

MISE EN EVIDENCE ET CARTOGRAPHIE PAR TELEDETECTION DE L'ÉVOLUTION DES FORÊTS DE MANGROVE DANS LES ÎLES DU SALOUM AU COURS DES TROIS DERNIÈRES DÉCENNIES (1972 À 2001)

Noële MOREAU

IRD (Institut de Recherche pour le Développement) : UMR 063
Université de Versailles St Quentin en Yveline : laboratoire C3ED
Université Paris 7 : laboratoire Pôle Image
noelemoreau@aol.com

RÉSUMÉ

La préservation de la mangrove, face à l'extension des tannes, constitue un véritable enjeu pour le développement du Delta du Saloum au Sénégal. L'imagerie spatiale nous a permis d'étudier et de quantifier l'évolution du couvert de palétuviers sur 30 ans. Contrairement à ce que l'on pouvait supposer a priori, surtout si l'on prend en compte des périodes de sécheresse des années 1970 et 1980, la superficie des mangroves a globalement augmenté de 1972 à 2001. On peut se demander si la mise en réserve de cette région, en 1981, et la rupture de la flèche littorale de Sangomar, en février 1987 sont responsables de cette évolution

MOTS CLÉS

Sénégal, Saloum, Mangroves, Evolution, Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum (RBDS), Télédétection, Landsat1 (satellite), Spot1 (satellite), Spot4 (satellite).

1. INTRODUCTION

La région du Siné-Saloum, labyrinthe d'îles et de rias, est située à 150 km au sud de Dakar, à la limite sud de Joal. (**planche 1, page 50**). Elle constitue la marge septentrionale de la mangrove des Rivières du Sud (Cormier-Salem, 1999) qui se prolonge de façon continue sur le littoral atlantique de l'Afrique, jusqu'au Libéria (Moreau, 1991). Les paysages de mangroves (Diop, 1993) sont composés de formations végétales dominées par les palé-

tuviers. Ceux-ci se caractérisent par un zonage qui s'organise de l'eau libre vers la terre ferme en une succession végétale constituée par des espèces très caractéristiques : *Rhizophora racemosa* et *R. Harisonnii*, soumis à l'action directe des marées, *Rhizophora mangle*, moins élevé et situé à l'arrière, *Avicennia africana* en peuplement monospécifique dense puis discontinu, localisé à la limite supérieure des vasières et irrégulièrement émergé par les marées, *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus* beaucoup moins représenté et exceptionnellement soumis aux marées de vives eaux. Les palétuviers sont associées à de grandes surfaces dénudées et sur-salées appelées *tannes* (Marius, 1984). La distribution des mangroves du Saloum est comparable à celles des autres régions des rivières du Sud, mais se singularise par une plus grande extension des tannes et une réduction considérable des aires de palétuviers (Sow et Guiral, 1999). Les tannes sont considérés comme un marqueur de la dégradation d'origine anthropique ou naturelle de la végétation de mangrove. L'association mangrove-tanne est omniprésente au sein des 200 000 ha du Siné-Saloum ; la préservation de la mangrove, face à l'extension des tannes, constitue un véritable enjeu pour le développement du Delta car elle est au cœur de nombreuses activités des populations Niominka du Siné-Saloum telles que la cueillette des huîtres, la pêche, le bois de chauffe ou de construction, ou encore un atout pour l'éco-tourisme qui émerge actuellement.

Un autre fait notoire est l'emprise des sites touristiques. Depuis le début des conflits locaux en Casamance, celle-ci a été délaissée par le tourisme au profit du Saloum qui est devenu la région la plus fréquentée après la Petite Côte. Il est donc probable

que les activités humaines auront un impact de plus en plus important sur cette région dans les années à venir.

C'est pourquoi, plusieurs projets au Sénégal (Leloup, 2000) s'intéressent à la conservation et restauration des systèmes de marais à mangrove, et qu'il est nécessaire de surveiller cette région d'autant plus qu'une partie de la zone étudiée est un site protégé et classé Réserve Mondiale de la Biosphère du Delta du Saloum par l'UNESCO en 1981.

Notre objectif a été ici de cartographier et de mesurer l'évolution du couvert de paléuviers dans son ensemble depuis les trente dernières années à partir de l'analyse des images satellite. Il s'agit donc de faire une étude diachronique des forêts de paléuviers, considérées dans un sens général, sans faire de différenciation d'espèces, et à petite échelle (1/800 000).

La mise en évidence et la cartographie de l'évolution des forêts de mangroves a été réalisée à partir de trois scènes satellite centrées sur les îles du Saloum : la scène Landsat1 MSS de novembre 1972, la scène Spot1 de mai 1986, et la scène Spot4 de février 2001. Il convient de souligner que la variété des saisons de ces prises de vues utilisées ne constitue pas de véritable obstacle à la cartographie des limites de la mangrove dans la mesure où il

s'agit, dans cette région de l'Afrique de l'Ouest, d'une végétation ligneuse pérenne qui ne subit pratiquement pas d'évolution inter-saisonnière.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Données satellitaires (Tableau 1)

La différence des résolutions spatiales des images nous conduit à rééchantillonner l'image Landsat1, par rapport aux images Spot. Pour redimensionner l'image Landsat, nous utilisons la méthode d'interpolation bicubique.

Les images utilisées ont subi un prétraitement radiométrique de niveau 1A, c'est-à-dire une correction radiométrique des distorsions dues aux écarts de sensibilité entre les détecteurs élémentaires de l'instrument de prise de vue. Pour les traitements géométriques, nous avons redressé les images Landsat 1 et Spot 1 par rapport à l'image Spot 4.

