le tracé de certains chenaux bordant le tanne et qui sur le terrain sont réduits à de légers sillons. Leur zonation hypsométrique est liée à l'ancienneté plus ou moins grande de la dernière marée dont nous

avons circonscrit les limites sur la figure 2B.

4.2 Cartographie géo-cinématique de l'extrémité distale de Sangomar

L'importance des actions dynamiques auxquelles est soumis le littoral du Saloum contribue à l'évolution rapide de la flèche de Sangomar qui, de la localité de Palmarin Diakhanor à son extrémité distale, s'étend précisément sur 19 km. L'évaluation de la cinématique a été fixée à partir des états de 1972, 1981 et 1986. Pour ce faire, on a utilisé les clichés des missions photographiques aériennes :

- 72 SEN 05/100, 057 à 065 à 1:10000 de 1972 ;
- 81 SPOT SEN 06, 41 à 43 à 1:23000 de 1981 ;

et le suivi automatique des frontières du contour de la flèche facilement isolée par seuillage binaire du canal XS3 de la scène 022-322 de 1986. Les différents clichés aériens ont été ensuite ramenés à la même échelle que la carte obtenue par traitement infographique par emploi d'un agrandisseur V. Bouzard CCII n°128.

La figure 3A à E présente les différentes situations à Sangomar et appelle les observations suivantes :

- la progression vers le sud de la flèche sous l'action des houles et secondairement celle des courants fluviaux s'est poursuivie. Elle est marquée entre 1972 et 1981 par une évolution lente de 330 m soit en moyenne 33 m/an. Par contre, elle a connu un développement spectaculaire en 6 ans (1981-1986) avec une extension moyenne annuelle de 71 m/an. Au total, au cours des quinze dernières années, le rythme moyen de croissance de la flèche de Sangomar aura été de 52 m/an.

- la flèche a aussi connu dans cet intervalle de temps de profondes modifications de sa forme, caractérisée en 1972 par un renflement de ses façades interne et externe précédées par une limite de courbure surcreusée. On assiste ensuite à une régularisation de l'extrémité distale avec un effilochement prépondérant en 1986, résultat d'une érosion généralisée de la façade interne.