2.2. Table des marées (Tableau 2)

Les images de 1972 et 1986 ont été prises, respectivement, à 10 h.57 et à 11 h.46, c'est-à-dire 3

Satellite	Radiomètre	Résolution spatiale	Bandes spectrales (nm)			
			500-600	600-700	700-800	800-1100
Landsat1	MSS	57 m x 79 m	500-600	600-700	700-800	800-1100
Spot1	HRV	20 m x 20 m	500-590	590-680	780-890	
Spot4	HRVIR	20 m x 20 m	500-590	610-680	780-890	
					1580-1750	

Date		Satellite	Résolution spatiale en mètres	Nombre de bandes spectrales
05-11-1972	KJ 220 - 50	Landsat 1(scène 089)	57 x 79	4
09-05-1986	KJ 22 - 322	Spot 1	20 x 20	3
01-02-2001	KJ 22 - 322	Spot4	20 x 20	4

Tableau 1. Liste des images utilisées pour cette étude

NOVEMBRE 1972									
Date		Pleines mers				Basses mers			
		matin	hauteur	soir	hauteur	matin	hauteur	soir	hauteur
dim	5	8h20	1,55 m	20h41	1,62 m	2h09	0,52 m	14h21	0,46 m
MAI 1986									
Date		Pleines mers				Basses mers			
		matin	hauteur	soir	hauteur	matin	hauteur	soir	hauteur
ven	9	9h18	1,57 m	21h28	1,49 m	2h58	0,39 m	15h20	0,43 m
JANVIER 2001									
Date		Pleines mers				Basses mers			
		matin	hauteur	soir	hauteur	matin	hauteur	soir	hauteur
mar	2	1h29	1,37 m	14h11	1,19 m	7h54	0,59 m	19h53	0,67 m

Tableau 2. Annuaire des marées [hauteur d'eau] DAKAR.

h.30 environ avant la marée basse, et celle de 2001, à 11 h.45, c'est-à-dire 2 h.30 avant la marée haute, les hauteurs d'eau peuvent donc être considérées comme presque comparables.

2.3. Traitement de l'information

Pour délimiter les zones de mangroves à partir de chaque scène satellitaire, et en l'absence de vérité-terrain, nous avons eu recours pour chacune à une méthode de classification non supervisée multispectrale. Pour permettre une meilleure lisibilité de la mangrove, nous n'avons retenu que 3 canaux pour chaque image.

Pour Landsat1, les canaux MSS4, MSS5 et MSS7, pour Spot1 les canaux XS1, XS2, XS3, pour Spot4 les canaux XS1, XS2, XS3.

La méthode de la classification automatique non supervisée permet une détermination automatique des regroupements de signatures spectrales. Nous avons utilisé la classification ascendante hiérarchique (CAH), où nous avons retenu le regroupement des signatures spectrales en 3 classes, (eau, mangrove, pas mangrove). Par rapport aux connaissances que nous avons de la télédétection des mangroves (Moreau, 1991), nous avons préféré cette méthode de classification à celles des nuées dynamiques, car la CAH est une méthode non aléatoire.

Nous obtenons ainsi trois cartes des mangroves de 1972, 1986 et 2001. (**Planche 2, page 51**).

2.3.1. Méthode de détection de changement

- **Recodage numérique et addition**

Sur chaque carte des mangroves de 1972 – 1986 – 2001, on effectue un recodage en puissance de deux des chiffres représentant les 3 classes (E = Eau, M. = Mangrove, PM. = Pas Mangrove) de façon à obtenir, lorsque nous additionnons les 3 dates, un code qui nous permet de connaître plus facilement l'état d'évolution de la mangrove entre ces trois dates, suivant la méthode de détection de changement employée par André G. (2003).

	1972	1986	2001
eau	0 = 1	0 = 8	64 = 64
M.	129 = 2	71 = 16	128 = 128
PM.	255 = 4	255 = 32	255 = 256

Si on additionne les 3 dates 1972 + 1986 + 2001, on a l'évolution de la mangrove .

Par exemple, par le code 146 = 128 + 16 + 2, on peut dire que la mangrove était présente en 1972, 1986, 2001.

Par le code 294 = 256 + 32 + 4, on peut dire qu'il n'y avait pas de mangrove en 2001, en 1986, 1972 etc.

Après avoir fait l'addition des classes recodées et avoir vectorisé les contours des polygones obtenus, nous pouvons grâce à la valeur des polygones évaluer quantitativement la dynamique, c'est-à-dire la progression, la régression ou la stabilité des mangroves entre les dates retenues.

3. RÉSULTATS

Sur les images satellite de 1972, 1986 et 2001, les mangroves occupent respectivement une superficie de 26 029 ha, 30 519 ha et 33 313 ha.

La superficie des mangroves a augmenté progressivement de 1972 à 2001.

L'évolution des mangroves de 1972 à 1986 et 2001 est illustrée par les cartes, au 1/800 000^e, de la disparition, de la progression et de la stabilité des mangroves entre deux dates.

- **Évolution des mangroves de 1972 à 1986 : (Planche 3, page 52)**

19 % des mangroves ont disparu entre 1972 et 1986. Cette disparition a lieu principalement sur les rives du Saloum.

39 % des mangroves ont progressé de 1972 à 1986. Cette progression s'est faite surtout à la pointe Jackonsa et à la pointe des îlots de Bitch.

40 % des mangroves sont restées stables entre ces deux dates, principalement à l'est d'une diagonale qui va de la Pointe Jackonsa à Ngadior.

Donc la progression est supérieure à la disparition, et il y a un taux moyen de stabilité.

- **Évolution des mangroves de 1986 à 2001 : (Planche 4, page 53)**

15 % des mangroves ont disparu de 1986 à 2001.

22 % des mangroves ont progressé de 1986 à 2001. Cette progression est remarquable à différents endroits, dans les îles de Guissanor, à l'embouchure du Saloum, rive gauche, peut-être à cause de la cassure de la flèche de Sangomar, au niveau de la passe de Lagoba, dans l'île de Guior, au nord des îles du Saloum au Sud-Ouest de Foundiougne, et vers le continent autour de Sokone.

62 % des mangroves sont restées stables entre ces deux dates.

Donc la progression équilibre la disparition, et un taux important de mangroves est resté stable.

- **Évolution des mangroves de 1972 à 2001 : (Planche 5, page 54)**

17 % des mangroves ont disparu de 1972 à 2001.
43 % des mangroves ont progressé de 1972 à 2001
38 % des mangroves sont restées stables de 1972 à 2001.

On note donc une progression des mangroves de 1972 à 2001.

CONCLUSION

Contrairement à ce que l'on prétend souvent, nous voyons, que si le recul des mangroves est significatif au Nord, suite à des péjorations climatiques, il ne se fait pas sentir dans le reste des Iles du Saloum. Cette progression avait d'ailleurs été remarquée par Menard (2000).

Ces îles sont très sujettes à une dynamique des mangroves suite aux nombreux bolons qui la traversent, et à sa situation peu éloignée de la passe de Lagoba, ancienne embouchure du Saloum, où la rupture de la flèche de Sangomar, effective lors des violentes tempêtes de la saison des pluies de 1987, a bouleversé toute la sédimentologie de cette région (Thomas et Diaw, 1998).

On pourrait aussi se demander si la mise en Réserve de cette région a pu influencer la dynamique de la mangrove. La superposition des cartes d'évolution de 1972 à 2001 sur la carte de la réserve semble montrer que l'évolution des mangroves s'est faite indépendamment de la réserve, à moins qu'il ne faille attribuer les zones de stabilité à celle-ci, en pensant que la réserve a peut-être contribué à responsabiliser les habitants quant à l'usage qu'ils en font (**Planche 6, page 55**).

BIBLIOGRAPHIE

ANDRÉ G.- 2003 -. La détection et la cartographie de marqueurs et dommages de catastrophes natu-

relles par imagerie spatiale optique et radar. thèse de doctorat de l'Université Paris 7 Denis Diderot. 348 p.

CORMIER-SALEM M.C.- 1999 - : Rivières du Sud – Sociétés ouest africaines. In Editions IRD.

DIOP E.S. – 1993 - : Les mangroves du Sénégal et de la Gambie ; in : Conservation et utilisation rationnelle des forêts de mangrove de l'Amérique Latine et de l'Afrique. ISME Mangrove Ecosystems Technical Reports, vol 3 : 22-38. pp 22-40.

LELOUP T. – 2000 : Les ONG et les stratégies locales de gestion des ressources naturelles : le cas de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum, Sénégal, DESS, Cormier-Salem, M.-C.

MARIUS C. – 1984 Contribution à l'étude des mangroves du Sénégal et de la Gambie – Thèse de Doctorat d'Etat – Institut de géologie de Strasbourg – 309 p.

MENARD S. Jr. – 2000 : Mangrove deforestation and environmental degradation, a case of study in the Saloum Delta Biosphere Reserv (RBDS), Senegal, West Africa. Accessible sur : stephenmenardjr.com.

MOREAU N. – 1991 : Contribution de la télédétection à l'étude de l'évolution des paysages de mangroves de l'Afrique de l'Ouest – Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux III – 275 p.

Sow, M. ; GUIRAL, D. (1999). La végétation. In : Cormier-Salem, M.-C. *Rivières du Sud*. Paris, IRD, pp. 80-84.

THOMAS Y.F. et DIAW A.T. – 1998 - : Suivi (1984-1993) de la rupture de la flèche de Sangomar, estuaire du fleuve Saloum, Sénégal, In *Photo-Interprétation 1997-3/4* pp 199-208.

UNESCO – 1985 – L'estuaire et la mangrove du Siné-Saloum ; Rapport de l'UNESCO sur les sciences de la mer n°32.

UNESCO – 1998 – Contribution à l'élaboration du plan de gestion intégrée de la Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum (Sénégal).

THE USE OF REMOTE SENSING TO REVEAL AND MAP THE DEVELOPMENT OF THE MANGROVES IN THE SALOUM ISLANDS OVER THE LAST THREE DECADES (1972 TO 2001)

Noële MOREAU

Laboratoire C3ED-UMR063-IRD
Laboratoire Pôle Image de l'Université Paris 7 Denis Diderot,
Case courrier 7001, 2, place Jussieu, 75251 Paris Cédex 05
noelemoreau@aol.com

KEYWORDS

Senegal, Saloum, Mangroves, Evolution, Saloum Delta Biosphere Reserve (RBDS), Remote sensing, Landsat1 (satellite), Spot1 (satellite), Spot4 (satellite).

ABSTRACT

The mangrove represents a continually changing landscape due to its location, the climatic variations to which it is subjected, and anthropogenic pressure. Preserving the mangrove against the expansion of the "tannes", the salty soils from which salt is sometimes extracted, is vital for the development of the Saloum Delta. This is why it is interesting to study the evolution of the mangroves in the Saloum Islands, in West Africa - where it is commonly accepted that the mangrove is regressing - over a period of 30 years.

The processing method used to evidence the mangrove is based on an unsupervised multispectral classification method giving a digital map of the mangroves for three different years: 1972, 1986 and 2001.

After geometrically rectifying the images and resampling the Landsat MSS image with respect to the SPOT images, the three maps are compared in pairs to evaluate the dynamics of the mangrove between two dates, that is to say the expansion, disappearance or stability of the mangroves between the chosen dates. The quantification of the surface areas covered on each date leads us to the following conclusions.

Unlike what might have been assumed in principle, especially considering the droughts of 1970 and 1980, the surface area of the mangroves increased on the whole from 1972 to 2001: indeed, from our measurements on the satellite images, the surface areas of the mangroves were respectively 26,029 ha in 1972, 30,519 ha in 1986 and 33,313 ha in 2001. This indicates that over the last thirty years, the mangroves are progressing rather than regressing.

The setting up of the RBDS (Saloum Delta Biosphere Reserve) in 1981 and the reforestation activities of some of Saloum's rural communities in the framework of the new regulations, and the environmental protection incentives supported by a large number of NGO's, might have contributed, even if only in part, to the stabilization of the mangroves of the centre of the Delta.

LIST OF PLATES

Plate 1: *Map of the Saloum Islands*

Plate 2: *Mangroves in 1972, 1986, 2001*

Plate 3a: *Regression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 1986*

Plate 3b: *Progression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 1986*

Plate 3c: *Stability of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 1986*

Plate 4a: *Regression of the mangroves in the Saloum Islands between 1986 and 2001*

Plate 4b: *Progression of the mangroves in the Saloum Islands between 1986 and 2001*

Plate 4c: *Stability of the mangroves in the Saloum Islands between 1986 and 2001*

Plate 5a: *Regression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 2001*

Plate 5b: *Progression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 2001*

Plate 5c: *Stability of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 2001*

Plate 6: *Development of the mangroves between 1972 and 2001 with respect to the scope of the RBDS and the map of Menard, S. Jr, 2000.*

Evolution of the mangroves studied by Menard in 2000
Regression of the mangroves between 1972 and 2001 and RBDS