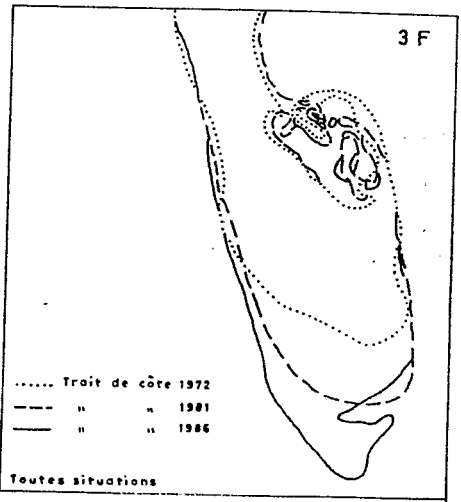
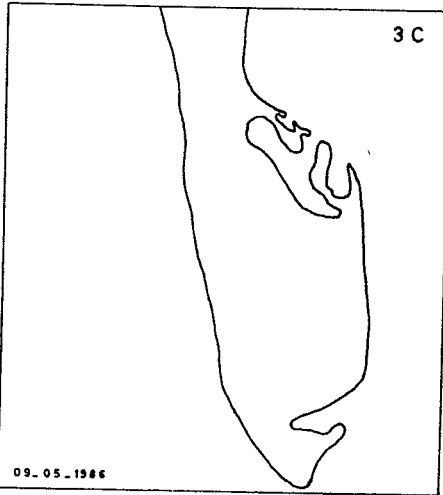
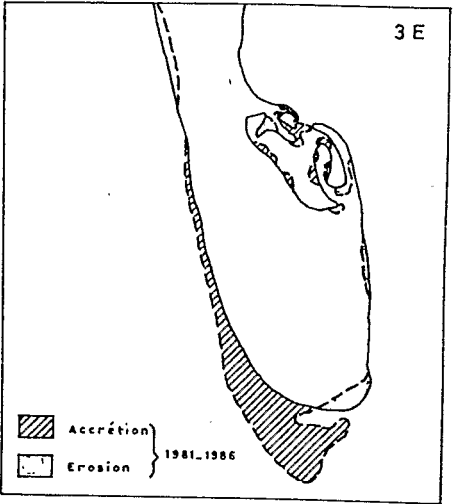
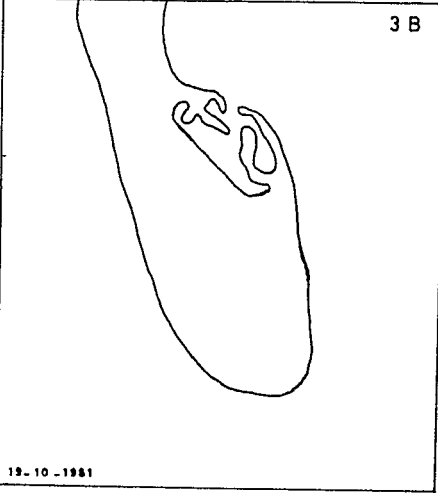
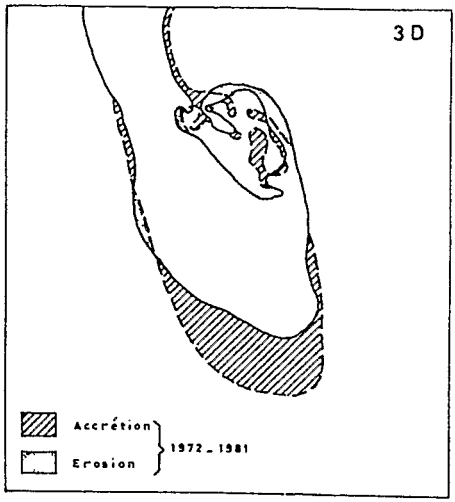
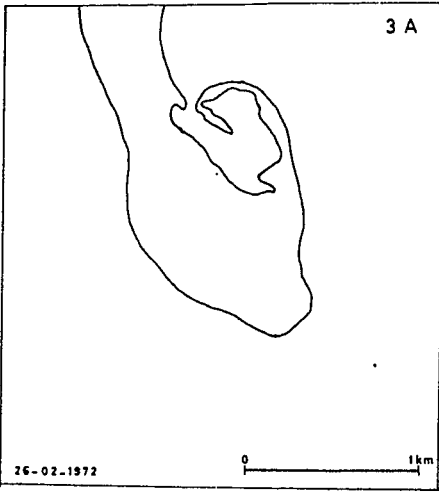
- la diffraction de la houle en bout de flèche et peut-être l'existence de houles fortes provenant d'un autre secteur que celui dominant (1) donnent naissance à une incurvation sédimentaire tournée vers l'intérieur et dont le point de rupture s'appuie, en fonction des conditions locales, sur une faible concavité (cas 72-81) ou sur une forte érosion (cas 81-86) de la partie terminale de façade interne.