Progression of the mangroves between 1972 and 2001 and RBDS

Stability of the mangroves between 1972 and 2001 and RBDS

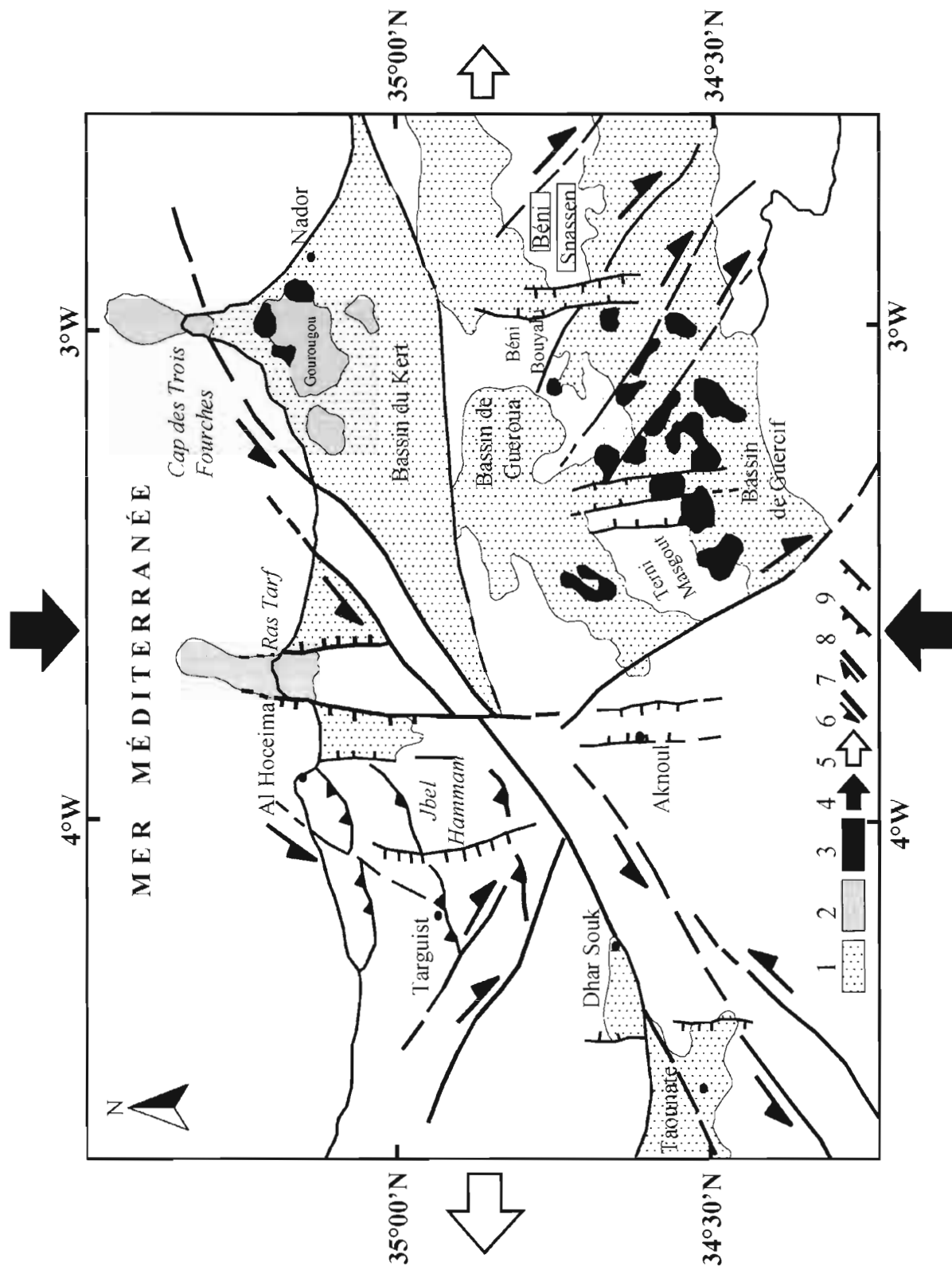


Planche 9 : Modèle d'évolution tectonique du Rif oriental au cours du plio-quatérnaire : 1- Bassins néogènes et quaternaires ; 2- Volcanisme néogène ; 3- Volcanisme plio-quatérnaire ; 4- Axe de compression σ_1 ; 5- Axe de distension σ_3 ; 6- Décrochement senestre ; 7- Décrochement dextre ; 8- Chevauchement ; 9- Faille normale

Plate 9: Tectonic evolution model of the eastern Rif during the Plio-Pleistocene: 1- Neogene and Quaternary basins; 2- Neogene volcanism; 3- Plio-Pleistocene volcanism; 4- Compression axis σ_1 ; 5- Extension axis σ_3 ; 6- Sinistral strike-slip fault; 7- Dextral strike-slip fault; 8- Thrust; 9- Normal fault.