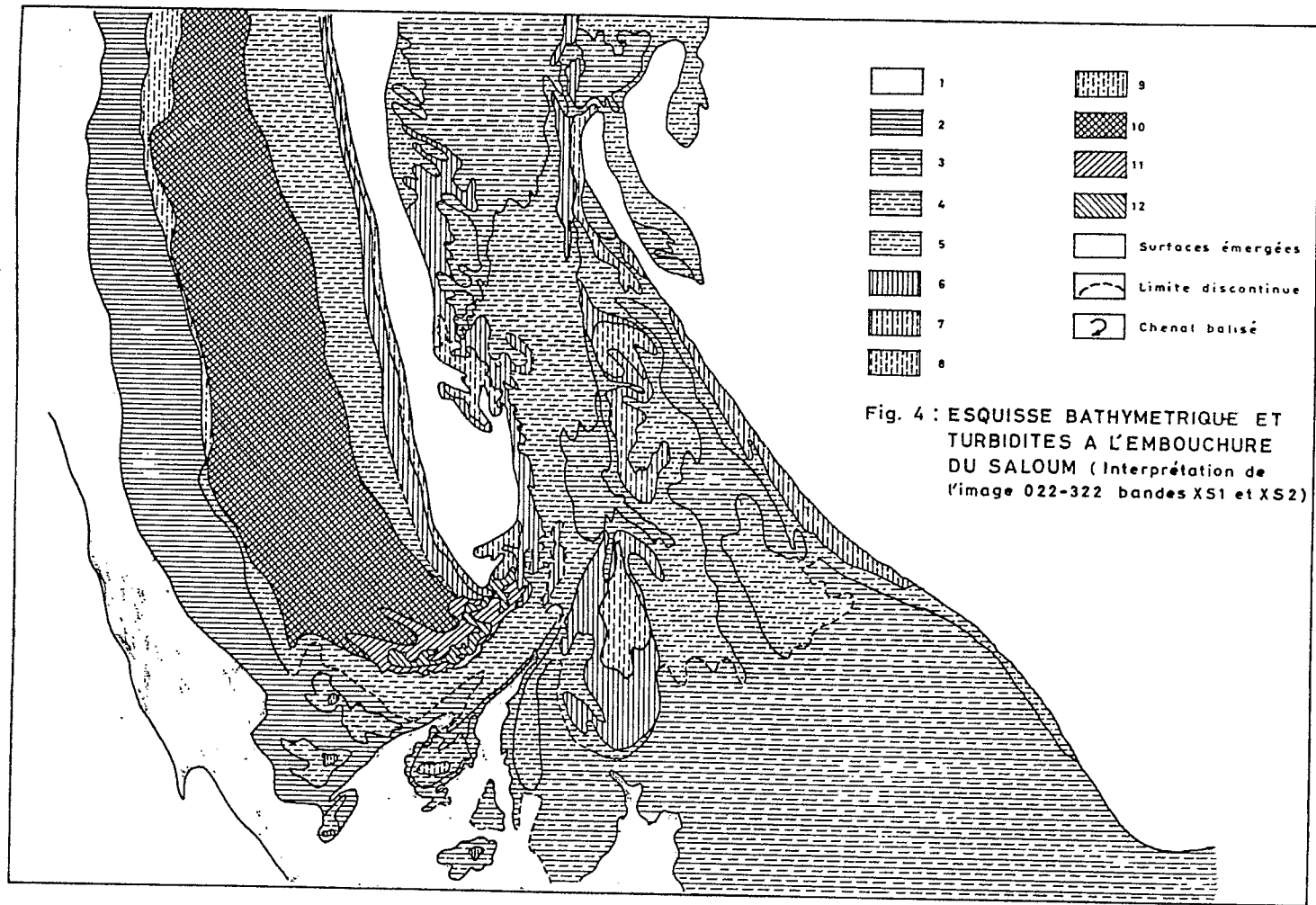
De la description de la cinématique récente de la flèche de Sangomar, il ressort que les masses de sable provenant de l'érosion et des courants littoraux contribuent à son extension méridionale. Ces actions restent certes liées, mais il semble que le point de rupture ou ses abords immédiats jouent comme un point d'ancrage et constituent ainsi la base d'un nouvel engraissement au niveau de la façade interne tandis que la morphodynamique de la façade océanique se caractérise elle par trois principales composantes : apport sédimentaire par la dérive littorale, incurvation de la pointe essentiellement liée à la diffraction et extension avec régularisation du trait de côte.

4.3 Cartographie des hauts fonds pré-littoraux (fig. 4)

La pointe de Sangomar est prolongée au sud par une structure sédimentaire composée de trois principaux bancs (bancs du nord, de l'ouest et de l'est). L'utilisation des bandes XS1 et XS2 nous a permis de classer les eaux du delta de

(1) En réalité, l'action de la houle du SW est considérée par la plupart des auteurs comme faible sans pour autant que son influence décisive sur le façonnement ou le remaniement des formes ne soit déterminée avec précision.





marée du Saloum qui se répartissent ainsi :