CARTE DES ILES DU SALOUM

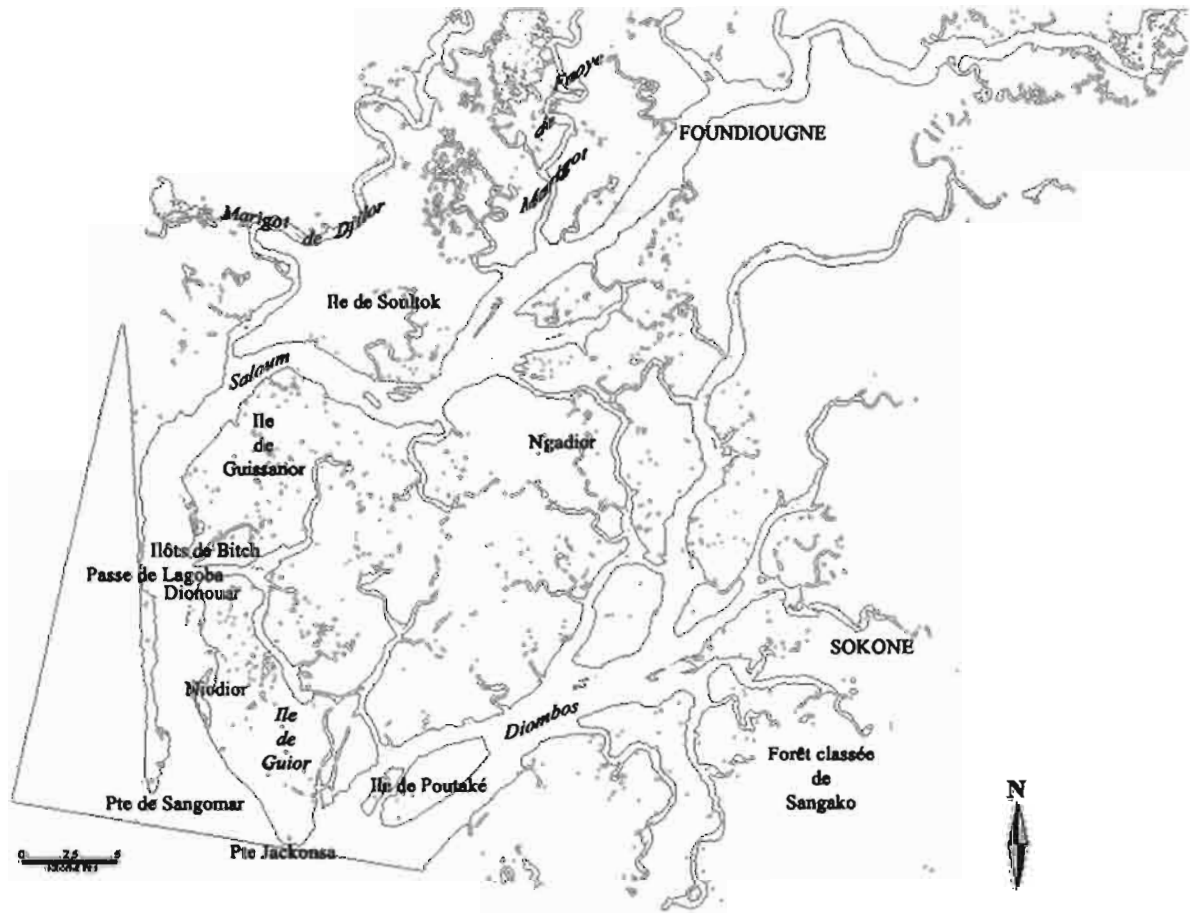
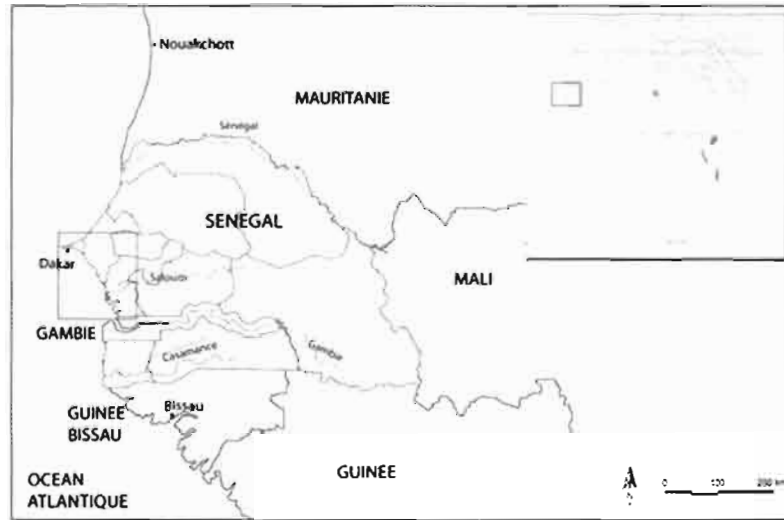
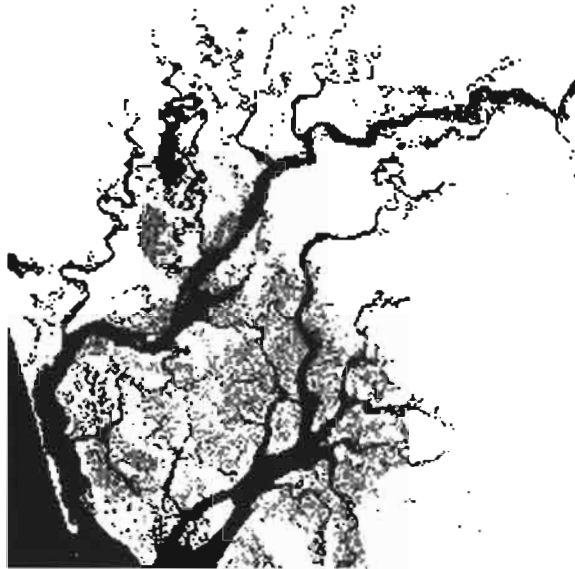


Planche 1 : Carte des îles du Saloum
Plate 1: Map of the Saloum Islands.

MANGROVES EN 1972



MANGROVES EN 1986



MANGROVES EN 2001



Planche 2 : Mangroves en 1972, 1986, 2001. Echelle 1/700 000.

Plate 2: Mangroves in 1972, 1986, 2001. Scale: 1/700.000.

ARTICLE PAGE 23, MOREAU

1972 - 1986

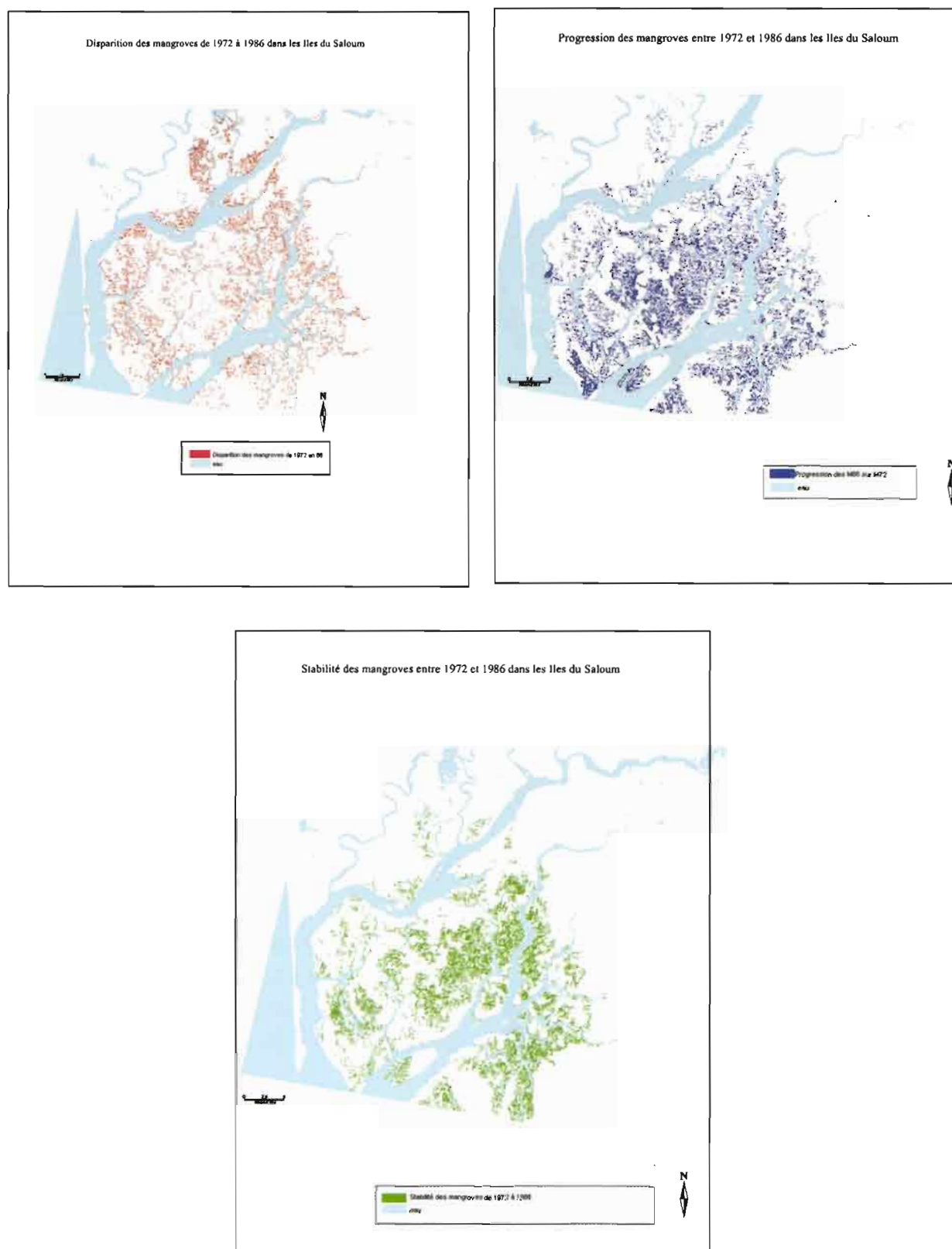


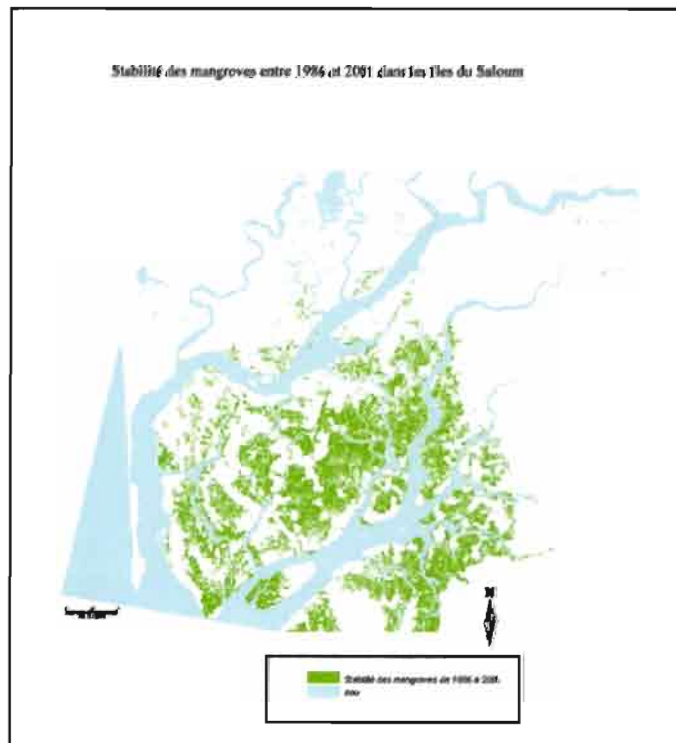
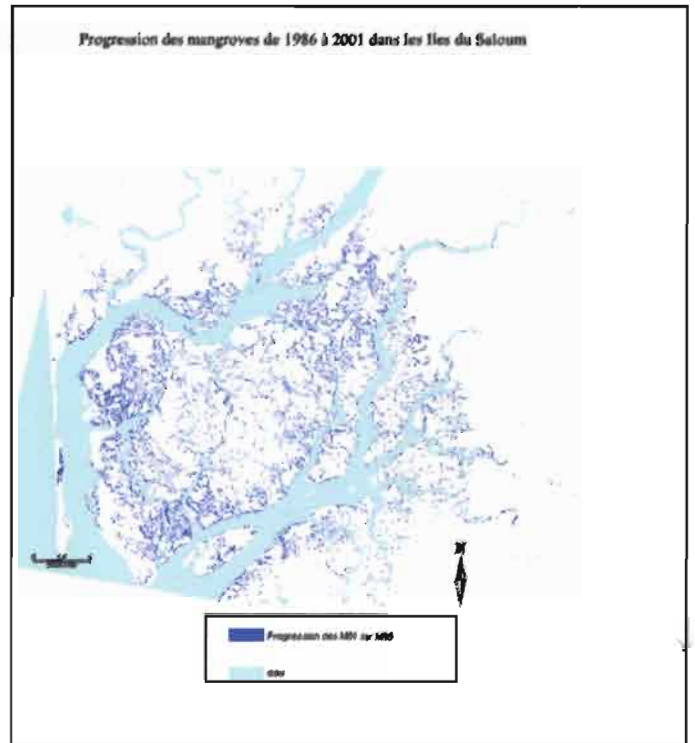
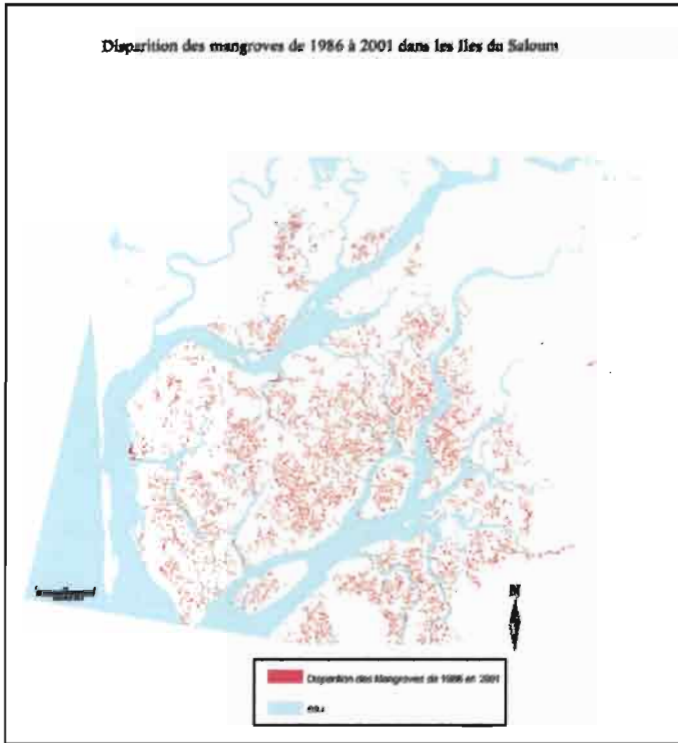
Planche 3 : Évolution des Mangroves de 1972 à 1986 dans les îles du Saloum.