- les classes 1 et 2 représentent des eaux claires dans des zones de fortes profondeurs comprises entre 5 et 7 m. Centrées sur l'ouest de l'image, elles ceinturent aussi sur 2500 m d'extension l'entrée du chenal balisé.
- les classes 3 et 4 constituées aussi par des eaux claires sont cependant marquées par une diminution des fonds qui, dans certains cas, restent malgré tout importants, de l'ordre de 5 m.
- les classes 5 à 8, de charge turbide équivalente à celle des classes précédentes voient par contre leurs fonds diminuer considérablement, entre 1 et 2 m. Elles caractérisent essentiellement le banc de l'est de configuration relativement stable et qui se trouve être marqué par une invasion d'eaux claires ou par un faible mouvement de remise en suspension des particules.
- la classe 10 -à laquelle on pourrait adjoindre la classe 9 spatialement très réduite- et qui se situe entre 500 et 3000 m de la côte, constitue un imposant front turbide qui semble être en relation directe avec la dérive littorale. Elle vient en effet renforcer les masses de sable issues de l'érosion de la façade interne de Sangomar, contribuant ainsi à l'engraissement du banc du nord représenté par les classes 11 et 12.

Les bancs sableux au sud de Sangomar ne présentent pas la même morphologie. Le front actuel du delta de marée est caractérisé par un rejet vers le sud, sud-ouest du coude principal. Cette situation combinée au dessin longitudinal du banc de l'est soulignent le caractère digité du delta de marée. Cette descente du coude vers le sud, sud-ouest, les fortes actions littorales (houle) et les remaniements fréquents des matériaux de structures contiguës ont probablement imposé un éclatement du banc de l'ouest disposé sous forme d'ilôts presque circulaires et permis la réouverture de l'ancienne passe clairement mis en évidence sur l'imagerie interprétée. Par contre, le colmatage est très actif sur le banc du nord qui se caractérise par une disposition transversale à la pointe de Sangomar. L'extension et l'engraissement de cette construction sédimentaire liée à l'érosion de la façade interne de Sangomar, aux apports de la dérive et aux échanges provenant des structures sédimentaires très proches ont entraîné un étranglement de la passe du nord qui fut pendant des dizaines d'années utilisée par les navigateurs et qui aujourd'hui se trouve être déclassée au profit de la passe du sud dont la réouverture fut déjà décelée en décembre 1985 par une mission du baliseur "Léon Bourdelles".

5. CONCLUSION

Avec les satellites porteurs de radiomètres à haute résolution la Télédétection est devenue pleinement opérationnelle dans le domaine de l'étude géomorphologique des littoraux alluviaux. Les travaux entrepris dans le cadre de la validation des données HRV de SPOT sur l'estuaire du Saloum ont eu pour objectif principal, l'élaboration de documents cartographiques dans un souci d'aménagements de zones côtières.

Les résultats ici obtenus traduisent incontestablement une amélioration de la limite des taxons et de la nature des objets représentés : netteté des contacts entre zones humides et autres milieux souvent difficiles à apprécier sur les photographies aériennes panchromatiques par exemple ; cette précision de la cartographie autorise le suivi de la cinématique des formes littorales. A cet égard, le cas traité nous a permis non seulement de préciser l'extension de la flèche de Sangomar mais aussi d'en comprendre la dynamique.

Enfin, la mise en évidence de l'évolution actuelle du delta de marée du Saloum, revêt un caractère éminemment pratique pour la maîtrise d'une voie de navigation, en perpétuel changement, et qui reste essentielle dans l'économie du Sénégal.

6. BIBLIOGRAPHIE

DIAW A. T. et al, "L'exploitation des données SPOT simulées en domaine littoral tropical. Les Iles du Saloum", Rapport TECASEN, Dakar, n° 4, Juin 1983, 95 p.

THIAM M. D., "Géomorphologie, Evolution et sédimentologie des terrains salés du Sine-Saloum, "Doctorat IIIe cycle Univ. Paris I, Déc. 1986, 168 p.