Plate 3a: Regression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 1986.

Plate 3b: Progression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 1986.

Plate 3c: Stability of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 1986.

1986 - 2001



1986 - 2001



Planche 4 : Évolution des Mangroves de 1986 à 2001 dans les îles du Saloum.

Plate 4a: Regression of the mangroves in the Saloum Islands between 1986 and 2001.

Plate 4b: Progression of the mangroves in the Saloum Islands between 1986 and 2001.

Plate 4c: Stability of the mangroves in the Saloum Islands between 1986 and 2001.

1972 - 2001

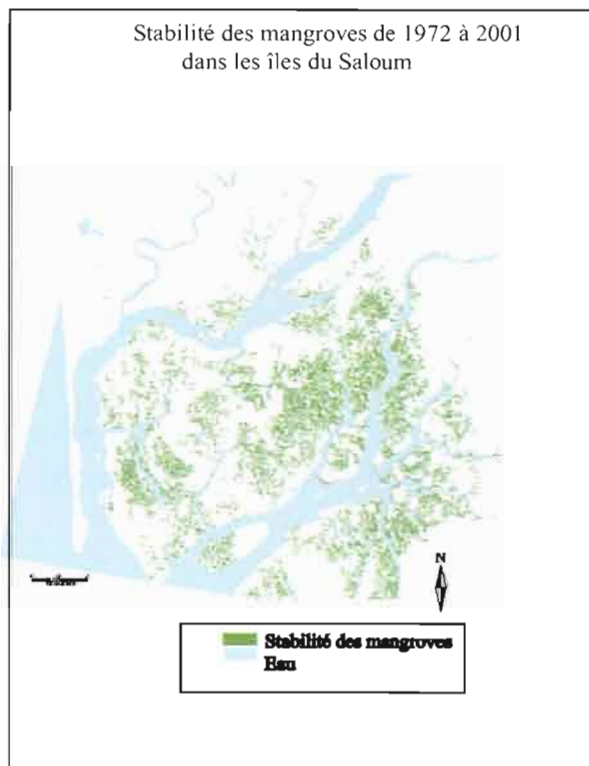
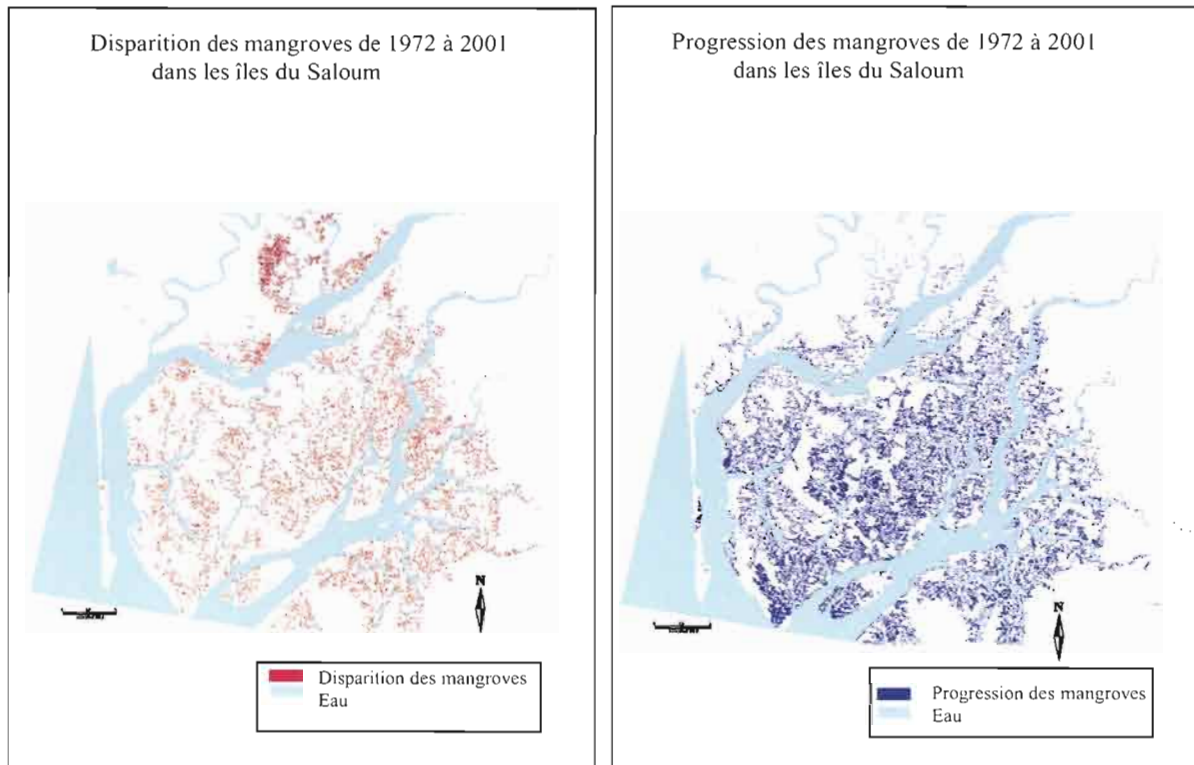


Planche 5 : Évolution des Mangroves de 1972 à 2001 dans les îles du Saloum.

Plate 5a: Regression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 2001.

Plate 5b: Progression of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 2001.

Plate 5c: Stability of the mangroves in the Saloum Islands between 1972 and 2001.

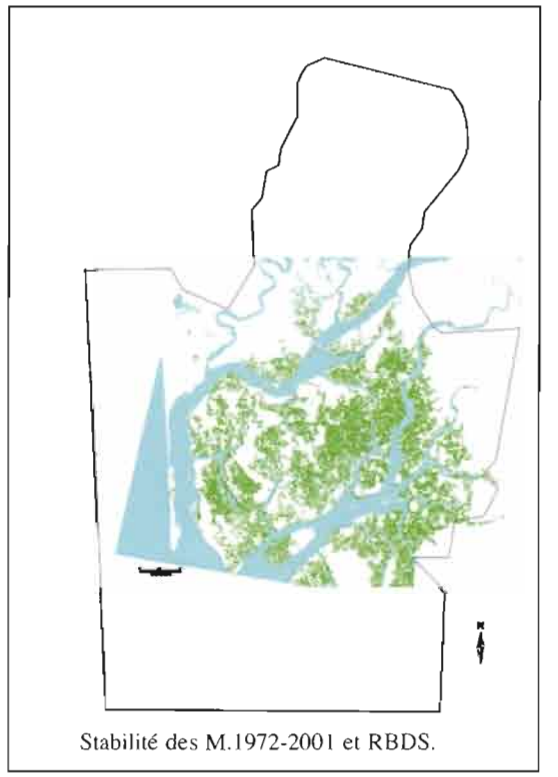
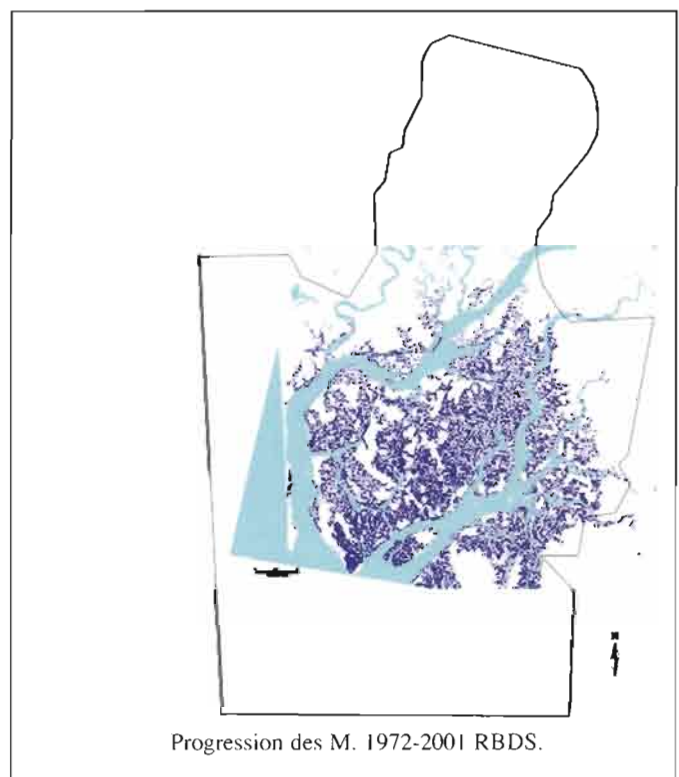
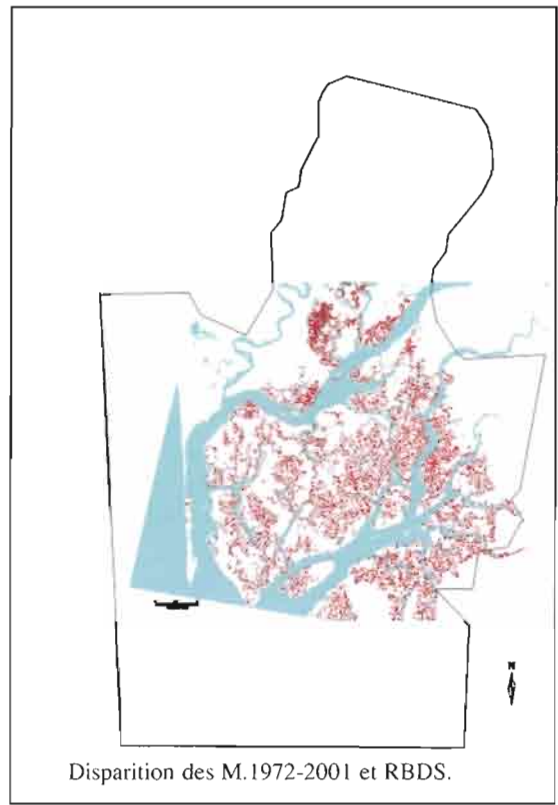
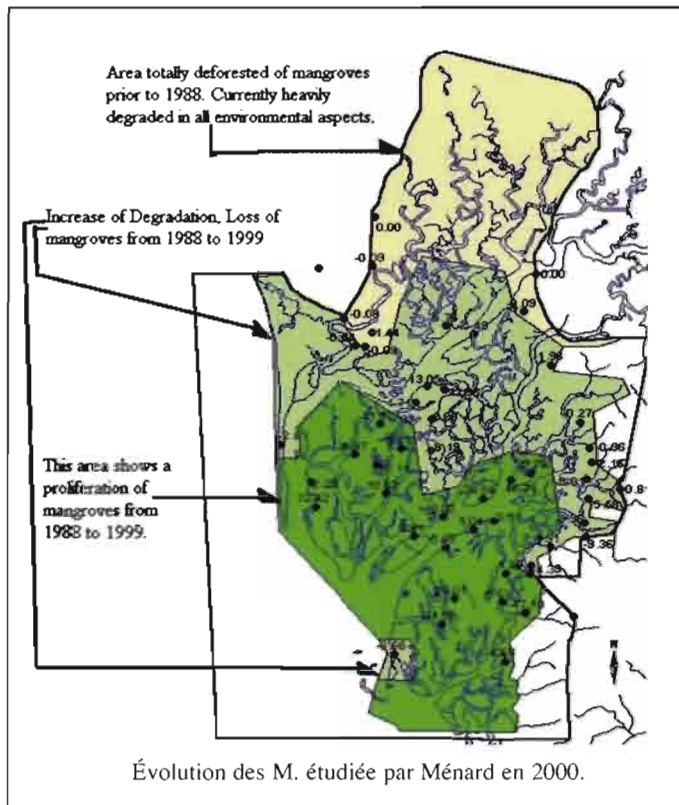


Planche 6 : Évolution des Mangroves de 1972 à 2001 par rapport au périmètre de la RBDS et de la carte de Ménard, S. Jr, 2000.

Plate 6: Development of the mangroves between 1972 and 2001 with respect to the scope of the RBDS and the map of Menard, S. Jr, 2000 :

Evolution of the mangroves studied by Menard in 2000.

Regression of the mangroves between 1972 and 2001 and RBDS.

Progression of the mangroves between 1972 and 2001 and RBDS.

Stability of the mangroves between 1972 and 2001 and RBDS.

Moreau Noëlle (2004)

Mise en évidence et cartographie par télédétection de
l'évolution des forêts de mangrove dans les îles du Saloum au
cours des trois dernières décennies (1972 à 2001)

Photo-Interprétation, (4), 23-55

ISSN 0031-8523