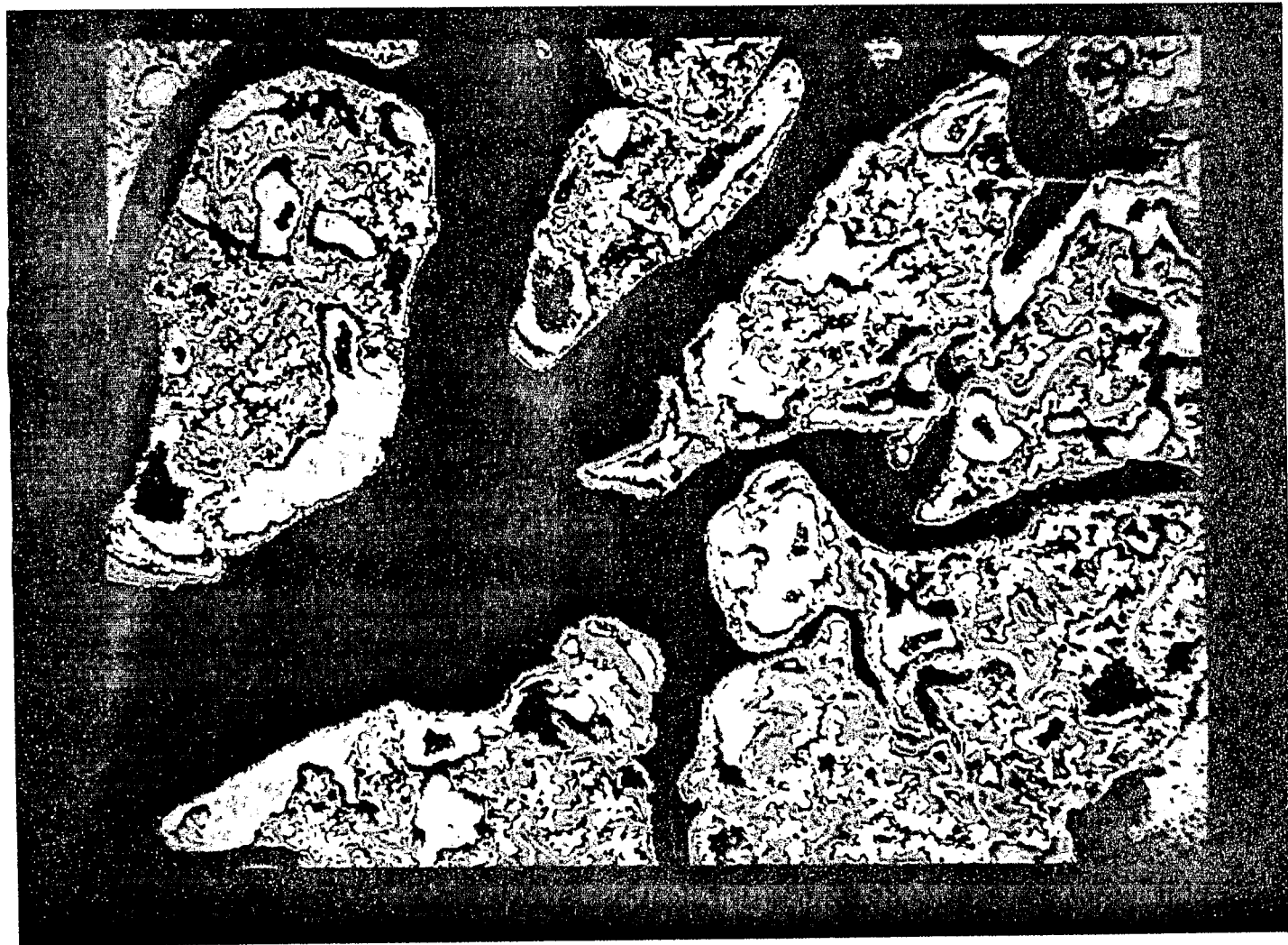
NDIAYE P., "Méthode d'inventaire, analyse et cartographie de la végétation - Exemple de l'embouchure du Saloum (Sénégal)," Notes de Biogéographie, Dakar, n° 1, 1986, pp 32-41.

CNES et SPOT - IMAGE, "Guide des utilisateurs de données SPOT", CNES et SPOT-IMAGE Ed, Toulouse, 1986, multipagination.

DIAW A. T. et THOMAS Y. F. "Typology of Lagoba - Ngooxoor's landscapes (Saalum's estuary). Data from SPOT 1 Satellite", AIAA Progress in Astronautics series, Washington, 1987, 6 p. 5 fig.



"Figure couleur n° 1 du cahier annexe"



"Figure couleur n° 2 du cahier annexe"